



Große Kreisstadt
Schwandorf

zeitgeist
engineering



Kommunale Wärmeplanung der Stadt Schwandorf

Teil A

Eignungsprüfung
Bestandsanalyse
Potenzialanalyse

Auftraggeberin:

Stadt Schwandorf

Spitalgarten 1

92421 Schwandorf

Ansprechperson: M. Sc. Maria Pushkareva
Dipl.-Ing. BD Reinhard Schade

Kontakt: waermeplanung@schwandorf.de

Telefon: +49 (0) 9431 451 237



Auftragnehmerin:

zeitgeist engineering gmbh

Äußere Sulzbacher Straße 29

90491 Nürnberg

Ansprechperson: Herr Markus Rößler

Kontakt: markus.roessler@ib-zeitgeist.de

Telefon: +49 (0) 911 21707-410



Der Abschlussbericht zur kommunalen Wärmeplanung wurde im Rahmen der nationalen Klimaschutzinitiative der Bundesregierung unter dem Förderkennzeichen **67K28151** mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Laufzeit: 03.2025 – 06.2026

Veröffentlichungsdatum: 20.04.2026

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz
und nukleare Sicherheit



NATIONALE
KLIMASCHUTZ
INITIATIVE

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

1. Zusammenfassung

Die **kommunale Wärmeplanung** ist ein informelles Planungsinstrument der Kommune zur Gestaltung der langfristigen Wärmeversorgung. Sie soll als Grundlage für weitere Schritte, wie Machbarkeitsstudien oder energetische Quartierskonzepte, dienen. Inhalt der Wärmeplanung ist eine Bestands- und Potenzialanalyse des Sektors Wärme und Strom, die Einteilung der Kommune in Wärmeversorgungsgebiete, eine schrittweise Zielsetzung hin zum Ziel der Klimaneutralität im Jahr 2040 sowie die grobe Skizzierung von Umsetzungsmaßnahmen, welche der Wärmeplanung folgen sollen, inklusive der Bearbeitung von drei Fokusgebieten.

Teil A

Um Zeit und Kapazitäten zu sparen, wird den oben genannten Punkten eine **Eignungsprüfung** von Teilgebieten außerhalb der Kernstadt vorangestellt. Hierbei wird untersucht, ob eine leitungsgebundene Wärmeversorgung, mittels Wärme-, Biomethan- oder Wasserstoffnetz, anhand von groben Abschätzungen der Bedarfe und Potenziale von vornherein ausgeschlossen werden kann. Gegebenenfalls wird eine verkürzte Wärmeplanung durchgeführt. Der Großteil der außenliegenden Ortschaften wird einer erweiterten Wärmeplanung unterzogen. Irlbach, Dauching, Grain, Krumlengenfeld, Krumbach, Hartenricht, Spielberg, Neuried, Irlaching, Richt, Prissacht und Naabsiegenhofen werden aufgrund fehlender Potenziale und Bedarf als Gebiete mit ausschließlich dezentraler Wärmeversorgung ausgewiesen.

In der **Bestandsanalyse** ist die aktuelle Situation in der Wärme- und Stromversorgung aufgezeigt. Dazu wird die Flächennutzung sowie Siedlungsstruktur, die bestehenden Energieversorgungsanlagen und -netze und die Verteilung der Wärmeerzeuger analysiert. Darauf basierend wird eine Energie- und Treibhausgasbilanz erstellt. Das bebaute Gebiet umfasst circa 17,2 % der Stadtfläche Schwandorfs. Der Großteil der Wohnbebauung stammt aus den Jahren 1950-1970. Die Stromerzeugung vor Ort (bilanziert zum Ende 2023) erfolgt durch ca. 2.200 PV-Anlagen (meist kleiner als 30 kWp) mit ca. 49.408 MWh pro Jahr, sieben Biomasseanlagen mit 22.500 MWh/a, mehreren fossilen Anlagen mit ca. 12.600 MWh pro Jahr sowie dem Müllheizkraftwerk (MHKW), welches zwischen 110.000 MWh und 180.000 MWh Strom pro Jahr erzeugt. Darüber hinaus existieren kleine weitere Stromerzeugungsanlagen sowie eine Biomethananlage, welche in das Gasnetz einspeist. Das Gasnetz umfasst die ganze Kernstadt inklusive einiger Ortsteile mit u.a. Klardorf, Bubach a. d. Naab und Büchelkühn. Im Gebiet der Kernstadt, inklusive der Ortsteile Dachelhofen und Ettmannsdorf, existiert ein durch die Abwärme des MHKWs gespeistes Wärmenetz. Im Bereich Wohnen & Kleinverbraucher stammt 65 % der erzeugten Energiemenge für Raumwärme und Warmwasser aus Erdgas und Heizöl, 16 % aus Biomasse sowie 14 % aus dem Fernwärmenetz. Bei der Verbrauchergruppe Industrie & Großgewerbe werden 66 % der Prozesswärme durch Prozessdampf des MHKWs gedeckt sowie 30 % durch Erdgas. Insgesamt macht Prozesswärme ca. 94 % der benötigten Wärme in der Industrie aus. Raumwärme und Warmwasser zur Versorgung von Öffentlichen Einrichtungen wird bereits zu 51 % durch das Wärmenetz bereitgestellt, 25 % stammen aus der Biomasse (Klärgas) und 21 % aus Erdgas. 81 % des Stromverbrauchs auf dem Stadtgebiet ist auf den Bereich Industrie & Großgewerbe zurückzuführen, 16 % auf Wohnen & Kleinverbraucher und 3 % auf die Öffentlichen Einrichtungen. Insgesamt summiert sich der thermische Endenergieverbrauch aller Verbrauchergruppen im Stadtgebiet auf ca. 842.100 MWh pro Jahr. Der elektrische Endenergieverbrauch beläuft sich im Stadtgebiet auf

242.200 MWh pro Jahr. Dies entspricht einem Ausstoß von 209.700 t CO₂-Äquivalenten pro Jahr im Sektor Wärme sowie 104.300 t CO₂-Äquivalenten pro Jahr im Sektor Strom.

In der **Potenzialanalyse** werden die möglichen Potenziale zur Nutzung erneuerbarer Wärme und erneuerbaren Stroms aufgezeigt. Dazu werden zuerst Ausschlussgebiete für die Nutzung erneuerbarer Energieanlagen identifiziert und das Energieeinsparpotenzial durch Sanierung berechnet. Danach werden alle möglichen Potenziale für erneuerbare Erzeugung in den Sektoren Wärme und Strom ermittelt. Auch in der Potenzialanalyse spielen die Abfallverwertungsanlage (MHKW) und das Fernwärmenetz eine gesonderte Rolle und werden genauer betrachtet. Auf dem Stadtgebiet sind vereinzelt Trinkwasser-, Landschafts- und Naturschutzgebiete vorhanden. Im Nordosten und Südosten der Stadt befinden sich großflächige Moor- und Naturschutzgebiete und entlang des Flusses Naab Überschwemmungsgebiete. Die Altstadt ist ein Ensemble-Denkmal und großflächige Bodendenkmäler befinden sich auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Die Betrachtung des Energieeinsparpotenzials durch Sanierung ergibt bei der Mehrheit der Baublöcke Werte von 10-40 %. Als mögliche Quellen erneuerbarer Wärme werden unter anderem die Potenziale von Biomasse, oberflächennaher Geothermie, Solarthermie, Umweltwärme und Abwärme betrachtet. Insgesamt ergibt sich ein ungenutztes Potenzial von 1.147.200 MWh_{th} pro Jahr, wobei das Potenzial der Umweltwärme nicht komplett quantifizierbar ist und somit noch zusätzlich zur Verfügung steht. Das ungenutzte Potenzial von Photovoltaik, Wind und KWK, inklusive des MHKW, zur Erzeugung erneuerbaren Stroms im Stadtgebiet beläuft sich auf 452.600 MWh_{el} pro Jahr. Ein zusätzliches Potenzial des Fernwärmenetzes aufgrund von Energieeinsparung durch Sanierung der Abnehmer sowie der Integration eines Wärmespeichers beläuft sich auf ca. 8 MW. Unter der Annahme eines Ausbaus des errechneten Potenzials an Photovoltaik- und Windenergieanlagen und der Steigerung des Strombedarfs auf Basis von Literaturquellen bis 2040 beläuft sich das Potenzial an Power-to-X mittels Überschussstrom auf 287.000 MWh pro Jahr.

Eine **Gegenüberstellung von Bestands- und Potenzialanalyse** ergibt, dass die Potenziale an erneuerbarer Wärme größer sind als die aktuellen Verbräuche auf dem Stadtgebiet. Hierbei ist zu beachten, dass es sich lediglich um Energiemengen handelt. Parameter wie Temperatur und Verfügbarkeit der Energiequellen müssen zusätzlich betrachtet werden. Im Bereich Strom übersteigt das Potenzial ebenfalls den aktuellen Verbrauch. Auch hier handelt es sich erstmal um eine bilanzielle Betrachtung, wobei die Untersuchung der Power-to-X Potenziale die Lastgänge der einzelnen Erzeuger und der Abnehmer beinhaltet und somit eine detailliertere Grundlage der Analyse bildet.

Teil B

Auf Grundlage der Bestands- und Potenzialanalyse wird die Stadt Schwandorf hinsichtlich der **Eignung** verschiedener **Wärmeversorgungsgebiete** untersucht, wobei für alle Baublöcke die Wahrscheinlichkeit einer Eignung für die Errichtung von Inselnetzen, eine Fernwärmenetzerweiterung, eine dezentrale Wärmeversorgung sowie eine Wasserstoffnetzeignung bewertet wird; eine Biomethanetzeignung konnte dabei nicht untersucht werden. In den Ortsteilen Fronberg, Büchelkühn, Kreith sowie Lindenlohe und Feihöls wird eine Eignung für Inselnetze ermittelt, wobei nach Rücksprache mit den Biogasanlagenbetreibern in Lindenlohe und Feihöls keine weitergehende Wärmenetzeignung besteht. Die Eignung für eine Fernwärmenetzerweiterung wird auf Basis der Wärmelinien-dichte abgeschätzt, wobei insbesondere Ettmansdorf, das Rothlindenviertel und Kronstetten-West eine hohe Wärmelinien-dichte aufweisen; nach Rücksprache mit dem Fernwärmenetzbetreiber wird ein Netzausbau jedoch nicht in

Kronstetten, sondern im Hochrain angestrebt. Eine dezentrale Wärmeversorgung ist grundsätzlich in allen Gebieten und Gebäuden möglich, wenngleich die Altstadt und die alten Ortskerne eine geringere Eignung aufweisen. Eine Wasserstoffnetzeignung besteht ausschließlich in den Baublöcken der Firma Nabaltec AG sowie des Müllheizkraftwerks.

Im Zuge der **Fokusgebietsbetrachtung** werden im Rothlindenviertel eine Erweiterung des Fernwärmenetzes sowie in Fronberg und Büchelkühn der Neubau von Inselnetzen untersucht. In Fronberg ist vorgesehen, den Ortskern einschließlich des Schlosses sowie die kommunalen Liegenschaften durch eine Luft-Wärmepumpe mit Spitzenlastabdeckung über einen Hackschnittelkessel zu versorgen. In Büchelkühn soll das geklärte Abwasser der Kläranlage zur Wärmeversorgung des gesamten Ortsteils genutzt werden. Für alle drei Fokusgebiete wird eine vertiefende Machbarkeitsstudie empfohlen, da die ersten Analysen auf einen technisch umsetzbaren und wirtschaftlich tragfähigen Betrieb eines Inselnetzes beziehungsweise auf eine sinnvolle Erweiterung des bestehenden Fernwärmenetzes hinweisen.

Im Kapitel des **Zielszenarios** werden vier unterschiedliche Entwicklungspfade der Energieträgerverteilung im Wärmesektor bis zum Jahr 2040 untersucht und gegenübergestellt. Zunächst wird ein ambitioniertes Szenario mit hohem Ausbau erneuerbarer Energien und einer hohen Sanierungsquote einem moderaten Szenario mit heutiger Sanierungsrate und geringerem Ausbau erneuerbarer Energien gegenübergestellt. Anschließend wird ein Entwicklungspfad mit Fokus auf eine fortgeführte Gasversorgung einem nahezu gasfreien Szenario gegenübergestellt. Auf Basis eines Abgleichs mit den verfügbaren Potenzialen sowie den Stellungnahmen der Energieversorger wird daraus ein Zielszenario für das Jahr 2040 abgeleitet, das eine realistische und zugleich zielkonforme Entwicklung der Wärmeversorgung abbildet. Abschließend erfolgt eine Einteilung des Stadtgebiets in voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete; ergänzend werden in separaten Kapiteln die zukünftige Entwicklung des Fernwärmenetzes sowie des Gas- und Stromnetzes diskutiert. Im Angang sind die Indikatoren der Szenarien aufgelistet.

Teil C

In einem separaten **Maßnahmenkatalog** werden der Stadt Schwandorf aufbauend auf den Erkenntnissen der kommunalen Wärmeplanung insgesamt 34 Maßnahmen vorgeschlagen, die im Anschluss an die Wärmeplanung angestoßen werden sollten. Die Maßnahmen umfassen unter anderem Vorschläge zum Ausbau und zur Erweiterung von Wärmenetzen, zur energetischen Sanierung sowie strategische und organisatorische Handlungsansätze, die jeweils in Form von Steckbriefen näher erläutert werden.

In **Ortsteilsteckbriefen** wird das Stadtgebiet in insgesamt 39 Gebiete unterteilt, für die die wesentlichen Ergebnisse der kommunalen Wärmeplanung zusammengefasst dargestellt sind. Insbesondere der aktuelle Stand des Sektors Wärme sowie die für das jeweilige Gebiet sinnvollen Maßnahmen werden dabei übersichtlich, gebietsspezifisch und nachvollziehbar aufgezeigt.

Darüber hinaus werden für die Stadt Schwandorf in einem separaten Bericht **strategische Maßnahmen** erarbeitet, die den gezielten Einsatz des kommunalen Wärmeplans unterstützen. Mithilfe einer Verstetigungsstrategie, eines Controlling-Konzepts sowie einer Kommunikationsstrategie wird aufgezeigt, wie der Wärmeplan innerhalb der Kommune zur Umsetzung

und Bewertung der empfohlenen Maßnahmen genutzt werden kann. Spätestens nach fünf Jahren ist eine Fortschreibung des Wärmeplans erforderlich.

Inhalt

| | |
|---|-----|
| 1. Zusammenfassung..... | iii |
| Teil A..... | 1 |
| 2. Eignungsprüfung..... | 1 |
| 2.1. Ausgangslage..... | 1 |
| 2.1.1. Vorgehen Eignungsprüfung..... | 1 |
| 2.1.2. Einordnung Rolle des Energieträgers Wasserstoff..... | 1 |
| 2.1.3. Prüfgebiete..... | 3 |
| 2.1.4. Einteilungskriterien..... | 3 |
| 2.2. Auswertung Eignungsprüfung..... | 4 |
| 2.2.1. Wärmelinienichte und Potenziale..... | 4 |
| 2.2.2. Ergebnisse Eignungsprüfung..... | 5 |
| 2.3. Weiteres Vorgehen..... | 8 |
| 2.3.1. Erweiterte Wärmeplanung..... | 8 |
| 2.3.2. Verkürzte Wärmeplanung..... | 8 |
| 2.4. Zukünftige Möglichkeiten dezentraler Wärmeversorgung (nicht leitungsgebunden)..... | 8 |
| 2.4.1. Energetische Sanierung..... | 9 |
| 2.4.2. Erfüllungsoptionen der 65%-Regelung nach GEG..... | 9 |
| 2.4.3. Potenziale dezentrale Wärmeversorgung..... | 10 |
| 3. Bestandsanalyse..... | 15 |
| 3.1. Datengrundlagen und Verbrauchergruppen..... | 15 |
| 3.1.1. Datengrundlagen..... | 15 |
| 3.1.2. Verbrauchergruppen..... | 16 |
| 3.2. Flächennutzung und Siedlungsstruktur..... | 16 |
| 3.2.1. Flächennutzung..... | 16 |
| 3.2.2. Siedlungsstruktur..... | 18 |
| 3.3. Energieerzeugungsanlagen und Versorgungsnetze..... | 21 |
| 3.3.1. Energieerzeugungsanlagen..... | 21 |
| 3.3.2. Analyse dezentraler Wärmeerzeuger..... | 25 |
| 3.3.3. Versorgungsnetze der Wärmeversorgung..... | 31 |
| 3.3.4. Stromversorgungsnetze..... | 33 |
| 3.3.5. Abwasserkanalnetz..... | 34 |
| 3.3.6. Glasfasernetz..... | 35 |
| 3.4. Energiebilanz Wärme..... | 37 |
| 3.4.1. Methodik Energiebilanz des IST-Zustands..... | 37 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 3.4.2. | Wohnen & Kleinverbraucher..... | 42 |
| 3.4.3. | Industrie & Großgewerbe | 43 |
| 3.4.4. | Öffentliche Einrichtungen | 45 |
| 3.4.5. | Zusammenfassung Energiebilanz Wärme | 46 |
| 3.5. | Wärmebedarf auf Baublockebene | 49 |
| 3.5.1. | Absoluter Wärmebedarf | 49 |
| 3.5.2. | Wärmebedarf pro Baublockfläche | 52 |
| 3.5.3. | Wärmelinien-dichte (WLD) | 54 |
| 3.6. | Energiebilanz Strom | 56 |
| 3.6.1. | Methodik | 56 |
| 3.6.2. | Zusammenfassung Energiebilanz Strom | 56 |
| 3.7. | Treibhausgasbilanz Wärme und Strom..... | 58 |
| 4. | Potenzialanalyse | 61 |
| 4.1. | Datengrundlage..... | 61 |
| 4.2. | Schutzgebiete und Denkmalschutz | 61 |
| 4.2.1. | Schutzgebiete | 61 |
| 4.2.2. | Denkmalschutz..... | 62 |
| 4.3. | Energieeinsparung und Energieeffizienz | 63 |
| 4.3.1. | Wärmebedarfsreduktion in Gebäuden..... | 63 |
| 4.3.2. | Effizienzsteigerung in industriellen Prozessen..... | 66 |
| 4.3.3. | Effizienzsteigerung Abnehmer bestehendes Wärmenetz | 67 |
| 4.4. | Potenziale erneuerbarer Wärme..... | 70 |
| 4.4.1. | Umweltwärme | 70 |
| 4.4.2. | Oberflächennahe Geothermie | 78 |
| 4.4.3. | Solarthermie..... | 85 |
| 4.4.4. | Biomasse | 87 |
| 4.4.5. | Unvermeidbare Abwärme..... | 96 |
| 4.4.6. | Zentrale Wärmespeicher | 100 |
| 4.4.7. | Sonstige Potenziale erneuerbarer Wärme..... | 101 |
| 4.4.8. | Zusammenfassung Potenzialanalyse erneuerbare Wärme | 103 |
| 4.4.9. | Erweiterungspotenziale bestehendes Wärmenetz..... | 105 |
| 4.5. | Potenziale erneuerbarer Strom | 108 |
| 4.5.1. | Photovoltaik | 108 |
| 4.5.2. | Windenergie..... | 110 |
| 4.5.3. | KWK-Anlagen | 111 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| 4.5.4. | Müllheizkraftwerk | 111 |
| 4.5.5. | Sonstige Potenziale erneuerbarer Strom..... | 111 |
| 4.5.6. | Zusammenfassung Potenzialanalyse Strom..... | 112 |
| 4.5.7. | Wirtschaftliche Einordnung strombasierter Wärmeversorgung | 112 |
| 4.6. | Power-to-X..... | 114 |
| 4.7. | Ausblick Energieinfrastruktur..... | 117 |
| 4.8. | Anschlussinteresse an ein Wärmenetz..... | 120 |
| 5. | Gegenüberstellung von Bestands- und Potenzialanalyse..... | 123 |
| Teil B..... | | 125 |
| 6. | Eignung Wärmeversorgungsgebiete | 125 |
| 6.1. | Wärmenetzeignung (Inselnetz)..... | 126 |
| 6.1.1. | Kriterien Wärmenetzeignung (Inselnetz)..... | 126 |
| 6.1.2. | Ergebnis Wärmenetzeignung (Inselnetz)..... | 127 |
| 6.2. | Eignung Fernwärmenetzerweiterung..... | 128 |
| 6.2.1. | Kriterien Fernwärmenetzerweiterung..... | 128 |
| 6.2.2. | Ergebnis Fernwärmenetzerweiterung..... | 128 |
| 6.3. | Eignung dezentrale Wärmeversorgung | 129 |
| 6.3.1. | Kriterien dezentrale Wärmeversorgung | 129 |
| 6.3.2. | Ergebnis dezentrale Wärmeversorgung | 130 |
| 6.4. | Biomethanetzeignung..... | 131 |
| 6.5. | Wasserstoffnetzeignung..... | 131 |
| 6.5.1. | Kriterien Wasserstoffnetzeignung..... | 132 |
| 6.5.2. | Ergebnis Wasserstoffnetzeignung..... | 132 |
| 7. | Fokusgebiet Rothlindenviertel | 134 |
| 7.1. | Ausgangssituation..... | 134 |
| 7.2. | Auswirkungen auf das bestehende Fernwärmenetz | 136 |
| 8. | Fokusgebiet Büchelkühn | 138 |
| 8.1. | Ausgangssituation..... | 138 |
| 8.2. | Auslegung Wärmenetz..... | 140 |
| 8.3. | Rahmenbedingungen Kostenschätzung / Berechnung | 141 |
| 8.4. | Potenzial geklärtes Abwasser | 142 |
| 8.5. | Ergebnisse Simulation Wärmenetz..... | 143 |
| 8.6. | Alternative Wärmeversorgung | 145 |
| 8.7. | Fazit Fokusgebiet Büchelkühn | 146 |
| 9. | Fokusgebiet Fronberg | 147 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 9.1. | Variante 1..... | 147 |
| 9.1.1. | Ausgangssituation..... | 147 |
| 9.1.2. | Auslegung Wärmenetz..... | 149 |
| 9.1.3. | Rahmenbedingungen Kostenschätzung / Berechnung..... | 150 |
| 9.1.4. | Ergebnisse Simulation Wärmenetz..... | 151 |
| 9.2. | Variante 2..... | 154 |
| 9.2.1. | Ausgangssituation..... | 154 |
| 9.2.2. | Auslegung Wärmenetz..... | 156 |
| 9.2.3. | Ergebnisse Simulation Wärmenetz..... | 157 |
| 9.3. | Potenzial industrielle Abwärme | 160 |
| 9.4. | Alternative Wärmeversorgung..... | 160 |
| 9.5. | Fazit Fokusgebiet Fronberg..... | 160 |
| 10. | Wirtschaftlichkeitsbetrachtung beispielhafter dezentraler Versorgungsfälle | 162 |
| 11. | Zielszenario | 165 |
| 11.1. | Entwicklung des Wärmeverbrauchs..... | 165 |
| 11.2. | Teilgebiete mit erhöhtem Energieeinsparpotenzial..... | 167 |
| 11.3. | Methodik Wärmeversorgung Zielszenario..... | 168 |
| 11.4. | Szenario „ambitioniert“..... | 171 |
| 11.4.1. | Wärmeverbrauch und Energieträgerverteilung bis 2040..... | 171 |
| 11.4.2. | Energie- und Treibhausgasbilanz bis 2040..... | 175 |
| 11.4.3. | Entwicklung Fern- und Nahwärme..... | 177 |
| 11.4.4. | Gegenüberstellung Zielszenario und Potenzialanalyse | 179 |
| 11.5. | Szenario „moderat“ | 181 |
| 11.5.1. | Wärmeverbrauch und Energieträgerverteilung bis 2040..... | 181 |
| 11.5.2. | Energie- und Treibhausgasbilanz bis 2040..... | 185 |
| 11.5.3. | Entwicklung Fern- und Nahwärme..... | 186 |
| 11.5.4. | Gegenüberstellung Zielszenario und Potenzialanalyse | 188 |
| 11.6. | Szenario „Gas Hoch“ | 190 |
| 11.6.1. | Wärmeverbrauch und Energieträgerverteilung bis 2040..... | 190 |
| 11.6.2. | Energie- und Treibhausgasbilanz bis 2040..... | 194 |
| 11.6.3. | Entwicklung Fern- und Nahwärme..... | 196 |
| 11.6.4. | Gegenüberstellung Zielszenario und Potenzialanalyse | 196 |
| 11.7. | Szenario „Gas Niedrig“ | 198 |
| 11.7.1. | Wärmeverbrauch und Energieträgerverteilung bis 2040..... | 198 |
| 11.7.2. | Energie- und Treibhausgasbilanz bis 2040..... | 202 |

| | | |
|-------------------|---|-----|
| 11.7.3. | Entwicklung Fern- und Nahwärme..... | 204 |
| 11.7.4. | Gegenüberstellung Zielszenario und Potenzialanalyse | 206 |
| 11.8. | Vergleich der Szenarien..... | 207 |
| 11.9. | Zielszenario 2040 | 209 |
| 11.9.1. | Wärmeverbrauch und Energieträgerverteilung bis 2040..... | 209 |
| 11.9.2. | Energie- und Treibhausgasbilanz bis 2040..... | 214 |
| 11.9.3. | Entwicklung Fern- und Nahwärme..... | 215 |
| 11.9.4. | Gegenüberstellung Zielszenario und Potenzialanalyse | 217 |
| 11.10. | Einteilung in voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete..... | 220 |
| 11.11. | Ausblick Fernwärmenetz..... | 222 |
| 11.12. | Ausblick Gasnetz | 224 |
| 11.13. | Ausblick Strom..... | 227 |
| 11.14. | Ausblick Kältebedarf | 228 |
| 11.15. | Sektorkopplung..... | 229 |
| 11.16. | Energiegipfel Schwandorf | 232 |
| 12. | Umsetzungsstrategie und Maßnahmen | 234 |
| 12.1. | Maßnahmenkatalog | 234 |
| 12.2. | Ortsteilsteckbriefe | 234 |
| 12.3. | Erneuerbare-Energie-Gemeinschaften | 234 |
| 12.4. | Bewertung potenzieller Synergieeffekte weiterer Planungen | 237 |
| 12.5. | Strategische Maßnahmen..... | 238 |
| 13. | Indikatoren Zielszenarien | 239 |
| 13.1. | Szenario ambitioniert | 239 |
| 13.2. | Szenario moderat | 240 |
| 13.3. | Szenario Gas Hoch..... | 241 |
| 13.4. | Szenario Gas Niedrig..... | 242 |
| 13.5. | Zielszenario 2040 | 243 |
| Teil C..... | | 244 |
| Anlagenband | | 244 |
| 14. | Maßnahmenkatalog kommunale Wärmeplanung | 244 |
| 14.1. | Maßnahmensteckbriefe | 250 |
| 15. | Ortsteilsteckbriefe | 322 |
| 16. | Strategische Maßnahmen | 361 |
| 16.1. | Zusammenfassung | 361 |
| 16.2. | Strategische Maßnahmen | 362 |

| | | |
|----------|------------------------------|-------|
| 16.3. | Verstetigungsstrategie | 362 |
| 16.4. | Controllingkonzept | 366 |
| 16.5. | Kommunikationsstrategie..... | 369 |
| 17. | Literaturverzeichnis..... | xx |
| Hinweise | | xxxii |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Wärmelinienrichte auf Baublockebene, konkrete Potenziale und bestehende Infrastruktur | 5 |
| Abbildung 2: Ergebnis der Eignungsprüfung..... | 7 |
| Abbildung 3: Erste Informationen zur potenziellen Nutzung von Geothermie am Beispiel Irlaching [8] | 10 |
| Abbildung 4: Nutzungsmöglichkeiten oberflächennaher Geothermie in den einzelnen Prüfgebieten | 11 |
| Abbildung 5: Dezentrales Potenzial Luft Wärmepumpe | 12 |
| Abbildung 6: Dezentrales Potenzial Luft Wärmepumpe | 13 |
| Abbildung 7: Flächennutzung auf dem Stadtgebiet Schwandorf | 17 |
| Abbildung 8: Siedlungsentwicklung der Stadt Schwandorf inklusive anstehender Erschließung und potenzieller Erschließung bis 2040 (letztere lediglich beispielhaft) | 18 |
| Abbildung 9: Baublöcke unterschieden nach Hauptnutzungsarten | 19 |
| Abbildung 10: Baublöcke unterschieden nach überwiegendem Gebäudetyp..... | 20 |
| Abbildung 11: Standorte größerer Energieerzeugungsanlagen (außer PV) – Stand 15.04.2025..... | 21 |
| Abbildung 12: Standorte größerer PV-Anlagen – Stand 15.04.2025..... | 22 |
| Abbildung 13: Elektrische Leistungen und Erträge von Energieerzeugungsanlagen – Stand Ende 2023 | 23 |
| Abbildung 14: Thermische Leistungen und Erträge von Energieerzeugungsanlagen – Stand Ende 2023 | 24 |
| Abbildung 15: Auswertung Kaminkehrer-Daten Zentralheizungen..... | 26 |
| Abbildung 16: Auswertung der Kaminkehrer-Daten auf Baublockebene für den Stadtkern Schwandorf..... | 28 |
| Abbildung 17: Auswertung der Kaminkehrer-Daten auf Baublockebene für das südliche und nördliche Gebiet..... | 28 |
| Abbildung 18: Auswertung der Kaminkehrer-Daten auf Baublockebene für das nordwestliche Gebiet..... | 29 |
| Abbildung 19: Auswertung Zensus 2022 Wärmepumpen, Solar- Geothermieanlagen..... | 30 |
| Abbildung 20: Auswertung Zensus 2022 Stromheizungen..... | 31 |
| Abbildung 21: Leitungsgebundene Wärmeversorgung in den Baublöcken | 33 |
| Abbildung 22: Umspannwerke im Stadtgebiet | 34 |
| Abbildung 23: Kanalnetz mit Durchmesser größer-gleich 600 mm und Regenwasser (geklärtes Abwasser) | 35 |
| Abbildung 24: Fernwärme- und Gasverbräuche pro Jahr und Abnehmer witterungsbereinigt..... | 38 |
| Abbildung 25: Verteilung thermischer Endenergieverbrauch Wohnen & Kleinverbraucher ... | 42 |
| Abbildung 26: Verteilung thermischer Endenergieverbrauch Industrie & Großgewerbe Raumwärme und Warmwasser | 43 |
| Abbildung 27: Verteilung thermischer Endenergieverbrauch Industrie & Großgewerbe Prozesswärme | 44 |
| Abbildung 28: Verteilung thermischer Endenergieverbrauch der Öffentlichen Einrichtungen..... | 45 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 29: Energieverbrauch für Heiz- und Prozesswärme aufgeteilt auf Verbrauchergruppen | 46 |
| Abbildung 30: Energieträgerverteilung für Heiz- und Prozesswärme aller Verbrauchergruppen | 47 |
| Abbildung 31: Absoluter jährlicher Wärmebedarf Raumwärme und Warmwasser (Heatmap)..... | 50 |
| Abbildung 32: Absoluter jährlicher Wärmebedarf Prozesswärme (Heatmap)..... | 50 |
| Abbildung 33: Standorte von Großverbrauchern..... | 51 |
| Abbildung 34: Jährlicher Wärmebedarf pro Baublockfläche..... | 53 |
| Abbildung 35: Wärmelinien dichte des Nordwestlichen Stadtgebiets | 54 |
| Abbildung 36: Wärmelinien dichten des Nordens und Südens des Stadtgebiets | 55 |
| Abbildung 37: Wärmelinien dichten des Kernstadtgebiets | 55 |
| Abbildung 38: Endenergieverbrauch thermisch und elektrisch..... | 59 |
| Abbildung 39: Treibhausgasemissionen in CO ₂ -Äquivalente resultierend aus dem Endenergieverbrauch. Für das ganze Stadtgebiet aufgeteilt auf die Verbrauchergruppen | 60 |
| Abbildung 40: Schutzgebiete auf dem Stadtgebiet | 62 |
| Abbildung 41: Ensemble-, Boden- und Baudenkmäler | 63 |
| Abbildung 42: Energieeinsparpotenzial durch Sanierung..... | 64 |
| Abbildung 43: Potenzial zur Energieeinsparung durch Wärmebedarfsreduktion Wohnen & Kleinverbraucher | 65 |
| Abbildung 44: Simulationsergebnis des Fernwärmenetzes inklusive des bis 2026 geplanten Ausbaus | 68 |
| Abbildung 45: Simulationsergebnis des Fernwärmenetzes inklusive des bis 2026 geplanten Ausbaus für das Jahr 2040..... | 69 |
| Abbildung 46: Wassertemperatur an der Messstelle in Heitzenhofen im Jahr 2023..... | 70 |
| Abbildung 47: Fluss-Volumenstrom an der Messstelle in Münchshofen im Jahr 2023 | 71 |
| Abbildung 48: Monatliche Entnahmemengen aus der Naab mit dem Gesamtbedarf der Stadt für Raumwärme und Warmwasser gegenübergestellt..... | 72 |
| Abbildung 49: Deckungsgrad je Gemeinde für Januar bei einer Abkühlung von 2K [38]..... | 73 |
| Abbildung 50: Standorte von Flusswehren | 74 |
| Abbildung 51: Potenzialanalyse Luftwärmepumpen für Wohngebäude und Kleinverbraucher..... | 76 |
| Abbildung 52: Potenzial Umweltwärme | 77 |
| Abbildung 53: Bohrrisiken bis 100 m Tiefe sowie existierende Anlagen..... | 78 |
| Abbildung 54: Wärmequellen bebautes Gebiet (Kernstadt von Schwandorf)..... | 79 |
| Abbildung 55: Wärmequellen bebautes Gebiet (Norden und Süden von Schwandorf) | 80 |
| Abbildung 56: Wärmequellen bebautes Gebiet (Nordwesten von Schwandorf) | 80 |
| Abbildung 57: Deckungsgrad Geothermie auf bebautem Gebiet (Kernstadt von Schwandorf)..... | 81 |
| Abbildung 58: Deckungsgrad Geothermie auf bebautem Gebiet (Norden und Süden von Schwandorf)..... | 82 |
| Abbildung 59: Deckungsgrad Geothermie auf bebautem Gebiet (Nordwesten von Schwandorf)..... | 82 |
| Abbildung 60: Potenzielle Geothermie Freiflächen | 83 |
| Abbildung 61: Potenzial oberflächennaher Geothermie | 84 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 62: Potenzielle Solarthermie-Freiflächen in näherer Umgebung von bebauten Gebieten | 86 |
| Abbildung 63: Potenzial Solarthermie Freiflächen und Dachflächen | 87 |
| Abbildung 64: Einzugsgebiet Biomethanerzeugung (15 km Radius) mit Gemeindegrenzen | 89 |
| Abbildung 65: Holzeinschlag in Bayern [47]..... | 92 |
| Abbildung 66: Holzeinschlag und Schadholzanteil [47]..... | 93 |
| Abbildung 67: Benötigte Waldflächen für ausgewiesene Potenziale [44] und Verbräuche | 94 |
| Abbildung 68: Potenzial aus Biomasse. Aufgeteilt in Biogas und Energieholz | 95 |
| Abbildung 69: Darstellung der Abwärmepotenziale | 98 |
| Abbildung 70: Potenzialanalyse Abwärme..... | 99 |
| Abbildung 71: Potenzielle Standorte zentraler Wärmespeicherung | 101 |
| Abbildung 72: Temperaturverteilung in 250 m unter NHN [63]..... | 103 |
| Abbildung 73: Zusammenfassung Potenziale erneuerbarer Wärme | 104 |
| Abbildung 74: Täglicher Lastgang im Auslegungsfall (-13,6 °C) | 106 |
| Abbildung 75: Resultierender täglicher Lastgang im Auslegungsfall (-13,6 °C) inklusive eines Wärmespeichers zur Glättung der Lastspitzen | 107 |
| Abbildung 76: PV-Potenzialflächen im Stadtgebiet..... | 109 |
| Abbildung 77: Windvorranggebiet..... | 110 |
| Abbildung 78: Zusammenfassung Potenzial Strom | 112 |
| Abbildung 79: Stromgestehungskosten für Erneuerbare Energien und konventionelle Kraftwerke in Deutschland 2024 [68]..... | 113 |
| Abbildung 80: Netzbezug & -einspeisung pro Tag im Jahr 2022 [70]..... | 114 |
| Abbildung 81: Netzeinspeisung und -verbrauch pro Tag für 2040 | 116 |
| Abbildung 82: Wasserstoff-Kernnetz Deutschland [73]..... | 118 |
| Abbildung 83: Darstellung des CO ₂ -Netzes der VBW-Studie [77] | 119 |
| Abbildung 84: Grober Verlauf des Abschnittes „D1“ des Süd-Ost-Links [81]..... | 120 |
| Abbildung 85: Prozentuales Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz..... | 121 |
| Abbildung 86: Örtliche Übersicht an Gebäuden mit Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz. | 122 |
| Abbildung 87: Gegenüberstellung Verbrauch und Potenzial von Wärme und Strom..... | 124 |
| Abbildung 88: Schematische Darstellung der Kategorien und Kriterien | 126 |
| Abbildung 89: Wärmenetzeignung (Inselnetze) der einzelnen Baublöcke..... | 128 |
| Abbildung 90: Eignung zur Erweiterung des bestehenden Wärmenetzes | 129 |
| Abbildung 91: Eignung dezentrale Wärmeversorgung der einzelnen Baublöcke | 131 |
| Abbildung 92:Wasserstoffnetzeignung der einzelnen Baublöcke..... | 133 |
| Abbildung 93: Mögliche Fernwärmenetzerweiterung | 135 |
| Abbildung 94: Benötigte Wärmeleistung (einschl. Verluste) des Quartiers in kW mit Jahresdauerlinie..... | 136 |
| Abbildung 95: Darstellung des Netzzustands im Auslegungsfall bei Auskopplung von 2,1 MW in der Werthstraße | 137 |
| Abbildung 96: Mögliches Wärmenetz Büchelkühn..... | 139 |
| Abbildung 97: Benötigte Wärmeleistung (einschl. Verluste) des Quartiers in kW mit Jahresdauerlinie..... | 140 |
| Abbildung 98: Schematische Darstellung der Energieflüsse mit dem Simulationstool nPro [86] | 141 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 99: Lastgang der Quelleistung des geklärten Abwassers..... | 143 |
| Abbildung 100: Bereitgestellte Wärme nach Energieträger und Monat..... | 144 |
| Abbildung 101: Wärmebedarf und CO ₂ -Äq. Emissionen für das betrachtete Netzgebiet bis zum Zieljahr 2040..... | 145 |
| Abbildung 102: Mögliches Wärmenetz Fronberg V1..... | 148 |
| Abbildung 103: Benötigte Wärmeleistung (einschl. Verluste) des Quartiers in kW mit Jahresdauerlinie..... | 149 |
| Abbildung 104: Schematische Darstellung der Energieflüsse mit dem Simulationstool nPro [86]..... | 150 |
| Abbildung 105: Bereitgestellte Wärme nach Energieträger und Monat..... | 152 |
| Abbildung 106: Wärmebedarf und CO ₂ -Äq. Emissionen für das betrachtete Netzgebiet bis zum Zieljahr 2040..... | 153 |
| Abbildung 107: Mögliches Wärmenetz Fronberg V2..... | 155 |
| Abbildung 108: Benötigte Wärmeleistung (einschl. Verluste) des Quartiers in kW mit Jahresdauerlinie..... | 156 |
| Abbildung 109: Schematische Darstellung der Energieflüsse mit dem Simulationstool nPro [86]..... | 157 |
| Abbildung 110: Bereitgestellte Wärme nach Energieträger und Monat..... | 158 |
| Abbildung 111: Bereitgestellte Strommengen durch PV-Freifläche und mittels Netzbezug..... | 159 |
| Abbildung 112: Wärmebedarf und CO ₂ -Äq. Emissionen für das betrachtete Netzgebiet bis zum Zieljahr..... | 160 |
| Abbildung 113: Vergleich Wärmegestehungskosten für verschiedene dezentrale Wärmeversorgungsvarianten..... | 164 |
| Abbildung 114: Entwicklung des Wärmeverbrauchs mit 2 % Sanierungsrate..... | 166 |
| Abbildung 115: Wärmebedarf auf Baublockebene für das Jahr 2040..... | 167 |
| Abbildung 116: Gebiete mit erhöhten Energieeinsparpotenzial und Sanierungsgebiete..... | 168 |
| Abbildung 117: Entwicklung des CO ₂ -Preises (Non-ETS) [90]..... | 169 |
| Abbildung 118: Szenario ambitioniert: Energieträgerverteilung Wohnen & Kleinverbraucher..... | 172 |
| Abbildung 119: Szenario ambitioniert: Energieträgerverteilung Industrie & Großgewerbe (Raumwärme und Warmwasser)..... | 173 |
| Abbildung 120: Szenario ambitioniert: Energieträgerverteilung Industrie & Großgewerbe (Prozesswärme)..... | 174 |
| Abbildung 121: Szenario ambitioniert: Energieträgerverteilung Öffentliche Einrichtungen .. | 175 |
| Abbildung 122: Szenario ambitioniert: Treibhausgasbilanz Sektor Wärme der Verbrauchergruppen..... | 176 |
| Abbildung 123: Szenario ambitioniert: Energieträgerverteilung Heiz- und Prozesswärme alle Verbrauchergruppen im Jahr 2040..... | 177 |
| Abbildung 124: Szenario ambitioniert: Energieträgerverteilung Fernwärme..... | 178 |
| Abbildung 125: Szenario ambitioniert: Energieträgerverteilung Nahwärme..... | 179 |
| Abbildung 126: Szenario moderat: Energieträgerverteilung Wohnen & Kleinverbraucher... | 181 |
| Abbildung 127: Szenario moderat: Energieträgerverteilung Industrie & Großgewerbe (Raumwärme und Warmwasser)..... | 183 |
| Abbildung 128: Szenario moderat: Energieträgerverteilung Industrie & Großgewerbe (Prozesswärme)..... | 183 |
| Abbildung 129: Szenario moderat: Energieträgerverteilung Öffentliche Einrichtungen | 184 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 130: Szenario moderat: Treibhausgasbilanz Sektor Wärme der Verbrauchergruppen | 185 |
| Abbildung 131: Szenario moderat: Energieträgerverteilung Heiz- und Prozesswärme alle Verbrauchergruppen im Jahr 2040..... | 186 |
| Abbildung 132: Szenario moderat: Energieträgerverteilung Fernwärme | 187 |
| Abbildung 133: Szenario moderat: Energieträgerverteilung Nahwärme..... | 188 |
| Abbildung 134: Szenario Gas Hoch: Energieträgerverteilung Wohnen & Kleinverbraucher..... | 191 |
| Abbildung 135: Szenario Gas Hoch: Energieträgerverteilung Industrie & Großgewerbe (Raumwärme und Warmwasser)..... | 192 |
| Abbildung 136: Szenario Gas Hoch: Energieträgerverteilung Industrie & Großgewerbe (Prozesswärme)..... | 193 |
| Abbildung 137: Szenario Gas Hoch: Energieträgerverteilung Öffentliche Einrichtungen..... | 194 |
| Abbildung 138: Szenario Gas Hoch: Treibhausgasbilanz Sektor Wärme der Verbrauchergruppen | 195 |
| Abbildung 139: Szenario Gas Hoch: Energieträgerverteilung Heiz- und Prozesswärme alle Verbrauchergruppen im Jahr 2040 | 196 |
| Abbildung 140: Szenario Gas Niedrig: Energieträgerverteilung Wohnen & Kleinverbraucher..... | 199 |
| Abbildung 141: Szenario Gas Niedrig: Energieträgerverteilung Industrie & Großgewerbe (Raumwärme und Warmwasser)..... | 200 |
| Abbildung 142: Szenario Gas Niedrig: Energieträgerverteilung Industrie & Großgewerbe (Prozesswärme)..... | 201 |
| Abbildung 143: Szenario Gas Niedrig: Energieträgerverteilung Öffentliche Einrichtungen.. | 202 |
| Abbildung 144: Szenario Gas Niedrig: Treibhausgasbilanz Sektor Wärme der Verbrauchergruppen | 203 |
| Abbildung 145: Szenario Gas Niedrig: Energieträgerverteilung Heiz- und Prozesswärme alle Verbrauchergruppen im Jahr 2040 | 204 |
| Abbildung 146: Szenario Gas Niedrig: Energieträgerverteilung Fernwärme | 204 |
| Abbildung 147: Szenario Gas Niedrig: Energieträgerverteilung Nahwärme | 205 |
| Abbildung 148: Zielszenario 2040: Energieträgerverteilung Wohnen & Kleinverbraucher... | 210 |
| Abbildung 149: Zielszenario 2040: Energieträgerverteilung Industrie & Großgewerbe (Raumwärme und Warmwasser)..... | 211 |
| Abbildung 150: Zielszenario 2040: Energieträgerverteilung Industrie & Großgewerbe (Prozesswärme)..... | 212 |
| Abbildung 151: Zielszenario 2040: Energieträgerverteilung Öffentliche Einrichtungen | 213 |
| Abbildung 152: Zielszenario 2040: Treibhausgasbilanz Sektor Wärme der Verbrauchergruppen | 214 |
| Abbildung 153: Zielszenario 2040: Energieträgerverteilung Heiz- und Prozesswärme alle Verbrauchergruppen im Jahr 2040..... | 215 |
| Abbildung 154: Zielszenario 2040: Energieträgerverteilung Fernwärme..... | 216 |
| Abbildung 155: Zielszenario 2040: Energieträgerverteilung Nahwärme..... | 217 |
| Abbildung 156: Voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete für das Zielszenario 2040..... | 221 |
| Abbildung 1: Übersicht zur Einteilung der Stadt in Cluster bezüglich der Ortsteilsteckbriefe | 322 |
| Abbildung 1: Organisationsstruktur der kommunalen Wärmeplanung innerhalb der Stadtverwaltung | 362 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 2: Grober Zeitplan der kommunalen Wärmeplanung bis 2040 | 364 |
| Abbildung 3: Akteure der kommunalen Wärmeplanung auf Grundlage der Akteursbeteiligung. | 365 |
| Abbildung 4: Managementsystem der kommunalen Wärmeplanung in Anlehnung an [1] ... | 366 |
| Abbildung 5: Erfolgsindikatoren der kommunalen Wärmeplanung und deren Datengrundlagen | 367 |
| Abbildung 6: Kommunikationsstrategie innerhalb der Stadtverwaltung zur Verstetigung der kommunalen Wärmeplanung | 369 |
| Abbildung 7: Ergebnis Akteursanalyse und Einteilung in Akteursgruppen für die kommunale Wärmeplanung nach [128, 129, 130] | 370 |
| Abbildung 8: Ebenen der Beteiligung und der zu involvierenden Akteursgruppen nach [5]. | 370 |
| Abbildung 9: Kommunikationsstrategie mit den für die Wärmewende wichtigen Akteuren.. | 371 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Tabelle 1: Prüfgebiete mit Nummerierung, Bezeichnung und Ergebnis der Eignungsprüfung..... | 6 |
| Tabelle 2: Erfüllungsoptionen 65%-Regelung nach GEG für dezentrale Heizungen..... | 9 |
| Tabelle 3: Datengrundlagen der Bestandsanalyse | 15 |
| Tabelle 4: Flächen nach Nutzungsart auf dem Stadtgebiet der Stadt Schwandorf [11]..... | 17 |
| Tabelle 5: Therm. und elektr. Leistungen und Energiemengen der Energieerzeugungsanlagen - Stand Ende 2023..... | 23 |
| Tabelle 6: Auflistung der Biogasanlagen | 24 |
| Tabelle 7: Gaserzeugungsleistung und eingespeiste Gasmenge der Biomethananlage | 25 |
| Tabelle 8: Auswertung Kaminkehrer-Daten Zentralheizungen | 27 |
| Tabelle 9: Auswertung Kaminkehrer-Daten Einzelraumfeuerstätten | 27 |
| Tabelle 10: Angenommene Leistung der Wärmeerzeugungsanlagen einzelner Energieträger | 39 |
| Tabelle 11: Thermischer Endenergieverbrauch des Bereichs Wohnen & Kleinverbraucher. Aufgeteilt auf Energieträger..... | 42 |
| Tabelle 12: Thermischer Endenergieverbrauch von Industrie & Großgewerbe Raumwärme und Warmwasser | 43 |
| Tabelle 13: Thermischer Endenergieverbrauch von Industrie & Großgewerbe Prozesswärme. | 44 |
| Tabelle 14: Thermischer Endenergieverbrauch der öffentlichen Einrichtungen. Aufgeteilt auf Energieträger | 45 |
| Tabelle 15: Auf die Stadt summierter thermischer Endenergieverbrauch. Aufgeteilt auf Energieträger für das Jahr 2023..... | 46 |
| Tabelle 16: Kennwerte der Energiebilanz Wärme..... | 47 |
| Tabelle 17: Auflistung der Großverbraucher zu Abbildung 33..... | 52 |
| Tabelle 18: Stromeinspeisung aufgeteilt auf Energieerzeuger | 56 |
| Tabelle 19: Stromverbrauch 2023 aufgeteilt auf Verbrauchergruppen | 57 |
| Tabelle 20: Kennwerte der Energiebilanz Stromverbrauch | 57 |
| Tabelle 21: Emissionsfaktoren mit CO ₂ -Äquivalenten der einzelnen Energieträger | 58 |
| Tabelle 22: Kennwerte der Treibhausgasbilanz..... | 60 |
| Tabelle 23: Datengrundlagen der Potenzialanalyse..... | 61 |
| Tabelle 24: Potenzial zur Energieeinsparung durch Wärmebedarfsreduktion | 65 |
| Tabelle 25: Energieeinsparung Prozesswärme (abgeschätzt anhand Fragebögen) | 66 |
| Tabelle 26: Potenzial Fernwärmenetz aufgrund von Sanierung Abnehmer..... | 67 |
| Tabelle 27: Potenzial Umweltwärme..... | 77 |
| Tabelle 28: Potenzial Wärme oberflächennaher Geothermie..... | 84 |
| Tabelle 29: Potenzial Solarthermie Freiflächen und Dachflächen | 87 |
| Tabelle 30: Potenzialanalyse Biogas | 90 |
| Tabelle 31: Potenziale Energieholz (ohne Abzug aktueller Verbrauch)..... | 91 |
| Tabelle 32: Potenzial Biomasse (Biogas und feste Biomasse) | 95 |
| Tabelle 33: Potenzial Klärschlammverbrennung..... | 96 |
| Tabelle 34: Potenzial Biogas aus Bioabfall Stadt Schwandorf | 96 |
| Tabelle 35: Potenzialanalyse Abwärme..... | 99 |
| Tabelle 36: Zusammenfassung Potenziale erneuerbarer Wärme | 104 |

| | |
|--|-----|
| Tabelle 37: THG-Emissionen erneuerbarer Wärme..... | 105 |
| Tabelle 38: Spitzenlastreduzierung Fernwärmenetz aufgrund Integration Wärmespeicher und Redundanz aufgrund Umbau MHKW | 107 |
| Tabelle 39: Potenzial elektrischer Ertrag Photovoltaik | 109 |
| Tabelle 40: Elektrisches Potenzial Windenergieanlagen..... | 110 |
| Tabelle 41: Elektrisches Potenzial KWK-Anlagen..... | 111 |
| Tabelle 42: Geschätzte Strom-Einspeisung des MHKW..... | 111 |
| Tabelle 43: Zusammenfassung Potenzial Strom..... | 112 |
| Tabelle 44: Vergleich erzeugter und verbrauchter Strommengen für 2040 in MWh/a | 115 |
| Tabelle 45: PtX Potenziale aus 300 GWh Stromüberschuss | 116 |
| Tabelle 46: Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz. | 120 |
| Tabelle 47:Gegenüberstellung Verbrauch und Potenzial der Sektoren Wärme und Strom . | 123 |
| Tabelle 48: Wärmebedarf und Anzahl Gebäude | 135 |
| Tabelle 49: Wärmebedarf und Anzahl Gebäude | 140 |
| Tabelle 50: Zentrale Annahmen Wirtschaftlichkeitsberechnung..... | 142 |
| Tabelle 51: Nachhaltigkeitsparameter zur Wärmenetzauslegung | 142 |
| Tabelle 52: Ergebnisse Simulation Wärmenetz Büchelkühn mit 100 % Anschlussquote | 144 |
| Tabelle 53: Wärmebedarf und Anzahl Gebäude | 148 |
| Tabelle 54: Zentrale Annahmen Wirtschaftlichkeitsberechnung..... | 150 |
| Tabelle 55: Nachhaltigkeitsparameter zur Wärmenetzauslegung | 151 |
| Tabelle 56: Ergebnisse Simulation Wärmenetz Fronberg V1 mit 80 % Anschlussquote | 152 |
| Tabelle 57: Wärmebedarf und Anzahl Gebäude | 155 |
| Tabelle 58: Ergebnisse Simulation Wärmenetz Fronberg V2 mit 80 % Anschlussquote | 158 |
| Tabelle 59: Vergleich Variante 1 und Variante 2..... | 161 |
| Tabelle 60: Entwicklung Wärmebedarf | 165 |
| Tabelle 61: Szenario ambitioniert: Gegenüberstellung Verbrauch 2040 und lokales Potenzial | 180 |
| Tabelle 62: Szenario ambitioniert: Gegenüberstellung Verbrauch 2040 und lokales Potenzial | 188 |
| Tabelle 63: Szenario Gas Hoch: Gegenüberstellung Verbrauch 2040 und lokales Potenzial | 196 |
| Tabelle 64: Szenario Gas Niedrig: Gegenüberstellung Verbrauch 2040 und lokales Potenzial | 206 |
| Tabelle 65: Vergleich Szenarien "ambitioniert" und "moderat" | 207 |
| Tabelle 66: Vergleich Szenarien "Gas Hoch" und "Gas Niedrig"..... | 208 |
| Tabelle 67: Zielszenario 2040: Gegenüberstellung Verbrauch 2040 und lokales Potenzial | 218 |
| Tabelle 68: Energiebedarfe nach Sektoren..... | 230 |
| Tabelle 69: Strombedarf nach Verwendung..... | 231 |
| Tabelle 70: Strompotenzial ohne Biogas | 231 |
| Tabelle 71: Varianten von EEGs [107, 109, 110, 111, 112, 113, 114]..... | 235 |
| <i>Tabelle 1: Umsetzungsmaßnahmen Stadt Schwandorf (derzeit noch in Bearbeitung)</i> | 245 |
| Tabelle 2: Legende Maßnahmenkatalog | 249 |

Teil A

2. Eignungsprüfung

Um Zeit und Kapazitäten zu sparen, wird der Bestands- und Potenzialanalyse eine Eignungsprüfung von Teilgebieten außerhalb der Kernstadt vorangestellt. Hierbei wird untersucht, ob eine leitungsgebundene Wärmeversorgung (mittels Wärme-, Biomethan- oder Wasserstoffnetz) anhand von ersten Abschätzungen der Bedarfe und Potenziale von vornherein ausgeschlossen werden kann. Gegebenenfalls wird für diese Gebiete eine verkürzte Wärmeplanung durchgeführt.

2.1. Ausgangslage

Zu Beginn wird der Ablauf der Eignungsprüfung aufgezeigt. Die Rolle des Energieträgers Wasserstoff wird diskutiert, die Prüfgebiete definiert und die Kriterien der Eignungsprüfung aufgelistet.

2.1.1. Vorgehen Eignungsprüfung

Um den aktuell in der Erstellung befindlichen kommunalen Wärmeplan der Stadt Schwandorf effizient und ressourcenschonend zu bearbeiten, wird zu Beginn der Planung die Gemeinde auf Teilgebiete geprüft, bei welchen eine Wärmeversorgung durch ein Wärme-, Biomethan- oder Wasserstoffnetz mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht in Frage kommt.

Die im Gesetzestext gelisteten Kriterien zur Eignungsprüfung sind in Kapitel 2.1.4 beschrieben. Falls für ein Teilgebiet eine leitungsgebundene Versorgung ausgeschlossen wird, kann eine verkürzte Wärmeplanung durchgeführt werden, außer es handelt sich um ein Gebiet mit erhöhtem Energieeinsparpotenzial. Dazu zählen Sanierungsgebiete (§136 Baugesetzbuch) und Gebiete mit einem hohen Anteil an Gebäuden mit einem hohen spezifischen Endenergieverbrauch für Raumwärme.

Spätestens alle fünf Jahre soll der Wärmeplan fortgeschrieben werden. Im Zuge der Fortschreibung werden die Teilgebiete erneut auf eine leitungsgebundene Wärmeversorgung überprüft.

Für Bürgerinnen und Bürger, die in einem Teilgebiet mit einer verkürzten Wärmeplanung wohnen, ist anzunehmen, dass sie sich in Zukunft eigenständig um die Einhaltung der 65 %-Regelung (§71 Absatz 1 Gebäudeenergiegesetz) kümmern müssen. Dennoch ist hervorzuheben, dass auch in diesen Gebieten Wärmenetze (insbesondere kalte Nahwärme) nicht komplett ausgeschlossen werden können und mit Gebäudenetzen eine weitere Möglichkeit zur einzelnen Wärmeversorgung jedes Gebäudes zur Verfügung steht.

2.1.2. Einordnung Rolle des Energieträgers Wasserstoff

Laut dem Antragsentwurf zu einem Wasserstoff-Kernnetz der Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas e.V. soll das zukünftige Wasserstoff-Kernnetz 2032 durch den Landkreis Schwandorf und durch das Gebiet der Stadt Schwandorf als ein Netzneubau verlaufen [1]. Ob eine Versorgung von privaten Haushalten zur Wärmebereitstellung möglich ist, lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht festsetzen, wird aber in der ersten Stufe des Markthochlaufs als

unwahrscheinlich eingestuft. In einem Rechtsgutachten der Rechtsanwälte Günther für das Umweltinstitut München wird dargelegt, dass eine Wärmeplanung, die bis Mitte 2026 bzw. 2028 fertiggestellt werden muss, bei der aktuellen Sachlage nicht von einer Geeignetheit der Wasserstoffplanung für die Wärmeversorgung von Haushalten ausgehen kann, wie im Folgenden genauer dargestellt wird [2].

Die Integration von Wasserstoffnetzen in die kommunale Wärmeplanung ist derzeit für den Bereich der Haushaltskunden nicht realistisch planbar. Es mangelt an verbindlichen Transformationsfahrplänen gemäß § 71k Gebäudeenergiegesetz, an klaren rechtlichen Rahmenbedingungen sowie an den notwendigen technischen Voraussetzungen für die Umrüstung bestehender Gasnetze. Eine belastbare und wirtschaftlich tragfähige Grundlage für den flächendeckenden Einsatz von Wasserstoff im Gebäudebereich ist somit aktuell nicht gegeben. Gemäß den geltenden gesetzlichen Vorgaben dürfen Wasserstoffnetze nur dann in der Wärmeplanung berücksichtigt werden, wenn der zuständige Netzbetreiber eine verbindliche Zusage über einen konkreten Transformationspfad vorlegt. Ohne eine solche Zusage besteht weder wirtschaftliche Planungssicherheit noch rechtliche Verlässlichkeit. Die Einplanung eines Wasserstoffnetzes ohne gesicherte Grundlage kann zu erheblichen Unsicherheiten für Gebäudeeigentümer führen – insbesondere, wenn ein ausgewiesenes Wasserstoffnetzgebiet später nicht umgesetzt oder nicht rückgängig gemacht werden kann. Für Kommunen bedeutet dies, dass sie Wasserstoff in ihrer Wärmeplanung ausschließen dürfen, sofern keine belastbaren und vertraglich abgesicherten Ausbaupläne des Netzbetreibers vorliegen. Eine Ausnahme besteht im Bereich der Industrie-Prozesswärme, die aufgrund spezifischer Anforderungen eine andere Bewertung erfährt. Laut einer Stellungnahme des örtlichen Gasverteilungsnetzbetreibers, der Bayernwerk Netz GmbH, sind die Weichen auf Ebene der Transportleitung für eine Wasserstoffversorgung gestellt, die Klärung der Rahmenbedingungen für das Anschlussnetz, d.h. die Verbindungsleitungen zu den Kunden, muss im nächsten Schritt erfolgen. Somit liegen im Fall von Schwandorf keine belastbaren und vertraglich abgesicherten Ausbaupläne des Netzbetreibers bezüglich Wasserstoffs vor.

Die Einführung sogenannter H₂-Ready-Gasheizungen im Gebäudebereich wird von Umweltverbänden wie der Deutschen Umwelthilfe (DUH), dem WWF, BUND und dem Umweltinstitut München kritisch bewertet. [3] Die zentrale Problematik liegt in der geringen Effizienz und der unrealistischen Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff für Haushaltsanwendungen. Im Vergleich zu elektrischen Wärmepumpen benötigen H₂-Gasheizungen ein Vielfaches an erneuerbarer Primärenergie – je nach Quelle rund 500 bis 600 % mehr. Damit schneiden sie sowohl ökologisch als auch ökonomisch deutlich schlechter ab. Zudem ist die Versorgung von Wohngebäuden mit grünem Wasserstoff – also CO₂-frei produziertem Wasserstoff – weder kurz- noch mittelfristig absehbar. Blauer Wasserstoff, der aus Erdgas gewonnen und mit CO₂-Abscheidung kombiniert wird, ist aufgrund hoher Energieverluste und unvermeidlicher CO₂-Leckagen nicht als klimaneutral einzustufen. Erst bei einer flächendeckenden Infrastrukturumrüstung und einer gesicherten Versorgung mit grünem Wasserstoff wäre der Einsatz solcher Heizsysteme überhaupt denkbar – ein Szenario, das derzeit nicht realistisch erscheint. Zudem kommt eine Bottom-Up Studie des Fraunhofer IEE für beispielhafte Kommunen von 23.000 bis 45.000 Einwohner zu dem Ergebnis, dass eine Versorgung der Haushalte mittels Wasserstoffs keine sinnvolle Variante ist [4].

Aus diesen Gründen wird in der aktuellen Wärmeplanung der Energieträger Wasserstoff für Gebäudeheizung als nicht sinnvoll betrachtet. Dies kann sich in Zukunft ändern und ist bei der

nächsten Fortschreibung des Wärmeplans zu berücksichtigen. Für die Industrie erfolgt im weiteren Planungsprozess eine separate Betrachtung.

2.1.3. Prüfgebiete

Die umliegenden bebauten Gebiete der Stadt Schwandorf werden in insgesamt 22 Teilgebiete eingeteilt. Tabelle 1 listet die Teilgebiete mit der zugeordneten Nummer und auf. In Abbildung 2 sind die Teilgebiete kartografisch abgebildet. Die Kernstadt von Schwandorf mit Kronstetten, Ettmansdorf, Krondorf und Fronberg werden aufgrund der Größe im Zuge der Eignungsprüfung nicht untersucht. Hier ist eine erweiterte Wärmeplanung festgeschrieben.

2.1.4. Einteilungskriterien

Das Wärmeplanungsgesetz gibt Kriterien zur Eignungsprüfung vor. Diese werden aufgenommen und ggf. durch weitere sinnvolle Kriterien erweitert. Im Folgenden werden die Kriterien zur Bewertung einer Wärmeversorgung mittels **Wärmenetz** aufgezählt:

- Art der Siedlungsstruktur
- Wärmenetz vorhanden bzw. Entfernung zum nächsten Wärmenetz
- Konkretes Abwärmepotenzial vorhanden
- Konkretes Potenzial Wärme aus Erneuerbaren Energien vorhanden
- Stromnetz Hoch- / Mittelspannung vorhanden
- Wärmeliniedichte anhand verfügbarer tatsächlicher Verbräuche und dem Wärmekataster des Kurzgutachten Bayern

Die Bewertung einer Wärmeversorgung mittels eines **Biomethan- oder Wasserstoffnetzes** erfolgt unter Berücksichtigung folgender Kriterien:

- Art der Siedlungsstruktur
- Stromnetz Hoch- / Mittelspannung vorhanden
- Gasnetz vorhanden bzw. Entfernung zum nächsten Gasnetz
- Konkrete Anhaltspunkte für eine dezentrale Erzeugung, Speicherung und Nutzung von Biomethan/Wasserstoff vorhanden
- Wärmeliniedichte anhand verfügbarer tatsächlicher Verbräuche und dem Wärmekataster des Kurzgutachten Bayern

Außerdem werden die Teilgebiete auf potenzielle städtebauliche Sanierungsmaßnahmen sowie auf einen hohen Anteil an Gebäuden mit hohem spezifischen Endenergieverbrauch für Raumwärme überprüft. Obwohl laut §14 Abs. 7 WPG nicht notwendig, wurde für die Stadt Schwandorf bereits zur Eignungsprüfung fundiertere Wärmebedarfs- und Verbrauchswerte aus der Bestandsanalyse (Verbrauchsdaten der Energieversorgungsunternehmen sowie Rückläufer von Fragebogen an die Bürgerinnen und Bürger) verwendet, was diesen Untersuchungen einen höheren Detailgrad verleiht.

Jedes Teilgebiet wird nach diesen Kriterien bewertet und mit einer Punktzahl von 0, 1.5 oder 3 versehen. Wenn z.B. in einem Gebiet ein Wärmenetz vorhanden ist, gibt es für die Kategorie „*Wärmenetz vorhanden bzw. Entfernung zum nächsten Wärmenetz*“ 3 Punkte. Das in unmittelbarer Nähe gelegene Gebiet ohne Wärmenetz erhält 1.5 Punkte. Gebiete fernab von Wärmenetzen erhalten keinen Punkt.

Alle einzelnen Kriterien der Wärmenetz- bzw. Biomethan-/Wasserstoffnetz-Bewertung werden gewichtet und erhalten am Ende eine Gesamtpunktzahl. Diese Gewichtung ist so ausgelegt, dass ein Gebiet höchstens 3 Punkte in einer Bewertung erlangen kann. Wenn z.B. ein Gebiet in der Kategorie Siedlungsstruktur 3 Punkte erhält und diese Kategorie mit einer Gewichtung von 10% in die Berechnung eingeht, bringt es dem Gebiet einen Wert von 0.3 in der Netz-Gesamtwertung. Die Bewertung von Wärmenetzen hat den Fokus auf eine bestehende Infrastruktur sowie konkrete ungenutzte Abwärmepotenziale. Die Bewertung von Biomethan-/Wasserstoffnetzen basiert vor allem auf bestehender Infrastruktur und konkreten Anhaltspunkten für eine dezentrale Erzeugung, Speicherung und Nutzung von Biomethan/Wasserstoff.

Wenn die Gesamtzahl eines Gebietes den Wert 2 überschreitet, ist eine Wahrscheinlichkeit einer Wärmeversorgung durch ein Wärme- oder Biomethan-/Wasserstoffnetz gegeben. Für Gebiete, die sich mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht für eine Wärmeversorgung durch ein Wärme- oder Biomethan-/Wasserstoffnetz eignen, findet eine verkürzte Wärmeplanung statt. Falls für ein Gebiet eine der drei möglichen leitungsgebundenen Wärmeversorgungsarten zutrifft, wird eine erweiterte Wärmeplanung durchgeführt.

Da sich in Schwandorf eine der drei Biogasanlagen des Naabtaler Grüngasrings befindet, welche jährlich rund 82 GWh Biomethan in das Gasnetz einspeist, wird das Potenzial zur Biomethanherzeugung als gegeben angesehen. Prüfgebiete mit vorhandenem Gasnetz werden daher keiner verkürzten Wärmeplanung unterzogen, da eine leitungsgebundene Wärmeversorgung auf Basis von Biomethan perspektivisch nicht ausgeschlossen ist.

Zudem sind die lokalen Gegebenheiten wichtig für die Bewertung im Rahmen der Eignungsprüfung. Neben den zwei genannten Kriterien „städtebauliche Sanierungsmaßnahmen“ (sind Sanierungsgebiete vorhanden?) sowie „hoher Anteil an Gebäuden mit hohem spezifischen Endenergieverbrauch für Raumwärme“ (hohe Wärmebelegungsdichte) können schon in Planung befindlichen Projekte (z.B. Bau eines Wärmenetzes) oder ein großes Interesse eines bestimmten Gebietes an ein solches Projekt zu einer erweiterten Wärmeplanung führen.

2.2. Auswertung Eignungsprüfung

2.2.1. Wärmeliniendichte und Potenziale

Anhand des Wärmekatasters des Kurzgutachtens Bayern, welche der Kommune vom Landesamt für Statistik Bayern übermittelt wurde, den tatsächlichen Gas- und Wärmeverbräuchen, zur Verfügung gestellt durch den Gas- und Wärmenetzbetreiber, sowie durch Fragebögen ermittelte Verbräuche von privaten Haushalten wird die Wärmeliniendichte (WLD) eines jeden Straßenzugs in den Prüfgebieten ermittelt. Dieser Wert gibt eine erste Einschätzung, ob ein Wärmenetz in Erwägung zu ziehen ist oder nicht. Dabei sind die Werte nicht als feste Grenzen zu betrachten, sondern lediglich Anhaltspunkte. Laut Leitfaden des Bundes für die kommunale Wärmeplanung [5] liegt eine Wärmenetzsignung in Bestandsgebiete ab einer WLD von 1.500 kWh/a/m vor. In der Praxis werden Nahwärmenetze auch unter 700 kWh/a/m gebaut. Daher kann ein Wärmenetz auch mit sehr geringen Wärmeliniendichten wirtschaftlich sein, wenn eine kostengünstige Energiequelle vorhanden ist. Andersherum ist in einem Gebiet mit hohem Bedarf ein Wärmenetz nicht automatisch wirtschaftlich, wenn keine kostengünstige Wärmequelle vorhanden ist.

Aus diesem Grund wird in der Eignungsprüfung nicht nur der Bedarf untersucht, sondern auch die konkreten Potenziale für ein Wärme-, Wasserstoff- oder Biomethanetz. Konkrete

Potenziale sind vor allem bestehende Biogasanlagen, bestehende oder konkret geplante Heizwerke oder ungenutzte Abwärme der Industrie bzw. der Kläranlage inklusive großen Abwasserkanälen. Bei bestehender Nutzung oder Stauung von Flusswasser ist ein Fließgewässer generell auch als Wärmequelle zu sehen. Da in Schwandorf Biomethan in das Gasnetz eingespeist wird, ist eine bestehende Gasinfrastruktur vorerst als konkretes Potenzial zu sehen. Abbildung 1 zeigt die Wärmelinien-dichte auf Baublockebene und die konkreten Potenziale auf.

Zudem sind Gebiete, in welchen ein Wärmenetz bereits vorhanden ist, weiter zu betrachten. Die bestehende Infrastruktur ist eine gute Ausgangslage das Wärmenetz möglicherweise zu erweitern, auch wenn das konkrete Potenzial bereits genutzt ist. So kann z.B. eine ausgelastete Biogasanlage mit einer Wärmepumpe kombiniert werden, um das Wärmenetz erweitern zu können.

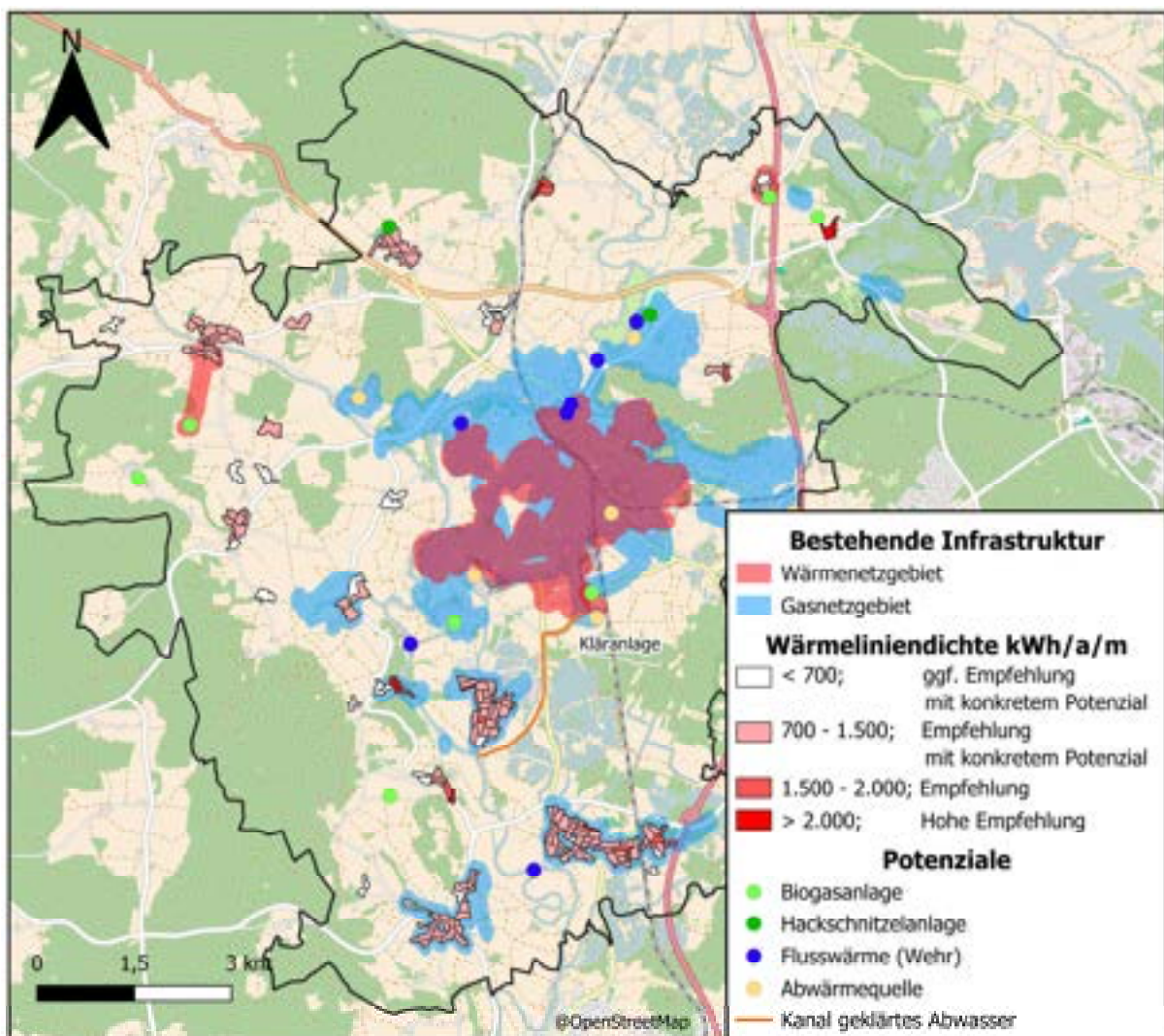


Abbildung 1: Wärmelinien-dichte auf Baublockebene, konkrete Potenziale und bestehende Infrastruktur

2.2.2. Ergebnisse Eignungsprüfung

Abbildung 2 zeigt das Ergebnis der Eignungsprüfung kartografisch auf. Alle blau dargestellten Gebiete werden einer verkürzten Wärmeplanung unterzogen. Für die grün gefärbten Teilgebiete wird eine erweiterte Wärmeplanung durchgeführt. Die Bezeichnungen der einzelnen

Prüfgebiete sowie die Ergebnisse der Eignungsprüfung mit Begründung sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Prüfgebiete mit Nummerierung, Bezeichnung und Ergebnis der Eignungsprüfung

| Nummer | Bezeichnung | Ergebnis | Begründung |
|--------|-------------------------------|-----------|--|
| 1 | Irlbach | Verkürzt | WLD 700 – 1.500, keine konkreten Potenziale |
| 2 | Dauching | Verkürzt | WLD < 700, keine konkreten Potenziale |
| 3 | Grain | Verkürzt | WLD 700 – 1.500, keine konkreten Potenziale → (Biogasanlage versorgt schon Haselbach) |
| 4 | Krumlengenfeld | Verkürzt | WLD < 700, keine konkreten Potenziale → (Biogasanlage versorgt schon Haselbach) |
| 5 | Krumbach | Verkürzt | WLD < 700, keine konkreten Potenziale → (Biogasanlage versorgt schon Haselbach) |
| 6 | Hartenricht | Verkürzt | WLD < 700, keine konkreten Potenziale |
| 7 | Spielberg | Verkürzt | WLD < 700, keine konkreten Potenziale |
| 8 | Neuried | Verkürzt | WLD < 700, keine konkreten Potenziale |
| 9 | Freihöls – Lindenlohe | Erweitert | WLD > 2.000 (Klinik), bestehendes Wärmenetz, hoher Bedarfs Klinikum, Potenziale: zwei Biogasanlagen, |
| 10 | Irlaching | Verkürzt | WLD 1.500 – 2.000, keine bestehende Infrastruktur, keine Abwärmepotenziale, kein konkretes Potenzial erneuerbarer Wärme |
| 11 | Kreith | Erweitert | WLD 700 – 1.500, Potenzial: Hackschnitzelanlage mögl. geplant |
| 12 | Richt | Verkürzt | WLD < 700, keine konkreten Potenziale |
| 13 | Prissath | Verkürzt | WLD 700 – 1.500, keine konkreten Potenziale |
| 14 | Haselbach | Erweitert | WLD 700 – 1.500, bestehendes Wärmenetz, Potenzial: Biogasanlage |
| 15 | Neukirchen | Erweitert | WLD 700 – 1.500, hoher Bedarf im Ortskern, Potenzial: Biogasanlage |
| 16 | Naabsiegenhofen | Verkürzt | WLD < 700, keine konkreten Potenziale |
| 17 | Gögglbach | Erweitert | WLD 700 – 1.500, bestehendes Gasnetz; Potenzial: Biomethan |
| 18 | Naabeck | Erweitert | WLD 700 – 1.500, bestehendes Gasnetz, hoher Bedarf (Brauerei) Potenzial: Biomethan |
| 19 | Büchelkühn | Erweitert | WLD 700 – 1.500, bestehendes Gasnetz; nahe Abwasserkanal, Potenzial: Biomethan, geklärtes Abwasser |
| 20 | Strießendorf – Wiefelsdorf | Erweitert | WLD 700 – 1.500, nahe bestehendes Gasnetz, Potenzial: Biomethan, Biogasanlage |
| 21 | Bubach a. d. Naab | Erweitert | WLD 700 – 1.500, bestehendes Gasnetz; Potenzial: Biomethan |
| 22 | Klardorf | Erweitert | WLD 700 – 1.500, |

| | | |
|--|--|---|
| | | bestehendes Gasnetz; nahe Abwasserkanal Potenzial: Biomethan, geklärtes Abwasser |
|--|--|---|

* Einzelne Gehöfte oder alleinstehende Wohnhäuser, die nicht dieser Liste zuzuordnen sind, werden nicht genauer betrachtet und unterliegen automatisch einer verkürzten Wärmeplanung.

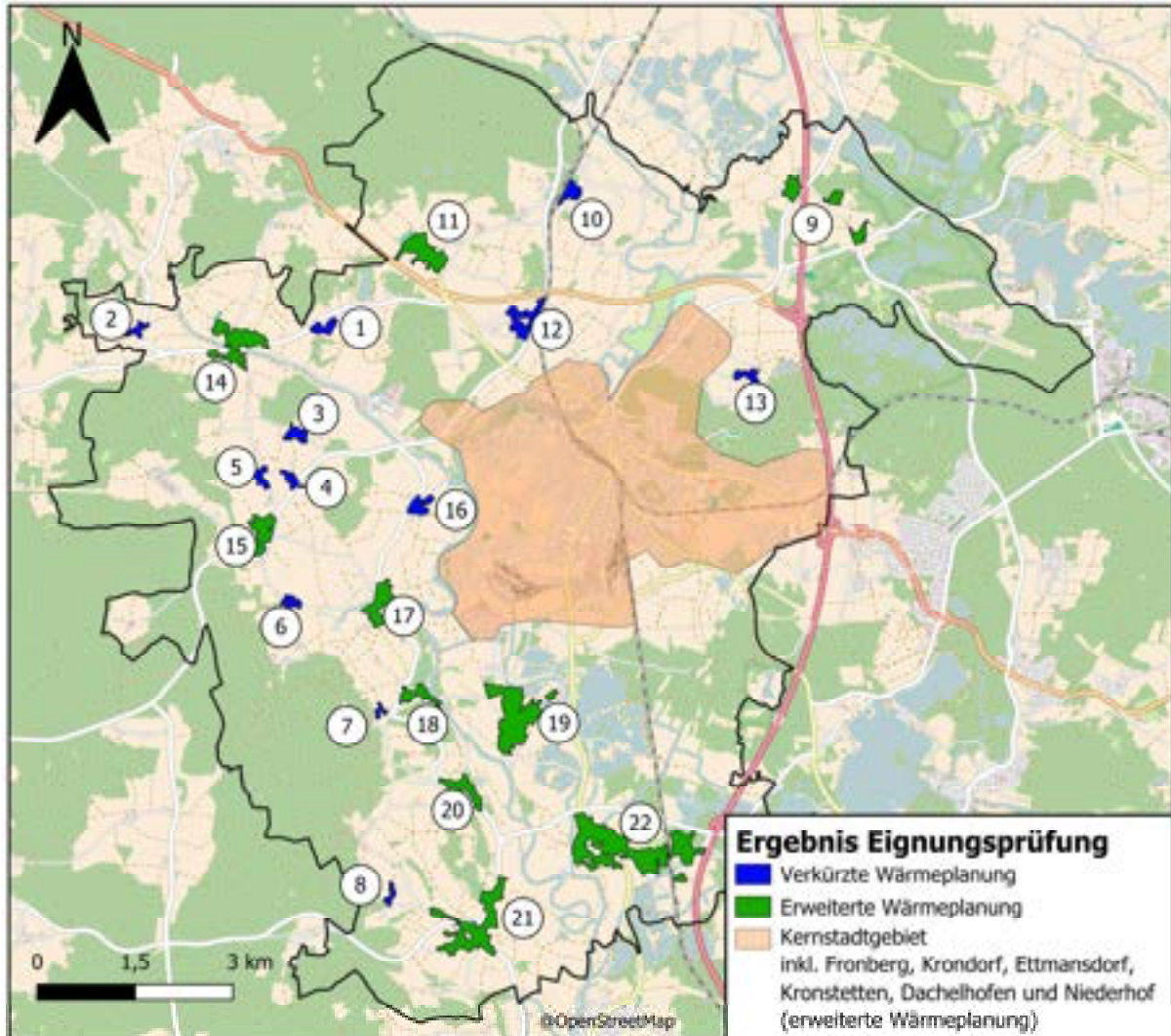


Abbildung 2: Ergebnis der Eignungsprüfung

Einige Gebiete fallen aufgrund einer niedrigen Wärmeliendichte (WLD) und des fehlenden konkreten Potenzials heraus. Gebiete mit einem Gasnetz werden als potenzielles Biomethan-gebiet weiter untersucht. Lindenlohe weist mit dem Klinikum einen hohen Bedarf sowie mit zwei Biogasanlagen ein konkretes Potenzial auf. In Haselbach sollte das bestehende Wärmenetz weiter untersucht werden. Kreith weist zwar einen geringen Bedarf auf, dennoch ist eine Hackschnitzelanlage zurzeit angedacht und sollte deswegen weiter betrachtet werden. Neukirchen hat einen hohen Wärmebedarf im Dorfkern und eine Biogasanlage in der Nähe. Göggelbach, Naabeck, Büchelkühn, Bubach a. d. Naab und Klardorf haben ein Gasnetz verbaut. Strießendorf/Wiefelsdorf liegt nahe dem Gasnetz und einer Biogasanlage. Daher sollten auch diese Gebiete weiter untersucht werden.

Sanierungsgebiete gibt es in der Altstadt von Schwandorf, aber nicht in den Prüfgebieten. Einen hohen Anteil an Raumwärme weist die Klinik in Lindenhohe sowie die Ortsteile Naabeck (Brauerei) und Neukirchen (Ortskern) auf.

2.3. Weiteres Vorgehen

2.3.1. Erweiterte Wärmeplanung

Für eine erweiterte kommunale Wärmeplanung ist eine detaillierte Bestands- und Potenzialanalyse vorgesehen. Die Wärmebedarfe sowie potenzielle Quellen von Wärme aus erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme werden ermittelt. Die Kommune wird in Wärmeversorgungsgebiete mit zentraler oder dezentraler Wärmeversorgung eingeteilt. Dadurch werden der Kommune Empfehlungen gegeben, in bestimmten Gebieten eine tiefgreifendere Analyse zu einer leitungsgebundenen Wärmeversorgung durchzuführen. Unter Berücksichtigung des Zieljahres 2040 wird schrittweise ein Fahrplan aufgezeigt, wie die Stadt Schwandorf klimaneutral werden kann. Weiterhin werden erste Umsetzungsmaßnahmen skizziert und zwei bis drei Fokusgebiete genauer untersucht und damit die nächsten Schritte für die Kommune nach Beendigung der Wärmeplanung aufgezeigt.

2.3.2. Verkürzte Wärmeplanung

Eine verkürzte Wärmeplanung beinhaltet keine detaillierte Bestands- und Potenzialanalyse. Das Teilgebiet wird als voraussichtliches Gebiet für eine dezentrale Wärmeversorgung eingeordnet. Es sind lediglich Potenziale zu ermitteln, die für eine dezentrale Wärmeversorgung in Betracht kommen. Bei der nächsten Fortschreibung des Wärmeplans wird erneut jedes Teilgebiet auf eine zentrale Wärmeversorgung untersucht. Gegebenenfalls haben sich ein oder mehrere Kriterien geändert, was dann auf ein anderes Ergebnis schließen lässt. Für Bürgerinnen und Bürger ist jedoch aktuell davon auszugehen, dass sich in Teilgebieten einer verkürzten Wärmeplanung eigenständig um die Einhaltung der 65 %-Regelung nach dem Gebäudeenergiegesetz gekümmert werden muss. Für diese Gebiete und betroffene Bürgerinnen und Bürger werden im nachfolgenden Kapitel die Möglichkeiten der zukünftigen dezentralen Wärmeversorgung sowie die Potenziale erneuerbarer Energien aufgezeigt.

Zu erwähnen ist, dass die Einordnung eines Teilgebietes als Gebiet mit verkürzter Wärmeplanung unter anderem auf Abschätzungen beruht. Das bedeutet, dass die Umsetzung eines Wärmenetzes auch bei verkürzter Wärmeplanung nicht kategorisch auszuschließen ist. Jedoch benötigt es für eine mögliche Umsetzung die Initiative und die Ambitionen der Hausbesitzerinnen und Hausbesitzer, ein Wärmenetz, möglicherweise im Rahmen einer Genossenschaft, zu errichten und zu betreiben.

2.4. Zukünftige Möglichkeiten dezentraler Wärmeversorgung (nicht leitungsgebunden)

Jedes Gebäude ist individuell und bedarf daher einer Einzelbetrachtung. Im Folgenden werden Möglichkeiten dezentraler Wärmeversorgung aufgezeigt, es handelt sich jedoch um eine generelle Nennung von Potenzialen und dient nur der ersten Einschätzung. Für tiefergehende Empfehlungen ist eine Energieberatung notwendig. Die Bürgerinnen und Bürger können sich hierzu direkt an einen Energieberater oder sich zunächst an die Verbraucherberatungsstelle der Stadt Schwandorf wenden, um eine Einstiegsberatung zu erhalten.

2.4.1. Energetische Sanierung

Grundsätzlich ist zu empfehlen, vor dem Heizungstausch eine Energieberatung durchführen zu lassen. Diese wird staatlich bezuschusst (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle [6]). Eine Energieberatung für ein Einfamilienhaus wird derzeit (Dezember 2024) mit 50 % (max. 650 €) gefördert (da Änderungen möglich sind, sollten die aktuell geltenden Förderbedingungen vor Beantragung geprüft werden). In den meisten Fällen wird eine (Teil-) Sanierung vor dem Austausch der Heizung vorgeschlagen.

2.4.2. Erfüllungsoptionen der 65%-Regelung nach GEG

Ab dem 01.07.2028 werden in Schwandorf (als Kommune mit weniger als 100.000 Einwohnerinnen und Einwohnern) die Regelungen der Gebäudeenergiegesetz-Novelle (GEG) vom 01.01.2024 in Kraft treten. Diese beinhaltet u.a. die 65 %-Regelung für neue Heizungen. Dies bedeutet, dass neu eingebaute Heizungen mindestens 65 % ihrer Wärme aus erneuerbaren Energien oder unvermeidbarer Abwärme bereitstellen müssen (§71 Absatz 1 GEG). Tabelle 2 listet die Erfüllungsoptionen für dezentrale Heizungen auf. Bei Unklarheiten zwecks der genauen eigenen Versorgungsoptionen sollte eine individuelle Beratung durchgeführt werden.

Tabelle 2: Erfüllungsoptionen 65%-Regelung nach GEG für dezentrale Heizungen

| Technologie | Anmerkung |
|----------------------------|---|
| Wärmepumpe | Bei vollständiger Deckung des Wärmebedarfs. Sole-Wasser, Wasser-Wasser, Luft-Wasser, Luft-Luft. |
| Stromdirektheizung | Sehr hohe Anforderung an baulichen Wärmeschutz. |
| Solarthermische Anlage | Deckungsanteil von 65 % in der Regel nicht möglich. Ergänzung von weiteren erneuerbaren Energien nötig. |
| Feste Biomasse | Aufgrund begrenzter Verfügbarkeit nur für bestimmte Anwendungsfälle zu empfehlen (siehe Kapitel 2.4.3). |
| Wärmepumpen-Hybridheizung | Wärmepumpe im Vorrangbetrieb. Fossile Spitzenlastherzeuger müssen Brennwertkessel sein. |
| Solarthermie-Hybridheizung | Mindestaperturfläche beachten. Anteil ergänzender Brennstoff mind. 60% Biomasse oder grüner oder blauer Wasserstoff. |
| Gas- und Ölheizung | Vor 01.07.2028 Einbau neuer Anlagen weiterhin erlaubt. Ab 2029 steigender Anteil an bereitgestellter Wärme aus Biomasse oder grünem oder blauem Wasserstoff notwendig. Beratungspflicht vor Einbau. |

Die oben stehenden Technologien erfüllen die Anforderungen der 65 %-Regelung des GEG automatisch (vereinfachtes Verfahren im Bestand). Dezentrale handbestückte Einzelfeuerungsanlagen können pauschal mit einem Wert von 10 % am Nutzwärmebedarf angerechnet werden. Kommt eine anderweitige Konstellation an Wärmeerzeugern zum Einsatz, ist der voraussichtliche Anteil erneuerbarer Energien zur Wärmebereitstellung durch Berechnung zu bestimmen. Hierbei wird softwarebasiert ein Modell des zu betrachtenden Gebäudes erstellt sowie ein Profil des Wärmebedarfs ermittelt. Dies ist von einer Fachkraft durchzuführen. Für die Nutzung von H2-ready Heizungen ist laut §71k GEG ein verbindlicher Fahrplan des Gasnetzbetreibers zur Umrüstung auf Wasserstoff notwendig. Dieser liegt in Schwandorf noch nicht vor (Stand 08/2025). Weitere Informationen sind auf der Internetseite der Bundesregierung zu finden [7].

2.4.3. Potenziale dezentrale Wärmeversorgung

Geothermie:

Erdwärme stellt ein großes Potenzial der zukünftigen Wärmeversorgung dar. Mittels einer Wärmepumpe können die relativ warme Temperaturen im Boden auf Raumheizungsniveau gebracht werden. Die höheren Temperaturen des Erdreiches gegenüber der Außenluft im Winter reduzieren die nötige Strommenge einer erdwärmebetriebenen Wärmepumpe gegenüber einer Luft-Wärmepumpe. Oberflächennahe Geothermie (bis 400 m Tiefe) kann auf drei verschiedene Arten genutzt werden. Erdwärmekollektoren werden flächendeckend direkt unter der Oberfläche eingebracht. Für Erdwärmesonden werden vertikale Bohrungen durchgeführt (50 – 300 m Tiefe). Bei Grundwasserwärmepumpen wird Grundwasser gefördert und ausgekühlt. Im Umwelt-Atlas des Bayerischen Landesamt für Umwelt [8] können für jedes Grundstück in der Stadt Schwandorf erste Informationen zur möglichen Nutzung von Geothermie gefunden werden (siehe Abbildung 3).

Ersteinschätzung für oberflächennahe Entzugssysteme am Standort

Erdwärmesonde:
nicht möglich



Erdwärmekollektor:
möglich



Grundwasserwärmepumpe:
möglich



Standortauskunft Erdwärmesonden



Schwandorf
UTM-Koordinaten (Zone 32):
Ostwert: 725.242
Nordwert: 5.472.266



Abbildung 3: Erste Informationen zur potenziellen Nutzung von Geothermie am Beispiel Irlaching [8]

Abbildung 4 zeigt welche Arten von oberflächennaher Geothermie in den jeweiligen Prüfgebieten mit dezentraler Wärmeversorgung laut Umwelt-Atlas möglich sind. Trinkwasserschutzgebiete führen meistens zum Ausschluss von Nutzung geothermischer Energie (sind jedoch immer im Einzelfall mit der zuständigen Wasserschutzbehörde abzuklären). Für den Großteil

des Stadtgebietes wird kein Potenzial für Erdwärmesonden ausgewiesen. Dies liegt laut dem Wasserwirtschaftsamt (WWA) Weiden an der Bodenbeschaffenheit in der Bodenwöhler Senke. Nach Anfrage verweist das WWA jedoch darauf, dass im Einzelfall Sonden genehmigungsfähig sind. Daher empfiehlt es sich, trotz negativer Aussage des Umwelt-Atlas, Sonden nicht komplett auszuschließen. Mit diesen Erkenntnissen werden die Aussagen des Umwelt-Atlas mit Hilfe von Farben in Abbildung 4 in Relation gesetzt. Grün markiert sind Potenziale, welche eine höhere Realisierungswahrscheinlichkeit haben. Gelb dargestellt sind Potenziale mit hohen Genehmigungshürden. Dennoch sind diese nicht grundsätzlich auszuschließen. Für Grundwasserwärmepumpen müssen gewisse hydrologische Gegebenheiten vorherrschen, weshalb diese Technologie nicht überall sinnvoll einsetzbar ist.

| Prüfgebiete | | Nutzungsmöglichkeiten oberflächennahe Geothermie | | |
|-------------|--------------------------------|--|-------------------|------------------------|
| Nummer | Bezeichnung | Erdwärmekollektoren | Erdwärmesonden | Grundwasserwärmepumpen |
| 1 | Irlbach | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Teilweise möglich |
| 2 | Dauching | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Teilweise möglich |
| 3 | Grain | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Nicht möglich |
| 4 | Krumlengenfeld | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Nicht möglich |
| 5 | Krumbach | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Teilweise möglich |
| 6 | Hartenricht | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Nicht möglich |
| 7 | Spielberg | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Nicht möglich |
| 8 | Neuried | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Nicht möglich |
| 9 | Freihöls - Lindenlohe | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Teilweise möglich |
| 10 | Irlaching | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Nutzung möglich |
| 11 | Kreith | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Nicht möglich |
| 12 | Richt | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Nicht möglich |
| 13 | Prissath (unter Fronberg) | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Nicht möglich |
| 14 | Haselbach | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Teilweise möglich |
| 15 | Neukirchen | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Nicht möglich |
| 16 | Naabsieghofen | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Nicht möglich |
| 17 | Göglbach | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Teilweise möglich |
| 18 | Naabeck | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Nicht möglich |
| 19 | Büchelkühn | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Nutzung möglich |
| 20 | Strießendorf - Wiefelsdorf | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Nicht möglich |
| 21 | Bubach an der Naab - Waltenhof | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Teilweise möglich |
| 22 | Klardorf | Nutzung möglich | Einzelfallprüfung | Teilweise möglich |

Abbildung 4: Nutzungsmöglichkeiten oberflächennaher Geothermie in den einzelnen Prüfgebieten

laut Umwelt-Atlas [8]

Umgebungsluft:

Außenluft stellt für dezentrale (als auch zentrale) Wärmeversorgungs-lösungen ein großes Potenzial dar. Aufgrund der natürlichen Zirkulation von Luft, ist dieses Potenzial theoretisch annähernd unbegrenzt. Daher geht es bei dieser Potenzialanalyse nicht um die Ermittlung einer konkreten Energiemenge, sondern um die Wahrscheinlichkeit der Eignung zur Nutzung einer Luftwärmepumpe.

Diese Analyse erfolgt auf Flurstücksebene. Hierbei wird untersucht, wie viel unbebaute Fläche auf einem Grundstück noch zur Verfügung steht, welches ungefähre Baualter das Gebäude hat und wie groß die Wohnfläche des zu versorgenden Gebäudes ist. Somit kann grob abgeschätzt werden, ob Mindestabstände aufgrund des Lärmschutzes eingehalten werden können. Je mehr unbebaute Fläche auf dem Flurstück verfügbar ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass der benötigte Abstand zur Verringerung der Schall-Immissionen zu den Wohngebäuden eingehalten werden kann. Des Weiteren verringert ein guter Gebäudestandard und ein niedriger Wärmebedarf die Schall-Emissionen aufgrund der geringeren benötigten Leistung. Dies wird

anhand der Baualterklassen und der Grundstücksfläche des Gebäudes abgeschätzt. Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen die Wahrscheinlichkeit zur potenziellen Nutzung einer dezentralen Luftwärmepumpe für die Wohnbebauung. Hierbei soll ein erster Anhaltspunkt geliefert werden, ob eine Luft-Wärmepumpe eine wirtschaftliche Option zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser ist, was ggf. in einer detaillierten Betrachtung (Energieberatung) eingeordnet werden muss.

In Abbildung 5 und Abbildung 6 werden lediglich Wohngebäude, Kleinverbraucher und öffentliche Einrichtungen betrachtet, da in Industrie- und Gewerbegebieten Schall-Immissionen ein kleinerer Faktor in der Genehmigung spielen. Auch in Gebieten mit geringer Wahrscheinlichkeit kann unter Umständen eine Luftwärmepumpe eine Option zur Wärmegewinnung sein. Aufgrund neuer Technologien und innovativer Lösungen wird das Einhalten des Schallschutzes eine immer geringere Herausforderung.

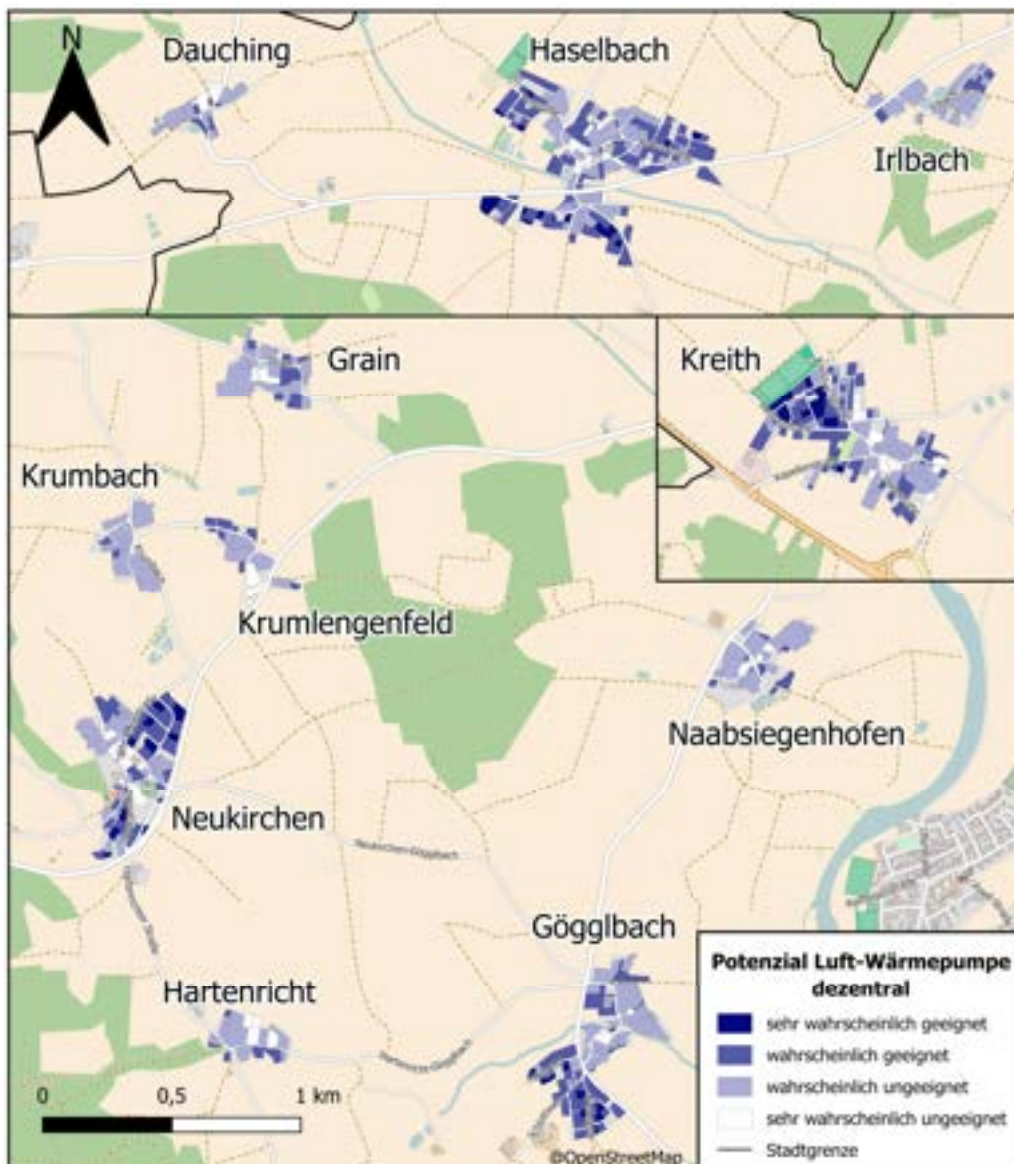


Abbildung 5: Dezentrales Potenzial Luft Wärmepumpe
Ortsteile Haselbach, Kreith, Neukirchen/Gögglbach

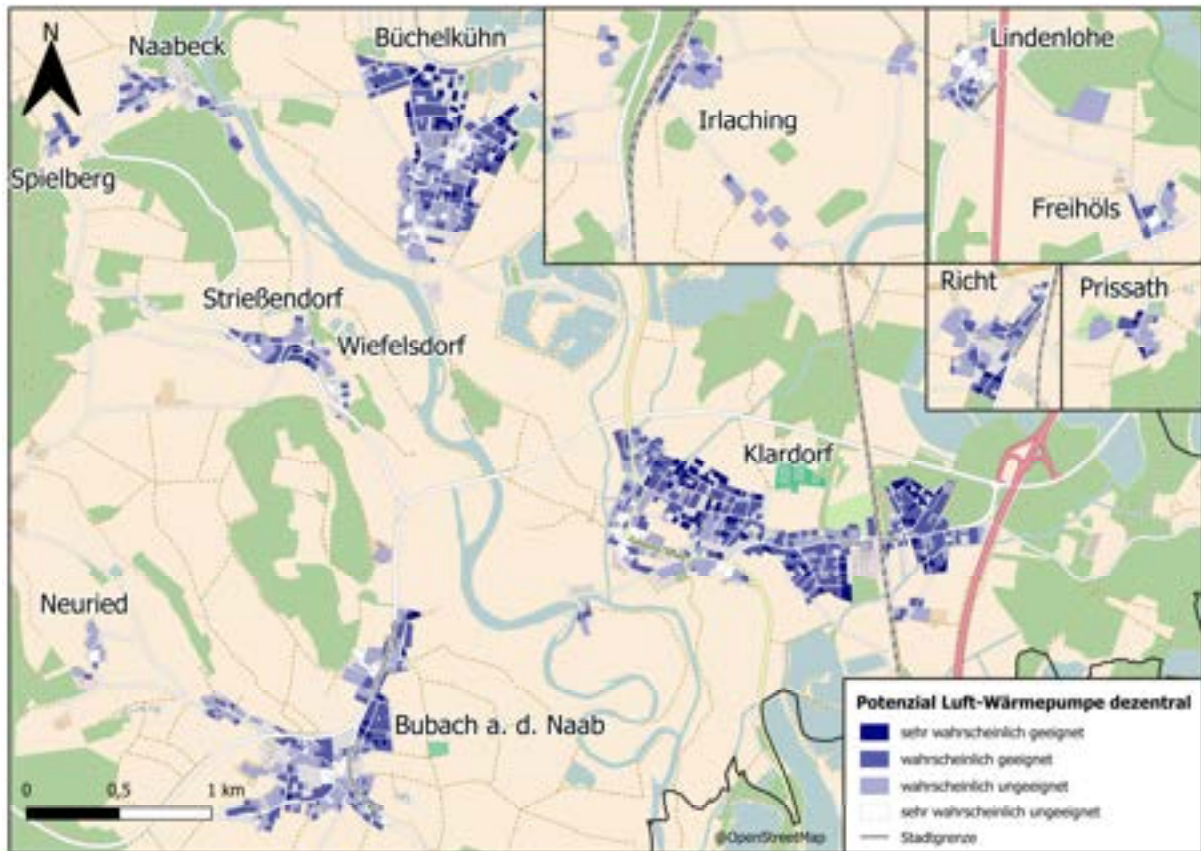


Abbildung 6: Dezentrales Potenzial Luft Wärmepumpe

Ortsteile Büchelkühn, Bubach a. d. Naab, Klardorf, Irlaching, Freiöhls/Lindenlohe, Richt, Prissath

Solarenergie:

Photovoltaik und Solarthermie können eine finanziell rentable Ergänzung zur Strom- und Wärmeversorgung sein. Laut dem Energie-Atlas Bayern werden zurzeit auf dem Gebiet der Stadt Schwandorf lediglich circa 12 % des Potenzials von PV-Anlagen auf Dachflächen genutzt [9]. Solarthermie kann sowohl zur Heizungsunterstützung als auch ausschließlich zur Warmwasserbereitung genutzt werden. Welcher Anteil die Solarthermie am Wärmebedarf jährlich decken kann, ist für jedes Gebäude individuell und bei der Auslegung des neuen Heizsystems zu betrachten.

Feste Biomasse:

Heizungsanlagen zur Nutzung fester Biomasse (Scheitholz, Hackschnitzel, Pellets) erfüllen die 65 %-Regelung des GEG, wenn sie der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen entsprechen. Allerdings ist es bei der Wärmebereitstellung auf Basis der Verbrennung von Biomasse grundsätzlich essenziell, die Ressource ausschließlich in nachwachsendem Ausmaß sowie durch regionalen Bezug zum Einsatz zu bringen. Als zur Verfügung stehendes Potenzial kann dabei der jährliche Aufwuchs innerhalb eines Umkreises von 50 km zur Kommune betrachtet werden. Für eine nachhaltige energetische Verwertung von Holz können fünf Grundregeln herangezogen werden:

- Vermeidung von Energieverbrauch (Dämmung)
- Verhältnismäßige Ertüchtigung bestehender Wärmeverteilungssystemen in Gebäuden (Vergrößerung von Heizkörpern im Bestand, Großflächige Wärmeübertragung im Neubau, Hydraulischer Abgleich)
- Grundsätzlich: Bevorzugung verbrennungsfreier Energieerzeugung
- Vorrang stofflicher Verwertung von Holz (falls möglich)
- Nutzung effizienter und emissionsarmer Anlagen für die Verbrennung von Holz

Werden diese Grundregeln beachtet und besteht aufgrund der Rahmenbedingungen vor Ort keine Möglichkeit auf eine verbrennungsfreie Wärmebereitstellung zurückzugreifen, kann der regionale Bezug von Waldresthölzern und Koppelprodukten des Holzverarbeitenden Gewerbes als nachhaltig betrachtet werden.

Die Technologie der Holzvergasung bietet die Möglichkeit die thermische Verwertung von Holz mit der Kraft-Wärme-Kopplung zu verbinden und so neben Wärme auch Strom bereitzustellen. Einen Nachteil dieser Technologie stellen die miteinhergehenden Anforderungen an den eingesetzten Brennstoff dar. Um einen stabilen parallelen Prozess der Verbrennung und Vergasung innerhalb des Reaktors sicherzustellen, sind durch den Brennstoff in jedem Fall gewisse Grenzwerte der Stückigkeit, des Feingutanteils, des Fremdanteils und des Wassergehalts einzuhalten. Diesen Anforderungen steht der Vorrang der stofflichen Verwertung qualitativ hochwertiger Hölzer gegenüber, welche auch als Ersatz für energieintensive Baustoffe und gleichzeitig als Kohlenstoffsенke dienen könnten. Noch schwerwiegender ist dieser Gegensatz bei der gezielten Holzernte für die Produktion von Holz-Pellets, an deren Ausgangsmaterial ebenfalls entsprechende Anforderungen gestellt werden. Des Weiteren ist beim Einsatz von Holzpellets vor dem Hintergrund zentralisierter Produktionsstätten der Aspekt des regionalen Bezugs in Frage zu stellen.

Das Potenzial an Biomasse für die Stadt Schwandorf wird in der Potenzialanalyse mit dem Bedarf aus der Bestandsanalyse gegenübergestellt. Dadurch kann eine Aussage getroffen werden, wie stark der Zuwachs an Biomasseheizungen bis 2040 sein darf, um eine nachhaltige Verwendung der Ressource Holz zu garantieren.

3. Bestandsanalyse

In der Bestandsanalyse werden die aktuelle Energieversorgung, die dazugehörige Infrastruktur und die bestehenden Energieerzeugungsanlagen untersucht. Zudem wird eine Treibhausgasbilanz für die Sektoren Wärme und Strom erstellt.

Hierzu wird das Bilanzjahr 2023 als Ist-Zustand der Energieinfrastruktur betrachtet sowie für die Energie- und Treibhausgasbilanz verwendet.

3.1. Datengrundlagen und Verbrauchergruppen

In diesem vorgelagerten Kapitel werden die Datengrundlagen der Bestandsanalyse sowie die Einteilung der Verbrauchergruppen dargestellt und genauer erläutert.

3.1.1. Datengrundlagen

Für die Bestandsanalyse der kommunalen Wärmeplanung sind Daten externer Akteure eine Grundvoraussetzung. In Tabelle 3 sind tabellarisch die Quellen der jeweiligen Daten für die verschiedenen Abschnitte der Bestandsanalyse aufgelistet.

Hervorzuheben sind hierbei die durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (kurz STMWI) und das Landesamt für Statistik bereitgestellten Daten "Kurzgutachten Bayern", die eine bayernweite vereinheitlichte Datengrundlage von Kaminkehrerdaten und Wärmekatastern ermöglichen sollen.

Tabelle 3: Datengrundlagen der Bestandsanalyse

| Kapitel | Datengrundlage |
|---|--|
| Gebäude- und Siedlungsstruktur | ALKIS, Große Kreisstadt Schwandorf, Bayern-Atlas, Zensus 2022, Kurzgutachten Bayern (STMWI) |
| Energieerzeugungsanlagen und Versorgungsnetze | Energie-Atlas Bayern, Marktstammdatenregister, lokale Akteure (städtische Wasser und Fernwärme-Versorgung; Bayernwerk Netz GmbH), Kurzgutachten Bayern (STMWI) |
| Energiebilanz Wärme | Energie-Atlas Bayern, Kheftbuchdaten der Großen Kreisstadt Schwandorf, Fragebogen Industrie & Großgewerbe sowie Bürgerinnen und Bürger, Große Kreisstadt Schwandorf, Bayernwerk Netz GmbH, Städtische Wasser- und Fernwärmeversorgung Schwandorf |
| Energiebilanz Strombezug | Große Kreisstadt Schwandorf, Bayernwerk Netz GmbH, Energie-Atlas Bayern, Marktstammdatenregister, Fragebogen Industrie & Großgewerbe sowie Bürgerinnen und Bürger |
| Treibhausgasbilanz Wärme und Strom | Leitfaden und Technikkatalog Wärmeplanung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Emissionsfaktoren aus weiteren Literaturquellen |
| Raumwärme- und Warmwasserbedarf auf Baublockebene | Kurzgutachten Bayern (STMWI), Fragebogen Industrie & Großgewerbe, Fragebogen Bürgerinnen und Bürger, Große Kreisstadt Schwandorf, Bedarfssimulation |

3.1.2. Verbrauchergruppen

Die Verbraucher auf dem Stadtgebiet werden im Zuge der Bestandsanalyse in drei Verbrauchergruppen eingeteilt:

- Wohnen & Kleinverbraucher
- Industrie & Großgewerbe
- Öffentliche Einrichtungen

Die tatsächlichen Verbrauchswerte für Strom und Gas werden in Großkunden und Jahreskunden aufgeteilt. Somit sind Industrie & Großgewerbe separat aufgelistet und lassen sich von privaten Haushalten und kleineren Gewerbebetrieben unterscheiden. Die möglichen Maßnahmen zur Dekarbonisierung des Wärmesektors sind bei Kleingewerbe und privaten Haushalten miteinander vergleichbar, da hier die Wärmeverbräuche in einer ähnlichen Größenordnung liegen und Prozesswärme keine Rolle spielt. Die Daten der Verbrauchergruppe Öffentliche Einrichtungen basieren auf den gebäudescharfen tatsächlichen, durch die Stadt übermittelten, Verbräuchen und lassen sich somit von den anderen beiden Verbrauchergruppen differenzieren. Die Abgrenzung dieser Verbrauchergruppe ist außerdem sinnvoll, da der Kommune bei eigenen Gebäuden und öffentlichen Verbrauchern andere Handlungsmöglichkeiten als den privaten Verbrauchern zur Verfügung stehen.

Definition „Öffentliche Einrichtungen“:

Unter Öffentlichen Einrichtungen werden nur Gebäude und Infrastruktur zusammengefasst, die sich im Eigentum der Kommune befinden. Gebäude, die zum Bund oder Landkreis gehören, werden der Industrie & dem Großgewerbe zugeordnet. Kirchliche Einrichtungen, Pflegeheime oder Sportstätten werden zu der Gruppe Wohnen & Kleinverbraucher gezählt. Die Verbandskläranlage wird den kommunalen Liegenschaften zugeschrieben, genauso wie der Stromverbrauch des städtischen Eigenbetriebs zu Wasser- und Stromversorgung. Die Klärschlamm-trocknungsanlage wurde als überregionale Infrastruktur Industrie & Großgewerbe zugeordnet.

3.2. Flächennutzung und Siedlungsstruktur

Im Zuge der kommunalen Wärmeplanung wird die Flächennutzung und die Siedlungsstruktur auf dem Stadtgebiet untersucht. Diese Daten sind unter anderem für die Potenzialanalyse von Bedeutung.

3.2.1. Flächennutzung

Durch Auswertung der von der Kommune zur Verfügung gestellten ALKIS-Daten [10] und des Flächennutzungsplans wird ein Überblick über die Flächennutzung auf dem Stadtgebiet geschaffen. Abbildung 7 zeigt kartografisch die Flächennutzung im Stadtgebiet.

Basierend auf den Daten von Statistik kommunal [11] nimmt die Landwirtschaft circa 42 % der Fläche ein. Etwa ein Drittel des Stadtgebietes ist mit Wald bedeckt. Der Rest der Fläche wird überwiegend für Siedlung und Verkehr genutzt. In Tabelle 4 sind die Flächen nach Nutzungsart in Hektar und prozentual zum gesamten Stadtgebiet aufgelistet. Die Fläche des Stadtgebietes ist mit rund 124 km^2 vergleichbar mit weit größeren Städten, wobei Teile des Gebiets (wie z. B. westlich der Naab) entsprechend der Einwohnerzahl dünn besiedelt sind.

Tabelle 4: Flächen nach Nutzungsart auf dem Stadtgebiet der Stadt Schwandorf [11]

| Nutzungsart | Fläche [ha] | Fläche [%] |
|------------------------------|---------------|--------------|
| Siedlungsfläche | 1.389 | 11,2 |
| Davon Wohnbau | 583 | 4,7 |
| Davon Industrie- und Gewerbe | 383 | 3,1 |
| Verkehr | 779 | 6,3 |
| Vegetation | 9.640 | 77,9 |
| Davon Landwirtschaft | 5.219 | 42,2 |
| Davon Wald | 3.938 | 31,8 |
| Gewässer | 573 | 4,6 |
| Gesamtes Gebiet | 12.380 | 100,0 |

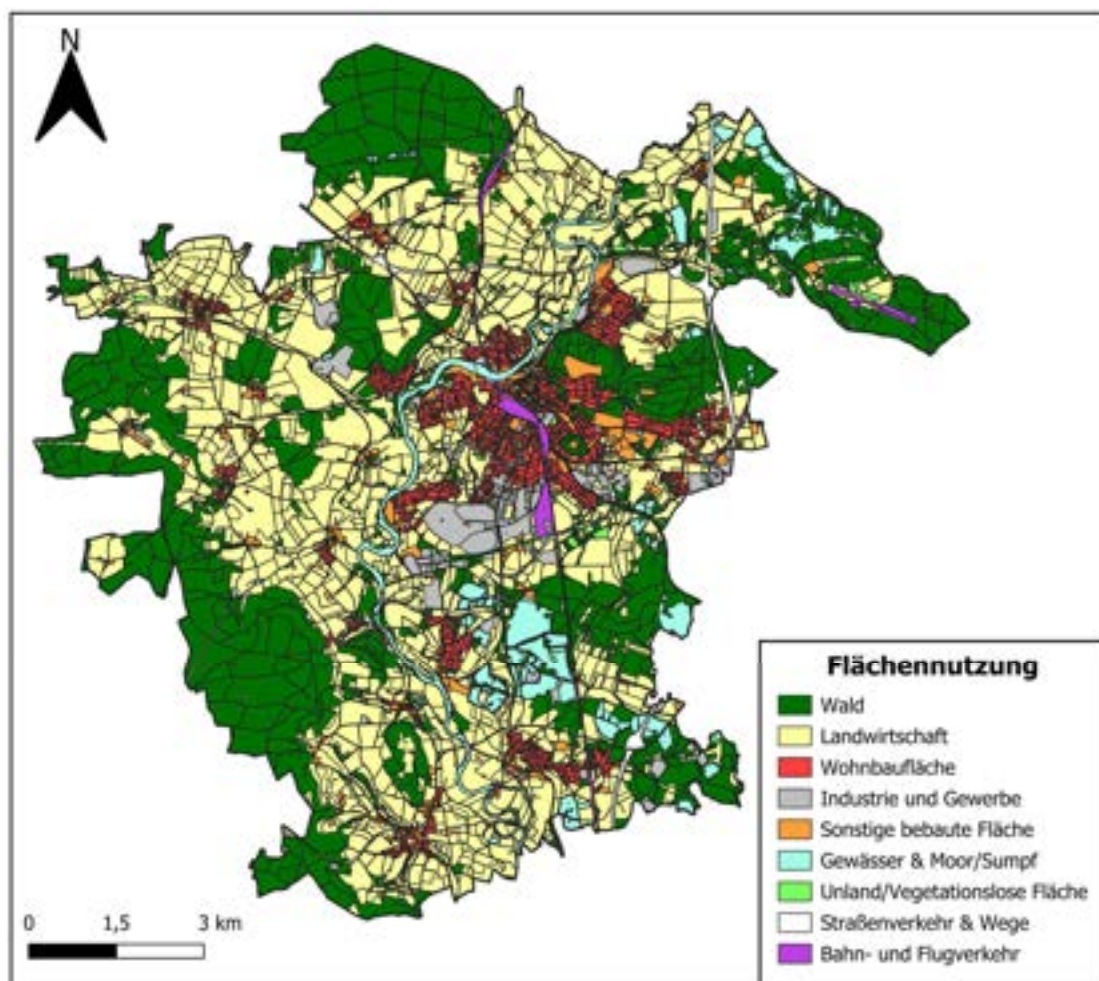


Abbildung 7: Flächennutzung auf dem Stadtgebiet Schwandorf

3.2.2. Siedlungsstruktur

Zur besseren Übersicht und um personenbezogene Daten zu schützen, wurde das bebaute Stadtgebiet in kleinere Baublöcke unterteilt. Die Grenzen der Blöcke folgen vor allem Straßen, Bahngleisen oder auch natürlichen Geländemerkmale wie Flüssen. Zudem wurden Flächen, in denen Gebäude derselben Bauperiode stehen und ähnliche Nutzungen haben, in einem Block zusammengefasst. In Industriegebieten oder in Gebieten mit heterogener Bebauung variieren die Blockgrößen deshalb etwas stärker.

Abbildung 8 zeigt das durchschnittliche Alter der einzelnen Baublöcke. Jeder Block wird entsprechend der dominierenden Baualtersklasse der darin stehenden Gebäude klassifiziert. Die zugrunde liegenden Daten stammen hauptsächlich aus dem Kurzgutachten Bayern und wurden mit dem Zeitreise-Tool des Bayern Atlas ergänzt. Ein Abgleich mit den der Bauordnung der Stadt vorliegenden Baugenehmigungen erwies sich aufgrund der damit verbundenen Ungenauigkeiten und Lücken als zu fehlerbehaftet.

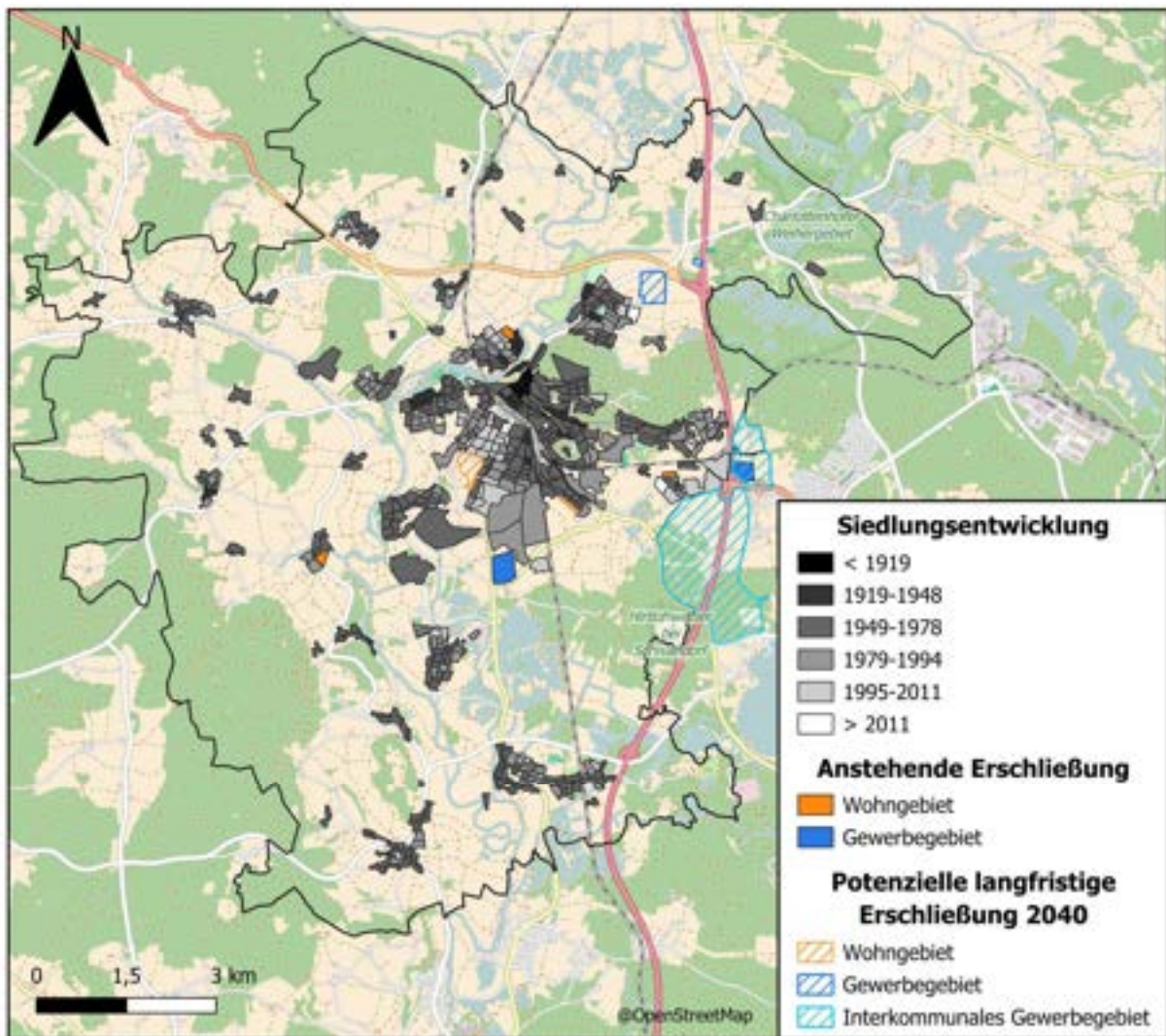


Abbildung 8: Siedlungsentwicklung der Stadt Schwandorf inklusive anstehender Erschließung und potenzieller Erschließung bis 2040 (letztere lediglich beispielhaft)

Deutlich wird, dass die meisten Baublöcke zwischen den 1950er und 1970er Jahren errichtet wurden. Neuere Wohngebiete finden sich vereinzelt, zum Beispiel das Egelseegebiet sowie in den Ortsteilen Fronberg, Klardorf, Büchelkühn und Niederhof. Neben der Siedlungsentwicklung der vergangenen Jahre sind auch anstehende Entwicklungen aus dem Bestands-Flächennutzungsplan (FNP) sowie vorläufige bei der FNP-Fortschreibung getätigte Abschätzungen der bis in das Jahr 2040 zu erwartende Entwicklung von Wohn- und Gewerbeflächen gekennzeichnet.

In Abbildung 9 sind die Baublöcke nach ihrer Hauptnutzung eingeteilt. Dabei wird unterschieden zwischen:

- **Wohngebiet** (vorwiegend privat genutzte Häuser oder Wohnungen)
- **Industrie & Gewerbe** (Fabriken, Werkstätten, Geschäfte, Dienstleistungsbetriebe, Landwirtschaft)
- **Öffentliche Gebäude** (Schulen, Kindergärten, Kirchen, Rathäuser, Krankenhäuser, Polizei usw.)
- **Mischgebiet** (Flächen, auf denen verschiedene Nutzungen eng beieinander liegen)

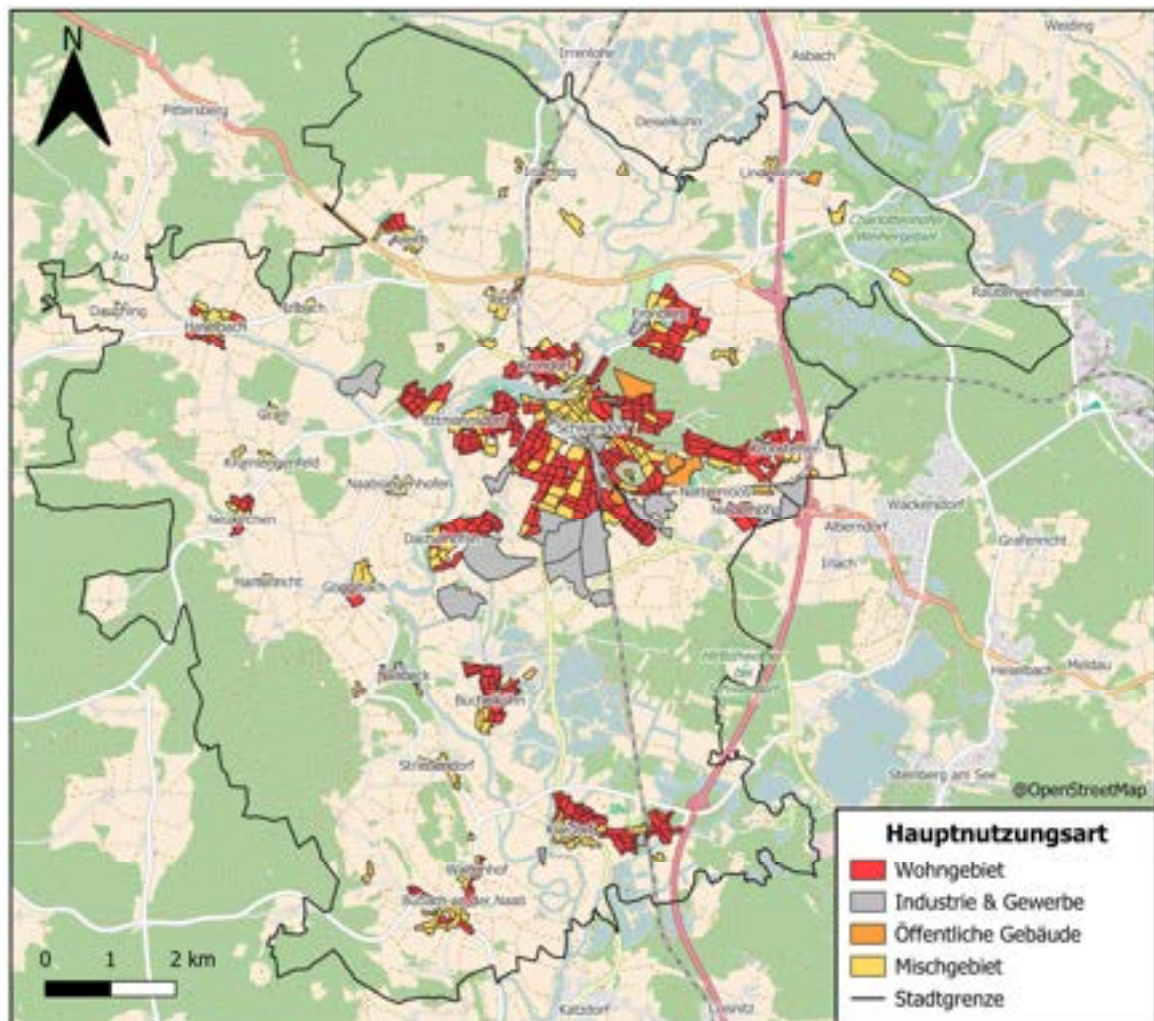


Abbildung 9: Baublöcke unterschieden nach Hauptnutzungsarten

Ein Mischgebiet liegt vor, wenn zum Beispiel im selben Block sowohl Wohnhäuser als auch kleinere Gewerbebetriebe oder öffentliche Einrichtungen stehen, ohne dass eine Nutzung eindeutig dominiert.

Reine Industriegebiete befinden sich vorwiegend im Süden der Stadt. Ansonsten bestehen die meisten Flächen aus Wohngebieten. Öffentliche Einrichtungen können sowohl in klar ausgewiesenen „Öffentliche“-Blöcken als auch in Mischgebieten zu finden sein.

Abbildung 10 zeigt, welche Gebäudetypen in den einzelnen Baublöcken überwiegen. Die Kategorien lauten:

- **EFH (Einfamilienhäuser)**
- **MFH (Mehrfamilienhäuser)**
- **Industrie** (Fabrikhallen, Produktionsstandorte)
- **GHD (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen)**
- **Sonstige** (hierunter fallen öffentliche Gebäude, da sie keinem einheitlichen Gebäudetyp entsprechen)

Wohngebiete wurden in „EFH“ und „MFH“ unterteilt, Industrie- und Gewerbeflächen in „Industrie“ und „GHD“. Öffentliche Gebäude sind in der Legende als „Sonstige“ zusammengefasst. In Mischgebieten wurde jeweils der jeweilige Gebäudetyp farblich markiert, der zahlenmäßig am meisten vertreten ist – meist sind das EFH, MFH oder GHD. Da in Mischgebieten jedoch unterschiedliche Bautypen oft ungefähr gleich stark vorkommen, lässt die Bezeichnung „überwiegend“ dort keine exakte Festlegung zu.

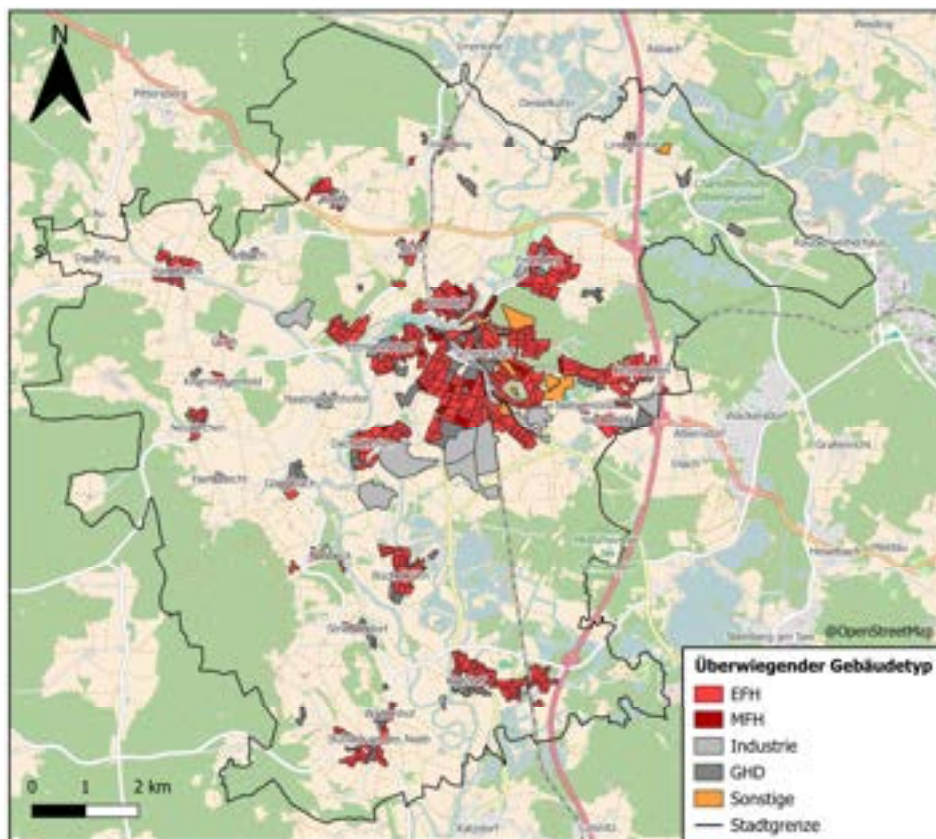


Abbildung 10: Baublöcke unterschieden nach überwiegendem Gebäudetyp

3.3. Energieerzeugungsanlagen und Versorgungsnetze

Die Potenzialanalyse und die darauf aufbauende Planung der zukünftigen Energieversorgung basiert auf einer genauen Beschreibung und Erfassung der Ist-Situation. Daher werden im folgenden Kapitel die auf dem Stadtgebiet bestehenden Energieerzeugungsanlagen und Energieinfrastruktur untersucht.

3.3.1. Energieerzeugungsanlagen

Die Bestandsanalyse zu Energieerzeugungsanlagen basiert auf den Daten des Marktstammdatenregisters [12], des Energie-Atlas-Bayern [13] sowie der Informationen der Bayernwerk Netz GmbH. Die größten Energieerzeugungsanlagen sowie PV-Anlagen ab 30 kWp, deren Standortdaten nicht vertraulich sind, sind in Abbildung 11 und Abbildung 12 eingezeichnet.

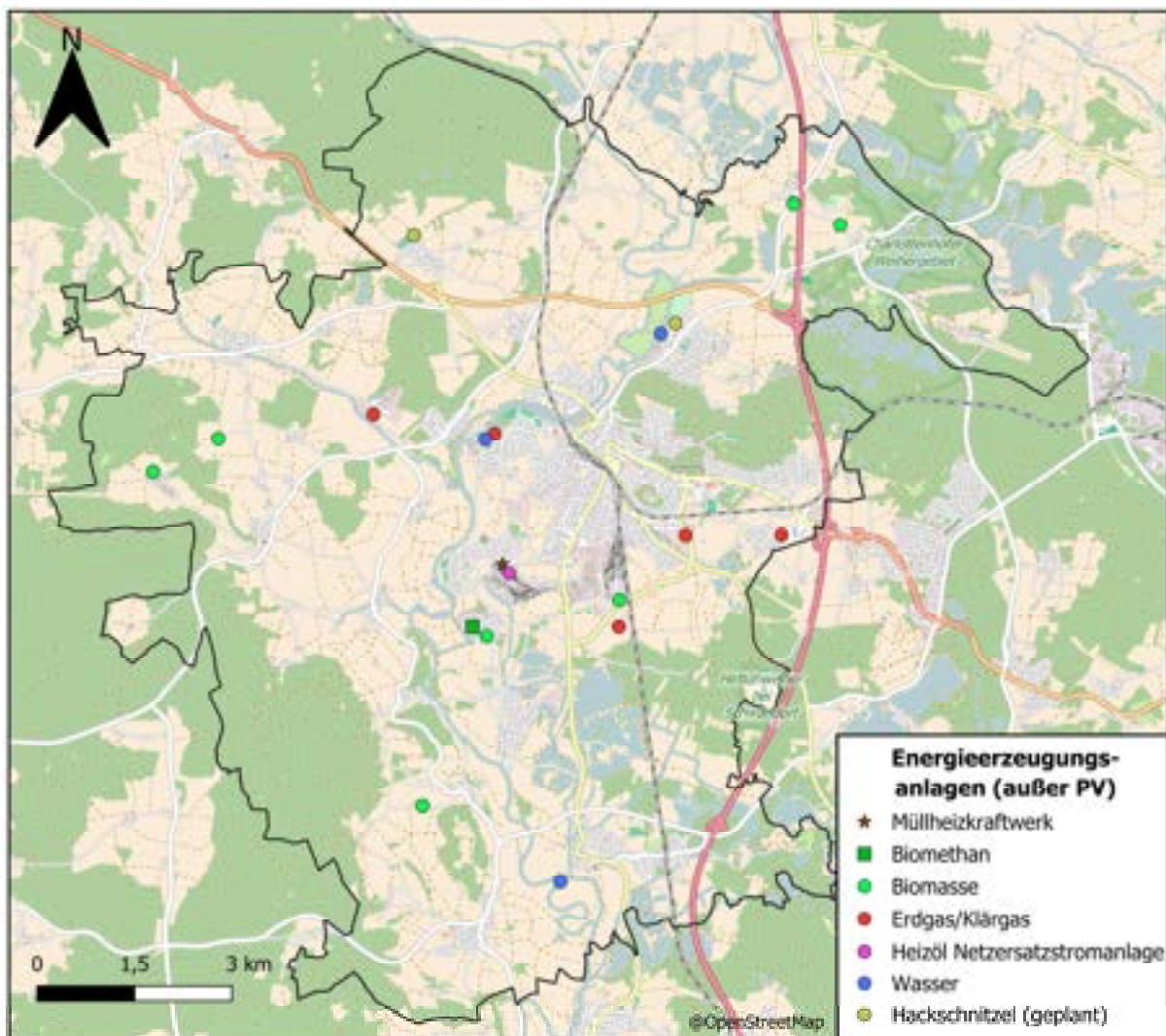


Abbildung 11: Standorte größerer Energieerzeugungsanlagen (außer PV) – Stand 15.04.2025

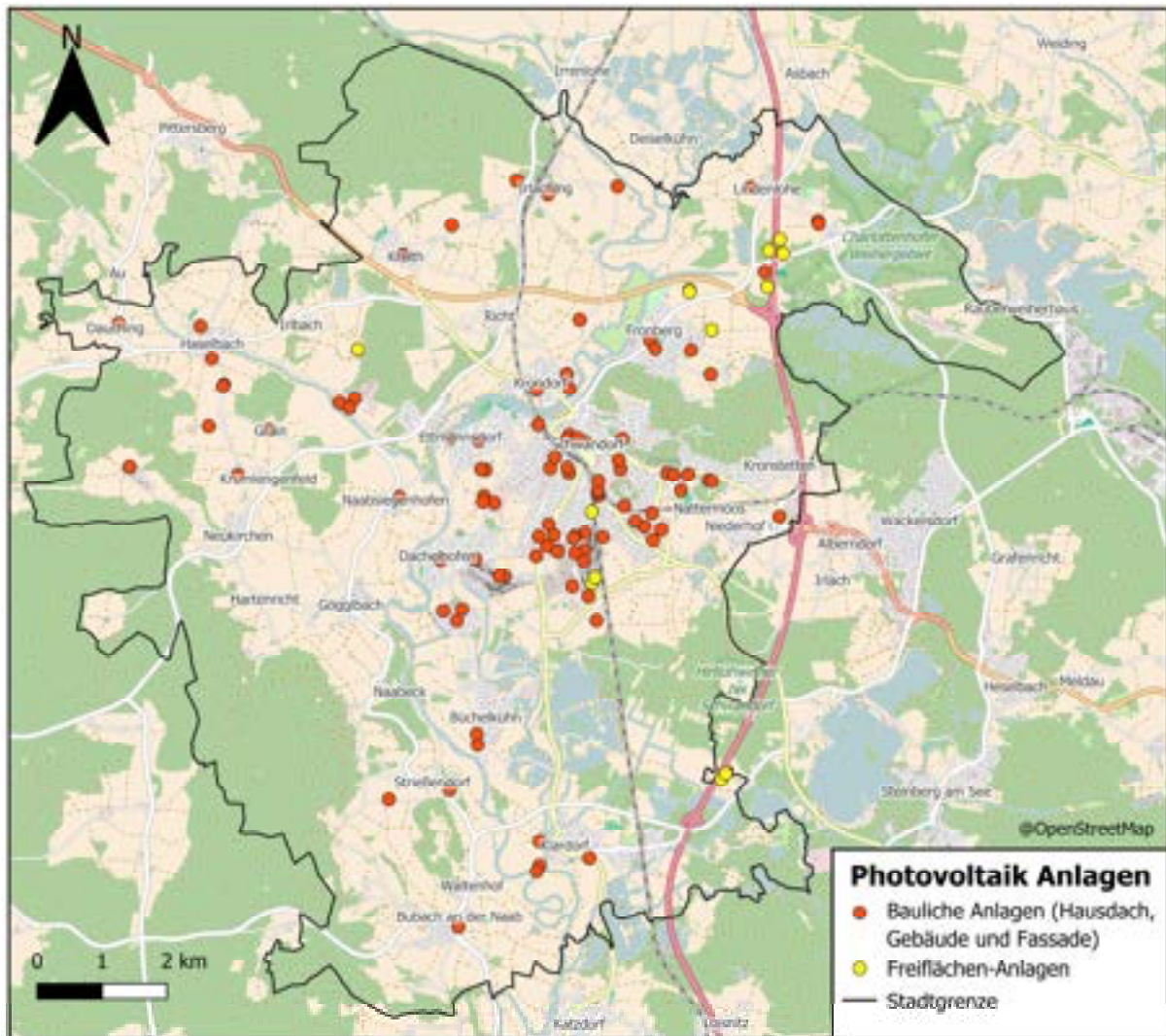


Abbildung 12: Standorte größerer PV-Anlagen – Stand 15.04.2025

Auf dem Stadtgebiet sind zum Ende des Bilanzjahres 2023 ca. 2.200 PV-Anlagen mit einer Gesamtleistung von 52,01 MW installiert. Etwa 36% der Leistung fallen dabei auf 10 Freiflächen-PV-Anlagen. Die restlichen 64% verteilen sich auf ca. 2.200 Aufdachanlagen auf Wohn- und Industriegebäuden und Balkonsolaranlagen, welche bis auf wenige Ausnahmen eine installierte Leistung pro Anlage von weniger als 100 kWp aufweisen. Es existieren 14 Biogas BHKWs, verteilt auf 7 Standorte, und eine Biomethananlage (in dunkelgrün hervorgehoben), welche in das vorhandene Gasnetz einspeist. Der Kern der städtischen Erzeugungsanlagen bildet das MHKW, welches Prozessdampf, Fernwärme und Strom bereitstellt. Es gibt insgesamt 31 fossile Blockheizkraftwerke mit einer gesamten elektrischen Leistung von 2,34 MW. Zudem sind drei kleinere Laufwasserkraftwerke auf dem Stadtgebiet vorhanden. Größere Elektrolyseure sind laut Fragebogenrückläufer nicht vorhanden oder geplant.

Tabelle 5 listet die thermische und elektrische Leistung sowie die jährlich erzeugte Wärme- und Strommengen aller Energieerzeugungsanlagen auf. Sofern vorhanden, wurden Leistungs- und Wärmemengen aus Fragebögen angegeben, ansonsten wurden die Leistungsangaben aus dem Marktstammdatenregister verwendet und daraus erzeugte Energiemengen berechnet.

Tabelle 5: Therm. und elektr. Leistungen und Energiemengen der Energieerzeugungsanlagen - Stand Ende 2023

| Erzeugungsart | Therm. Leistung [kW] | Erzeugte Wärme- menge [MWh/a] | Elektr. Leistung [kW] | Erzeugte Strom- menge [MWh/a] |
|-------------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| MHKW | 421.000 | 1.107.600 | 56.000 | 144.400 |
| An SWFS abgegeben | 36.000 | 85.200 | | |
| KWK-Anlagen (Fossil) | 1.240 | 6.700 | 740 | 4.000 |
| Biomasse (Biogas) | 5.460 | 21.200 | 5.318 | 21.400 |
| Bellstraße | 1.030 | 2.500 | 877 | 3.100 |
| Haarhof | 365 | 1.500 | 370 | 2.000 |
| Lindenlohe | 594 | 2.500 | 560 | 1.500 |
| Hammer | 1.324 | 5.600 | 1.250 | 4.200 |
| Siegenthan | 1.402 | 5.900 | 1.381 | 5.300 |
| Schmack | 745 | 3.200 | 780 | 4.700 |
| Freihöls | - | - | 100 | 600 |
| Photovoltaik | - | - | 52.000 | 49.400 |
| Wasserkraft | - | - | 790 | 3.900 |
| Klardorf | - | - | 390 | 1.900 |
| Fronberg | - | - | 80 | 400 |
| Ettmannsdorf | - | - | 320 | 1.600 |
| Stromspeicher | - | - | 4.630 | - |

Abbildung 13 und Abbildung 14 zeigen die aufgezählten elektrischen sowie thermischen Leistungen und Energiemengen je Energieträger noch einmal graphisch auf.

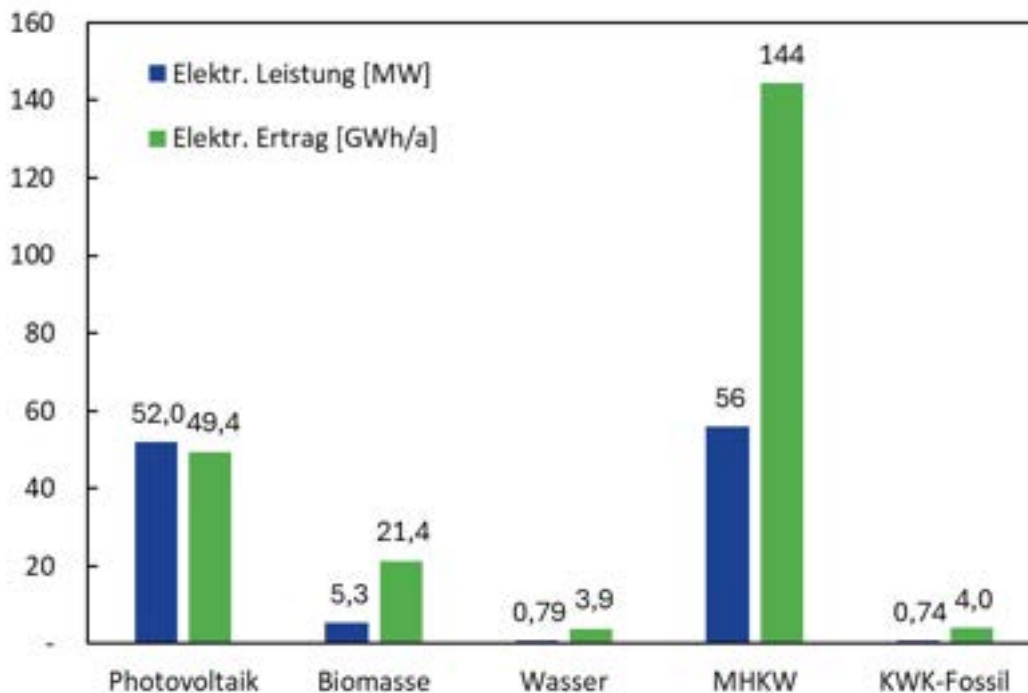


Abbildung 13: Elektrische Leistungen und Erträge von Energieerzeugungsanlagen – Stand Ende 2023

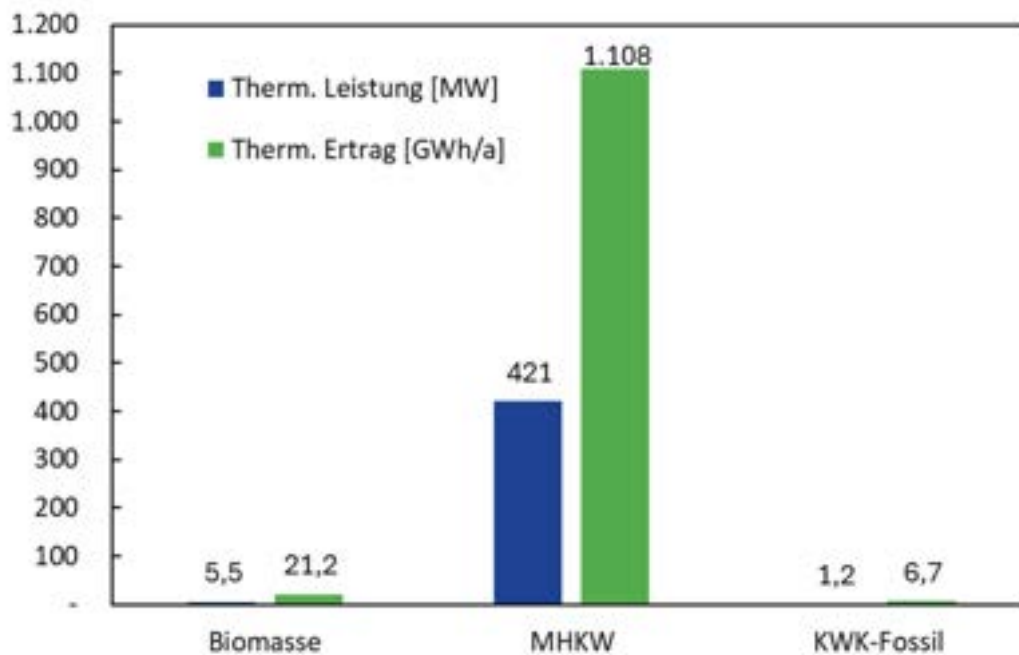


Abbildung 14: Thermische Leistungen und Erträge von Energieerzeugungsanlagen – Stand Ende 2023

Die in der Tabelle 5 beschreiben und in der Abbildung 13 dargestellten Strommengen stellen ausdrücklich die erzeugte Energiemenge dar, welche teilweise Eigenverbräuche beinhaltet (und bei PV-Anlagen auch Abregelung). Die angegebenen Strommengen entsprechen daher nicht den in das Stromnetz eingespeisten Mengen. In der Strombilanz in Kapitel 3.6 wird darauf noch einmal näher eingegangen.

Die Betriebsmodi der Biogasanlagen sind in Tabelle 6 aufgeführt. Gaserzeugungsleistung und erzeugte Gasmenge der vorhandenen Biomethananlage sind in Tabelle 7 aufgezählt.

Tabelle 6: Auflistung der Biogasanlagen

| Standort | Betriebsmodus [13] | Gasnetz in der Nähe? | Jahr der Inbetriebnahme |
|--------------------------|---|----------------------|-------------------------|
| Bellstraße | Strom + Wärme Wärmeabgabe an Kläranlage | Ja | 2006 |
| Haarhof | Strom + Wärme; Versorgt Nahwärmenetz in Haselbach (14 Abnehmer); Potenzial bereits ausgereizt | Nein | 2009 |
| Lindenlohe | Strom + Wärme Versorgt Nahwärmenetz in Lindenlohe | Ja | 2010 |
| Nahe Striessendorf | Strom + Wärme; Interesse an Wärmeabgabe | Ca. 1km entfernt | 2006 |
| Siegenthan | Strom + Wärme; Interesse an Biomethan-Einspeisung | Nein | 2007 |
| Gewerbegebiet Bayernwerk | Strom + Wärme | Ja | 2006 |
| Freihöls | Strom | Ja | 2018 |

Tabelle 7: Gaserzeugungsleistung und eingespeiste Gasmenge der Biomethananlage

| Erzeugungsart | Gaserzeugungsleistung [MW] | Erzeugte Gasmenge [MWh/a] |
|-----------------|----------------------------|---------------------------|
| Biomethananlage | 11,65 | 82.000 |

Müllheizkraftwerk-KWK (betriebliche und technische Grundlagen):

Das 1982 in Betrieb genommene MHKW stellt durch die Verbrennung des anfallenden Abfalls Prozessdampf für naheliegende Industrie und die Klärschlamm Trocknungsanlage sowie Wärme für das Fernwärmenetz der Stadt bereit. Nach der vorrangigen Abgabe von Prozessdampf und Fernwärme wird der verbleibende Dampfüberschuss mittels dreier Dampfturbinen und Generatoren verstromt. Der Biomasseanteil des verbrannten Abfalls beläuft sich im mehrjährigen Mittel auf 52 %.

Obwohl das MHKW durchgängig zu 100 % ausgelastet ist, können die angegebenen Erzeugungsmengen für Strom durch fluktuierende Abnahme von Prozessdampf und Fernwärme und planmäßige Revisionen / Wartungen über das Jahr hinweg stark variieren. Übers Jahr gesehen liegt der Anteil an abgegebenem Prozessdampf von der Gesamtwärmemenge im Schnitt bei ungefähr 28 %, ca. 18 % werden als Eigenbedarf benötigt und rund 6 % der Wärme werden an das Wärmenetz abgetreten. Die restlichen 45 % werden über drei Generatoren in Strom umgewandelt. Eine saisonale Verschiebung der Abfallmengen von Sommer zu Winter ist aufgrund der bereits zu 100 % vorherrschenden Auslastung nicht möglich.

Bis 2031 ist wegen des Austausches der Ofenanlagen durch das Triphönix-Programm mit verringerter Kapazität zu rechnen. So wird zeitweise ein Rückgang der täglich verwertbaren Abfallmengen von 1.500 t auf 950 t pro Tag erwartet [14]. Bis 2028 ist eine Reduzierung der jährlich verwertbaren Abfallmenge von 450.000 t auf 240.000 t pro Jahr eingeplant, zwischen 2028 und 2031 eine Reduzierung auf 360.000 t pro Jahr. Die in Abbildung 13 dargestellte erzeugte Strommenge für 2023 bildet daher nicht die Erzeugung unter „normalen Umständen“ ab.

Nach Beendigung des Triphönix-Programmes 2031 kann wieder mit einer vollen Auslastung von 460.000 t pro Jahr kalkuliert werden. Der Umbau erhöht nicht die tägliche umsetzbare Abfallmenge, da diese durch die Anlieferung und die Kräne im Müllbunker gesteuert wird. Durch den Umbau und die damit einhergehenden verringerten Wartungs- und Revisionsarbeiten soll jedoch die Jahreskapazität etwas gesteigert werden können.

Die maximale thermische Auskoppelleistung an das Fernwärmenetz von 36 MW wird sich ebenso nicht durch die Umbaumaßnahmen des Triphönix-Programms verändern.

3.3.2. Analyse dezentraler Wärmeerzeuger

Zur Analyse der dezentralen Wärmeerzeuger werden die Kaminkehrer-Daten, welche durch das Bayerische Landesamt für Statistik bereitgestellt werden, ausgewertet. Es sind alle Heizungen kleiner 100 kW Nennleistung dargestellt, um große industrielle Anlagen zur Prozesswärmebereitstellung auszuklammern. Dennoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass kleinere industrielle Anlagen weiterhin enthalten sind. Daher weichen diese Leistungen von den für die Energiebilanz der Verbrauchergruppe Haushalte & Kleingewerbe angenommenen Werte ab. Für eine bessere Vergleichbarkeit in Bezug auf die Fortschreibungen des Wärmeplans werden hier die Rohdaten der Kkehrbuchdaten betrachtet. Zusätzlich werden die

Nahwärmeanschlüsse und die Anzahl der Wärmepumpen mitbetrachtet. Abbildung 15 zeigt graphisch die relative Anzahl der dezentralen Zentralheizungen aufgeteilt nach Energieträger inklusive der Übergabestationen des Wärmenetzes in Schwandorf auf. Die absoluten Werte sind in Tabelle 8 dargestellt. Circa die Hälfte der Anlagen ist gasbefeuert. Tabelle 9 zeigt ergänzend die absoluten Werte der Einzelraumfeuerstätten. Hier überwiegt der Energieträger der festen Biomasse insbesondere Scheitholzöfen. Die Datengrundlage der Kkehrbuchdaten lässt lediglich eine Abschätzung des durchschnittlichen Alters über alle dezentralen Wärmeerzeugeranlagen zu. Das durchschnittliche Alter einer dezentralen Wärmeerzeugeranlage in Schwandorf beträgt 22,9 Jahre. Damit sollte ein Großteil der Heizungen in den nächsten 10 – 15 Jahren getauscht werden müssen, wobei einzelne Ausreißer hier mitbetrachtet sind. Somit ist diese Einschätzung mit Vorsicht zu genießen und keine eindeutige Aussage zum Heizungstausch in den nächsten 5 Jahren kann getroffen werden. Da von den Nahwärmenetzbetreibern keine detaillierten Angaben zur Abnehmerzahl und abgegebenen Leistung übermittelt wurde, sind hierfür Schätzungen angegeben.

Zusätzlich zu den Kkehrbuchdaten werden die Ergebnisse des Zensus 2022 ausgewertet. Ein Vergleich der Zentralheizungen nach Energieträgern ist aufgrund der abweichenden Datengrundlage des Zensus nicht möglich. Die Gesamtzahl der Zentralheizungen weicht im Zensus im Vergleich zu den Kaminkehrer-Daten um ca. -14 % ab. Somit sind im Zensus weniger Zentralheizungen angegeben als aus den Kaminkehrerdaten abzuleiten sind.

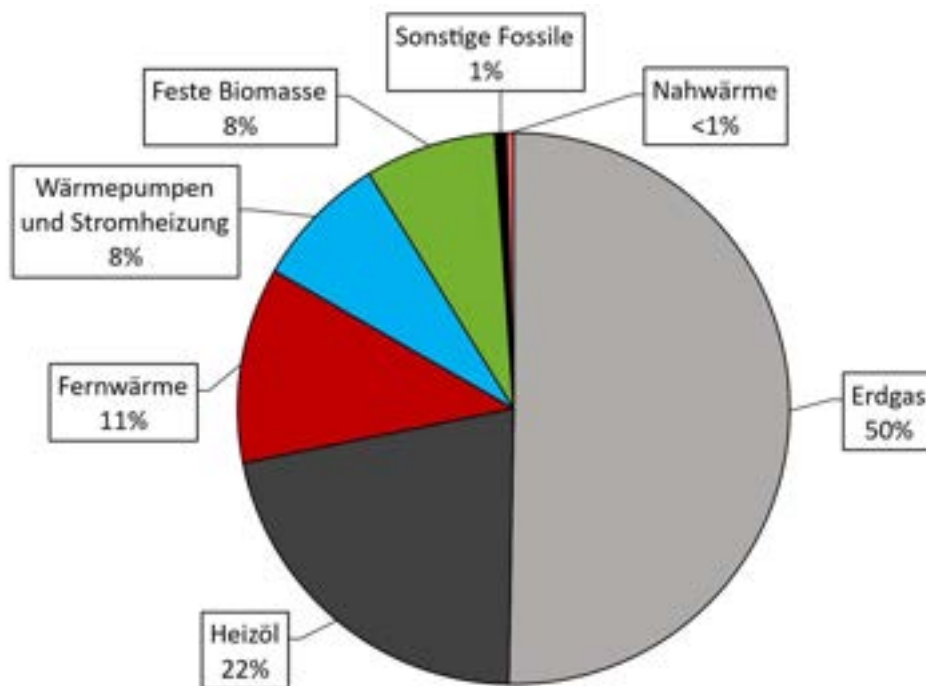


Abbildung 15: Auswertung Kaminkehrer-Daten Zentralheizungen.

Relative Anzahl der Zentralheizungen aus den Kaminkehrerdaten 2022.

Tabelle 8: Auswertung Kaminkehrer-Daten Zentralheizungen

| Energieträger | Anzahl Anlagen | Mittlere Leistung [kW] |
|--------------------------------|----------------|------------------------|
| Erdgas (inkl. Etagenheizungen) | 4.537 | 24,8 |
| Heizöl | 1.944 | 29,1 |
| Feste Biomasse | 694 | 29,1 |
| Sonstige Fossile | 61 | 23,7 |
| Fernwärme | 1.036 | 54,76 |
| Nahwärme | Ca. 37 | Keine Angaben |
| Wärmepumpen und Stromheizungen | 713 | 10,58 |
| Gesamt | 9.072 | |

Tabelle 9: Auswertung Kaminkehrer-Daten Einzelraumfeuerstätten

| Energieträger | Anzahl Anlagen | Mittlere Leistung [kW] |
|-------------------|----------------|------------------------|
| Scheitholz | 5.611 | 8,2 |
| Pellets | 313 | 9,2 |
| Hackschnitzel | - | - |
| Sonstige Biomasse | 6 | 7,5 |
| Kohle | 23 | 6,8 |
| Gesamt | 5.953 | |

Abbildung 16, Abbildung 17 und Abbildung 18 zeigen für die einzelnen Stadtgebiete die Kaminkehrer-Daten aufgeteilt in die jeweiligen Baublöcke. Hierbei handelt es sich um den Anteil der Energieträger an der Anzahl an Wärmeerzeugern im Baublock. Aufgrund der geringen Datenqualität der Ausgangsdaten kann die Leistung hier nicht dargestellt werden. Auch sind hier Einzelraumheizungen, wie Kaminöfen, mit betrachtet, welche die hohe Zahl an fester Biomasse in den Randgebieten der Stadt und den außerhalb liegenden Dörfern erklärt und die Statistik etwas verzerren. Da die Kaminkehrer-Daten lediglich straßenzugsweise vorhanden sind, hat die Graphik eine gewisse Ungenauigkeit. Dennoch lässt sich die Heizstruktur, sowie der Versorgungsbereich der Fernwärme der Stadt Schwandorf erkennen.

Zu sehen sind neben dem großen Fernwärmenetz der Stadt außerdem kleiner Wärmenetze in Haselbach und Lindenlohe, welche ihre Wärme durch anliegende Biogasanlagen erhalten.

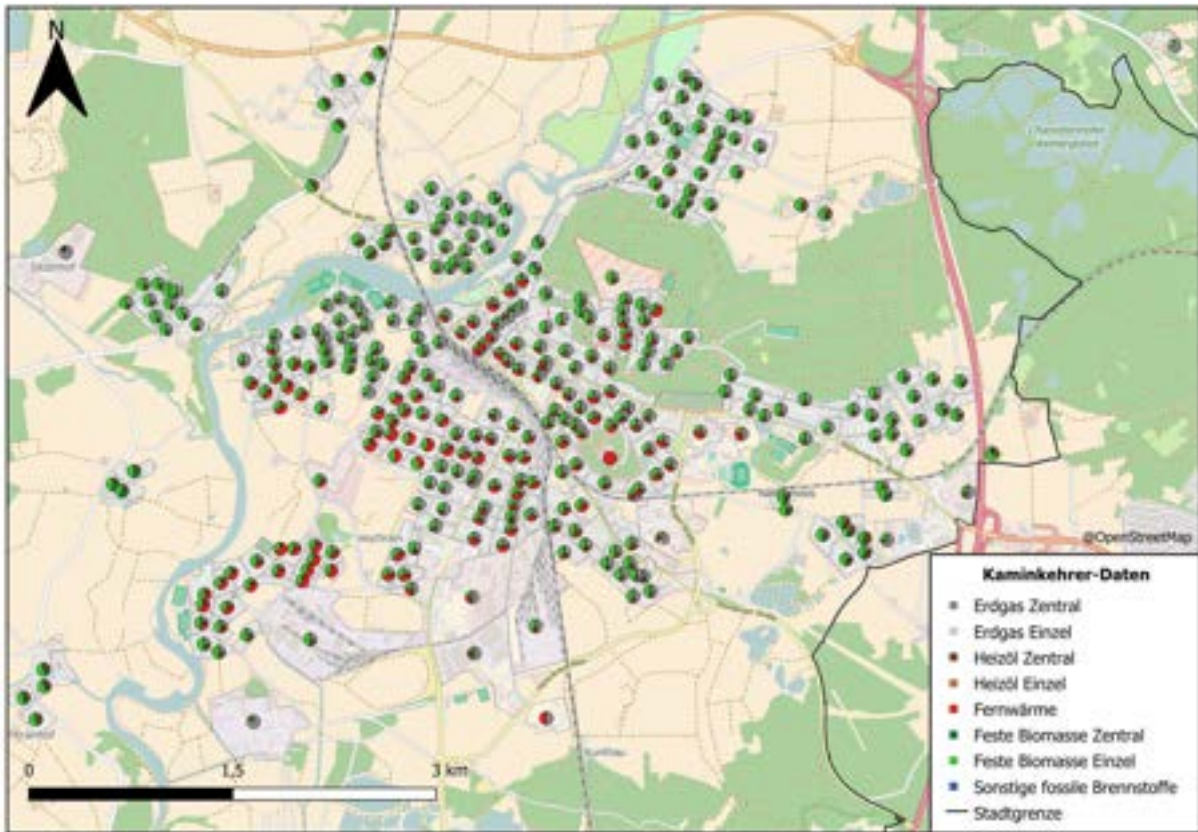


Abbildung 16: Auswertung der Kaminkehrer-Daten auf Baublockebene für den Stadtkern Schwandorf.

Anzahl der Heizungsarten relativ pro Baublock.

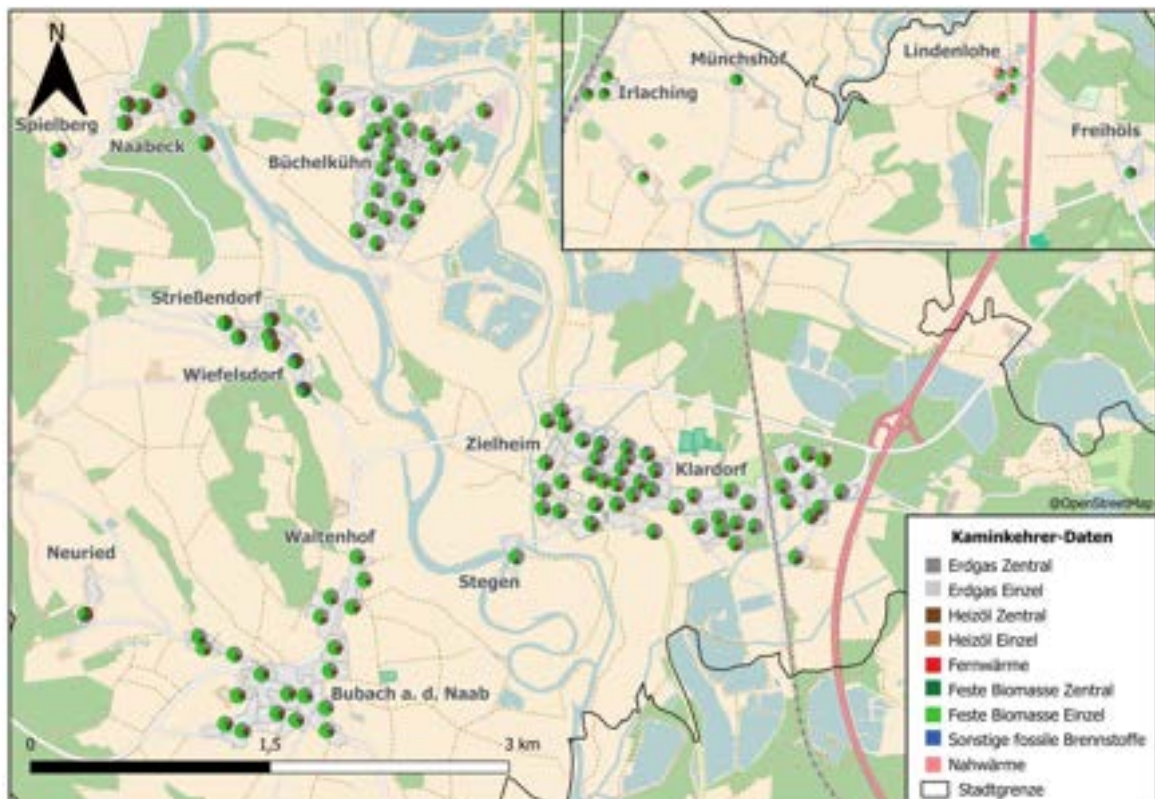


Abbildung 17: Auswertung der Kaminkehrer-Daten auf Baublockebene für das südliche und nördliche Gebiet.

Anzahl der Heizungsarten relativ pro Baublock.

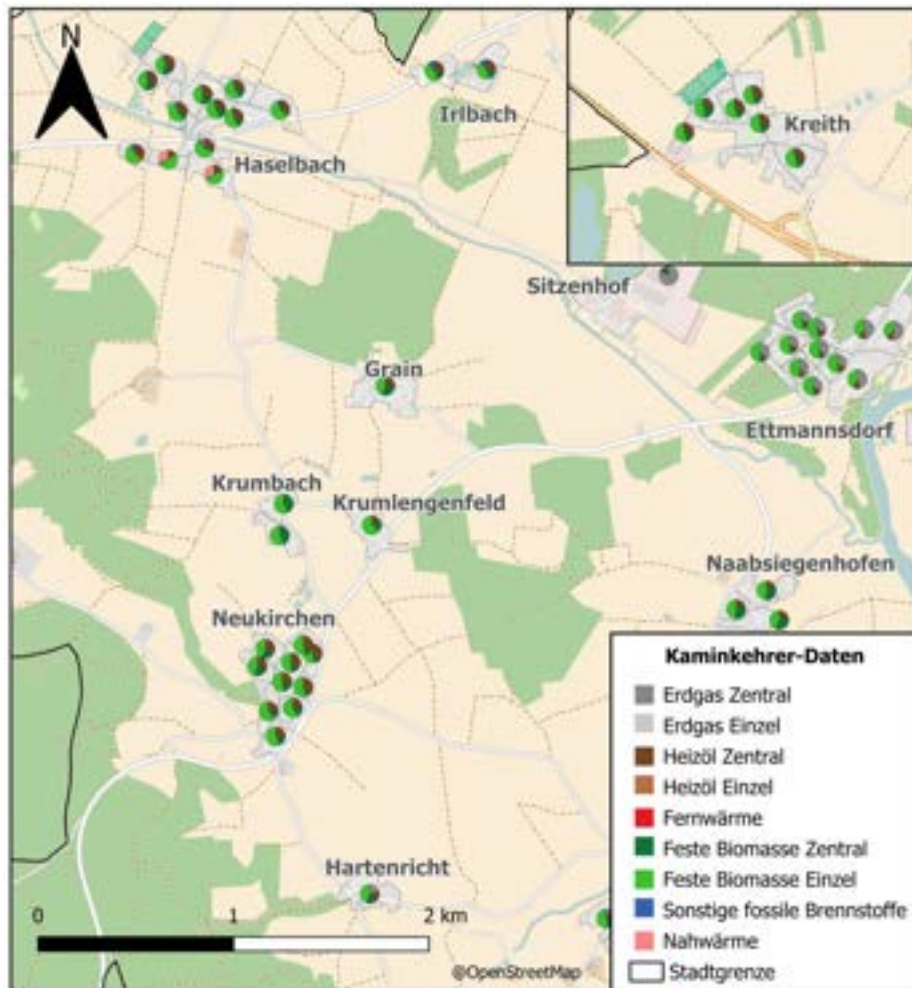


Abbildung 18: Auswertung der Kaminkehrer-Daten auf Baublockebene für das nordwestliche Gebiet.

Anzahl der Heizungsarten relativ pro Baublock.

Wärmepumpen, Solarthermie und Stromspeicherheizungen:

Zur Darstellung von Gebieten mit hohem Anteil an Wärmepumpen sowie Solar- und Geothermie-Anlagen und Stromheizungen werden die Daten des Zensus 2022 ausgewertet. Die Ergebnisse der Auswertung liegen mit einer Auflösung von 100x100 Metern vor und sind in Abbildung 19 und Abbildung 20 dargestellt. Über die Stadt verteilt befinden sich vereinzelt Wärmepumpen, Solar- und Geothermieanlagen sowie Stromheizungen. Der Anteil an Wärmepumpen und Stromspeicheranlagen bezogen auf die Anzahl der Wärmeerzeugungsanlagen für Raumwärme und Warmwasser, bekannt durch den Stromversorger, liegt bei etwa 3 %.

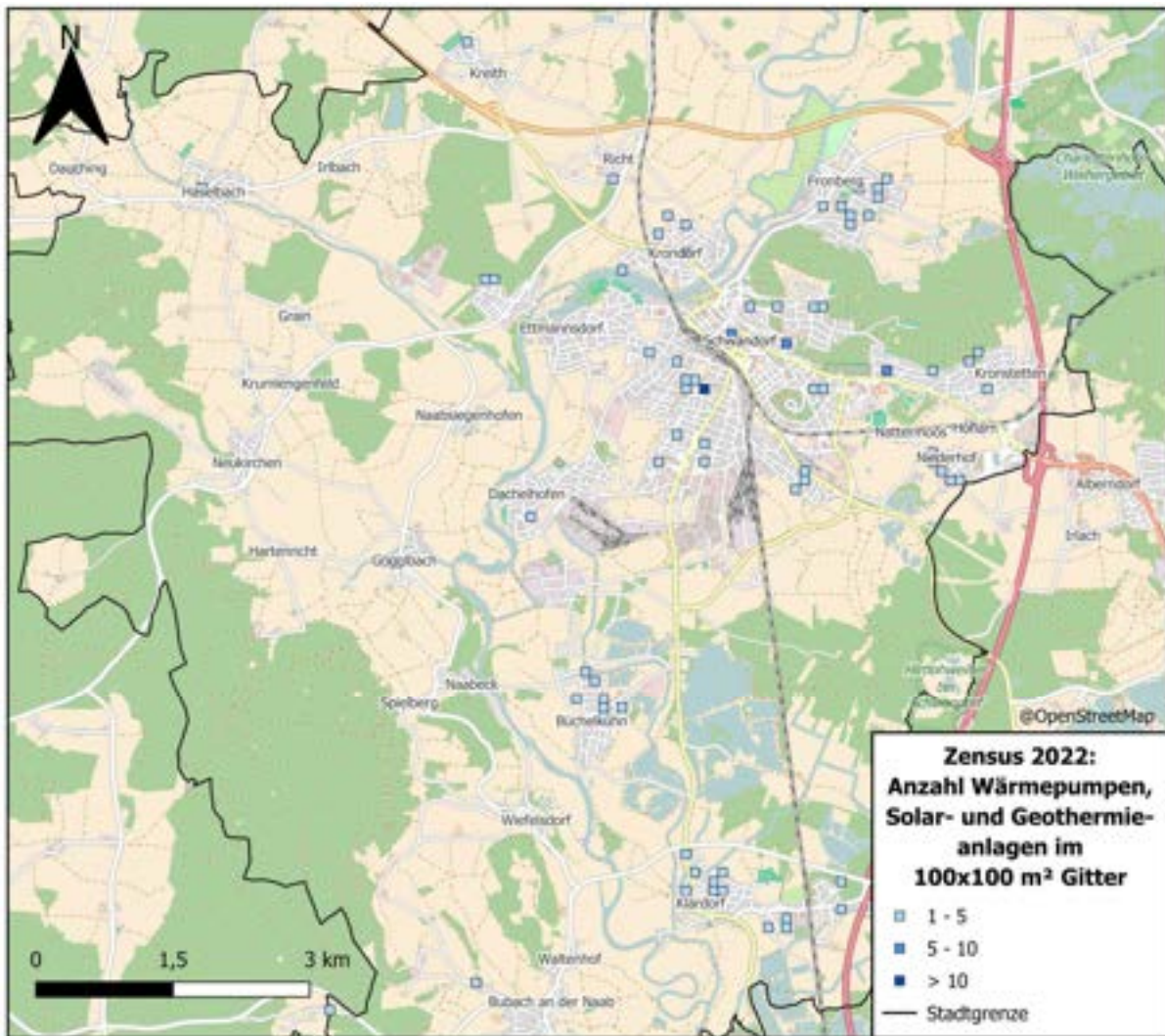


Abbildung 19: Auswertung Zensus 2022 Wärmepumpen, Solar- Geothermieanlagen.

Die Anzahl bezieht sich auf alle drei Erzeugungsvarianten. Diese können nicht voneinander unterschieden werden.

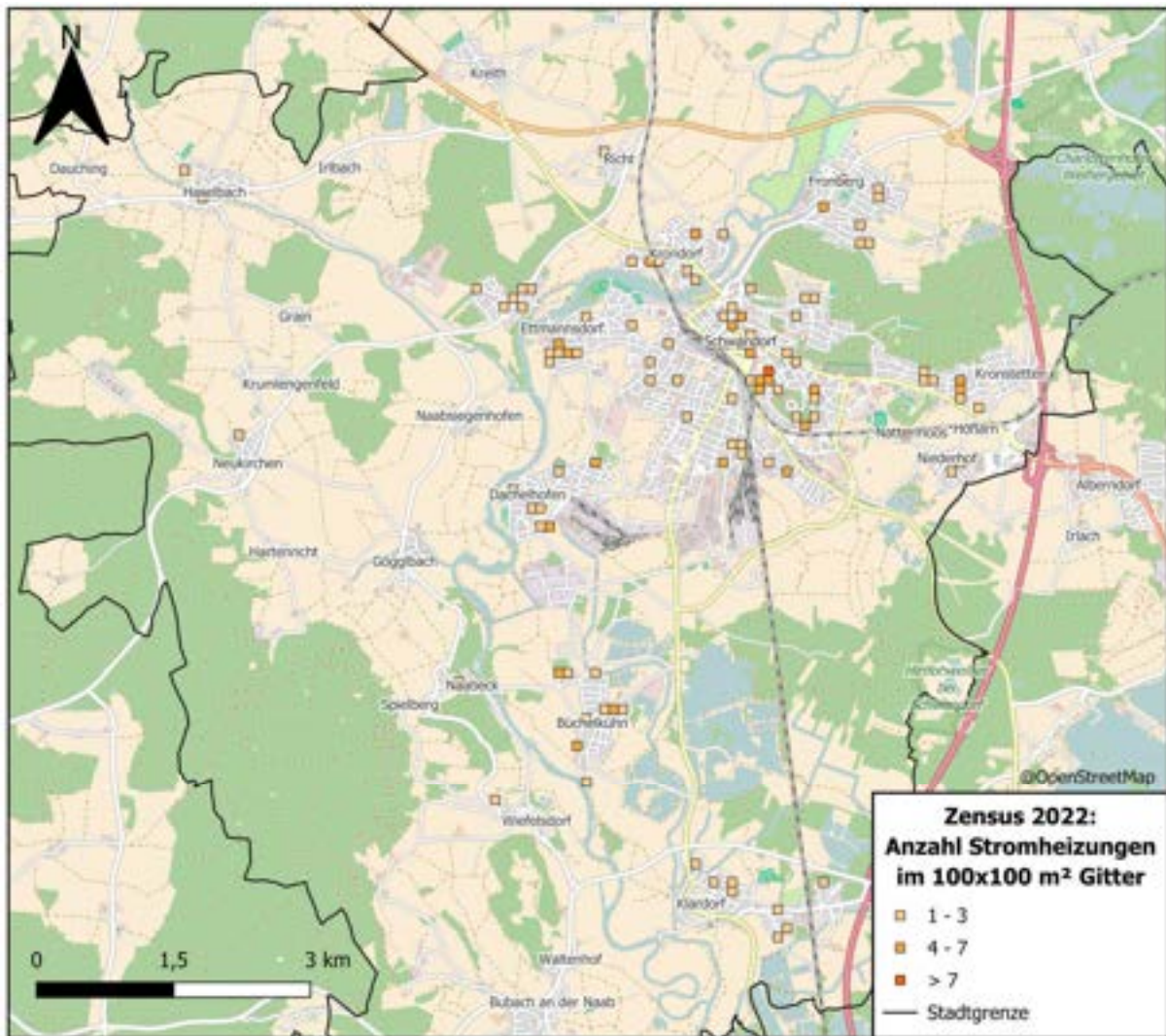


Abbildung 20: Auswertung Zensus 2022 Stromheizungen

3.3.3. Versorgungsnetze der Wärmeversorgung

Die Wärmeversorgung eines Gebäudes kann laut Wärmeplanungsgesetz zentral oder dezentral erfolgen. Eine zentrale Wärmeversorgung liegt vor, wenn ein Gebäude entweder an einem Wärme- oder einem Gasnetz angeschlossen ist. Falls keine leitungsgebundene Energieversorgung vorhanden ist, handelt es sich um eine dezentrale Wärmeversorgung.

Abbildung 21 zeigt die leitungsgebundene Wärmeversorgung der Stadt Schwandorf. Das Fernwärmenetz ist straßenbezogen dargestellt, aus Gründen des Datenschutzes ist das Gasnetz auf Baublöcke projiziert. Ist ein Baublock in blau dargestellt, bedeutet dies allerdings nicht, dass jedes Gebäude innerhalb des Baublocks an das Gasnetz angeschlossen ist. Das Gasnetz erstreckt sich über die Kernstadt von Schwandorf sowie auch teilweise in außerhalb liegenden Gebiete. Ein Teil der Stadt sowie Haselbach und Lindenlohe sind außerdem an ein Wärmenetz angeschlossen. Das Wärmenetz der Stadt wird durch das MHKW versorgt, das Wärmenetz in Haselbach und in Lindenlohe durch eine nahegelegene Biogasanlage. In den außerhalb liegenden, grau eingefärbten, Ortsteilen gibt es weder Wärme- noch Gasnetze. Eine zentrale Kältenetzinfrastruktur ist nicht vorhanden.

Fernwärmenetz:

Die Gesamtlänge des 1996 in Betrieb genommenen Fernwärmenetzes der Stadt inklusive Hausanschlüsse beträgt ca. 72 km. Das verwendete Medium Wasser hat eine Vorlauftemperatur von bis zu 90 °C im Sommer und 125 °C im Winter. Es sind zwei hydraulisch getrennte Sekundärnetze vorhanden, welche eine niedrigere Vorlauftemperatur aufweisen. Die Druckebene ist 12 bar und zurzeit sind ca. 1.100 aktive Anschlüsse vorhanden. Die gemessene Spitzenleistung der Anschlüsse beläuft sich auf ca. 27 MW (Februar 2025 bei -10 °C). Die Netzverluste belaufen sich nach Angaben des Wärmenetzbetreibers im Jahr 2023 auf circa 20 %. Die limitierte thermische Auskoppelleistung des Müllheizkraftwerks beläuft sich auf 36 MW. Aktuell befinden sich keine größeren Wärmespeicher auf dem Stadtgebiet in Betrieb.

Abnehmerspezifische Rücklauftemperaturen, Wärmemengen und trassenspezifische Kennwerte für Druck/Temperaturen können dem erstellten Netzmodell des Ingenieurbüros Fischer-Uhrig entnommen werden. Auch die hydraulischen Limitationen in den Hauptleitungen (>100 Abnehmer) sind in dem bestehenden Modell aufgezeigt. Die hydraulische Bewertung des Bestandsnetzes für die Wärmeverteilung (<100 Abnehmer) erfolgt in Form der direkten Gegenüberstellung mit der bestehenden Simulation exemplarisch für das Versorgungsgebiet Ettmannsdorf in STANET. Hierbei werden ebenfalls die im Rahmen der bestehenden Simulation berechneten Anschlussleistungen mit den vertraglich zugesicherten Leistungen sowie den durch zeitgeist engineering ermittelten Anschlussleistungen gegenübergestellt. Detaillierte Untersuchungen und Berichte werden der Stadt separat zur kommunalen Wärmeplanung übergeben.

Gasnetz:

Die aktuelle Gesamtlänge des seit 1978 bestehenden Erdgasnetzes ohne Hausanschlüsse beträgt auf der Hochdruckebene ca. 41,6 km und auf der Mitteldruckebene ca. 165 km. Die 4.677 Anschlüsse werden über Mitteldruckleitungen mit Druckebenen zwischen 0,1 und 5 bar mit Methan und Biomethan versorgt. Die Gesamtleistung der Anschlüsse beträgt knapp 195 MW. Aktuell speisen drei Biomethananlagen in das Erdgasverteilnetz ein, wobei sich eine davon in Schwandorf befindet (siehe Abbildung 11). Die Biomethananlage in Schwandorf speist mit einer Produktionsleistung von 900 Nm³/h eine jährliche Energiemenge von 82 GWh in das Erdgasnetz ein. Aktuell befinden sich keine größeren Gasspeicher auf dem Stadtgebiet in Betrieb. Weitere mögliche Biogasanlagen zur Methaneinspeisung in das Gasnetz inklusive deren Antworten aus dem Fragebogen diesbezüglich sind in Kapitel 3.3.1 dargestellt.

Aktuell befinden sich keine Anlagen zur Erzeugung von Wasserstoff oder synthetischen Gasen mit einer Kapazität von mehr als 1 MW installierter Elektrolyseleistung auf dem Stadtgebiet in Betrieb bzw. in Überlegung.

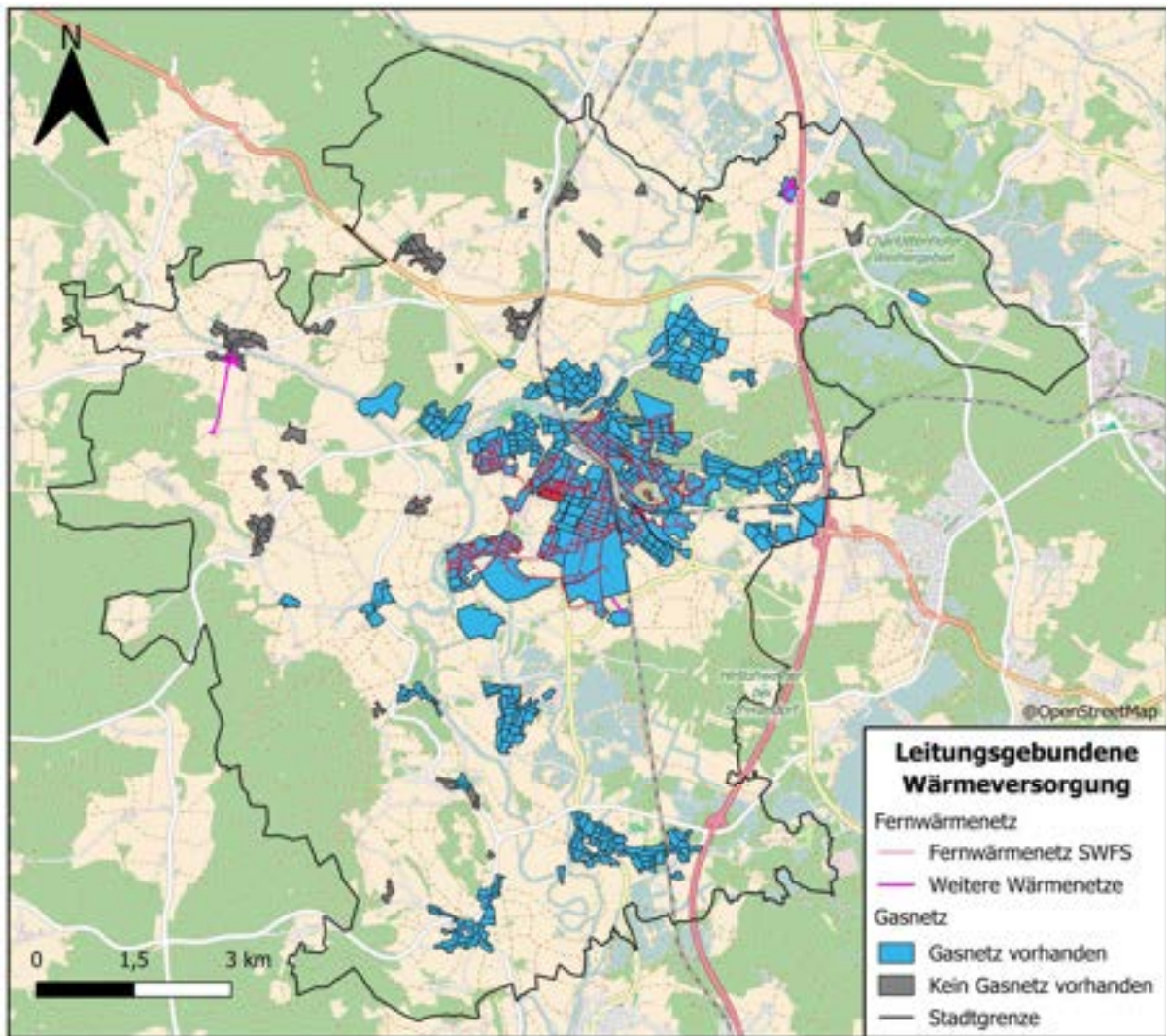


Abbildung 21: Leitungsgebundene Wärmeversorgung in den Baublöcken

3.3.4. Stromversorgungsnetze

Die Idee der Sektorenkopplung sollte bei jedem Energiekonzept mitbedacht werden. Da voraussichtlich in naher Zukunft die Nutzung von Strom zur Wärmegegewinnung (primär durch den Einsatz von Wärmepumpen) sowie für die Elektromobilität stärker in Anspruch genommen wird, sind in Abbildung 22 die aktuell in Betrieb befindlichen Umspannwerke zu sehen. Die Leitungsverläufe liegen der Stadt vor, werden aber hier nicht veröffentlicht. Eine zentrale Kälteinfrastruktur ist aktuell nicht vorhanden und nicht in Planung.

Laut Aussage des Stromnetzbetreibers Bayernwerke Netz GmbH werden Optimierungs-, Erneuerungs- und Ausbaumaßnahmen auf Niederspannungsebene im Regelfall anlassbezogen und kurzfristig geplant. In dem Kapitel der Zielszenarien wird auf dieses Thema detaillierter eingegangen.

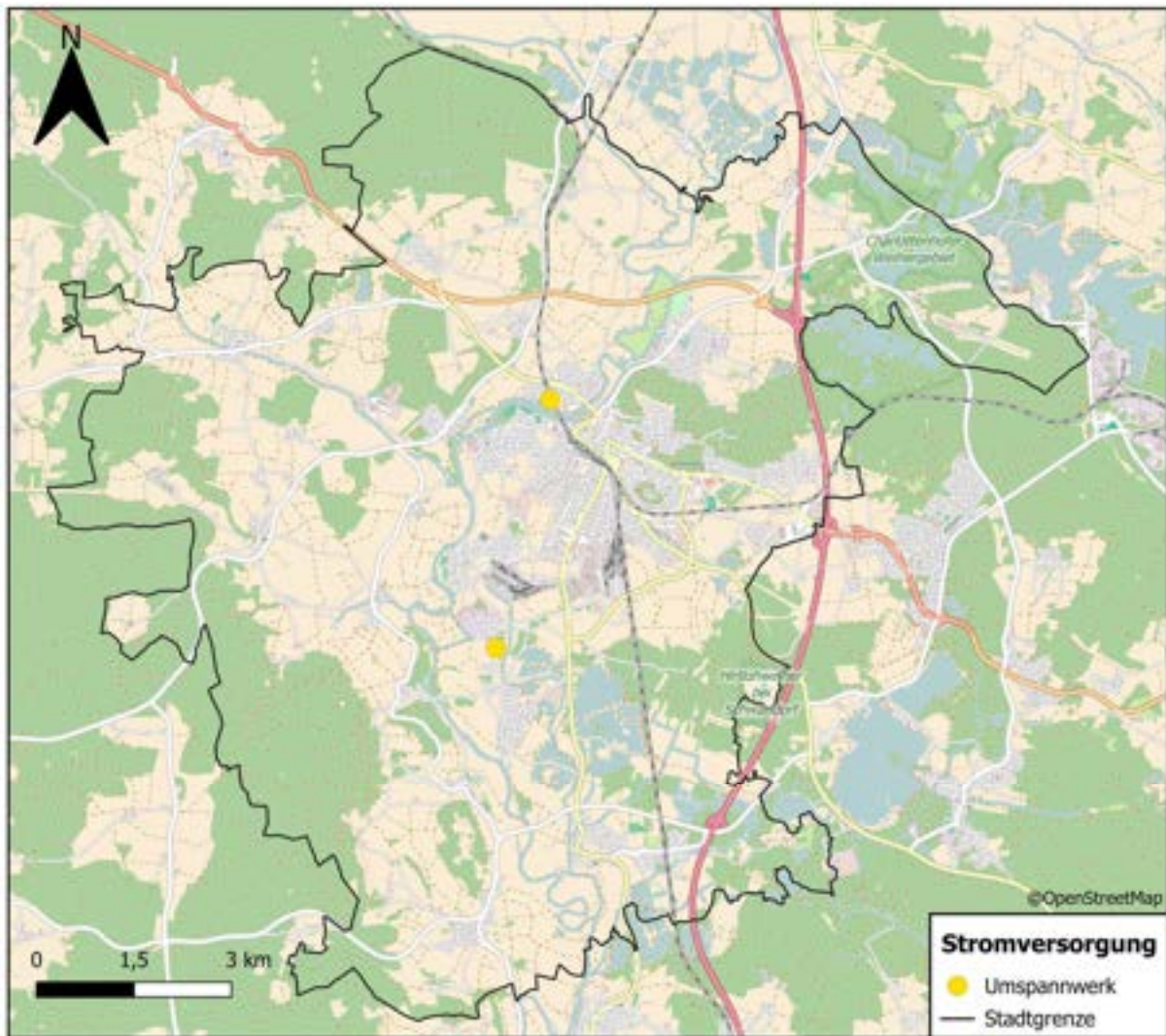


Abbildung 22: Umspannwerke im Stadtgebiet

3.3.5. Abwasserkanalnetz

Abwärme aus Abwasser stellt ein großes Potenzial dar. Allerdings muss dafür ein bestimmter Volumenstrom gegeben sein. Daher wird in Abbildung 23 nur das Kanalnetz mit einem Durchmesser von größer als 600 mm angezeigt. Bei den hier betrachteten Kanälen handelt es sich um Mischwasserkanäle. Leitungen für ausschließlich Regenwasser werden nicht aufgezeigt, da ein konstanter Volumenstrom für die Gewinnung von Wärme aus Abwasser notwendig ist. Standorte von Sammel- und Rückhaltebecken wurden zur Verfügung gestellt.

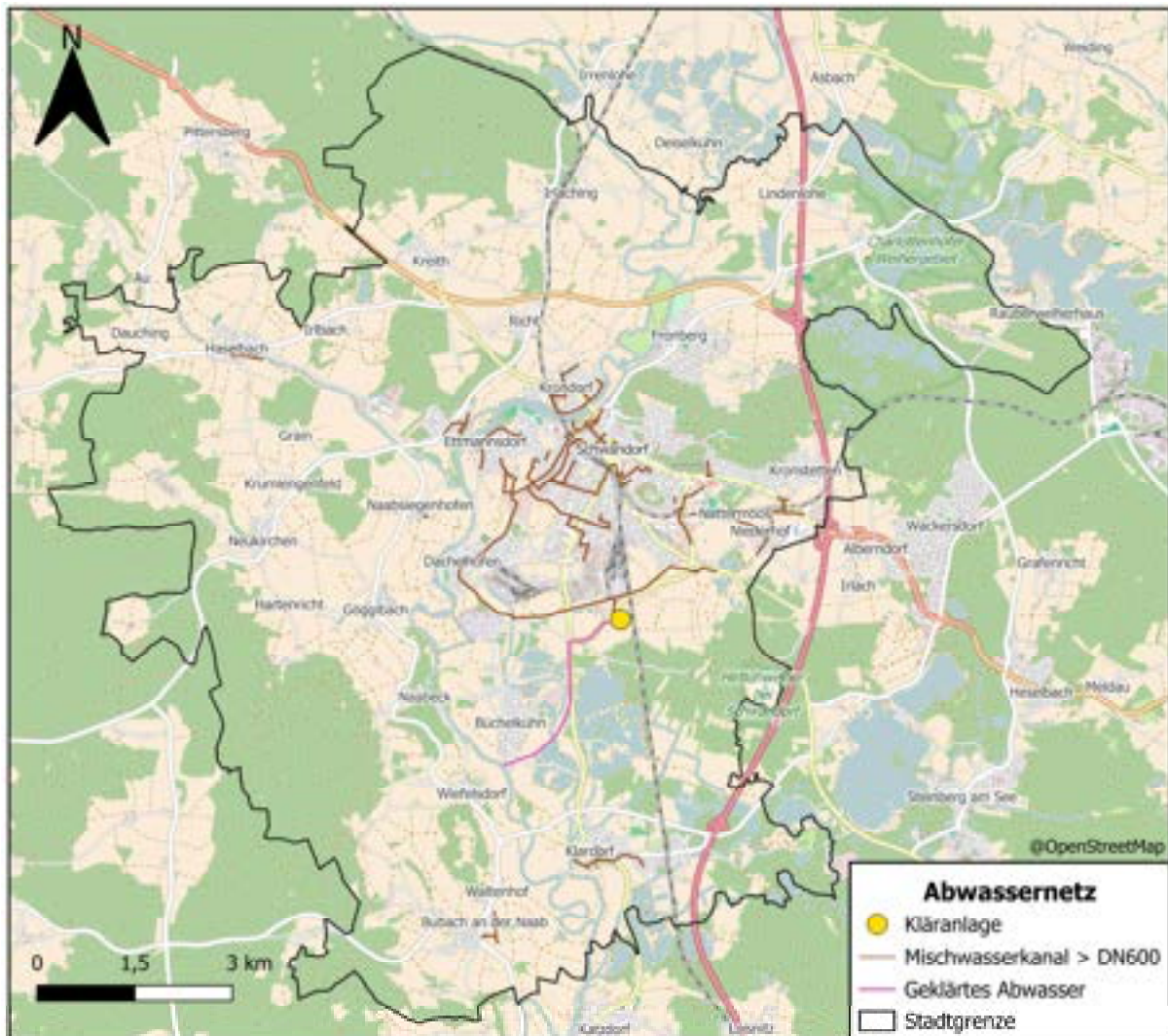


Abbildung 23: Kanalnetz mit Durchmesser größer-gleich 600 mm und Regenwasser (geklärtetes Abwasser)

3.3.6. Glasfasernetz

Um Ressourcen bei einem möglichen Ausbau des Fernwärmenetzes zu sparen und Synergien zu nutzen, ist es sinnvoll, andere Bauarbeiten an der Straße, wie zum Beispiel den Glasfasernetzausbau, zu betrachten. Daher wurde im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung bei der für den Glasfaserausbau zuständigen Firma Leonet GmbH die Ausbaupläne abgefragt. Für Schwandorf ist für Büchelkühn ein Glasfaserausbau im Quartal 3 im Jahr 2025 vorgesehen – andere Pläne sind aktuell nicht vorhanden.

Laut dem Breitbandatlas der Bundesnetzagentur [15] sind in Schwandorf nahezu alle Stadtteile – mit Ausnahme von Dauching, Haselbach, Irlbach, Lindenlohe und Freihöls – bereits im Ausbaustand FTTC (Fibre to the Curb) erschlossen. Das bedeutet, dass Glasfaserkabel bis zu den Kabelverzweigern, also z. B. den Verteilerkästen am Straßenrand, verlegt wurden. Eine Glasfaseranbindung bis direkt in die Gebäude ist in diesem Ausbaustadium jedoch nicht erhalten. Der Ausbauzustand FTTB (Fibre to the Building) beschreibt hingegen, welche Gebäude bereits direkt an das Glasfasernetz angeschlossen sind. Dies ist in Schwandorf bereits in den Ortsteilen Bubach, Klardorf, Etmannsdorf sowie im Hochreingebiet weitgehend umgesetzt. In diesen bereits vollständig erschlossenen Gebieten ist im Hinblick auf einen möglichen

Wärmenetzausbau nicht von Synergien auszugehen. In den FTTC-Gebieten hingegen könnten beim Ausbau von Gebäudeanschlüssen potenzielle Synergien entstehen – allerdings gilt dies nicht für die Haupttrassenbereiche, in denen derzeit ebenfalls keine gemeinsamen Erschließungsvorteile erkennbar sind.

3.4. Energiebilanz Wärme

Im Folgenden werden die Wärmeverbräuche für die verschiedenen Verbrauchergruppen Wohnen & Kleinverbraucher, Industrie & Großgewerbe sowie Öffentliche Einrichtungen analysiert. Zuerst wird die Methodik der Energiebilanz erläutert.

3.4.1. Methodik Energiebilanz des IST-Zustands

Für die Analyse der bestehenden Wärmeerzeugungsstruktur und der jährlichen Wärmeverbräuche werden sowohl die Daten der Kaminkehrer, übermittelt durch das Landesamt für Statistik, sowie die durch den Netzbetreiber Bayernwerk Netz GmbH übergebenen Erdgas- und Stromverbräuche, die von der Städtischen Wasser- und Fernwärmeversorgung Schwandorf übermittelten Fernwärmeverbräuche sowie die Verbrauchsdaten der kommunalen Liegenschaften bereitgestellt durch die Kommune ausgewertet. Die tatsächlichen Verbräuche der Energieversorger sind auf die ganze Stadt jährlich aufsummiert und in Verbrauchergruppen aufgeteilt (Industrie, Gewerbe, Wohnen, öffentliche Gebäude). Es werden zusätzlich die Fragebogen der Industrie ausgewertet und falls nicht vorhanden für Großverbraucher ein standardisierter Verbrauch für Wärme und Strom ermittelt [16].

Auswahl des Bilanzjahres – zeitliche Trends und Einflüsse:

Die Gas- sowie Fernwärmedaten für Wohngebäude & Kleinverbraucher sind je Abnehmer und Jahr in Abbildung 24 dargestellt. Zwei zusätzliche Verläufe zeigen die beiden Datenreihen bereinigt durch den Klimafaktor (KF) des jeweiligen Jahres.

Während der Gasverbrauch in den Jahren 2018 bis 2020 relativ konstant war, konnte für das Jahr 2021 ein deutlich erhöhter Verbrauch und in den beiden folgenden Jahren ein fallender Verbrauch beobachtet werden. Dadurch dass 2021 im Vergleich zu den vorherigen Jahren einerseits etwas kühler war und die Bewohner zusätzlich als Auswirkung der Corona-Pandemie u.a. mehr im Home-Office waren und mehr lüften mussten, lassen sich die erhöhten Werte nachvollziehbar erklären. Der sinkende Verbrauch in den Jahren danach lässt sich auf die damalige Gas-Krise sowie die hohe Inflation zurückführen, aufgrund dieser das Heizverhalten der Bewohner etwas sparsamer ausfiel.

Die Fernwärmedaten zeigen einen ähnlichen Peak für das Jahr 2021 und ebenso einen anschließend sinkenden Verbrauch. Für 2021 können die gleichen Gründe wie beim Gasverbrauch zugrunde gelegt werden. Da der Fernwärmepreis in den Jahren danach unverändert und von der Gas-Krise unberührt geblieben ist, liegt der rückläufige Verbrauch vermutlich an einem größeren Bewusstsein der Bürgerinnen und Bürger bezüglich der Verbräuche.

Dieser stetige Rücklauf ist sowohl für Gas als auch Fernwärme in den durch die Klimafaktoren bereinigten Verbrauchsverläufen zu erkennen.

Auch wenn die Werte der letzten Jahre von einigen Ausnahmen geprägt waren und keine eindeutige Tendenz aufzeigen, wird das Jahr 2023 als Bilanzjahr gewählt, da die Jahre 2018-2020 bereits zu weit in der Vergangenheit liegen und die Daten aus 2019 außerdem bereits als Grundlage für den vorhandenen Energienutzungsplan gedient haben.

Zusätzlich zu beachten ist, dass das Jahr 2023 eines der bisher wärmsten Jahre laut Deutschem Wetterdienst war, was Auswirkung auf die Raumwärmeverbräuche hat [17].

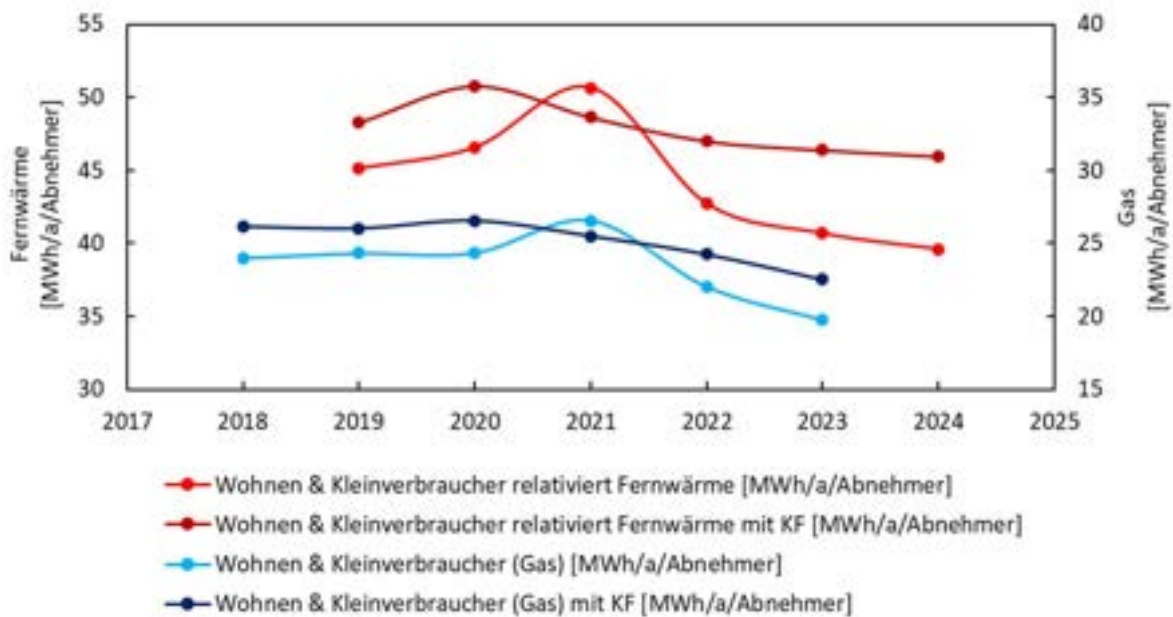


Abbildung 24: Fernwärme- und Gasverbräuche pro Jahr und Abnehmer witterungsbereinigt
durch Klimafaktoren bereitgestellt durch den Deutschen Wetterdienst

Verarbeitung der Kkehrbuchdaten:

Bei den Kkehrbuchdaten werden für jede Straße folgende Angaben aufgeführt:

- Gesamtanzahl der Heizungen
- Durchschnittsalter der Heizungen
- Mittlere Nennwärmeleistung aller Anlagen
- Anteil fossiler Energieträger
- Anzahl der Zentral- und Einzelraumheizungen (Etagenheizungen zählen zu Zentralheizungen)
- Anzahl der Anlagen in den folgenden Energieträgern:
 - Gase
 - Heizöl
 - Feste Biomasse
 - Sonstige fossile Energieträger

Ebenfalls aufgezeigt sind die Anlagen in folgenden beiden Energieträgerkategorien: „Sonstige Erneuerbare Energien“ und „Sonstige (Keine Zuordnung nach 1. BImSchV, Keine Angaben etc.)“. Für beide Kategorien wird für die Anzahl der Anlagen pro Straße entweder 0 angegeben oder ist verschlüsselt. Da die Gesamtzahl der sonstigen erneuerbaren Energien vernachlässigbar klein ist (6) und die Kategorie „Sonstige (Keine Zuordnung nach 1. BImSchV, Keine Angaben etc.)“ nicht genauer definierte Anlagen enthält, welche keiner Erzeugertechnologie zuzuordnen ist, werden beide Kategorien nicht weiter betrachtet.

Aus Datenschutzgründen werden Straßen in den Kaminkehrer-Daten, in denen nur eine oder zwei Anlagen eines Energieträgers vorkommen, teilweise verschlüsselt. Das bedeutet, dass neben dem betroffenen Energieträger auch andere Werte der Straße wie z.B. die Gesamtanzahl der Heizungen und die Anzahl der Zentralheizungen verschlüsselt werden, so dass nicht

auf den zu schützenden Wert zurückgeschlossen werden kann. Um die Daten dennoch auswerten zu können, müssen Annahmen für das verschlüsselte Energieträgerfeld getroffen werden und damit dann die anderen Felder berechnet werden, was zwangsläufig zu Ungenauigkeiten führt.

Annahmen der Wärmebilanz:

Aus den Kkehrbuchdaten geht nicht hervor, wie sich die Anlagen pro Energieträger jeweils auf Zentral- und Einzelraumheizungen aufteilen. Unter anderem nicht angegeben sind die jeweilige mittlere Leistung jedes Energieträgers, da lediglich ein Gesamtwert pro Straße für alle Energieträger zusammen aufgelistet ist. Daher werden folgende Annahmen in Tabelle 10 für die mittlere Leistung der Wärmeerzeugungsanlagen der jeweiligen Energieträger über alle Straßen gemittelt getroffen:

Tabelle 10: Angenommene Leistung der Wärmeerzeugungsanlagen einzelner Energieträger

| Haushalte & Kleingewerbe | Energieträger | Leistung in kW |
|--------------------------|---------------------|----------------|
| Zentralheizung | Feste Biomasse [18] | 22,9 |
| | Gas | 22,76 |
| | Öl | 25 |
| | Sonstige fossile | 30 |
| Einzelraumheizung | Feste Biomasse | 8 |
| | Gas | 22,76 |
| | Öl | 10 |
| | Sonstige fossile | 15 |

Hierbei wird für zentrale Biomasseanlagen auf den im Biomasseatlas angegebenen Mittelwert der seit 2001 durch das Marktanreizprogramm geförderter Biomasseheizungen in der Kommune zurückgegriffen [18]. Die Werte für Öl, Sonstige Fossile und Einzelraumheizung Biomasse basieren auf Erfahrungswerten.

Die Werte für Gasheizungen sind für beide Heizungstypen gleich, da eine Unterscheidung aufgrund der Kkehrbuchdaten nicht möglich ist und der Leistungswert als Stellschraube verwendet wird, um insgesamt eine ähnliche mittlere Leistung zu erhalten im Vergleich zu den tatsächlichen Werten bereitgestellt durch den Gasnetzbetreiber. Um diese Validierung der Kkehrbuchdaten durchzuführen, muss für Zentral- und Einzelraumheizungen der gleiche Wert verwendet werden. In Wirklichkeit unterscheidet sich dieser. Für diese Validierung wird zuerst ein Leistungswert für Gas ausgerechnet, indem die tatsächlichen Gasverbräuche der Standardkunden durch die Anlagenanzahl in der Kategorie Wohnen & Kleinverbraucher sowie die hier im Allgemeinen verwendete Vollbenutzungsstundenzahl von 1.200 h/a geteilt wird. Dieser Wert wird anschließend mit dem mittleren Wert aus den Straßen der Verbrauchsgruppe Wohnen & Kleinverbraucher verglichen. Danach kann der berechnete Wert noch minimal nach oben oder unten korrigiert werden, um die reale Situation vor Ort abzubilden. Die Vollaststundenanzahl wird so angesetzt, dass multivalente Systeme wie z.B. eine Zentralheizung in Verbindung mit Kaminen, Solarthermie, Brauchwasserwärmepumpe etc. berücksichtigt sind. Der Gasverbrauch, errechnet durch die Kaminkehrer-Daten für die Verbrauchergruppe Wohnen & Kleinverbraucher, weicht durch diese Berechnungsmethode um <3 % von den tatsächlichen Verbräuchen der Energieversorger ab.

Die mit den oben aufgelisteten Annahmen errechnete mittlere Nennleistung aller Wärmezeuger für die Verbrauchergruppe Wohnen & Kleinverbraucher weicht zur angegebenen mittleren Nennleistung der Kaminkehrer-Daten um -15 % ab. Dies ist anhand der Überdimensionierung der Anlagen und der steigenden durchschnittlichen Außentemperatur zu erklären. Die Überdimensionierung der Anlagen wird anhand der niedrigeren Vollbenutzungsstunden als Stellschraube für die Energiebilanz ausgeglichen. Somit ist die Richtigkeit der Ergebnisse der Energiebilanz durch Auswertung der Kkehrbuchdaten sichergestellt. Verbleibende Abweichungen sind schwer bis gar nicht zu verhindern und entsprechen der zu erwartenden Planungsunschärfe von Konzepten auf der Detailebene einer kommunalen Wärmeplanung.

Unterscheidung Vorgehensweise verschiedener Verbrauchergruppen:

Da in den Kaminkehrer-Daten sämtliche dezentralen Wärmezeuger im Stadtgebiet aufgelistet sind, müssen diese zunächst aufbereitet werden, um sie differenziert für verschiedene Verbrauchergruppen auswerten zu können. Dafür werden die Straßen nacheinander einzeln betrachtet und bestimmt, welche Verbrauchergruppen jeweils vorliegen. Für die Öffentlichen Einrichtungen liegt dafür eine Liste der Stadt einschließlich Adressen vor. Industrielle Großverbraucher werden bereits im Rahmen der Akteursbeteiligung ermittelt und um Teilnahme an einer Umfrage für Industrieunternehmen gebeten, in der unter anderem der Wärme- und Stromverbrauch abgefragt wird. Darüber hinaus kann auch eine hohe durchschnittliche Leistung der Heizungsanlagen in einer Straße auf industrielle Verbraucher hinweisen. Häufig liegt eine Mischnutzung der Straßen vor.

Bei den Straßen mit industriellen Verbrauchern wird im Falle von Mischnutzung abgeschätzt, wie viele Gebäude und damit Heizungsanlagen den jeweiligen Verbrauchergruppen zugeordnet werden können. Bezüglich der Aufteilung der eingesetzten Energieträger müssen ebenfalls Annahmen getroffen werden. So werden zum Beispiel Zentral- und Einzelfeuerungsanlagen Biomasse in der Regel dem Bereich Wohnen & Kleinverbraucher zugeordnet (z.B. Pelletheizungen und Kamine), während der Energieträger „Sonstige Fossile“ überwiegend der Industrie zugewiesen wird. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass Prozesswärme mehrheitlich mit Erdgas erzeugt wird. Die installierte Leistung von Biomasse, Heizöl und Sonstige Fossile aufgeteilt in Zentral- und Einzelraumheizung werden errechnet, indem die jeweilige Anlagenzahl mit der entsprechenden Leistung aus Tabelle 10 multipliziert wird. Im Bereich Wohnen & Kleingewerbe wird nach derselben Vorgehensweise verfahren. Anlagen der Industrie und öffentlicher Einrichtungen müssen abgezogen werden.

Ableitung Wärmebedarf Zentralheizungen:

Aus der errechneten Leistung wird der Verbrauch dann anhand eines angenommenen Kesselwirkungsgrades von 90 % (Erfahrungsmittelwert Wirkungsgrad Verbrennungsheizung zur Berücksichtigung der auftretenden Bereitstellungsverluste) und einer Volllaststundenzahl von 1200 h/a bestimmt. Da industrielle Prozesse sehr heterogen sind und der Einsatz von Energieträgern von Prozess zu Prozess stark schwanken kann, ist eine pauschale Annahme von Volllaststunden für die Industrie schwierig. Allerdings wird davon ausgegangen, dass die Prozesswärme überwiegend mit Erdgas erzeugt wird. Es wird angenommen, dass die restlichen Energieträger (sofern im Fragebogen durch die Unternehmen nicht anders angegeben) mehrheitlich zur Erzeugung von Raumwärme eingesetzt werden und damit eine einheitliche Volllaststundenzahl mit den anderen Verbrauchergruppen von 1200 h/a angesetzt werden kann.

Ableitung Wärmebedarf Einzelraumheizungen:

Eine Ausnahme stellen die Einzelraumheizungen Biomasse dar, die mit einer niedrigeren Volllaststundenzahl betrieben werden, es wird der Wert von 570 h/a verwendet [19]. Die Volllaststundenzahl wird so angenommen, dass multivalente Systeme wie z.B. eine Zentralheizung in Verbindung mit Kaminen, Solarthermie, Brauchwasserwärmepumpe etc. berücksichtigt sind.

Tatsächliche Gasverbräuche:

Die Wärmeverbräuche aus dem Energieträger Gas werden jeweils anhand der von dem Energieversorger übermittelten Gasverbräuche und Ergebnissen aus der Befragung der Industrieunternehmen berechnet. Die Aufteilung der Verbrauchergruppen findet zumeist anhand der überwiegenden Nutzung der Straße statt. Zur Validierung der Volllaststundenzahl wird ein Vergleichswert der Verbrauchergruppe Wohnen & Kleingewerbe mittels der Leistungen aus den Kkehrbuchdaten für Erdgasheizungen berechnet. Da die Anlagenleistung für Gas bereits aus den tatsächlichen Verbräuchen stammt, ist hier eine Berücksichtigung des Verbrennungswirkungsgrades nicht notwendig. Die Abweichung beträgt lediglich < 3 %, was die Richtigkeit der Annahmen unterstreicht.

Tatsächliche Verbräuche Fern- und Nahwärme:

Es fließen die Energieverbräuche des Fernwärmenetzbetreibers (SWFS), aufgeteilt in die einzelnen Verbrauchergruppen, in die Energiebilanz mit ein. Da für die Nahwärmenetze aus den Fragebögen lediglich die ungefähre Anzahl an Abnehmer bekannt ist, wird dieser Wert mit einem exemplarischen Wert von 25 MWh/a für ein Einfamilienhaus verrechnet. Mit einem Anteil von <3 % stellt die Nahwärme nur einen geringen Anteil der Wärmenetzversorgung im Stadtgebiet Schwandorf dar.

Strombasierte Heizungen und Solarthermie:

Zur Berechnung der strombasierten Wärmeerzeugungsanlagen wird auf die Daten der Bayernwerk Netz GmbH zurückgegriffen. Die Verbräuche für Wärmepumpen und Speicherheizungen haben jeweils einen ungefähren Anteil von 50 % am Heizstromverbrauch. Die jährlich durch Solarthermie erzeugte Wärmemenge wird errechnet mittels einer im Solaratlas [20] angegebenen Kollektorfläche multipliziert mit einem im Energie-Atlas Bayern [13] verzeichneten repräsentativen Wert für die jährliche Wärmeerzeugung pro Fläche.

Wärmeverbrauch kommunaler Liegenschaften:

Für die öffentlichen Einrichtungen liegen über die Stadt die tatsächlichen Verbrauchsdaten vor, so dass nicht auf andere Datenquellen zurückgegriffen werden muss.

Somit liegen die Wärmeverbräuche aufgeteilt nach Energieträgern und Verbrauchergruppen für das ganze Stadtgebiet vor, die im folgenden Unterkapiteln analysiert werden.

3.4.2. Wohnen & Kleinverbraucher

Tabelle 11 listet den thermischen Endenergieverbrauch aufgeteilt nach Energieträgern von der Verbrauchergruppe Wohnen & Kleinverbraucher auf. In Abbildung 25 ist die prozentuale Verteilung dargestellt.

Tabelle 11: Thermischer Endenergieverbrauch des Bereichs Wohnen & Kleinverbraucher.
Aufgeteilt auf Energieträger

| Energieträger | Thermischer Endenergieverbrauch [MWh/a] |
|------------------------------|---|
| Erdgas | 114.000 |
| Heizöl | 76.800 |
| Sonstige Fossile | 4.600 |
| Biomasse | 45.800 |
| Solarthermie | 2.300 |
| Fernwärme | 39.600 |
| Nahwärme | 900 |
| Wärmepumpen und Stromheizung | 8.800 |
| Gesamt | 292.800 |

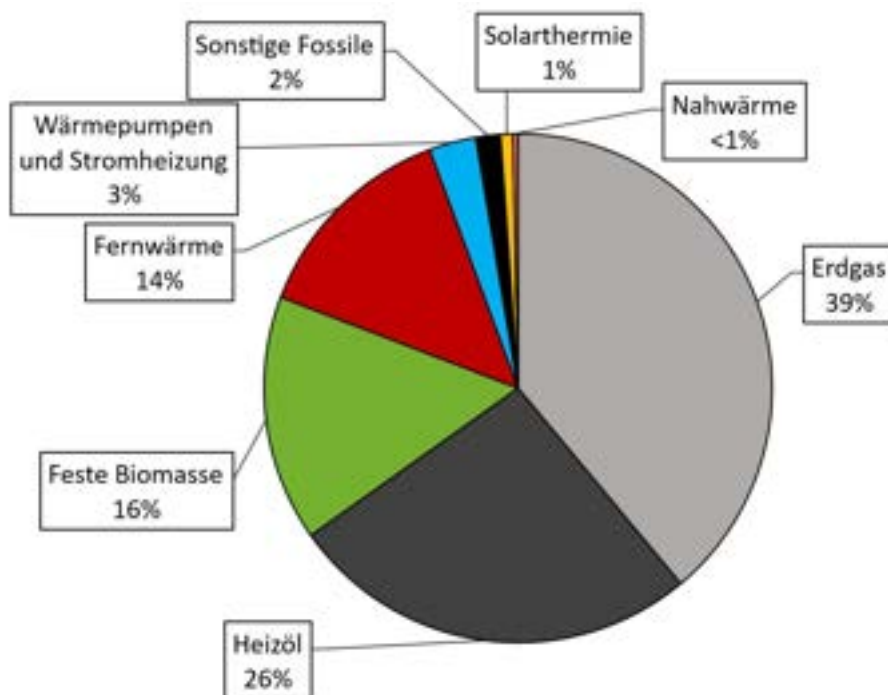


Abbildung 25: Verteilung thermischer Endenergieverbrauch Wohnen & Kleinverbraucher

Zu erkennen ist, dass Erdgas und Heizöl zusammen 65 % der bereitgestellten Energie für Raumwärme und Warmwasser in dieser Verbrauchergruppe darstellt. Biomasse hat einen Anteil von 16 % am Energieverbrauch. Das Fernwärmenetz deckt ca. 14 % des Wärmeverbrauchs. Wärmepumpen und Speicherheizungen, Sonstige Fossile sowie Solarthermie und Nahwärme stellen den übrigen Verbrauch dar.

3.4.3. Industrie & Großgewerbe

Tabelle 12 listet den thermischen Endenergieverbrauch aufgeteilt nach Energieträgern von Industrie & Großgewerbe für Raumwärme und Warmwasser auf. In Abbildung 26 ist die prozentuale Verteilung dargestellt.

Tabelle 12: Thermischer Endenergieverbrauch von Industrie & Großgewerbe Raumwärme und Warmwasser.

Aufgeteilt auf Energieträger

| Energieträger | Thermischer Endenergieverbrauch [MWh/a] |
|------------------------------|---|
| Erdgas | 7.700 |
| Heizöl | 700 |
| Wärmepumpen und Stromheizung | 2.200 |
| Fernwärme | 21.700 |
| Solarthermie | < 100 |
| Gesamt | 32.300 |

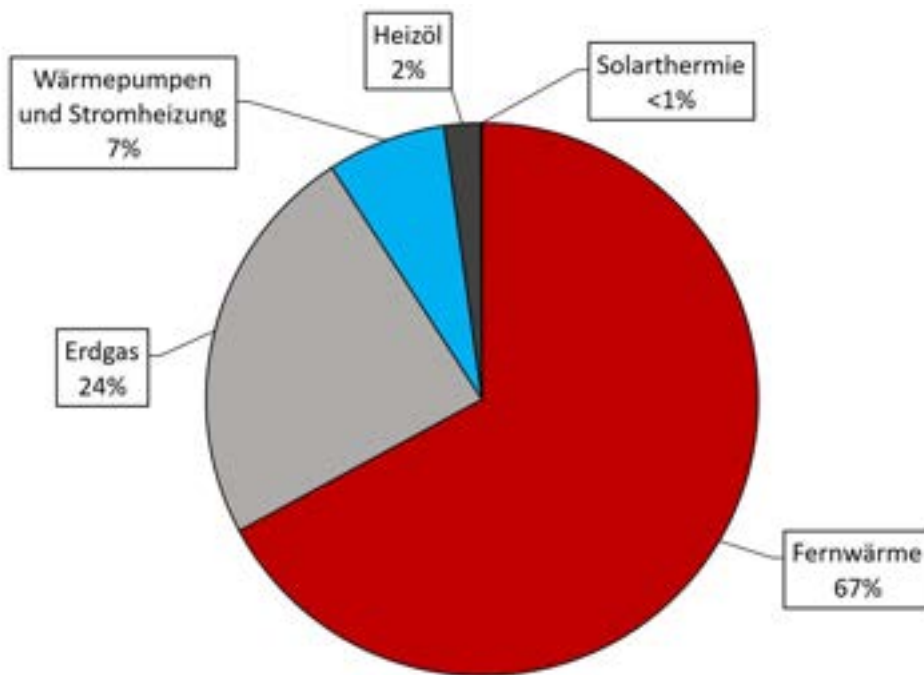


Abbildung 26: Verteilung thermischer Endenergieverbrauch Industrie & Großgewerbe Raumwärme und Warmwasser

Mit einem Anteil von 67 % ist Fernwärme der mit Abstand wichtigste Energieträger für Raumwärme und Warmwasser der Verbrauchergruppe Industrie- und Großgewerbe. Weitere 24 % des Wärmebedarfs werden durch Erdgas gedeckt. Strombasierte Heizsysteme, Heizöl und Solarthermie ergänzen die Energieträgerstruktur. Die Auswertung basiert überwiegend auf den Rückmeldungen der Fragebögen, die von Unternehmen ausgefüllt wurden. Unter den teilnehmenden Betrieben befinden sich die größten und energieintensivsten Unternehmen der Stadt. Es ist zudem nicht auszuschließen, dass Abwärme aus Produktionsprozessen intern zu Heizzwecken genutzt wird. Dieser Anteil ist in der vorliegenden Darstellung jedoch nicht enthalten.

Tabelle 13 listet den thermischen Endenergieverbrauch aufgeteilt nach Energieträgern von Industrie & Großgewerbe für Prozesswärme auf. In Abbildung 27 ist die prozentuale Verteilung dargestellt.

Tabelle 13: Thermischer Endenergieverbrauch von Industrie & Großgewerbe Prozesswärme.

Aufgeteilt auf Energieträger für das Jahr 2023

| Energieträger | Thermischer Endenergieverbrauch [MWh/a] |
|---------------|---|
| Erdgas | 150.000 |
| Prozessdampf | 330.800 |
| Strom | 10.500 |
| Heizöl | 7.200 |
| Strom (Kälte) | 5.100 |
| Gesamt | 503.600 |

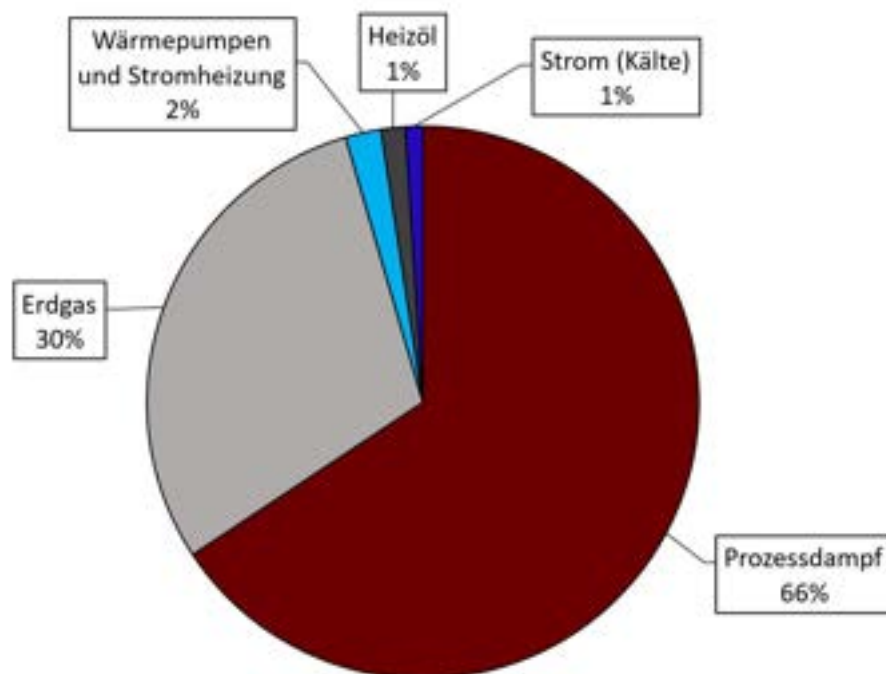


Abbildung 27: Verteilung thermischer Endenergieverbrauch Industrie & Großgewerbe Prozesswärme

im Jahr 2023

Prozessdampf und Erdgas stellen den Großteil der benötigten Prozesswärme dar. Vor allem der benachbarte Industriebetrieb und die Klärschlamm-trocknungsanlage sind Abnehmer von Prozessdampf aus dem Müllheizkraftwerk [21]. Hervorzuheben ist, dass produktionsbedingt Schwankungen im Prozessdampfbedarf von bis zu 20 % auftreten können. Der Erdgasverbrauch enthält den Direktverbrauch großer Abnehmer aus dem übergeordnetem Erdgasnetz.

Kältebedarf:

Der Kühl-Strombedarf beträgt laut Fragebogenrückläufer 5.100 MWh/a. Da dafür lediglich Daten der Industrie vorhanden sind, ist von einem größeren Verbrauch auszugehen. Die Kühlung von Büro- und Wohngebäuden konnte nicht separat ermittelt werden. Dieser Bedarf wird sich in Zukunft aufgrund höherer Temperaturen im Sommer voraussichtlich ändern.

3.4.4. Öffentliche Einrichtungen

Tabelle 14 listet den thermischen Endenergieverbrauch aufgeteilt nach Energieträgern der Öffentlichen Einrichtungen inklusive der Verbandskläranlage auf. In Abbildung 28 ist die prozentuale Verteilung dargestellt.

Tabelle 14: Thermischer Endenergieverbrauch der öffentlichen Einrichtungen. Aufgeteilt auf Energieträger für das Jahr 2023

| Energieträger | Thermischer Endenergieverbrauch [MWh/a] |
|------------------------------|---|
| Erdgas | 2.800 |
| Heizöl | < 100 |
| Biomasse (Klärgas) | 3.400 |
| Wärmepumpen und Stromheizung | 300 |
| Fernwärme | 6.900 |
| Nahwärme | 0 |
| Solarthermie | < 10 |
| Gesamt | 13.400 |

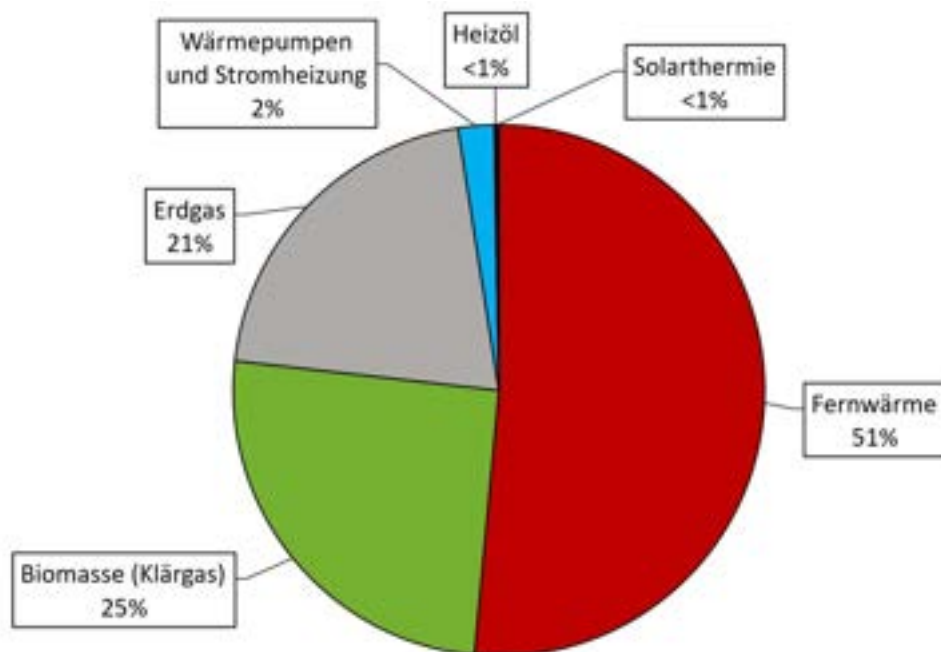


Abbildung 28: Verteilung thermischer Endenergieverbrauch der Öffentlichen Einrichtungen im Jahr 2023

Fernwärme stellt mit 51 % den größten Anteil am Verbrauch der öffentlichen Einrichtungen dar, gefolgt von Biomasse mit 25 % (Klärgas) und Erdgas mit 21 %. Einen kleinen Anteil haben strombasierte Heizungen, welche insbesondere in speziellen Gebäuden wie kleinen Feuerwehrhäusern und Veranstaltungsräumen als Stromdirektheizungen eingesetzt werden. Der Einsatz von Wärmepumpen beschränkt sich auf einen Kindergarten. Heizöl und Solarthermie liegen bei unter 1 % und werden nur in wenigen speziellen Liegenschaften verwendet. Der Biomasseanteil wird vollständig durch das in der Kläranlage anfallende und dort verwendete Klärgas eingenommen. Der Nahwärmeverbrauch, durch die Kläranlage, lag im Jahr 2023 bei 0 MWh/a. Für wenige Liegenschaften sind keine Verbrauchsdaten für das Jahr 2023

vorhanden. Hier wurde der Bedarf anhand der Grundfläche des Gebäudes abgeschätzt. Der jeweilige verwendete Energieträger ist bekannt.

3.4.5. Zusammenfassung Energiebilanz Wärme

In Abbildung 29 ist die Verteilung des Energiebedarfs von Raumwärme, Warmwasserbereitstellung und Prozesswärme aufgeteilt auf die drei Verbrauchergruppen zu sehen. Industrie & Großgewerbe ist mit 64 % des Gesamtwärmebedarfs die größte Verbrauchsgruppe. Es folgt Wohnen & Kleinverbraucher mit 35 %, öffentliche Einrichtungen liegen bei < 2 %. Der Gesamtwärmebedarf beträgt 842.100 MWh/a.

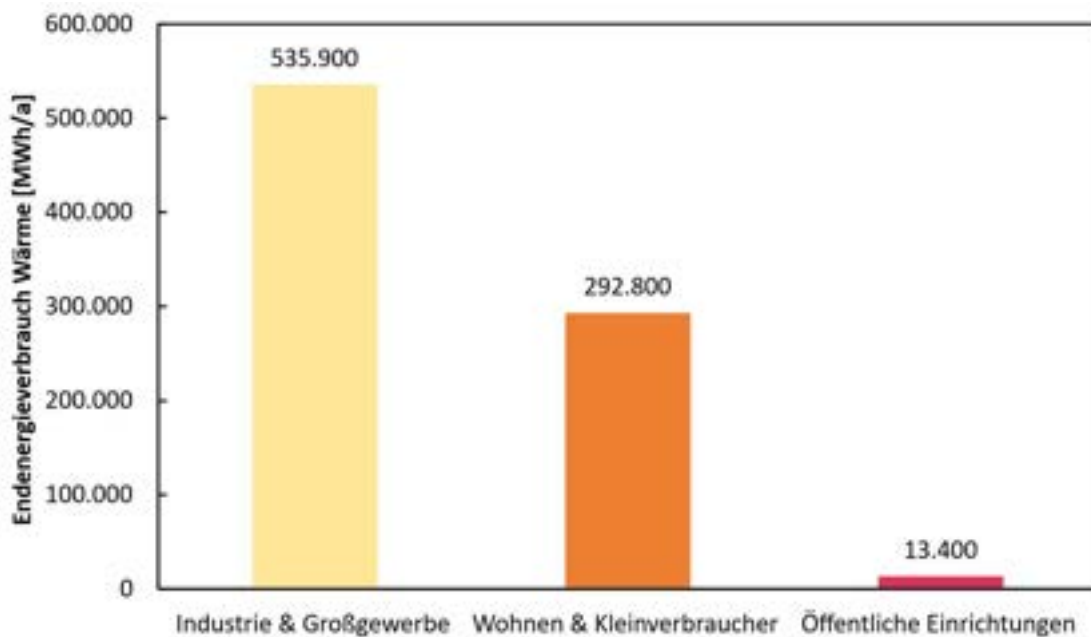


Abbildung 29: Energieverbrauch für Heiz- und Prozesswärme aufgeteilt auf Verbrauchergruppen für das Jahr 2023 in Höhe von 842.100 MWh

Tabelle 15 und Abbildung 30 zeigen die bereitgestellten Energiemengen je Energieträger für Heiz- und Prozesswärme aller Verbrauchergruppen auf. Der Anteil leitungsgebundener Wärme (Gas und Fernwärme/Prozessdampf) am Endenergieverbrauch beträgt 80 %. Davon fallen 47 % auf die unvermeidbare Abwärme des MKW's, womit die Fernwärme und der Prozessdampf bereitgestellt werden. Bilanziell entfallen 82 GWh/a des Gasbezugs auf Biomethan durch die Einspeiseanlage auf dem Stadtgebiet.

Tabelle 15: Auf die Stadt summierter thermischer Endenergieverbrauch. Aufgeteilt auf Energieträger für das Jahr 2023

| Energieträger | Thermischer Endenergieverbrauch [MWh/a] |
|--------------------------------|---|
| Prozessdampf | 330.800 |
| Erdgas | 274.500 |
| Heizöl | 84.700 |
| Fernwärme | 68.200 |
| Biomasse (inkl. Klärgas) | 49.200 |
| Wärmepumpen und Stromheizungen | 21.800 |
| Strom (Kälte) | 5.100 |
| Sonstige Fossile | 4.600 |

| | |
|---------------|----------------|
| Solarthermie | 2.300 |
| Nahwärme | 900 |
| Gesamt | 842.100 |

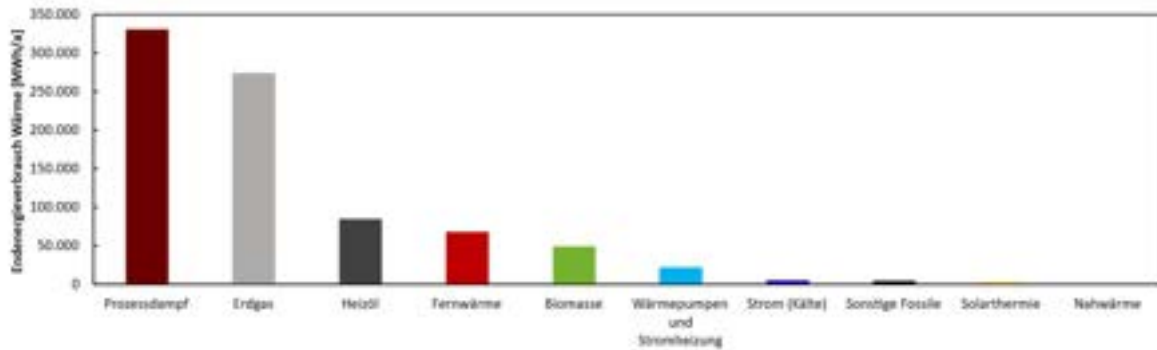


Abbildung 30: Energieträgerverteilung für Heiz- und Prozesswärme aller Verbrauchergruppen

Tabelle 16 listet die Kennwerte der Energiebilanz Wärme auf. Wie auch die Energiebilanz des Strombezugs und die Treibhausgasbilanz sollen diese einheitlichen Kennwerte einen Vergleichswert für die nächste Fortschreibung der Wärmeplanung darstellen. Somit kann die Ist-Situation und der Fortschritt in der Wärmewende auf dem Stadtgebiet überprüft und beurteilt werden. Außerdem können Trends bei der Nutzung von KWK-Anlagen und dem Ausbau von Wärmenetzen festgestellt werden. [22]

Tabelle 16: Kennwerte der Energiebilanz Wärme

| Kennzahl | Wert | Einheit |
|---|--------|-----------------------------------|
| Endenergieverbrauch Wärme gesamt pro Einwohner | 27.950 | kWh/(a*Einwohner) |
| Endenergieverbrauch Wärme Wohnen & Kleinverbraucher pro Einwohner | 9.700 | kWh/(a*Einwohner) |
| Endenergieverbrauch Wärme Öffentliche Einrichtungen pro Einwohner | 450 | kWh/(a*Einwohner) |
| Endenergieverbrauch Wärme Wohnen & Kleinverbraucher pro m ² Wohnfläche | 199 | kWh/(a*Einwohner*m ²) |
| Endenergieverbrauch Wärme Industrie & Großgewerbe pro Einwohner | 17.800 | kWh/(a*Einwohner) |
| Einsatz erneuerbarer Energien (im Bereich Wärme) Wohnen & Kleinverbraucher pro Kopf | 1.900 | kWh/(a*Einwohner) |
| Anteil erneuerbarer Energien Wohnen & Kleinverbraucher an lokaler Wärmeherzeugung | 33 | % inkl. Fernwärme |
| Installierte thermische KWK-Leistung pro Kopf | 4,9 | kW/Einwohner |
| Anzahl Hausanschlüsse Wärmenetz | 1.100 | - |
| Anzahl Hausanschlüsse Gasnetz | 4.677 | - |
| Länge Wärmenetzleitung | 72 | km |
| Länge Gasnetzleitung | 206,6 | km |
| Anteil Biomasse am Endenergieverbrauch | 5,8 | % |
| Anteil strombasierte Wärme | 2,6 | % |

| | | |
|--|------|---|
| am Endenergieverbrauch | | |
| Anteil Solarthermie am Endenergieverbrauch | 0,3 | % |
| Anteil Fernwärme am Endenergieverbrauch | 8,1 | % |
| Anteil Nahwärme am Endenergieverbrauch | 0,1 | % |
| Anteil unvermeidbare Abwärme am Endenergieverbrauch | 47,5 | % |
| Anteil Gas am Endenergieverbrauch | 32,6 | % |
| Anteil Strom (Kälte) am Endenergieverbrauch | 0,6 | % |

Die Kennzahl für den flächenbezogenen Endenergieverbrauch Wärme wird anhand der Einwohnerzahl der Stadt und der Wohnfläche der Wohnungen berechnet [23]. Da hier auch der Energieverbrauch der Kleinverbraucher miteinbezogen ist, ist der Wert höher als bei einer ausschließlichen Betrachtung der Wohngebäude. Der Anteil erneuerbarer Energie Wohnen & Kleinverbraucher an lokaler Wärmeerzeugung in Höhe von 33 % beinhaltet die Fernwärme, welche durch unvermeidbare Abwärme gespeist wird.

Einordnung Vergleich Energienutzungsplan 2019:

Die im Rahmen des Energienutzungsplans des Landkreis Schwandorf erstellten Energie- und Treibhausgasbilanzen für die Stadt Schwandorf mit dem Bilanzjahr 2019 lassen sich nur schwer mit den hier dargestellten Werten vergleichen. Einerseits unterliegen unterschiedliche Jahre generell Schwankungen im Wärmeverbrauch (Wetterlage, wirtschaftliche Lage, etc.), andererseits steigt jährlich die Energieeffizienz der Wärmeerzeugungsanlagen sowie der Anteil an erneuerbaren Energien im Wärme- und Stromsektor. Da die Industrie den Großteil des Wärmeverbrauchs ausmacht, hängt der Gesamtwärmeverbrauch der Stadt stark von der wirtschaftlichen Lage der einzelnen Unternehmer ab. Äußere Einflüsse wie die Corona-Pandemie mit evtl. Teilzeitarbeit und hohe Gaspreise aufgrund der Gaskrise wirken sich intensiv auf den Wärmeverbrauch aus. Unterschiedliche Herangehensweisen, Annahmen und Methodiken zur Berechnung der Energie- und Treibhausgasbilanzen führen zusätzlich zu abweichenden Ergebnissen.

3.5. Wärmebedarf auf Baublockebene

Da aus den Wärmeerzeugerleistungen der Kaminkehrer-Daten, welche straßenzugsweise vorliegen, nicht auf den Wärmebedarf eines einzelnen Gebäudes geschlossen werden kann, wird ein gebäudescharfes Wärmekataster erstellt. Als Grundlage standen ein Wärmekataster aus dem Energienutzungsplan von 2019, das Wärmekataster des Kurzgutachten Bayern sowie der simulierte gebäudescharfer Bedarf aus dem Simulationstool nPro zur Verfügung. Nach detaillierter Auswertung wird das Wärmekataster des Kurzgutachten als Hauptquelle verwendet und mit den Daten aus dem Simulationsprogramm als auch stellenweise dem Energienutzungsplan ergänzt. Wenn vorhanden, wurden Fernwärme- sowie Gasverbräuche eingepflegt. Die vorhandenen tatsächlichen Verbrauchsdaten aus der Befragung von Bürgerinnen und Bürgern, der Industrie und der Öffentlichen Einrichtungen wurden zusätzlich eingearbeitet. Alle kommunalen Gebäude wurden im Kataster mit den tatsächlichen Verbräuchen versehen. Mit einer Abweichung von +16 % zu den Ergebnissen der Energiebilanz stellt das Wärmekataster den Energieverbrauch für Wärme der Stadt Schwandorf ausreichend exakt dar.

Wie bereits erwähnt wird die Stadt aus Datenschutzgründen und zur besseren Veranschaulichung in Baublöcke aufgeteilt. Die Bedarfe der einzelnen Gebäude in einem Baublock werden aufsummiert. Größere Industriegebiete/ Gewerbe werden zudem in separate Blöcke eingeteilt, damit diese die Werte der Haushalte nicht verfälschen. Baublöcke mit nur einem Abnehmer werden zusätzlich aus Datenschutzgründen in den Karten unkenntlich gemacht.

3.5.1. Absoluter Wärmebedarf

Abbildung 31 zeigt den absoluten jährlichen Wärmebedarf für Raumwärme und Warmwasser in Form einer Heatmap auf, Abbildung 32 den absoluten jährlichen Wärmebedarf für Prozesswärme. Je dunkler die Fläche, desto größer ist der absolute Wärmebedarf. Es ist zu sehen, dass die Innenstadt, die Industrie- und Gewerbegebiete und Gebiete mit großen kommunalen Abnehmern (Schwimmbad, Landratsamt) einen hohen Wärmebedarf aufweisen. Dieser erhöhte Wärmebedarf ergibt sich einerseits durch hohe Bebauungsdichten und andererseits auch durch hohe Verbräuche größerer Gebäude (wie Industrie und Großgewerbe).

So ist es möglich, mit dieser Karte schnell und einfach Gebiete, und somit auch Großverbraucher, mit einem hohen Wärmebedarf zu identifizieren.

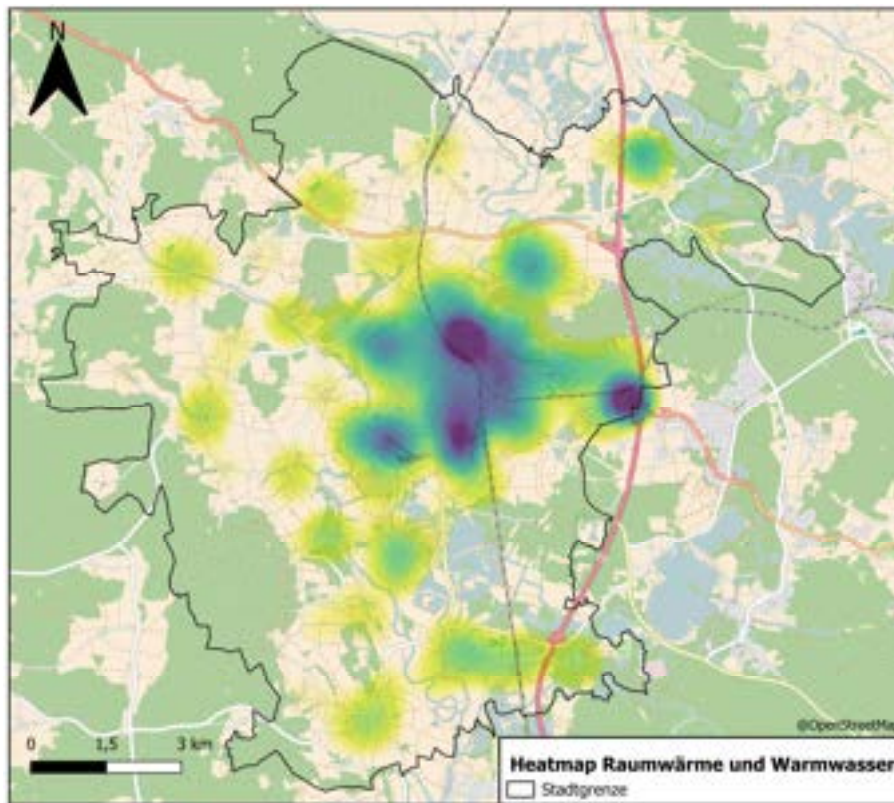


Abbildung 31: Absoluter jährlicher Wärmebedarf Raumwärme und Warmwasser (Heatmap)
ohne Einheit. Je dunkler die Farbe, desto größer der Bedarf

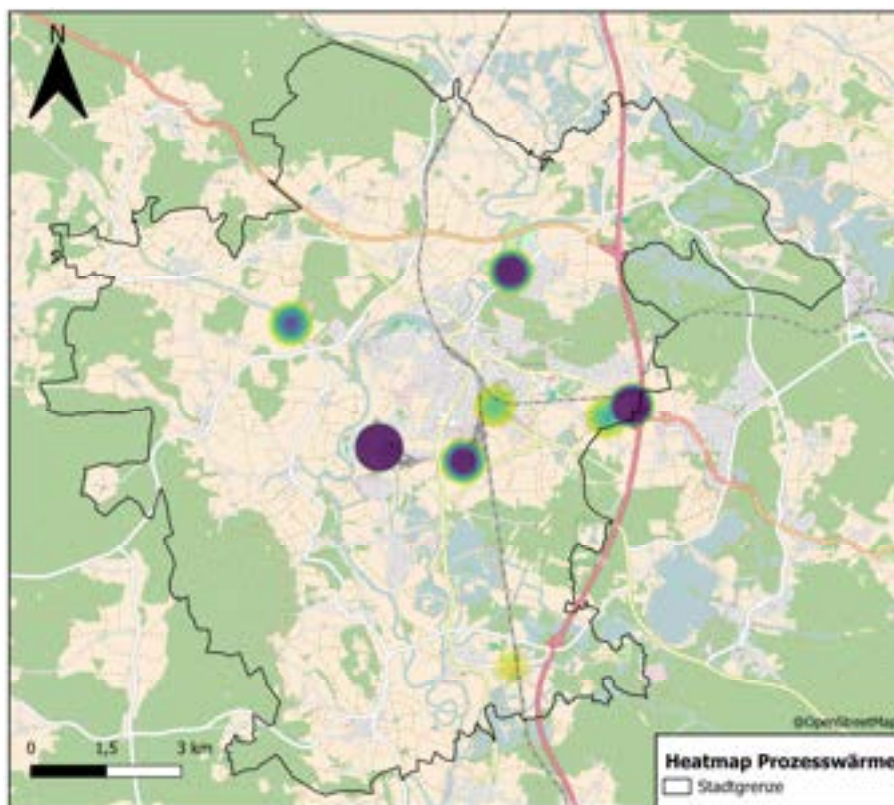


Abbildung 32: Absoluter jährlicher Wärmebedarf Prozesswärme (Heatmap)

ohne Einheit. Je dunkler die Farbe, desto größer der Bedarf

Betrachtet man den Gesamtwärmebedarf für Warmwasser, Raumwärme und Prozesswärme, fallen mehrere Großverbraucher ins Auge. Diese können unter anderem als Ankerkunden einen großen Pluspunkt für ein Wärmenetz darstellen.

In Abbildung 33 sind diese Großverbraucher aufgezeigt, in Tabelle 17 sind diese namentlich aufgelistet.

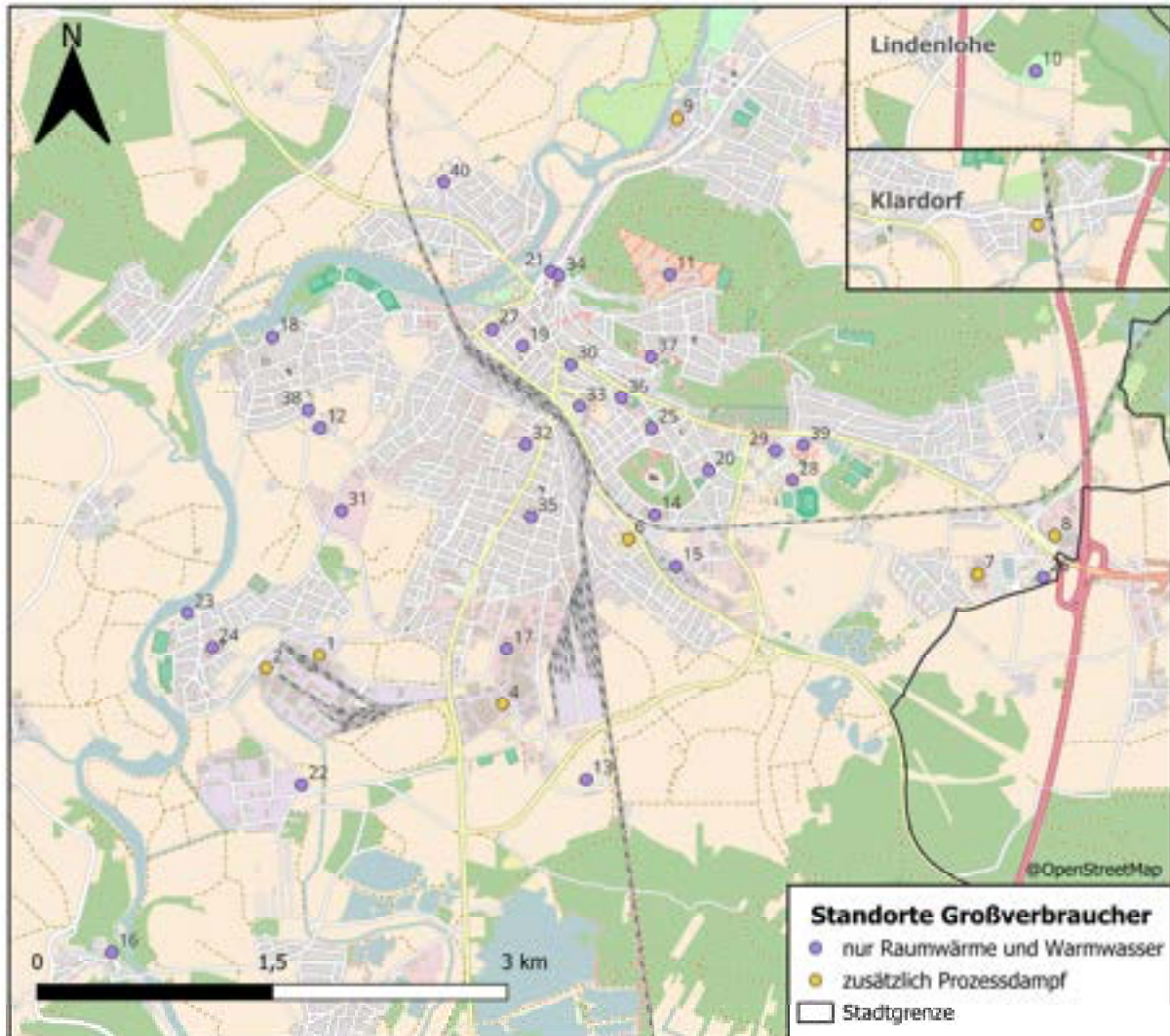


Abbildung 33: Standorte von Großverbrauchern

Tabelle 17: Auflistung der Großverbraucher zu Abbildung 33

| Nummer | Großverbraucher |
|--------|--|
| 1 | Zweckverband Müllverwertung Schwandorf (ZMS) |
| 2 | Nabaltec AG |
| 3 | Horsch Maschinen GmbH |
| 4 | Benteler Automobiltechnik GmbH |
| 5 | Metallverarbeitungs GmbH Rana-Werk |
| 6 | Krankenhaus St. Barbara |
| 7 | Globus Schwandorf |
| 8 | Wolf Echter Essgenuss |
| 9 | Fronberg Guss |
| 10 | Asklepios Orthopädische Klinik |
| 11 | Bundespolizei |
| 12 | Naab-Werkstätten GmbH |
| 13 | Verbandskläranlage |
| 14 | Berufsschulzentrum Oskar von Miller |
| 15 | Die Länderbahn GmbH DLB |
| 16 | Schlossbrauerei Naabeck GmbH & Co. KG |
| 17 | Paragon Group Limited |
| 18 | Haus des guten Hirten |
| 19 | Elisabethenheim |
| 20 | Kreuzbergerschule |
| 21 | Rathaus |
| 22 | Heimerl Metall |
| 23 | Hallenbad |
| 24 | Grund- und Hauptschule Dachelhofen |
| 25 | Karl-Friedrich-Gauß-Gymnasium |
| 26 | Obi Markt |
| 27 | Caritas Alten- und Pflegeheim Marienheim |
| 28 | Oberpfalzhalle |
| 29 | Landratsamt |
| 30 | Agentur für Arbeit |
| 31 | Kleeblatt Werkstätte |
| 32 | Mega-Möbel Uschold Möbel GmbH |
| 33 | TWF Gelände |
| 34 | Gerhardinger Schule |
| 35 | Lindenschule |
| 36 | Mädchenschule St. Josef |
| 37 | Konrad-Max-Kunz-Realschule |
| 38 | Sonderpädagogisches Förderzentrum |
| 39 | Erlebnisbad Schwandorf |
| 40 | St. Anna Kindergarten |

3.5.2. Wärmebedarf pro Baublockfläche

In Abbildung 34 ist der jährliche Wärmebedarf pro Baublockfläche zu sehen. Die Wärmedichte entsteht, indem der Wärmebedarf aller Gebäude eines Baublocks auf die Fläche des Baublockes bezogen wird, wodurch sich je Baublock ein Wert in MWh pro Jahr und Hektar ergibt. Die Intervalle orientieren sich am Leitfaden des Bundes. Sie können eine erste Orientierung zur Wärmenetzeignung liefern [5]. Je geringer die Wärmedichte, desto weniger wirtschaftlich lohnend ist ein Wärmenetz in den meisten Fällen. Es ist zu erkennen, dass auch hier die

Innenstadt und die Industrie einen hohen Wert aufweisen. In den Siedlungsgebieten haben die meisten Baublöcke einen ähnlichen Wert, da sich die Verbräuche von Wohnhäusern nur in geringem Maße unterscheiden. Vereinzelt sind Siedlungsgebiete mit höherer Wärmedichte vorhanden, was auf einen höheren Verbrauch oder eine höhere Bebauungsdichte hinweist. Ein paar Baublöcke sind aus Datenschutz-Gründen ausgegraut.

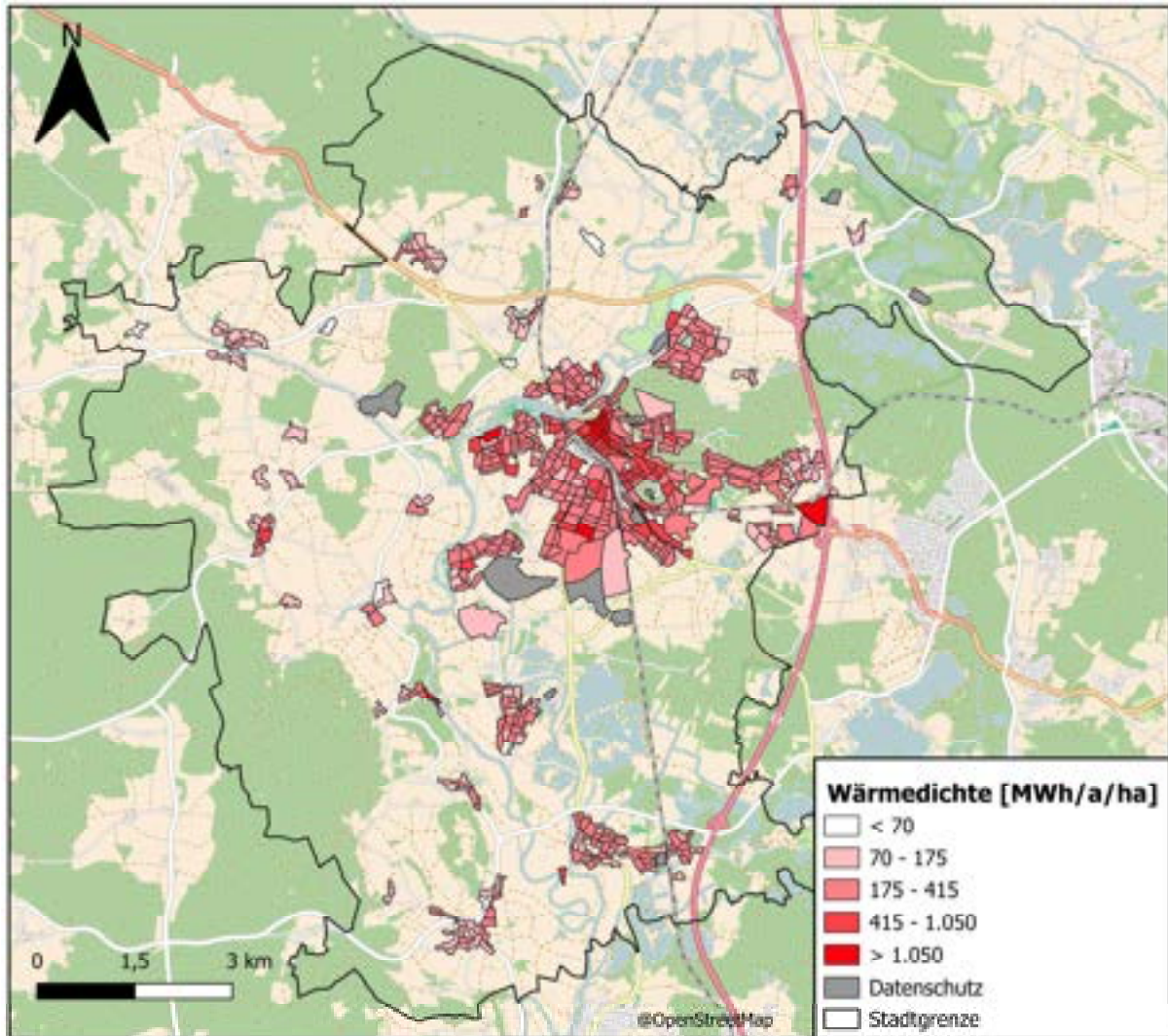


Abbildung 34: Jährlicher Wärmebedarf pro Baublöckfläche

Für die umliegenden Dörfer kann die Wärmedichte bereits ein erster Indikator für deren Wärmenetzeignung sein. Sie muss allerdings nicht der alleinige Ausschlaggeber für eine Einordnung sein. Betrachtet man beispielsweise den Ort Haselbach, dessen südlicher Teil bereits durch ein Wärmenetz von nahegelegener Biogasanlage versorgt wird, fällt auf, dass die dortigen Baublöcke mit 70 – 175 MWh/a/ha eine eher geringe Wärmedichte aufweisen. Ist Wärme, wie in diesem Fall, zu einem günstigen Preis verfügbar, kann der Anschluss trotz geringer Wärmedichte wirtschaftlich sein.

3.5.3. Wärmeliniendichte (WLD)

Ein wichtiges Kriterium hinsichtlich der Eignung für die Versorgung durch ein konventionelles Wärmenetz stellt die Wärmeliniendichte mit der Einheit kWh pro Jahr und Meter dar. Hiermit lassen sich grob die Wärmemengen für einen Straßenabschnitt abschätzen, welche durch ein Wärmenetz zur Verfügung gestellt werden müssten. Je höher dieser Wert ist, umso geringer sind die anteiligen Wärmeverluste während des laufenden Betriebs eines Wärmenetzes und umso wirtschaftlicher ist der Bau der Leitungen. Abbildung 35, Abbildung 36 und Abbildung 37 zeigen die Wärmeliniendichten je Straßenzug.

Straßenabschnitte mit kleineren Häusern und geringer Dichte weisen einen geringeren Wert der Wärmeliniendichte auf. In Straßenzügen mit Großverbrauchern und dichter Mehrfamilienhausbebauung ist ein höherer Wert vorhanden. Wie auch bei den Wärmedichten sind die Wärmeliniendichten in vier Stufen unterteilt, welche ein erster Indikator für die Einordnung zur Eignung eines Wärmenetzes sein können. Rein auf Basis der Wärmeliniendichten wäre laut Literatur [5] ein heißes Wärmenetz ab einer WLD > 1.500 kWh/a/m genauer zu untersuchen.



Abbildung 35: Wärmeliniendichte des Nordwestlichen Stadtgebiets



Abbildung 36: Wärmelinienindichten des Nordens und Südens des Stadtgebiets

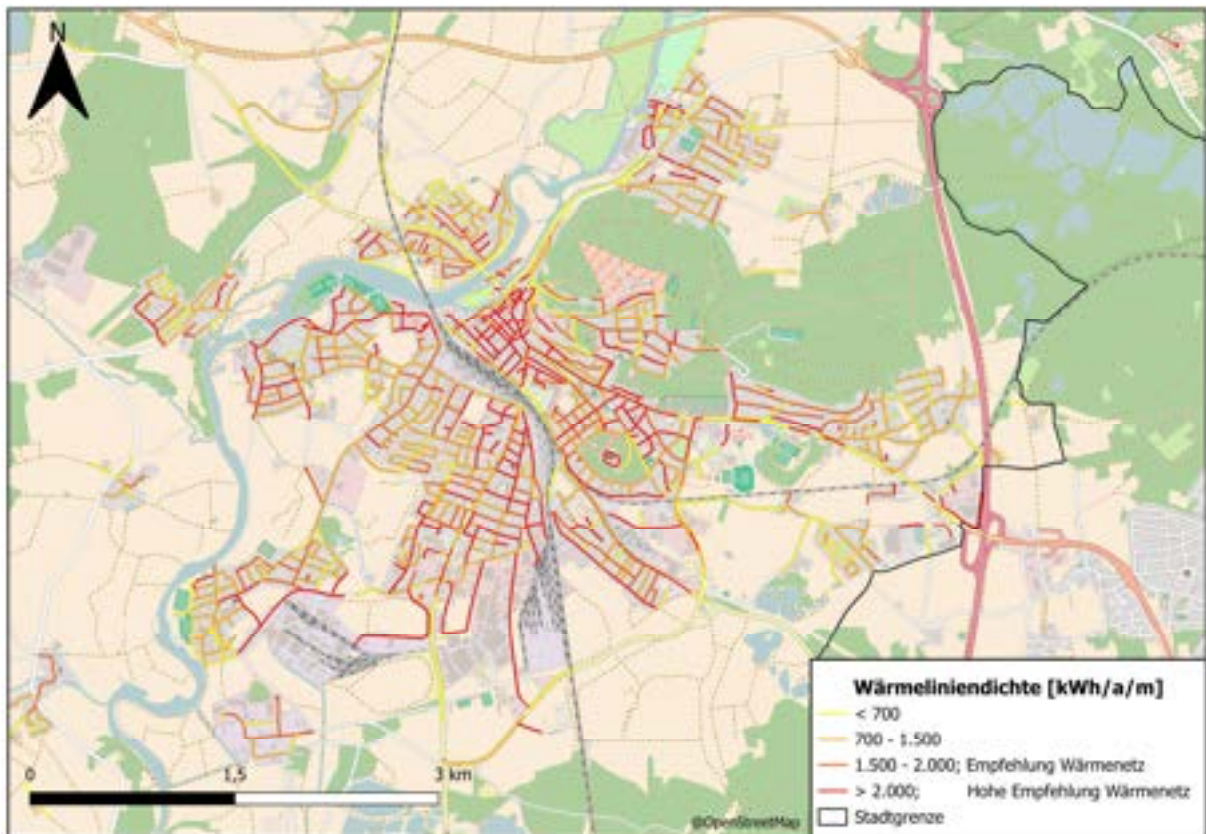


Abbildung 37: Wärmelinienindichten des Kernstadtgebiets

3.6. Energiebilanz Strom

Ziel der Sektorenkopplung ist es unter anderem, die Verknüpfung von Wärme und Strom weiter voranzureiben und so die Auslastung elektrischer, regenerativer Erzeugungskapazitäten zu optimieren. Daher wird für die Wärmeplanung auch eine Energiebilanz für den Sektor Strom aufgestellt.

3.6.1. Methodik

Auch für die Energiebilanz des Sektors Strom wird das Jahr 2023 betrachtet. Die Stromverbräuche werden übermittelt durch die Bayernwerk Netz GmbH. Die tatsächlichen Strombezugswerte sind in die verschiedenen Verbrauchergruppen aufgeteilt. Zu den Öffentlichen Einrichtungen, für die die tatsächlichen Verbräuche von der Kommune zur Verfügung gestellt wurden, wird der Stromverbrauch der Straßenbeleuchtung, der Verbandskläranlage sowie des städtischen Eigenbetriebs für die Lieferung und Versorgung mit Wasser und Fernwärme hinzugezählt. Zudem wurden die Rückläufer der Fragebögen der Industrie und des Zweckverbands Müllverwertung Schwandorf eingepflegt. Der Stromverbrauch für Wärmepumpen und Nachtspeicherheizungen wird nicht mitberücksichtigt, da dieser schon in der Energiebilanz Wärme verrechnet ist.

3.6.2. Zusammenfassung Energiebilanz Strom

Der Gesamtstromverbrauch einer Stadt ist meist nicht auf den ersten Blick ersichtlich, da durch den Energienetzbetreiber nur die von den Verbrauchern bezogenen Stromverbräuche sowie die durch die Stromerzeugungsanlagen eingespeisten Strommengen vorhanden sind. Durch den Eigenverbrauch von Verbrauchern ergibt sich eine Dunkelziffer, die für den Gesamtstrombedarf der Stadt ermittelt werden sollte. Diese Strommenge wurde durch die Differenz von erzeugter Strommenge und eingespeister Strommenge berechnet.

Die erzeugten Strommengen wurden bereits in Tabelle 5 dargestellt. In Tabelle 18 sind diese Werte noch einmal der Stromeinspeisung gegenübergestellt.

Tabelle 18: Stromeinspeisung aufgeteilt auf Energieerzeuger

| Energieerzeuger | Stromerzeugung [MWh/a] | Stromeinspeisung [MWh/a] |
|----------------------|------------------------|--------------------------|
| ZMS (MHKW) | 144.400 | 114.400 |
| PV | 49.400 | 41.400 |
| Biomasse | 21.400 | 21.100 |
| Wasser | 3.900 | 3.900 |
| KWK-Anlagen (Fossil) | 4.000 | 1.800 |
| Gesamt | 223.100 | 182.600 |

Der bilanzielle Anteil erneuerbarer Energien an der lokalen Stromerzeugung liegt bei circa 67 % (52 % Biomasseanteil im Abfall). 65 % des Stroms wird von dem MHKW erzeugt, 32 % der Stromerzeugung stammen aus Photovoltaik und Biomasse (siehe Abbildung 13), der Rest aus fossilen KWK-Anlagen und Wasserkraftwerken. Die Stromeinspeisung des MHKWs ist, wie bereits zu einem früheren Zeitpunkt erwähnt, sehr schwankend, da die Stromerzeugung stark von der Abgabe von Prozessdampf an die Industrie und von Wärme an das Fernwärmenetz abhängig ist und die verfügbare Leistung der letzten Jahre zusätzlich wegen der

Umbaumaßnahmen des Triphönix-Projektes vermindert waren. In den vergangenen 6 Jahren wurden zwischen 110 und 175 GWh Strom in das Stromnetz eingespeist.

Aus der Differenz von Stromerzeugung und Stromeinspeisung kann ein ungefährender Eigenverbrauch von 40 GWh ermittelt werden. Dabei wurde die Differenz der PV-Anlagen wegen geschätzter Abregelung noch einmal um knapp 7% reduziert (Wert auf Basis von bekannter Abregelung in Schwandorf von 2022 geschätzt).

In Tabelle 19 ist der sich aus der Summe dieses Eigenverbrauchs und der durch den Energieversorgers übermittelten Strombezüge ergebende Gesamtstromverbrauch der Stadt aufgestellt. Da der ermittelte Eigenverbrauch nicht vollständig einer Verbrauchergruppe zugeordnet werden kann, wurde dieser verbleibende Betrag gesondert ausgewiesen.

Tabelle 19: Stromverbrauch 2023 aufgeteilt auf Verbrauchergruppen

| Verbrauchergruppe | Stromverbrauch [MWh/a] |
|------------------------------|------------------------|
| Industrie & Großgewerbe | 188.800 |
| Wohnen & Kleinverbraucher | 36.500 |
| Öffentliche Einrichtungen | 6.900 |
| Nicht zuordbarer Eigenbedarf | 10.000 |
| Gesamt | 242.200 |

Ohne die nicht zuordbaren Eigenbedarfe zu berücksichtigen, machen Industrie & Großgewerbe 81 % des Stromverbrauchs in Schwandorf aus, Wohnen & Kleinverbraucher 16 % und die Öffentlichen Einrichtungen inklusive Straßenbeleuchtung circa 3 %.

In Tabelle 20 sind die Kennwerte der Energiebilanz des Strombezugs aufgelistet. Im Jahr 2023 wurde mehr Strom verbraucht als erzeugt, was vor allem mit der verminderten Leistung des MHKWs in diesem Jahr in Zusammenhang steht. Zusätzliche Strommengen mussten daher importiert werden. Ein zusätzlicher Stromimport kann allerdings auch durch eine vollständige bilanzielle Deckung von Erzeugung und Verbrauch nicht ausgeschlossen werden, da Erzeugung und Verbrauch durch saisonale Verschiebung nicht immer aufeinander fallen.

Tabelle 20: Kennwerte der Energiebilanz Stromverbrauch

| Kennwert | Wert | Einheit |
|---|-------|-------------------|
| Endenergieverbrauch Strom Wohnen & Kleinverbraucher pro Einwohner | 1.213 | kWh/(a*Einwohner) |
| Endenergieverbrauch Strom Öffentliche Einrichtungen pro Einwohner | 230 | kWh/(a*Einwohner) |
| Anteil erneuerbarer Energien an lokaler Stromerzeugung | 67 % | - |
| Installierte elektrische KWK-Leistung pro Kopf | 3,0 | kW/Einwohner |
| Endenergieverbrauch Strom gesamt pro Einwohner | 7.710 | kWh/(a*Einwohner) |

3.7. Treibhausgasbilanz Wärme und Strom

Für die Treibhausgasbilanz 2023 werden die aktuellen Verbräuche für Wärme und Strom mit spezifischen Kennzahlen der CO₂-Äquivalente, sogenannten Emissionsfaktoren, versehen. Die für die aktuelle Treibhausgasbilanz notwendigen Emissionsfaktoren sind in Tabelle 21 aufgelistet. Für die Zielszenarien werden weitere Emissionsfaktoren sowie Prognosen für Strom und weitere Energieträger bis 2040 dargestellt werden. Die meisten Werte entsprechen den Emissionsfaktoren des Gebäudeenergiegesetzes (GEG).

Tabelle 21: Emissionsfaktoren mit CO₂-Äquivalenten der einzelnen Energieträger

| Energieträger | CO ₂ -Äquivalente [g/kWh _{Endenergie}] | Literatur |
|---|---|--|
| Heizöl | 310 | GEG |
| Erdgas | 240 | GEG |
| Flüssiggas | 270 | GEG |
| Brennholz | 20 | GEG |
| Solarthermie | 0 | GEG |
| Strom-Mix (2023) | 449 | [24] |
| Wärmepumpe Luft | 145 | Eigene Berechnung: (JAZ 3,1 und Strommix) |
| Wärmepumpe Geothermie | 118 | Eigene Berechnung: (JAZ 3,8 und Strommix) |
| Abwärme aus Industrieprozessen | 40 | [25], GEG |
| Abwärme aus Abfallverwertung für Fernwärme | 0 | [26] |
| Abwärme aus Abfallverwertung für Prozessdampf | 20 | GEG |
| Nahwärme (KWK, Biogas) | 40 | GEG |
| Biogas | 137 | [25] |
| Klärgas | 50 | [27] |
| Sonstige Fossile | 320 | [28], eigene Berechnung |

Da in den Kkehrbuchdaten nicht zwischen verschiedenen Biomasse-Energieträgern wie Pellets, Stückholz, Hackschnitzel etc. unterschieden wird, wird für die Biomasse ein einheitlicher Wert angenommen. Dieser entspricht dem von naturbelassenen stückigem Holz. Abweichend zu den Emissionsfaktoren des GEG wird für die strombasierte Wärmeerzeugung mit Umgebungswärme (v.a. Luft und Geothermie) nicht der Wert Null angenommen. Da strombasierte Wärmeerzeuger in Zukunft voraussichtlich vermehrt zum Einsatz kommen werden, werden diese stärker zur Treibhausgasemission beitragen bis der Strom-Mix einen niedrigeren Emissionsfaktor aufweist. Dies sollte nicht unberücksichtigt bleiben. Für den Emissionsfaktor der Abwärme des Müllheizkraftwerks liegt ein Zertifikat der Technischen Universität Dresden vor, welches einen Emissionsfaktor von 0,0 g/kWh nach Gebäudeenergiegesetz ausweist. Die in den Kaminkehrer-Daten aufgeführte Kategorie Sonstige Fossile umfasst verschiedene fossile Energieträger, wie z.B. Brenntorf, Kohle und weitere. Es wurde, angelehnt an das BSKO Methodenpapier, ein einheitlicher Wert von 320 g/kWh angenommen, der sich zwischen Kohle, Erdgas und Heizöl bewegt.

Aufgrund der Transportfähigkeit, der Möglichkeit des bilanziellen Verbrauchs sowie Mangels von Nachweisen zum Verbrauch von Biomethan auf dem Stadtgebiet wird für die Verbräuche

aus der Gasleitung ein individueller Emissionsfaktor aus den Energieträgern Erdgas und Biomethan berechnet. Der Anteil an Biomethan im Gasnetz betrug 2023 1,3 % [29] [30] [31]. Somit ergibt sich ein Faktor von 238,7 g/kWh CO₂-Äquivalente für das Methan aus dem Gasnetz.

In Abbildung 38 sind die untersuchten Endenergieverbräuche pro Verbrauchergruppe von Wärme und Strom aufsummiert dargestellt. Ausgehend von den Verbräuchen werden die CO₂-Äquivalente berechnet.

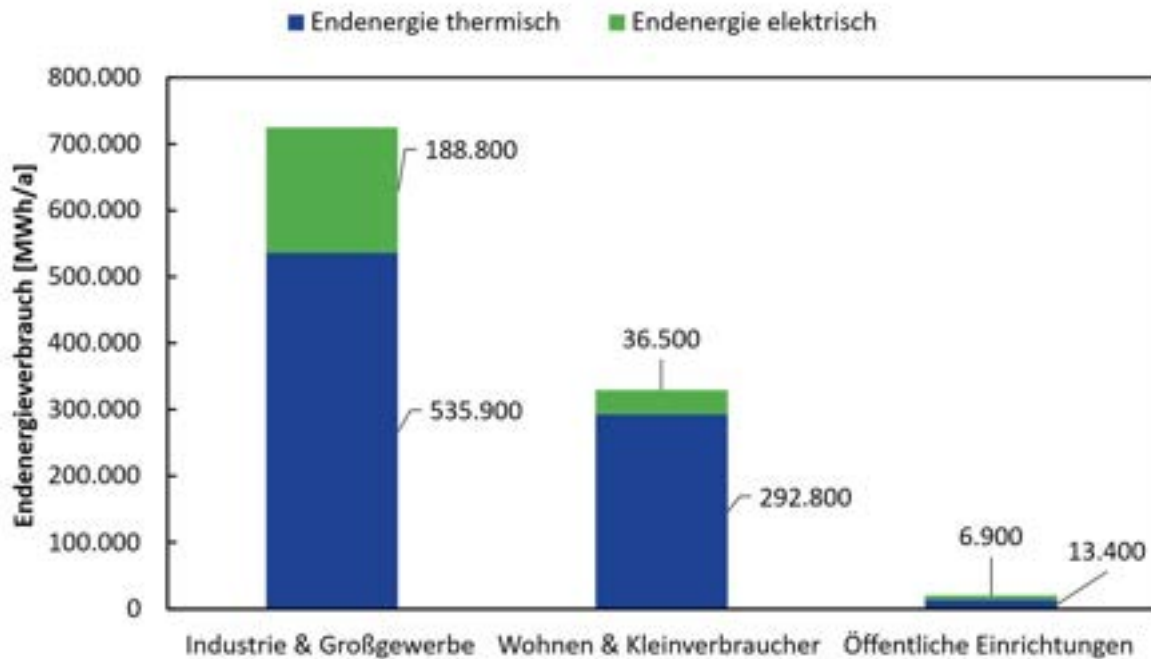


Abbildung 38: Endenergieverbrauch thermisch und elektrisch
des ganzen Stadtgebiets aufgeteilt auf die Verbrauchergruppen

Abbildung 39 zeigt die Treibhausgasbilanz für das ganze Stadtgebiet aufgeteilt auf Verbrauchergruppen für den Wärme- und Stromverbrauch. Aufgrund des hohen Strombedarfs hat der Bereich Industrie & Großgewerbe auch den höchsten Treibhausgaswert der Verbrauchergruppen, auch wenn die Emissionen im Wärmebereich in der Gruppe Wohnen & Kleinverbraucher höher sind. Insgesamt werden auf dem Stadtgebiet jährlich 209.700 t CO₂-Äquivalente in den Sektoren Wärme (105.400 t CO₂-Äquivalente) und Strom (104.300 t CO₂-Äquivalente) emittiert.

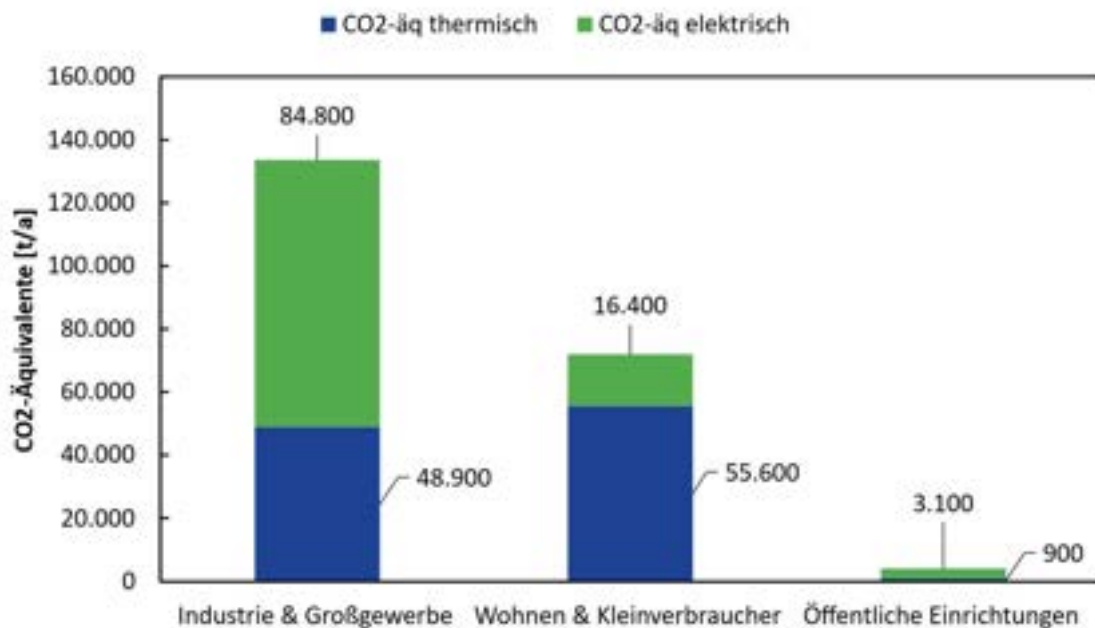


Abbildung 39: Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalente resultierend aus dem Endenergieverbrauch. Für das ganze Stadtgebiet aufgeteilt auf die Verbrauchergruppen

Tabelle 22 listet die Kennwerte der Treibhausgasbilanz auf. Somit können Fortschreibungen des Wärmeplans mit den Werten aus 2023 verglichen werden.

Tabelle 22: Kennwerte der Treibhausgasbilanz

| Kennwert | Wert | Einheit |
|--|------|---|
| THG-Emissionen Gesamtwärme pro Einwohner | 3,49 | t _{CO₂-Äq} /(a*Einwohner) |
| THG-Emissionen Wärme Wohnen & Kleinverbraucher pro Einwohner | 1,84 | t _{CO₂-Äq} /(a*Einwohner) |
| THG-Emissionen Wärme Öffentliche Einrichtungen pro Einwohner | 0,03 | t _{CO₂-Äq} /(a*Einwohner) |
| THG-Emissionen Wärme Industrie & Großgewerbe pro Einwohner | 1,62 | t _{CO₂-Äq} /(a*Einwohner) |
| THG-Emissionen Strom gesamt pro Einwohner | 3,45 | t _{CO₂-Äq} /(a*Einwohner) |
| THG-Emissionen Strom Wohnen & Kleinverbraucher pro Einwohner | 0,54 | t _{CO₂-Äq} /(a*Einwohner) |
| THG-Emissionen Strom Öffentliche Einrichtungen pro Einwohner | 0,10 | t _{CO₂-Äq} /(a*Einwohner) |
| THG-Emissionen Strom Industrie & Großgewerbe pro Einwohner | 2,81 | t _{CO₂-Äq} /(a*Einwohner) |

Sektor Verkehr:

Laut durch die Stadt bereitgestellte Analysen entfallen auf den Sektor Verkehr im Jahr 2023 ein Energieverbrauch von ca. 302.800 MWh. Hierbei sind alle Transportmittel mitbetrachtet. Dies entsprechen ca. 101.900 t CO₂-Äquivalente an Treibhausgasemissionen im Jahr 2023. Diese Werte werden in den Zielszenarien aufgegriffen und im Sinne der Sektorenkopplung mitbetrachtet.

4. Potenzialanalyse

Das Ziel des Freistaates Bayern und somit der Stadt Schwandorf ist es bis 2040 klimaneutral zu werden. Dafür müssen zum einen fossile Energieträger durch erneuerbare Energien ausgetauscht werden und zum anderen Potenziale bei der Energieeinsparung und Energieeffizienz erschlossen werden. Um mögliche Erfüllungsoptionen für die Klimaneutralität aufzuzeigen, werden in diesem Kapitel eben diese Potenziale erhoben und analysiert.

4.1. Datengrundlage

In Tabelle 23 sind die Datengrundlagen der einzelnen Abschnitte für die Potenzialanalyse aufgelistet.

Tabelle 23: Datengrundlagen der Potenzialanalyse

| Kapitel | Datengrundlage |
|--|---|
| Schutzgebiete und Denkmalschutz | Bayerisches Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaftsamt Weiden, Bayern-Atlas |
| Energieeinsparpotenziale durch Sanierung | Leitfaden Wärmeplanung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Fragebogen Industrie & Großgewerbe, Städtische Wasser- und Fernwärmeversorgung Schwandorf |
| Potenzial erneuerbarer Wärme | ALKIS, Energie-Atlas-Bayern, Umweltatlas-Bayern, Fragebogen Industrie & Großgewerbe; Plattform für Abwärme, Kurzgutachten Bayern, weitere Literaturquellen |
| Potenzial erneuerbarer Strom | Energie-Atlas Bayern, Energiekonzept Windkraft, Fragebogen Industrie & Großgewerbe |
| Anschlussinteresse an einem Wärmenetz | Fragebogen Bürgerinnen und Bürger |

4.2. Schutzgebiete und Denkmalschutz

Um die energetischen Potenziale im Stadtgebiet einschätzen zu können, müssen Ausschlussgebiete, wie Schutzgebiete und Bauten unter Denkmalschutz, mitberücksichtigt werden. So können z.B. Standorte für PV-Freiflächen oder die Ausweisung von Sanierungsgebieten vorab für bestimmte Areale ausgeschlossen werden. Bei denkmalgeschützten Bauwerken kann es zu Einschränkungen in Bezug auf Sanierungen und Aufbau von Solar- oder Photovoltaikanlagen kommen.

4.2.1. Schutzgebiete

Abbildung 40 zeigt die Schutzgebiete auf dem Gebiet der Stadt Schwandorf auf. Die Daten stammen aus dem Geodatendienst des Bayerischen Landesamt für Umwelt [32, 32]. Unterteilt werden die Schutzgebiete in Trinkwasserschutz, Fauna-Flora-Habitat, Naturschutz, Landschaftsschutz, Biotope, Ökoflächenkataster (inkl. Ausgleichsflächen), Vogelschutzgebiete und Biosphärenreservat. Zudem werden Überschwemmungsgebiete und Moorböden aufgezeigt. Während in Naturparks, Flora-Fauna-Habitat Gebieten und Naturschutzgebieten der Bau von Windenergieanlagen und PV-Freiflächen „in der Regel unzulässig“ ist, ist dies in Landschaftsschutzgebieten unter Auflagen und Vorgaben möglich [33]. Für Trinkwasser- und Landschaftsschutzgebiete stellt die Genehmigung der Nutzung von Geothermie eine Herausforderung dar.

Diese Gegebenheiten fließen in die Betrachtungen der jeweiligen Potenzialabschätzungen mit ein.

Entlang des Flusses Naab sind Überschwemmungsgebiete vorhanden. Im Südosten existiert ein großflächiger Moorboden. Es sind einige Trinkwasserschutzgebiete und vereinzelt größere Landschaftsschutzgebiete vorhanden.

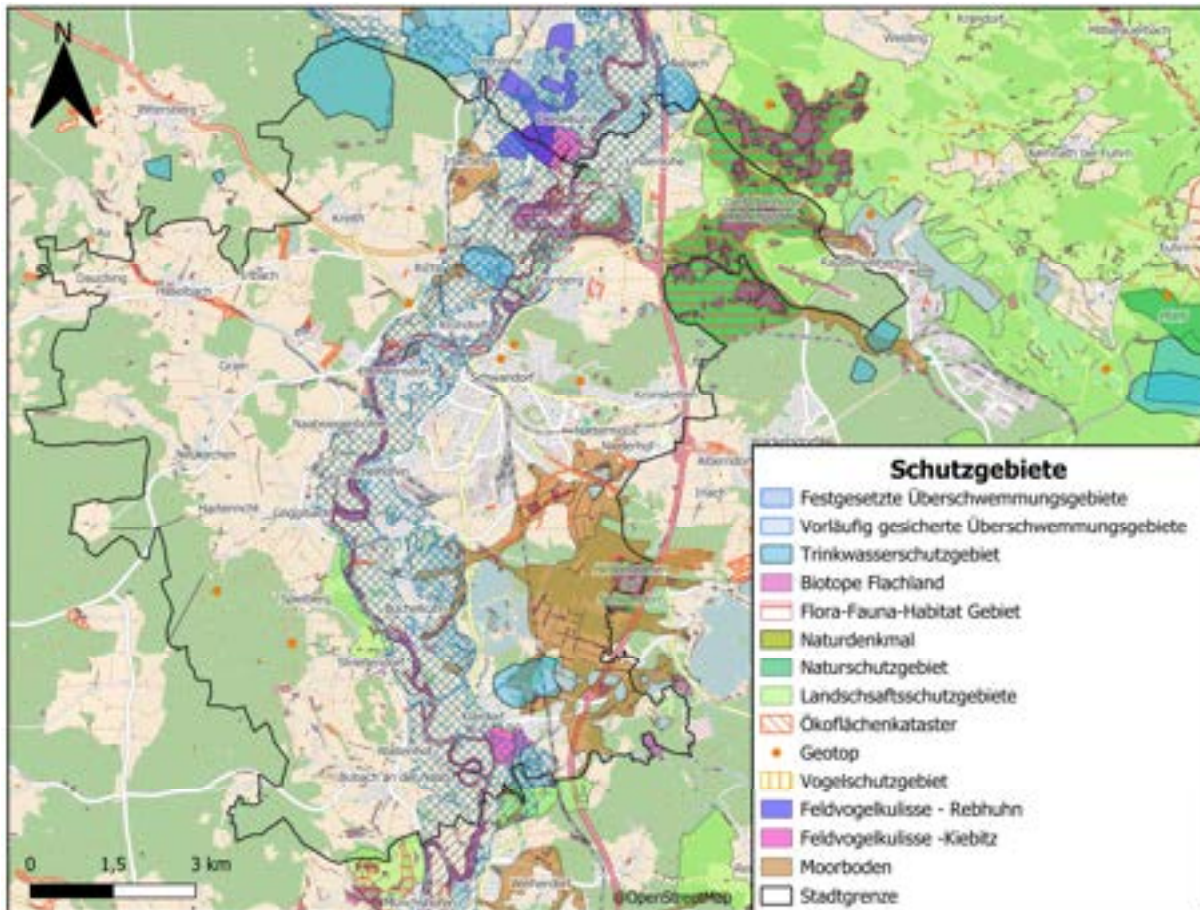


Abbildung 40: Schutzgebiete auf dem Stadtgebiet

4.2.2. Denkmalschutz

Abbildung 41 zeigt die Denkmäler im Stadtgebiet auf. Die Altstadt von Schwandorf ist teilweise als Ensemble-Denkmal ausgewiesen. Größere Bodendenkmäler sind außerhalb der Stadt vorhanden. Ansonsten sind weitere Boden- als auch Baudenkmäler auf dem Stadtgebiet vorhanden. Bei denkmalgeschützten Bauwerken kann es zu Einschränkungen in Bezug auf Sanierungen und Aufbau von Solar- oder Photovoltaikanlagen kommen. Bodendenkmäler sind bei der Betrachtung von PV-, Solarthermie- und Geothermie-Freiflächen sowie bei der Entwicklung von Windkraft zu beachten.

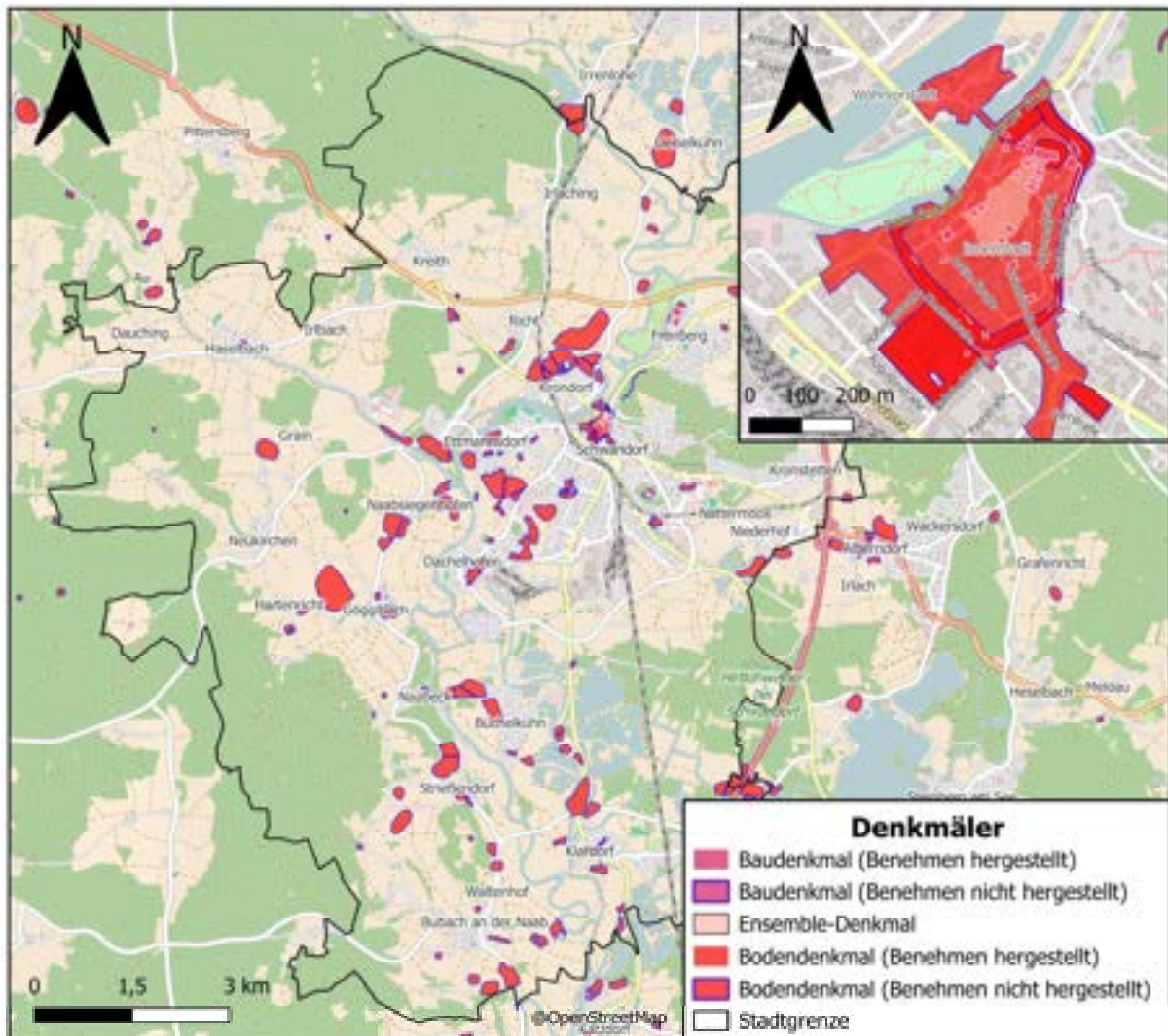


Abbildung 41: Ensemble-, Boden- und Baudenkmäler

4.3. Energieeinsparung und Energieeffizienz

Das Ersetzen von fossilen Energieträgern durch erneuerbare Technologien ist ein Baustein zum Gelingen der Wärmewende. Ein weiterer wesentlicher Beitrag kann durch die Reduktion des Energiebedarfs geleistet werden. Daher werden in diesem Kapitel das Potenzial an Wärmebedarfsreduktion der Wohngebäude, die mögliche Effizienzsteigerung industrieller Prozesse als auch die Auswirkungen der Sanierung auf das bestehende Fernwärmenetz untersucht.

4.3.1. Wärmebedarfsreduktion in Gebäuden

Für den Bereich Wohnen & Kleinverbraucher ist die Sanierung der Gebäude eine effektive Maßnahme, um den Wärmebedarf zu verringern. Die Betrachtung des Energieeinsparpotenzials durch Sanierung gibt einen ersten Hinweis darauf, in welchen Gebieten der Stadt Sanierungsmaßnahmen eine beachtliche Auswirkung auf die Wärmewende haben können. Diese Analyse adressiert ausschließlich der Sanierung von Gebäuden zur Reduktion der Heizwärme. Die Prozesswärme wird hierbei nicht betrachtet.

Das Energieeinsparpotenzial kann mittels der Kennwerte aus dem Technikkatalog des Leitfadens für die Wärmeplanung berechnet werden [5], indem anhand der Siedlungsentwicklung ein repräsentatives Gebäude-Baujahr für jeden Baublock angenommen wird. Die mögliche Wärmebedarfsreduktion hängt vom Baujahr des Gebäudes ab. Hier wird allerdings nicht davon ausgegangen, dass jedes Haus vollsanziert wird. In Abhängigkeit des Baujahres werden Einsparpotenziale zwischen 0 und 40 % angenommen. Das höchste Potenzial haben Gebäude aus der Nachkriegszeit (1950 – 1975). Neuere Gebäude haben nahezu kein Einsparpotenzial, dementsprechend fallen die langfristigen Einsparpotenziale für Neubaugebiete oder neuere Baublöcke sehr gering aus. Abbildung 42 zeigt die Ergebnisse dieser Berechnung.

Aufgrund der Verteilung der Baualterklasse ist zu erkennen, dass ein Großteil der Baublöcke ein hohes Energieeinsparpotenzial von über 20 % aufweisen. Das geringste Potenzial besteht in den Gebieten, die nach 2000 gebaut wurden, wobei diese nur kleine Flächen im Stadtgebiet einnehmen. Bei Gebäuden, die unter Denkmalschutz stehen, ist eine energetische Sanierung zudem schwierig. Wie viel Energieeinsatz tatsächlich vermieden werden kann, hängt vom Grad der Sanierung sowie der Sanierungsrate ab und kann in dieser Detailebene nur grob abgeschätzt werden. Weiß eingezeichnet sind Industrie- und Gewerbegebiete oder Gebiete, für welche eine Abschätzung der Wärmebedarfsreduktion sehr individuell ist und im nächsten Kapitel betrachtet wird.

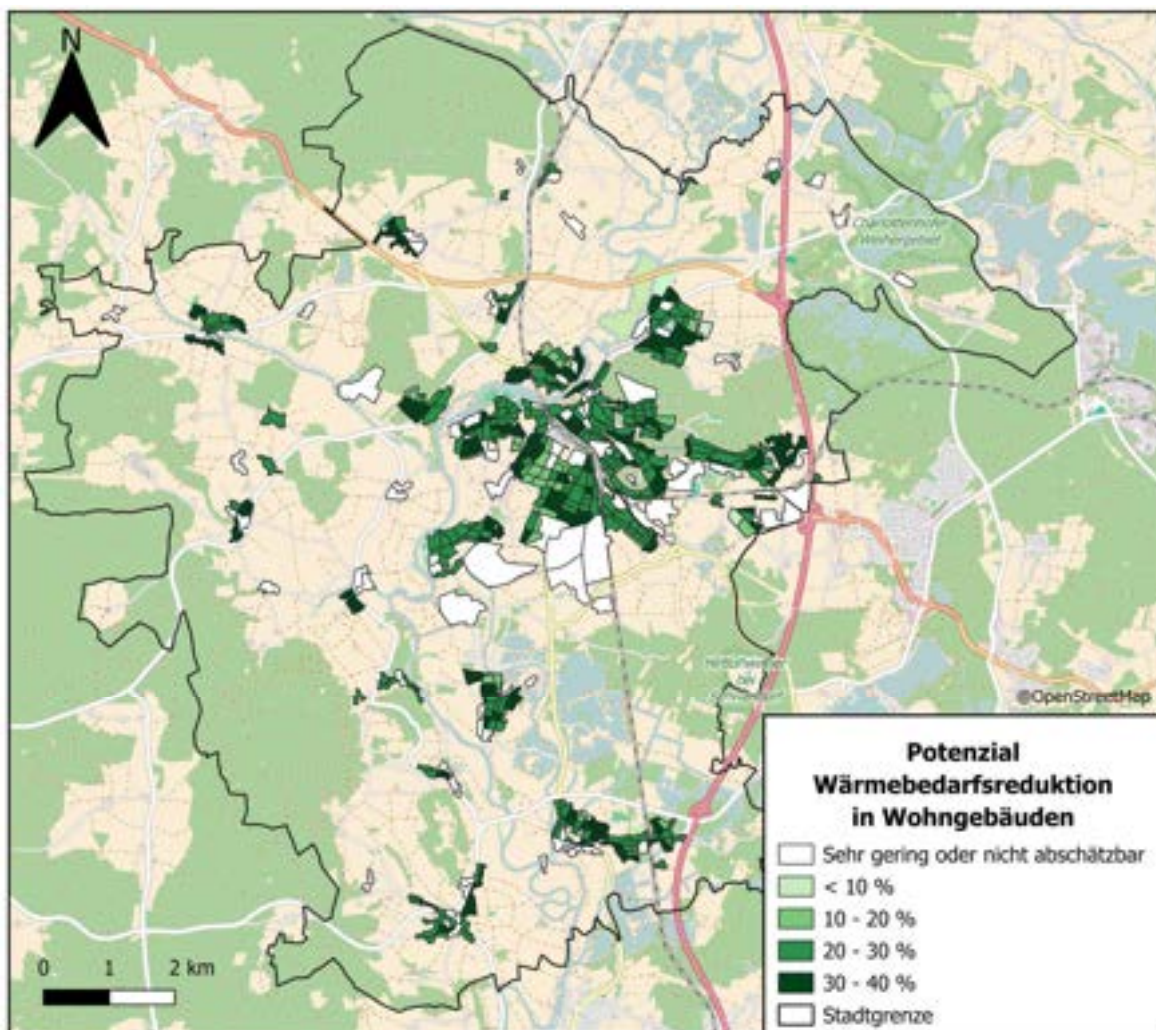


Abbildung 42: Energieeinsparpotenzial durch Sanierung

berechnet mittels Technikkatalog des Bundes [5]

Abbildung 43 zeigt das Potenzial zur Energieeinsparung durch Wärmebedarfsreduktion für die Verbrauchergruppe der Wohnen & Kleinverbraucher im Stadtgebiet. Es werden zwei Szenarien mit unterschiedlichen Sanierungsquoten von 1 oder 2 %, dargestellt. Zusätzlich wird der Bedarfsrückgang aufgrund der steigenden Temperaturen des Klimawandels mitberücksichtigt. Angelehnt an die Literatur [34] wird in den Jahren 2024-2035 ein jährlicher Bedarfsrückgang von 0,69 % und in den Jahren 2036 bis 2040 ein jährlicher Bedarfsrückgang von 0,15 % für Raumwärme und Warmwasser angenommen. Insgesamt könnten 11 % des jetzigen Bedarfs der Haushalte & Kleingewerbes für Raumwärme und Warmwasser mit einer Sanierungsquote von 1 % eingespart werden. Bei einer Sanierungsquote von 2 % könnten 15 % eingespart werden.

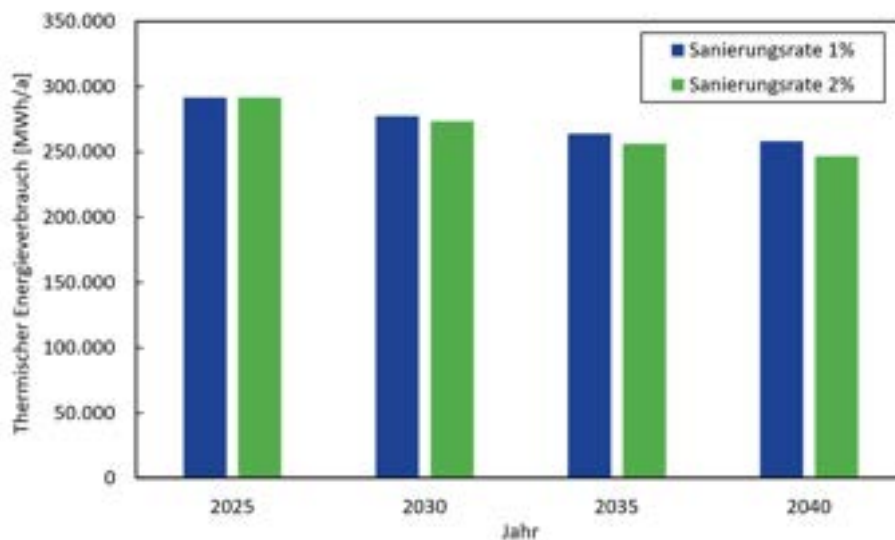


Abbildung 43: Potenzial zur Energieeinsparung durch Wärmebedarfsreduktion Wohnen & Kleinverbraucher

Für die Energieeinsparung der Raumwärme der Industrie wird pauschal nach Energieeffizienzrichtlinie von einer Einsparung von 1,5 % pro Jahr ausgegangen [35]. Somit würde sich der Energieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser bis 2040 um circa 20 % verringern. Ähnlich wird bei der Energieeinsparung der kommunalen Liegenschaften vorgegangen, wobei ebenfalls ein pauschaler Wert von 2 % pro Jahr an Einsparung laut Energieeffizienzgesetz angenommen wurden [36]. Der Klärgasverbrauch bleibt jedoch konstant. Somit würde sich der Verbrauch an Raumwärme und Warmwasser von allen Verbrauchergruppen bis 2040 um 16 % verringern. Diese Ergebnisse werden in den Zielszenarien aufgegriffen und weiterbearbeitet.

Tabelle 24: Potenzial zur Energieeinsparung durch Wärmebedarfsreduktion

(2 % Sanierungsquote) aufgeteilt auf Verbrauchergruppen (ohne Prozesswärme)

| Verbrauchergruppe/Jahr | Bedarf [MWh/a] | | |
|---------------------------|----------------|---------|---------|
| | 2030 | 2035 | 2040 |
| Wohnen & Kleinverbraucher | 274.400 | 257.100 | 247.600 |
| Industrie & Großgewerbe | 29.900 | 27.800 | 25.700 |
| Öffentliche | 12.400 | 11.600 | 10.800 |

| | | | |
|---------------|----------------|----------------|----------------|
| Einrichtungen | | | |
| Gesamt | 316.600 | 296.300 | 284.000 |

4.3.2. Effizienzsteigerung in industriellen Prozessen

Der zukünftige Energieverbrauch industrieller Prozesse hängt stark von den individuellen Rahmenbedingungen der einzelnen Unternehmen ab – etwa von ihrer wirtschaftlichen Lage, der Investitionsbereitschaft in neue Technologien und Optimierungen oder von möglichen Prozessänderungen wie Erweiterungen oder Outsourcing. Daher werden für diesen Bereich keine pauschalen Prognosen aus der Literatur übernommen. Stattdessen stützt sich die Einschätzung auf die Rückmeldungen der Unternehmen in den Fragebögen. Darin wurden die erwarteten Veränderungen des Energiebedarfs in den kommenden fünf Jahren abgefragt. Dieser Bedarf kann sowohl steigen als auch sinken. Da langfristige Vorhersagen für Unternehmen schwierig sind und die Wärmeplanung ohnehin spätestens alle fünf Jahre fortgeschrieben wird, beschränkt sich diese Betrachtung bewusst auf diesen Zeitraum.

Von den zwölf größten Industrie- und Gewerbebetrieben, die einen Fragebogen zurückgesendet haben, beantworteten fünf Unternehmen die Frage zur künftigen Entwicklung ihres Energiebedarfs beantwortet. Dabei wurden sowohl steigende als auch sinkende Bedarfe genannt. Auf Basis dieser Rückmeldungen und angegebenen Energieverbräuche ergibt sich für die nächsten fünf Jahre eine rechnerische Einsparung von rund 10 % beim Prozesswärmebedarf. Diese Auswertung bezieht sich jedoch ausschließlich auf die fünf Unternehmen, die entsprechende Angaben gemacht haben. Unter ihnen sind der größte Wärmeabnehmer der Stadt sowie weitere energieintensive Betriebe vertreten, aber eben nicht alle Großabnehmer.

Unter der Annahme, dass sich der ermittelte Wert auf die gesamte Stadt übertragen lässt, würde der Prozesswärmebedarf von derzeit rund 503.600 MWh pro Jahr bis 2030 um 10 % auf etwa 453.200 MWh pro Jahr sinken. Falls in den weiteren Jahren die Einsparquote konstant bleibt, ist in Tabelle 25 der Prozesswärmebedarf bis 2040 aufgezeigt. Die tatsächliche Einsparung an Prozesswärmebedarf bis 2040 ist von vielen Faktoren abhängig und kann nur schwer vorhergesagt werden.

Tabelle 25: Energieeinsparung Prozesswärme (abgeschätzt anhand Fragebögen)

| Industrie & Großgewerbe | Bedarf [MWh/a] | | |
|-------------------------|----------------|---------|---------|
| | 2030 | 2035 | 2040 |
| Prozesswärme | 453.200 | 407.900 | 367.100 |

Ausblick:

Die freiwerdenden Energiemengen durch den Bedarfsrückgang der Prozessdampfnehmer steht grundsätzlich rein bilanziell dem Wärmenetz oder der Stromerzeugung zur Verfügung. Da die thermische Auskoppelleistung des MHKWs begrenzt ist, kann diese Energie nicht direkt dem Potenzial der Fernwärme zugerechnet werden. Indirekt könnten durch einen Großspeicher die zusätzlichen Wärmemengen für die Fernwärme nutzbar gemacht werden.

4.3.3. Effizienzsteigerung Abnehmer bestehendes Wärmenetz

Die beschriebene Wärmebedarfsreduktion in den Gebäuden im Rahmen von Sanierungen und die damit einhergehende Absenkung der Rücklauftemperaturen führt zu einer Reduktion der auftretenden Spitzenlast im Fernwärmenetz und einer Reduktion des notwendigen Volumenstroms zur Bereitstellung dieser Leistung. Nachfolgend ist der hydraulische Zustand des Fernwärmenetzes bei der Normaußentemperatur nach DIN/TS 12831-1 in Schwandorf von - 13,6 °C abgebildet. Während Abbildung 44 für den aktuellen Zustand des Wärmenetzes inklusives des vorgesehenen Ausbaus im Jahr 2026 eine Maximallast von 37,5 MW im Auslegungsfall angibt, ist in Abbildung 45 für diesen Zustand des Netzes im Jahr 2040 unter der Berücksichtigung einer Sanierungsquote von 2 % eine Spitzenlast von 35,7 MW zu sehen. Dabei reduziert sich zudem der notwendige Volumenstrom und Druck zur Gewährleistung der Versorgung der bis zum Jahr 2026 voraussichtlich angeschlossenen Liegenschaften.

Somit kann theoretisch durch zukünftige Energieeinsparungen der angeschlossenen Haushalte im Fernwärmenetz ein zusätzliches Potenzial von 1,8 MW Leistung erschlossen werden. Die Vorlauftemperatur reduziert sich ebenfalls um bis zu 1,6 °C, wodurch das Fernwärmenetz auch hydraulisch entlastet wird. Tabelle 26 listet diese Erkenntnisse auf.

Aufgrund der vergleichsweise komfortablen, sicheren und preisgünstigen Wärmeversorgung durch das Fernwärmenetz könnte die Sanierungsquote bei den angeschlossenen Haushalten niedriger ausfallen als bei Haushalten die noch kostenintensive Öl- oder Gasheizung dezentral betreiben. Dadurch besteht die Möglichkeit, dass dieses Potenzial bis zum Jahr 2040 nicht vollständig gehoben werden kann.

Tabelle 26: Potenzial Fernwärmenetz aufgrund von Sanierung Abnehmer

| System | Potenzial |
|--|-----------|
| Leistungsreduzierung Abnehmer Fernwärmenetz aufgrund von Sanierung | 1,8 MW |
| Reduzierung Vorlauftemperatur Fernwärmenetz aufgrund von Sanierung | 1,6 °C |

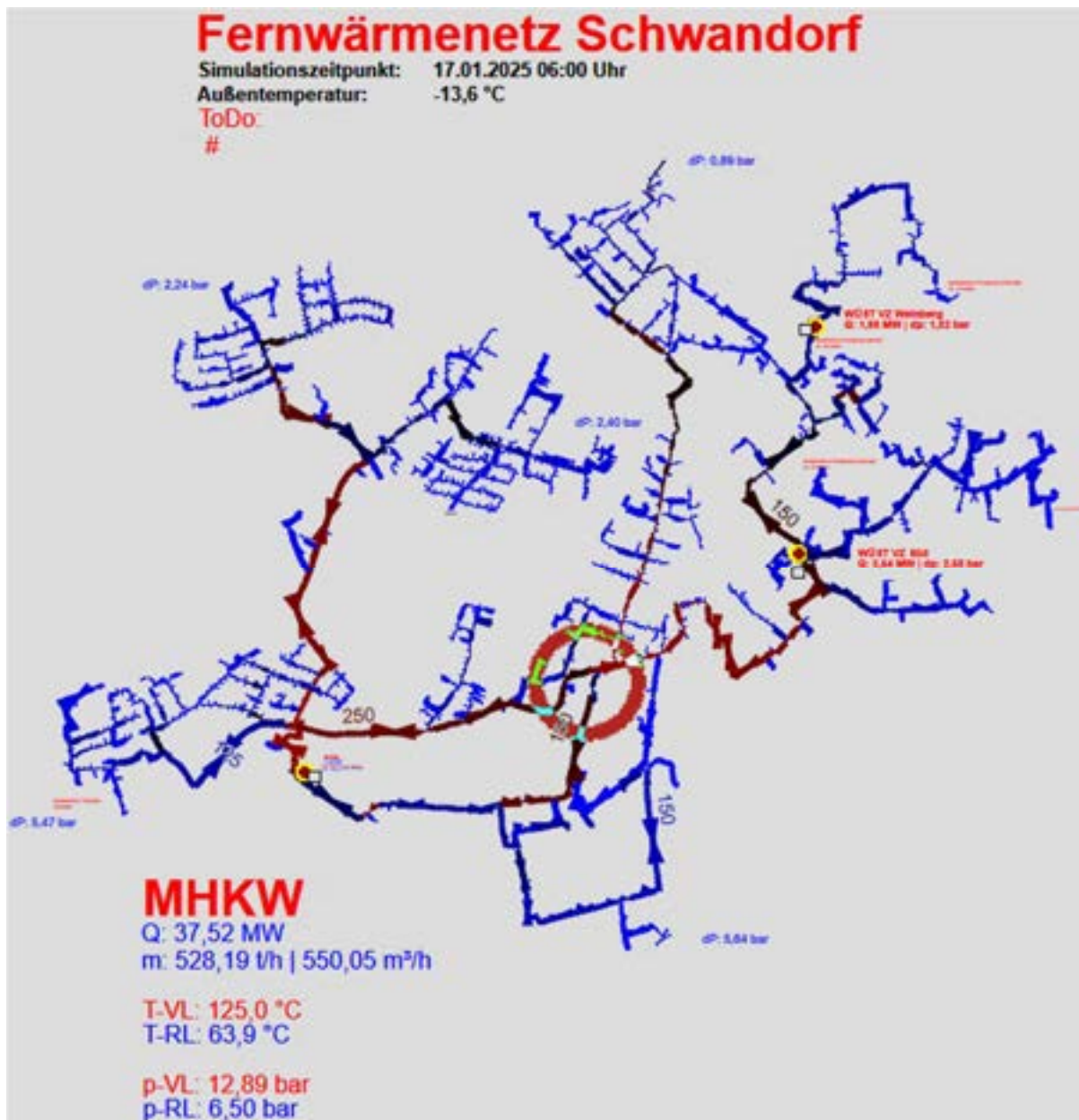


Abbildung 44: Simulationsergebnis des Fernwärmenetzes inklusive des bis 2026 geplanten Ausbaus

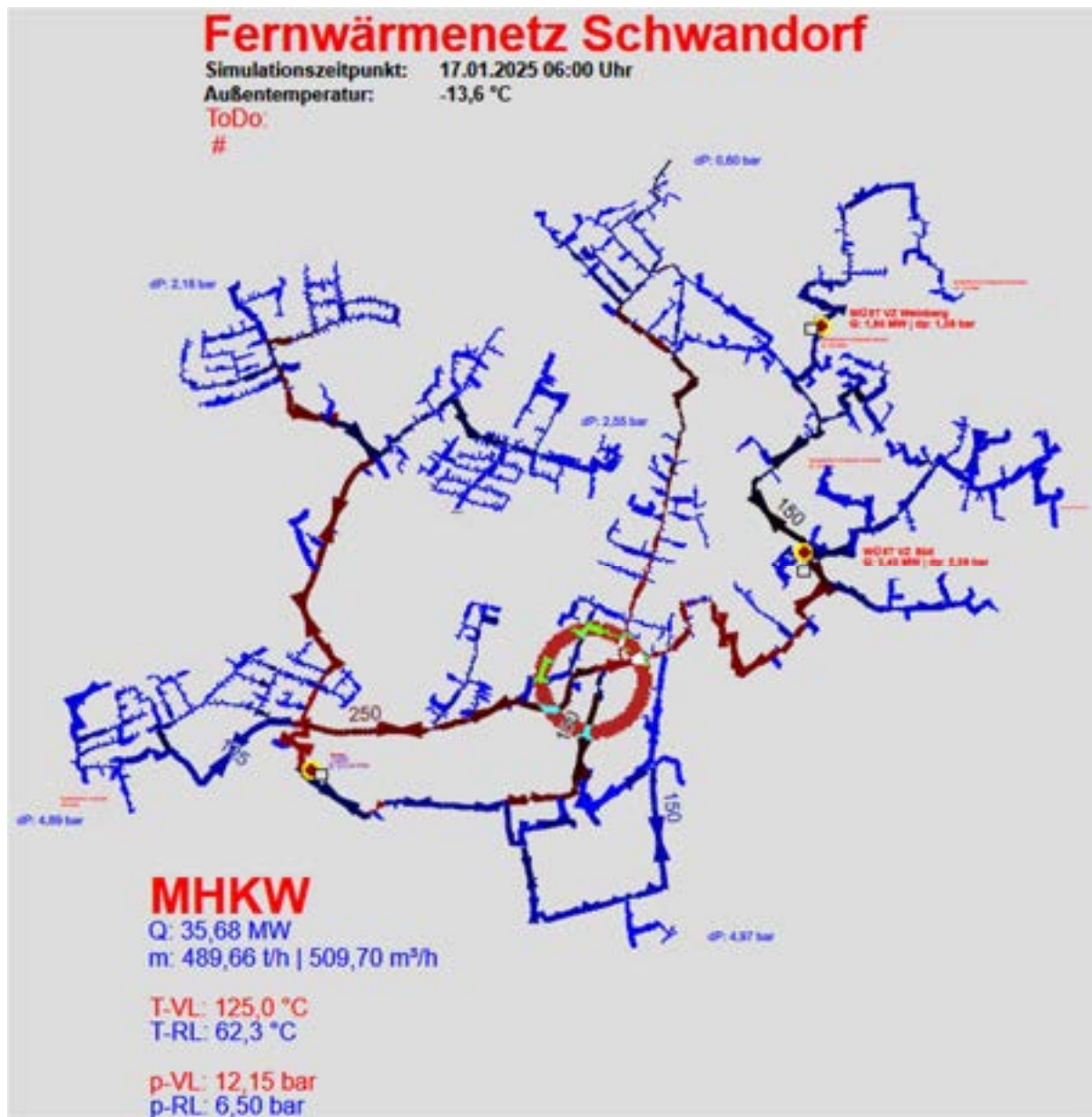


Abbildung 45: Simulationsergebnis des Fernwärmenetzes inklusive des bis 2026 geplanten Ausbaus für das Jahr 2040

unter Berücksichtigung einer Sanierungsquote von 2 %

4.4. Potenziale erneuerbarer Wärme

In diesem Kapitel werden die Potenziale erneuerbarer Wärme in Form von Umweltwärme, oberflächennaher Geothermie, Solarthermie, Biomasse und Abwärme berechnet. Hierbei handelt es sich um das nach derzeitigem technischem Stand realistisch umsetzbare Potenzial.

4.4.1. Umweltwärme

Unter dem Begriff Umweltwärme werden in diesem Kapitel das Potenzial an Wärme aus Fließgewässern und der Umgebungsluft separat von der oberflächennahen Geothermie in Abschnitt 4.4.2 betrachtet.

Fließgewässer:

Die räumliche Nähe des Flusses Naab zu einigen Stadtteilen in Schwandorf macht eine Betrachtung der Potenziale der Energiegewinnung aus Fließgewässern interessant. Um dieses Potenzial abzuschätzen, werden Daten des Gewässerkundlichen Dienstes Bayern (GKD) [37] verwendet. Direkt in Schwandorf liegen keine Messstellen vor, daher wurden für den Abfluss die Werte der Messstelle in Münchshofen, ca. 10 km südlich von Schwandorf, und für die Temperaturen die Werte der Messstelle in Heitzenhofen, ca. 30 km flussabwärts, verwendet. Tendenziell werden die verwendeten Potenziale daher etwas überschätzt.

Die Jahrgänge der Wassertemperatur und des Volumenstroms sind in Abbildung 46 und Abbildung 47 abgebildet.

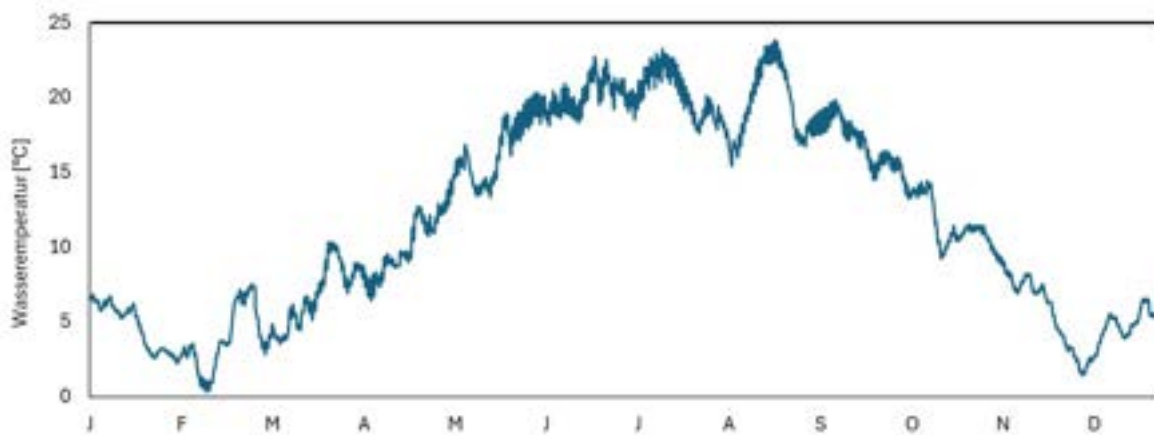


Abbildung 46: Wassertemperatur an der Messstelle in Heitzenhofen im Jahr 2023

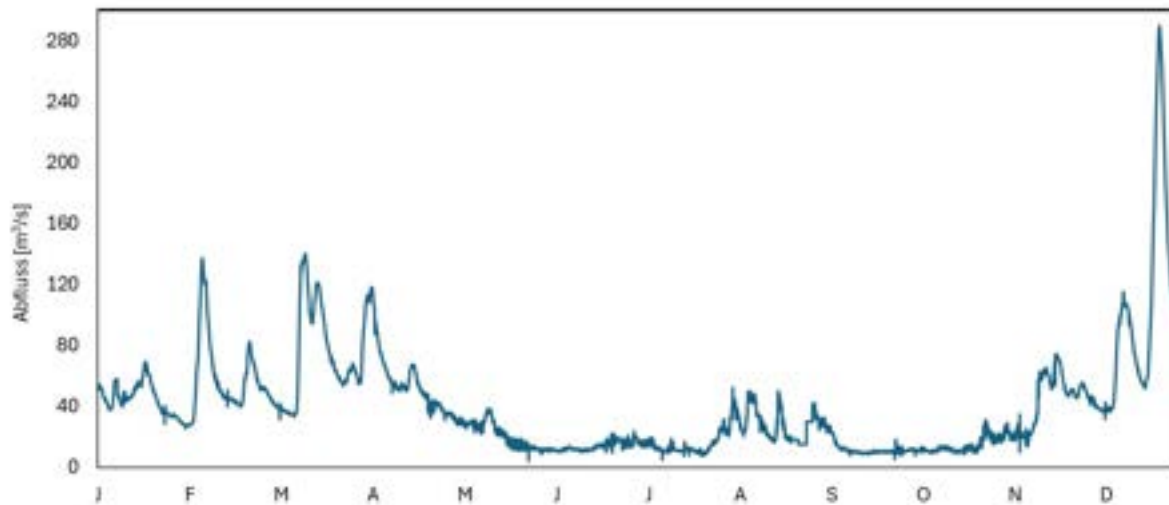


Abbildung 47: Fluss-Volumenstrom an der Messstelle in Münchshofen im Jahr 2023

Zu erkennen ist deutlich, dass die Flusswasserentnahme im Winter aufgrund der geringen Temperaturen eingeschränkt ist und im Sommer aufgrund niedrigerer Wassermengen.

Für die Berechnung des theoretischen Potenzials wurde der abzweigbare Volumenstrom des Wärmetauschers auf die sommerliche Wassermenge beschränkt, um einen möglichst hohen Einsatzbereich übers Jahr zu generieren. Unter Berücksichtigung der Mindestabflussmenge (Menge an Wasser, die einem Gewässer dauerhaft verbleiben muss, um die ökologischen Funktionen des Gewässers zu erhalten) bei niedrigem Wasserstand kann (zumindest aufgrund des Wasserstands) dauerhaft ein Volumenstrom von knapp $6 \text{ m}^3/\text{s}$ umgesetzt werden. Die maximale Auskühlung des Flusses nach Durchmischung mit dem zurückgeleiteten, abgekühlten Wasser wird auf eine Temperaturdifferenz von $1,5 \text{ K}$ festgelegt, das Wasser darf aus wasserschutzrechtlichen Gründen außerdem eine Temperatur von 3°C nicht unterschreiten. Unter diesen Voraussetzungen könnte eine Energiemenge von 471 GWh pro Jahraus der Naab entnommen werden. Dieses Potenzial müsste durch Unterstützung einer Wärmepumpe allerdings noch auf ein nutzbares Temperaturniveau gehoben werden, was die zur Verfügung stehende Energiemenge noch einmal heben würde. Das Entnahmepotenzial von 471 GWh ist in Abbildung 48 auf die Monate heruntergebrochen. Der Einfluss von zu geringen Wassertemperaturen in den Wintermonaten und von geringeren Wassermengen in den Sommermonaten ist auch hier klar erkennbar.

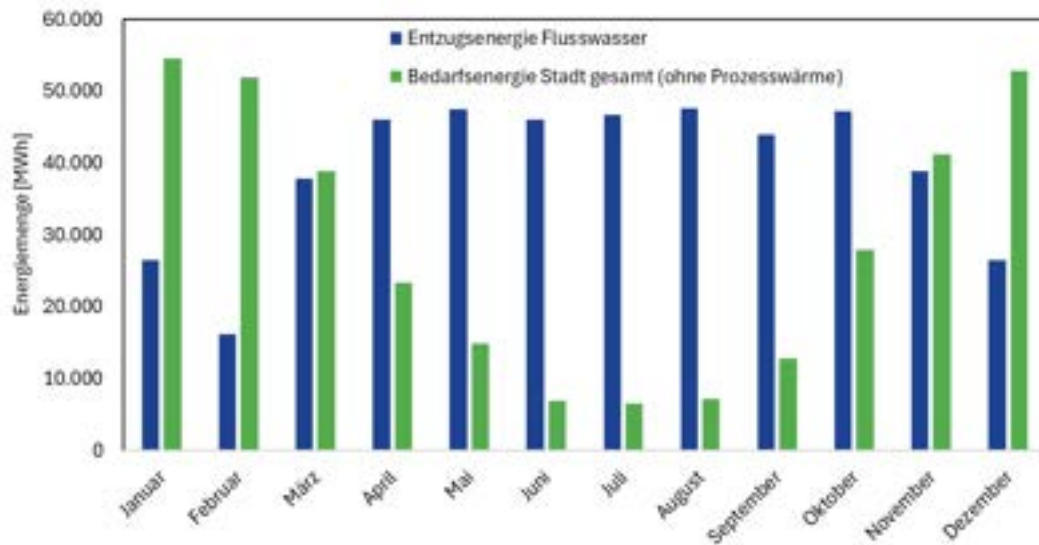
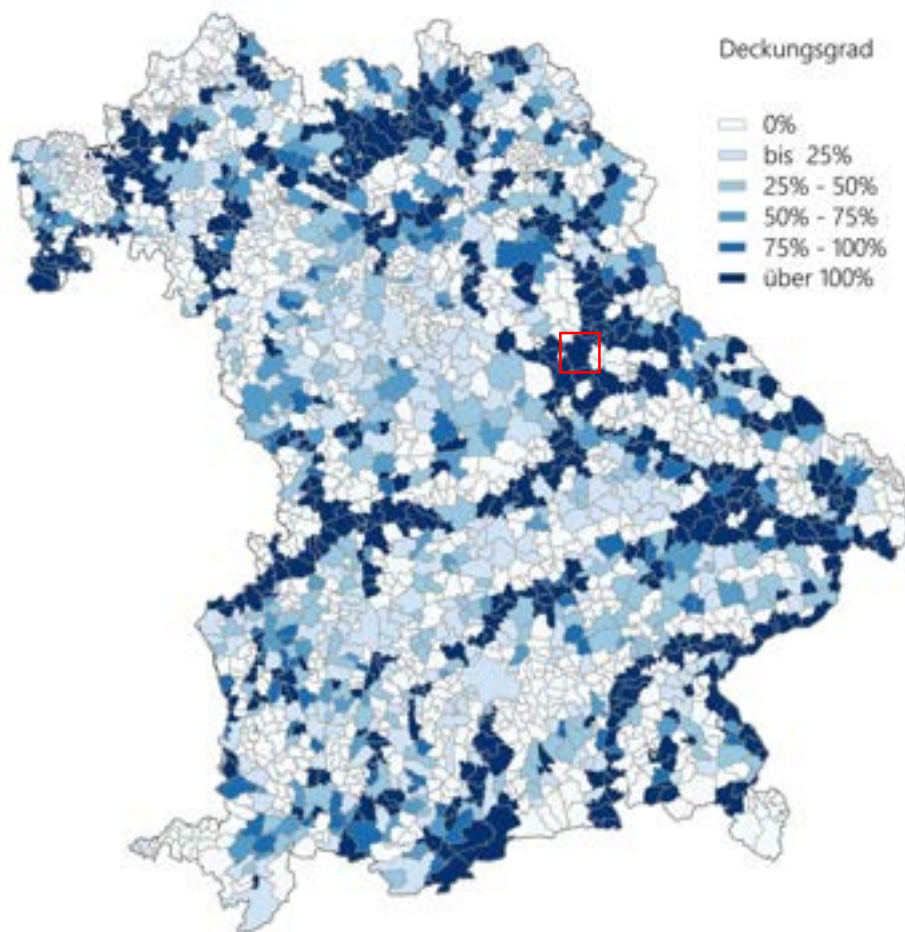


Abbildung 48: Monatliche Entnahmemengen aus der Naab mit dem Gesamtbedarf der Stadt für Raumwärme und Warmwasser gegenübergestellt

Stellt man das ausgerechnete Potenzial von 471.000 MWh dem Raumwärme und Warmwasserverbrauch der Kommune von 338.500 MWh gegenüber, ist rein bilanziell ein Deckungsgrad von 100% erreicht. Vergleicht man jedoch die monatlichen Bedarfswerte mit dem monatlichen Potenzial an Flusswärme, beziffert sich das nutzbare Potenzial auf 245.100 MWh/a. Dies entspricht 72 % des Bedarfs an Raumwärme und Warmwasser. Weitere Faktoren wie Leistung, notwendige Vorlauftemperaturen oder Wärmespeicherung sind hier nicht betrachtet und können das nutzbare Potenzial weiter verändern.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kam auch die Studie „Wärmepumpen an Fließgewässern – Analyse des theoretischen Potenzials in Bayern“, erstellt von der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (FfE) München [38], in welcher das theoretische Potenzial durch Wärmepumpen nutzbarer Wärme aus Fließgewässern untersucht wurde. In Abbildung 49 ist für jede bayerische Gemeinde der Anteil des Wärmebedarfs, der potenziell durch Wärme aus Fließgewässern gedeckt werden könnte (für den Monat Januar und mit einer Temperaturdifferenz des entnommenen Wassers von 1,5 K) dargestellt. Für das Gebiet Schwandorf liegt der Deckungsgrad mit einem theoretischen Potenzial von 566.725 MWh ebenso bei über 100 %. Da die Studie als Datengrundlage Messwerte zwischen 1990 und 2022 gemittelt hat, somit auch Messfehler bzw. fehlende Messungen ausgleichen konnte, und Vorgehen aus der Bayern-Perspektive gewählt hat, weichen beide Potenziale etwas voneinander ab.



© GeoBasis-DE / BKG 2017 | Generalisierung: FfE e.V.

Abbildung 49: Deckungsgrad je Gemeinde für Januar bei einer Abkühlung von 2K [38]

Wie jedoch bereits weiter oben erwähnt, ist diese 100%ige Deckung nur rein bilanziell gegeben. Schwankungen von Wassertemperaturen und Wassermengen im Fluss machen die Wärmenutzung aus Flusswasser nicht grundlastfähig. Die wasserrechtlich vorgeschriebene Mindestwassermenge, die im Fluss verbleiben muss, sorgt für weniger Entnahme im Sommer, und die wasserrechtlich vorgeschriebene minimale Wassertemperatur, die nicht unterschritten werden darf, sorgt für Entnahmestopps im Winter. Wärme aus Fließgewässern dauerhaft autark zu nutzen ist daher nur in Verbindung mit einem Wärmespeicher oder in Kombination mit einer separaten Wärmequelle (z.B. HKW) zur Spitzenlastkappung möglich.

Erwähnt sei außerdem, dass der maximal abzweigbare Volumenstrom in der Auslegung nicht auf die hier angenommenen $6 \text{ m}^3/\text{s}$ beschränkt sein muss, und dieser in der Realität auch gemäß den Umständen geregelt werden kann. So kann z. B. im Winter (bei größeren Wassermengen) ein höherer Volumenstrom abgezweigt werden, um dem Wasser mehr Energie zu entziehen. Eine Erhöhung des Volumenstroms führt allerdings im Sommer dazu, dass schneller die Entnahmegrenzen erreicht sind, was die Einsatzzeiten und damit den Deckungsgrad aufs Jahr gesehen (nicht bilanziell) verringern kann.

Außerdem muss die Wärme auch zum Verbraucher transportiert werden – ein Bezug des Gesamtpotenzials auf den Verbrauch der gesamten Stadt ist daher wenig aussagekräftig, da die anfallende Wärme auch vor Ort genutzt werden können muss.

Ausgesagt werden kann auf jeden Fall, dass die Naab einen großen Beitrag zur künftigen Wärmeversorgung leisten kann. Da für eine Nutzung des Flusswärme Potenzials zusätzlich noch weitere infrastrukturelle & ökologische Einschränkungen sowie die Wirtschaftlichkeit und rechtlichen Rahmenbedingungen betrachtet werden müssen, müsste das umsetzbare Potenzial allerdings noch gesondert durch ein Energiekonzept untersucht werden.

Im Zuge der Wärmeplanung wurde das zuständige Wasserwirtschaftsamt (WWA) Weiden bezüglich der Nutzung von Flusswasser um eine Stellungnahme gebeten. Generell verweist das WWA auf das Wasserhaushaltsgesetz und den Leitfaden des Bayerischen Landesamts für Umwelt „Wärmegewinnung aus Fließgewässern“. Für eine Entnahme von Flusswasser muss prinzipiell ein Antrag auf Erlaubnis bei der unteren Wasserrechtsbehörde am Landratsamt Schwandorf gestellt werden.

Mögliche Standorte:

Bezüglich geeigneter Standorte für eine Entnahme von Flusswasser auf dem Stadtgebiet hat das WWA darauf hingewiesen, dass Stauanlagen zu bevorzugen sind. Hier können Probleme aufgrund möglicher niedriger Wasserstände in regenärmeren Zeiten abgefangen werden. Mögliche Standorte wurden im Antwortschreiben seitens des WWA ebenfalls benannt. Abbildung 50 zeigt die beschriebenen Standorte sowie weitere in Schwandorf befindliche Wehre am Fluss Naab. Diese Standorte sollten bei weiteren Untersuchungen zur Nutzung von Flusswärme betrachtet werden.

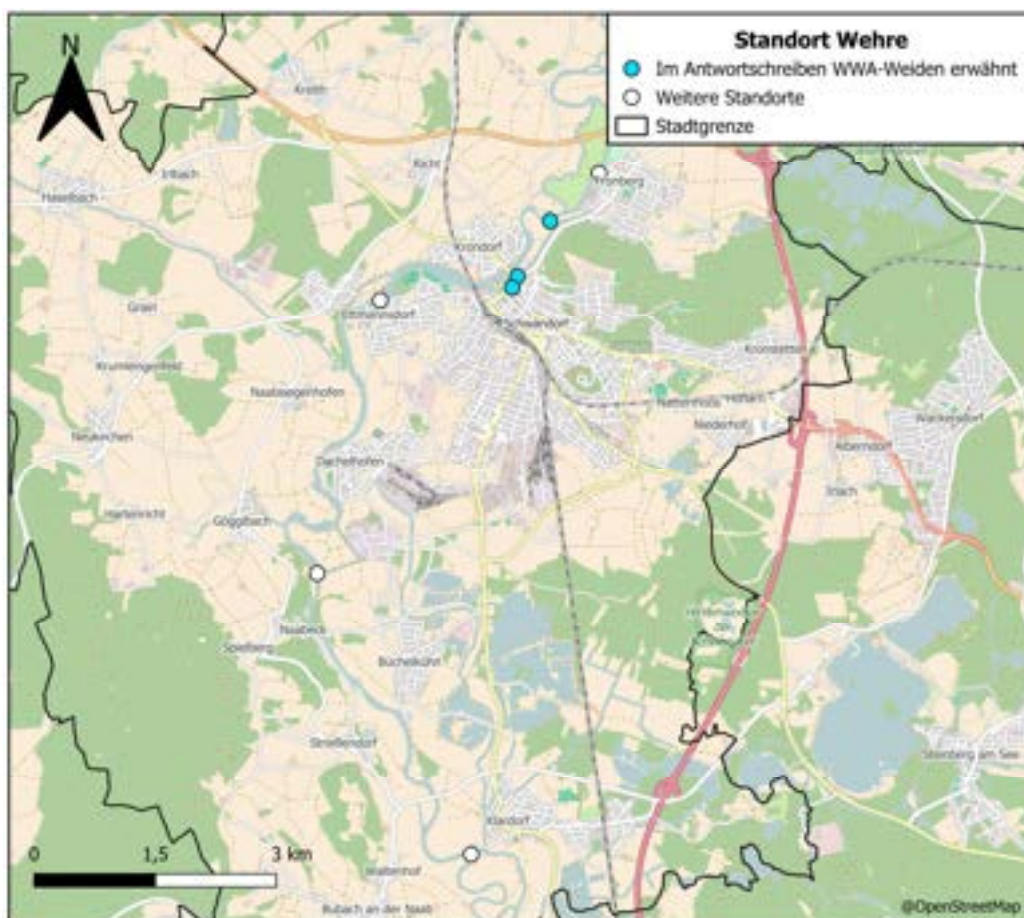


Abbildung 50: Standorte von Flusswehren

Außenluft:

Außenluft stellt für dezentrale als auch zentrale Wärmeversorgungs-lösungen ein großes Potenzial dar. Aufgrund der natürlichen Zirkulation von Luft, ist dieses Potenzial theoretisch annähernd unbegrenzt. Daher geht es bei dieser Potenzialanalyse in erster Linie nicht um die Ermittlung einer konkreten Energiemenge, sondern um die Wahrscheinlichkeit der Eignung zur Nutzung einer Luftwärmepumpe.

Dezentrale Wärmelösung:

Untersucht wird, wie viel unbebaute Fläche auf einem Grundstück noch zur Verfügung steht, welches Baualter das bestehende Gebäude ungefähr aufweist und wie groß die zu versorgende Gebäudefläche ist. Auf dieser Grundlage lässt sich grob einschätzen, ob die erforderlichen Mindestabstände im Hinblick auf den Lärmschutz eingehalten werden können. Je mehr unbebaute Fläche vorhanden ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass der notwendige Abstand zur Minderung der Schallimmissionen gegenüber benachbarten Wohngebäuden gewahrt werden kann. Darüber hinaus beeinflusst auch der Gebäudestandard die Schallemissionen: Ein guter energetischer Zustand reduziert den Heizbedarf und damit die erforderliche Leistung der Wärmepumpe. Diese Einschätzung erfolgt anhand der Baualterklassen. Gleichzeitig gilt: Je größer die zu beheizende Fläche, desto höher ist der Leistungsbedarf – und damit die erforderliche Leistungsklasse der Wärmepumpe. Durch die Kombination dieser Parameter lässt sich die Wahrscheinlichkeit einer Versorgung des Gebäudes mit einer dezentralen Wärmepumpe grob abschätzen.

Abbildung 51 zeigt die Wahrscheinlichkeit zur potenziellen Nutzung einer dezentralen Luftwärmepumpe für die Wohnbebauung in der Kernstadt. Das Ergebnis für außenliegende Ortschaften ist in dem Kapitel der Eignungsprüfung zu sehen.

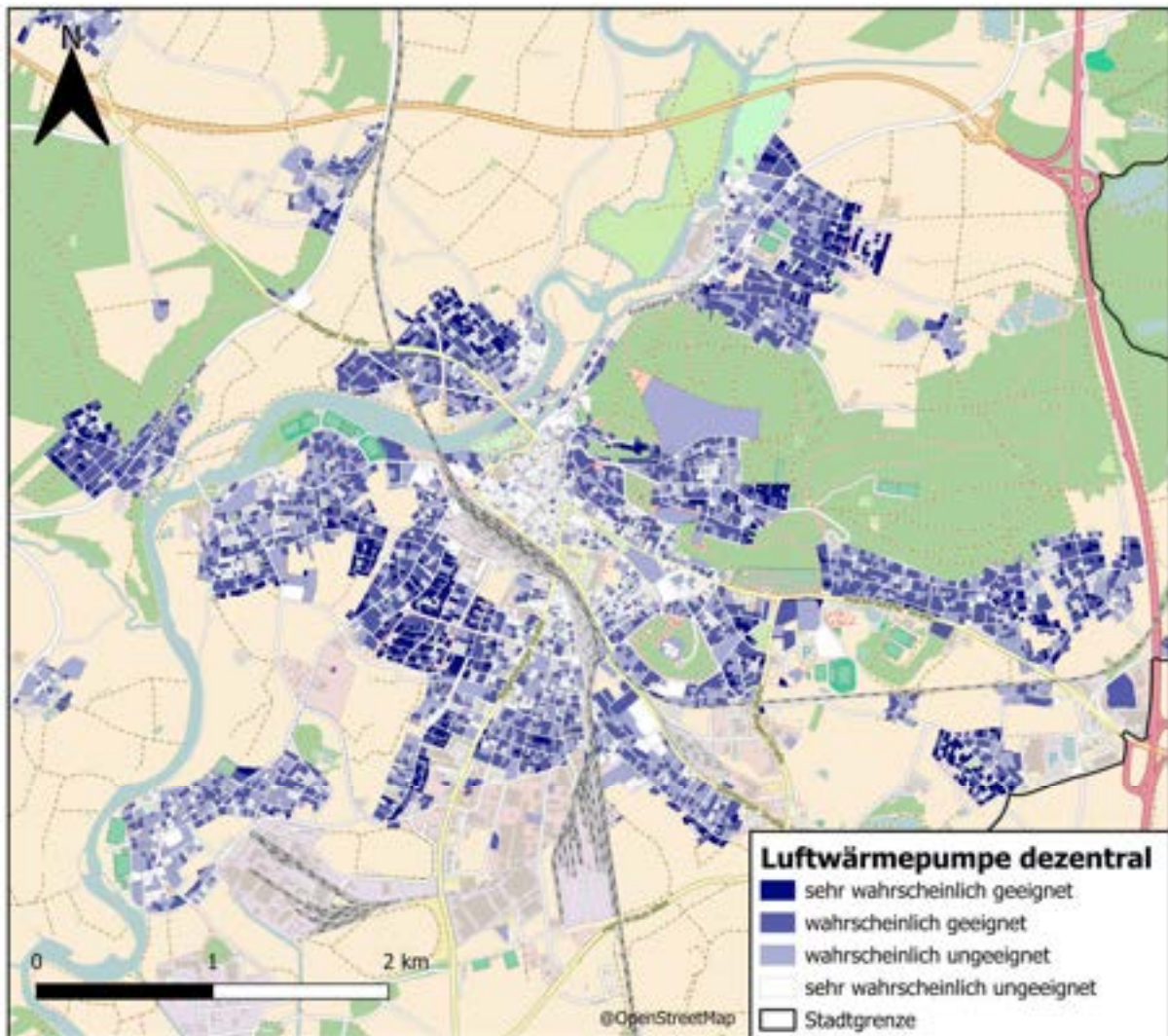


Abbildung 51: Potenzialanalyse Luftwärmepumpen für Wohngebäude und Kleinverbraucher

Hierbei werden lediglich Wohngebäude, Kleinverbraucher und öffentliche Einrichtungen betrachtet, da in Industrie- und Gewerbegebieten Schall-Immissionen ein kleinerer Faktor in der Genehmigung spielen. Es sei zudem erwähnt, dass hier ein erster Anhaltspunkt geliefert werden soll. Auch in Gebieten mit geringer Wahrscheinlichkeit kann unter Umständen eine Luftwärmepumpe eine Option zur Wärmegegewinnung sein. Aufgrund neuer Technologien und innovativer Lösungen wird das Einhalten des Schallschutzes eine immer geringere Herausforderung.

Es ist zu sehen, dass vor allem in der Altstadt als auch den Ortskernen der umliegenden Ortschaften nach erster Betrachtung die Nutzung einer Luftwärmepumpe als dezentrale Lösung eher unwahrscheinlich ist. In vielen Gebieten stellt die dezentrale Luftwärmepumpe eine gute Option dar, nicht nur für Neubauten. In neueren Wohngebieten geringer Bebauungsdichte ist die Wärmepumpe sehr wahrscheinlich als Wärmelösung geeignet. Eine erste Einschätzung zur Eignung eines Wohngebäudes für die Versorgung mittels Wärmepumpe kann kostenlos auf der Seite „Eignungsanalyse Wärmepumpe“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie eigenständig durchgeführt werden [39].

Zentrale Wärmelösung:

Luftwärmepumpen können nicht nur dezentral eingesetzt, sondern auch zentral in ein Wärmenetz eingebunden werden. Auch hierbei ist auf die Schallemissionen zu achten. Da die Wärme über ein Netz transportiert wird, lassen sich geeignete Standorte identifizieren, von denen aus Gebäude versorgt werden können, die sich nicht für eine dezentrale Luftwärmepumpe eignen. Besonders in Industriegebieten oder am Ortsrand sind die Voraussetzungen für den Bau größerer Luftwärmepumpen meist günstiger. Ein Wärmenetz kann zudem mehrere Baublöcke umfassen, sodass auch die bislang als weniger geeignet eingestuften Quartiere über eine zentrale Luftwärmepumpe versorgt werden könnten. Hierfür sind jedoch vertiefte Analysen erforderlich, die auf den Ergebnissen der Wärmeplanung aufbauen.

In Tabelle 27 ist äquivalent der Wärmebedarf der Wohngebäude und des Kleingewerbes zu sehen, der einem Flurstück mit einer Eignung für Wärmepumpen („sehr wahrscheinlich geeignet“ oder „wahrscheinlich geeignet“) zugewiesen werden kann. Der vorgestellte Ansatz ermöglicht die Abschätzung des Potenzials der dezentralen Luft-Wärmepumpe für die Deckung des Wärmebedarfs im Bereich Wohngebäude und Kleingewerbe. Die entsprechenden Potenziale sind in Abbildung 51 aufgeführt. Vom Wärmebedarf der Verbrauchergruppe Wohnen & Kleinverbraucher (292.800 MWh/a) können somit aktuell 31 % durch eine dezentrale Luft-Wärmepumpe versorgt werden. Dieser Wert wird sich aufgrund von Sanierungen und Effizienzsteigerungen der Wärmepumpentechnologien in Zukunft erhöhen.

Tabelle 27: Potenzial Umweltwärme

| System | Potenzial [MWh/a] |
|---------------------|--------------------------|
| Luft dezentral | 90.600 |
| Luft zentral | Nicht separat aufgeführt |
| Fließgewässer | 245.100 |
| Gesamt | 335.700 |

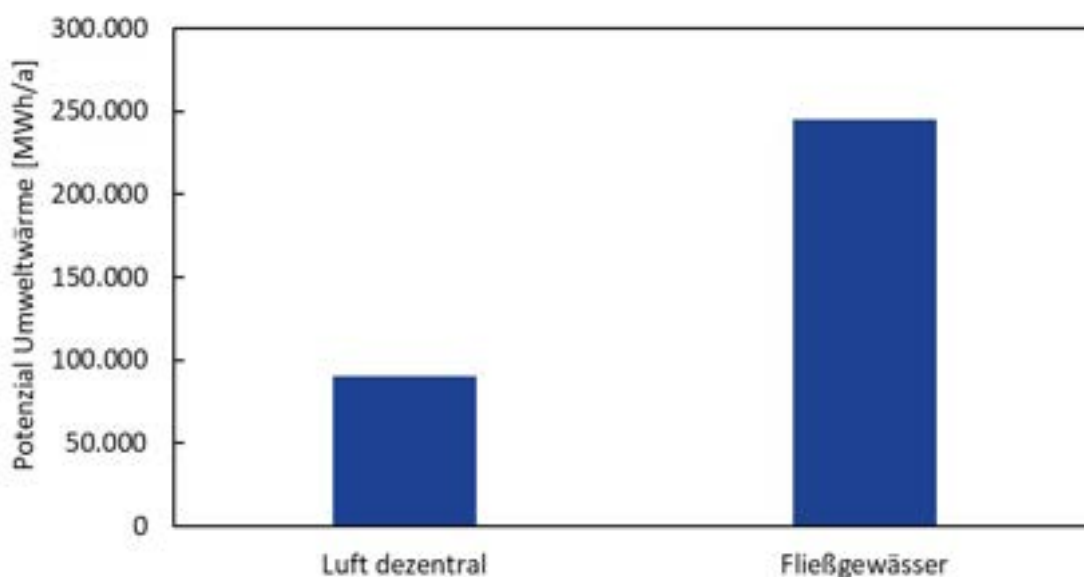


Abbildung 52: Potenzial Umweltwärme

4.4.2. Oberflächennahe Geothermie

Zur Abschätzung des Potenzials erneuerbarer Wärme durch oberflächennahe Geothermie für eine leitungsgebundene und dezentrale Wärmeversorgung wird die mögliche Nutzung und der mögliche Ertrag von Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen (GWWP) auf Freiflächen sowie bebautem Grund innerhalb des Stadtgebietes untersucht. Schutzgebiete (siehe Abbildung 40) und Bodendenkmäler (siehe Abbildung 41) sind von der Verwendung mit Geothermie grundsätzlich ausgeschlossen. Für Gebiete mit Karstgesteinen (siehe Abbildung 53) kommen nur Erdwärmekollektoren in Frage.

Für den Großteil des Stadtgebietes wird kein Potenzial für Erdwärmesonden ausgewiesen. Dies liegt laut dem Wasserwirtschaftsamt (WWA) Weiden an der Bodenbeschaffenheit in der Bodenwöhler Senke. Nach Anfrage verweist das WWA jedoch darauf, dass im Einzelfall Sonden genehmigungsfähig sind. Daher empfiehlt es sich, trotz negativer Aussage in diesem Kapitel, Sonden nicht komplett auszuschließen. Ein Beleg für den möglichen Einsatz von Sonden und Grundwasserwärmepumpen sind die in Abbildung 53 eingezeichneten existierenden Anlagen.

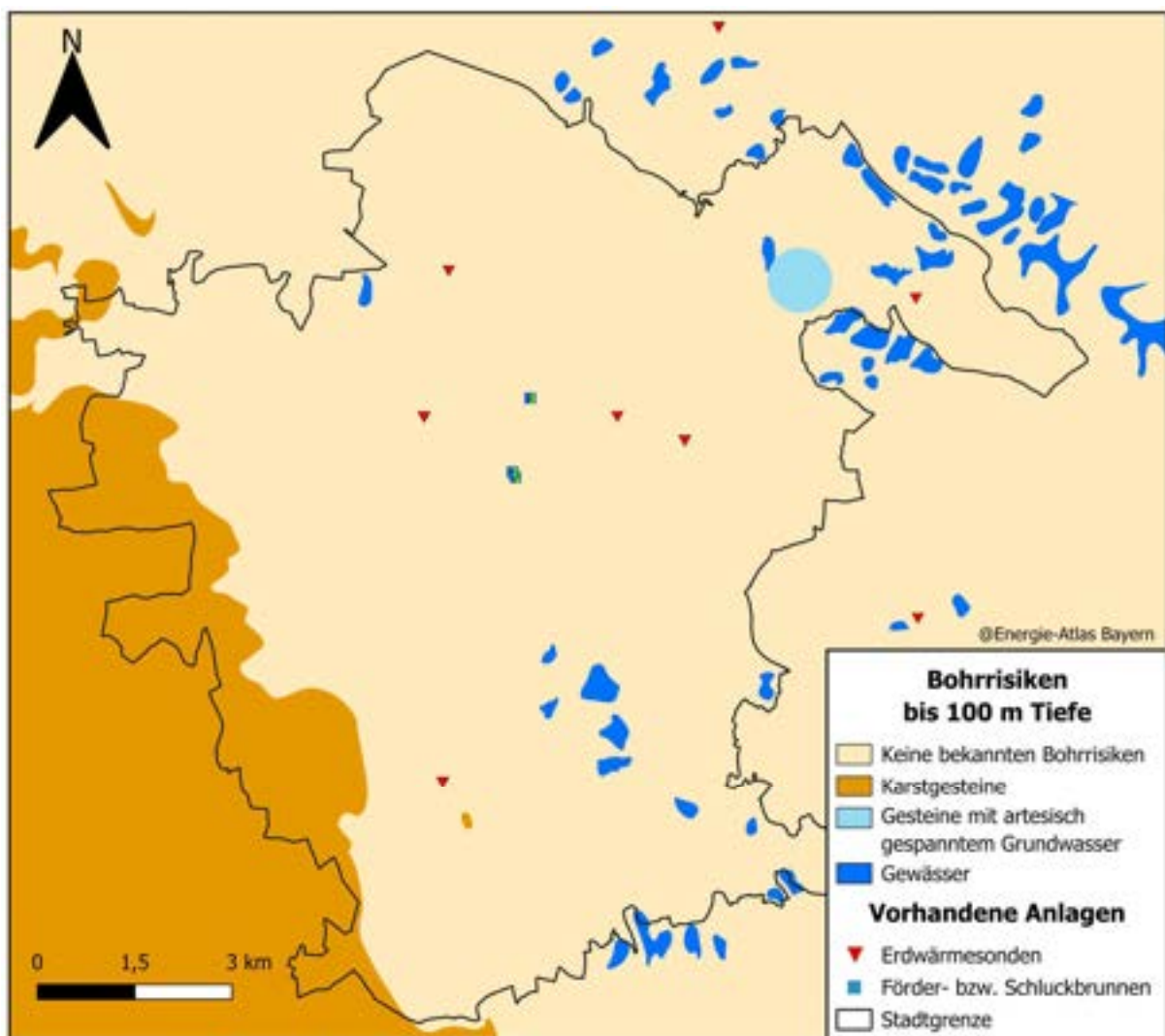


Abbildung 53: Bohrrisiken bis 100 m Tiefe sowie existierende Anlagen

Bebautes Gebiet:

Grundlage für die Bewertung der möglichen energetischen Nutzung auf bebautem Gebiet bietet das Kurzgutachten Bayern, welches je Flurstück eine mögliche Entzugsenergie für Erdwärmekollektoren bzw. eine Entzugsleistung für Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen veröffentlicht hat. Zur Abschätzung des Potenzials werden zur Umrechnung der Entzugsleistung in Entzugsenergie 1.500 Volllaststunden und für die Umrechnung der Entzugsenergie in Wärmemengen eine JAZ = 4 für Erdwärmesonden und -kollektoren und eine JAZ = 5 für GWWP angenommen. Der elektrische Anteil der Wärmepumpe ist daher in den ausgewiesenen Wärmemengen bereits beinhaltet.

Je Flurstück wird jeweils nur das höchste Potenzial betrachtet, auch wenn mehrere Potenziale zur Verfügung stehen. Die Gesamtpotenziale von Erdwärmekollektoren, -sonden und Grundwasserwärmepumpen stehen daher nicht in Konkurrenz zueinander. In Abbildung 54, Abbildung 55 und Abbildung 56 sind die möglichen Quellen für bebaute Potenzialflächen dargestellt. Es fällt auf, dass Erdwärmekollektoren fast flächendeckend eingesetzt werden können und zusätzlich Erdwärmesonden oder Grundwasserwärmepumpen in einigen Gebieten möglich sind. Flurstücke, die in der Karte nicht dargestellt sind, wurden aufgrund von Überschneidungen mit Ausschlussgebieten oder, weil kein Wärmebedarf bei den Gebäuden vorhanden war, von der Betrachtung ausgeschlossen.

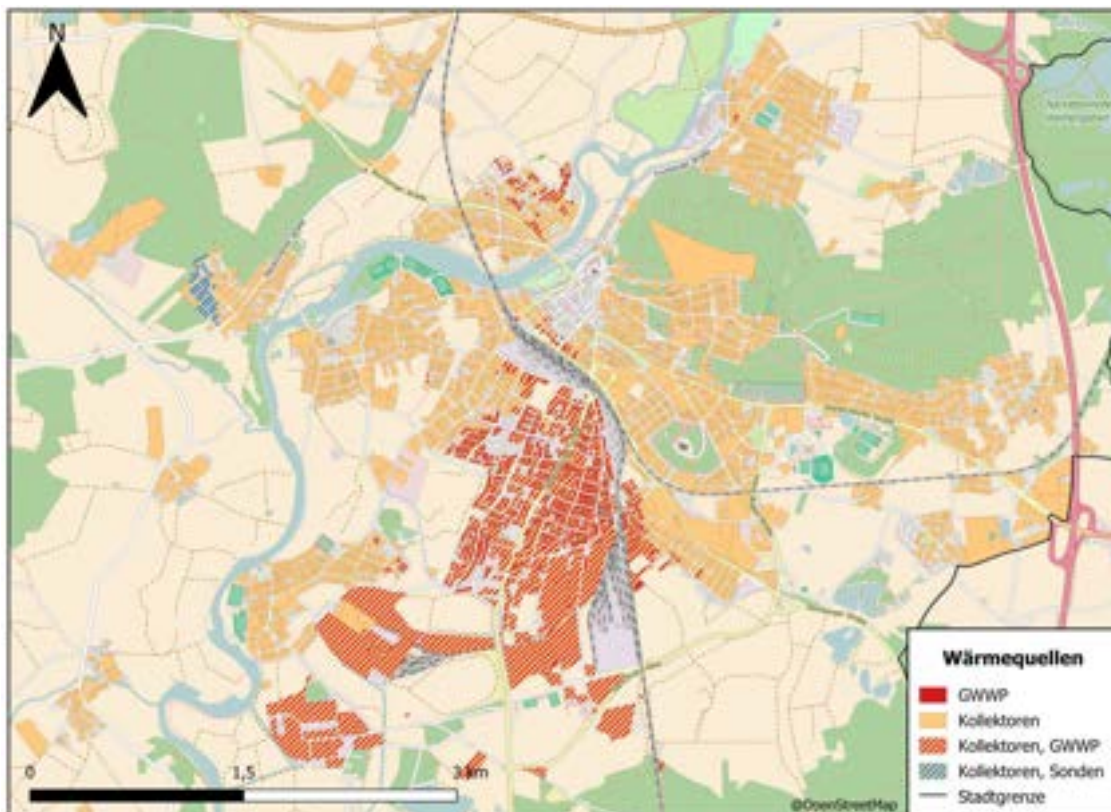


Abbildung 54: Wärmequellen bebautes Gebiet (Kernstadt von Schwandorf)

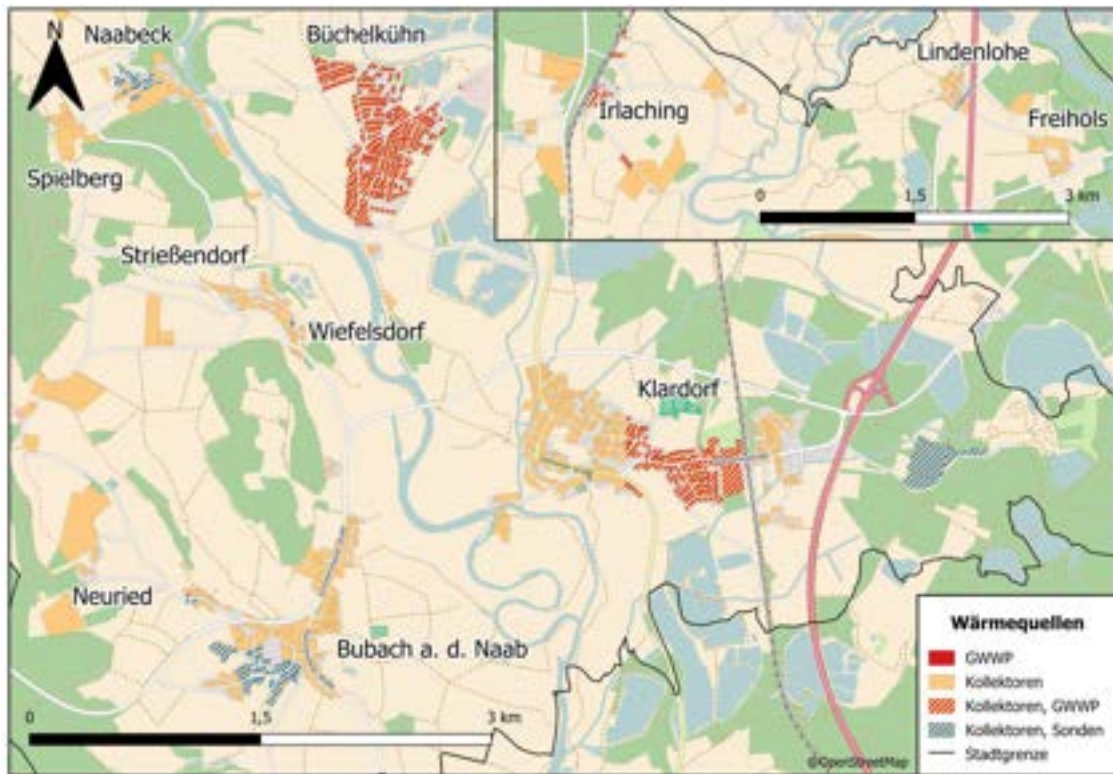


Abbildung 55: Wärmequellen bebautes Gebiet (Norden und Süden von Schwandorf)



Abbildung 56: Wärmequellen bebautes Gebiet (Nordwesten von Schwandorf)

Das Potenzial je Flurstück wird auf den Wärmebedarf der darauf stehenden Gebäude begrenzt, sodass das Potenzial maximal dem Wärmebedarf der/s Gebäude/s entspricht. Prozesswärme wird bei diesem Bedarf nicht berücksichtigt, da für deren Erzeugung in der Regel höhere Temperaturen erforderlich sind. In Summe ergibt sich ein Potenzial von circa 140.300 MWh/a für Erdwärmekollektoren, 4.000 MWh/a für Erdwärmesonden und 10.500 MWh/a für Grundwasserwärmepumpen.

Um die verfügbaren Potenziale mit den Bedarfes abzugleichen sind in Abbildung 57, Abbildung 58 und Abbildung 59 für die bebauten Gebiete der prozentuale Deckungsgrad dargestellt. Er zeigt, zu wie viel Prozent der Bedarf der Gebäude auf dem jeweiligen Flurstück durch das geothermische Potenzial abgedeckt werden könnte. Für den rentablen Einsatz einer Geothermie-Anlage sollte der Deckungsgrad am Wärmebedarf prinzipiell >60 % sein. Generell ist in den außenliegenden Gebieten der Deckungsgrad höher. In der Altstadt ist kaum Potenzial für oberflächennahe Geothermie vorhanden.

Die hier ausgewiesenen Flächen und Potenziale zeigen nur Richtwerte und unterliegen ggf. Ungenauigkeiten, da flächendeckend Annahmen getroffen wurden und keine Grundstücksspezifischen Einschränkungen berücksichtigt wurden. Für die konkrete Umsetzung eines solchen Vorhabens sollte daher stets eine Energieberatung hinzugezogen werden.

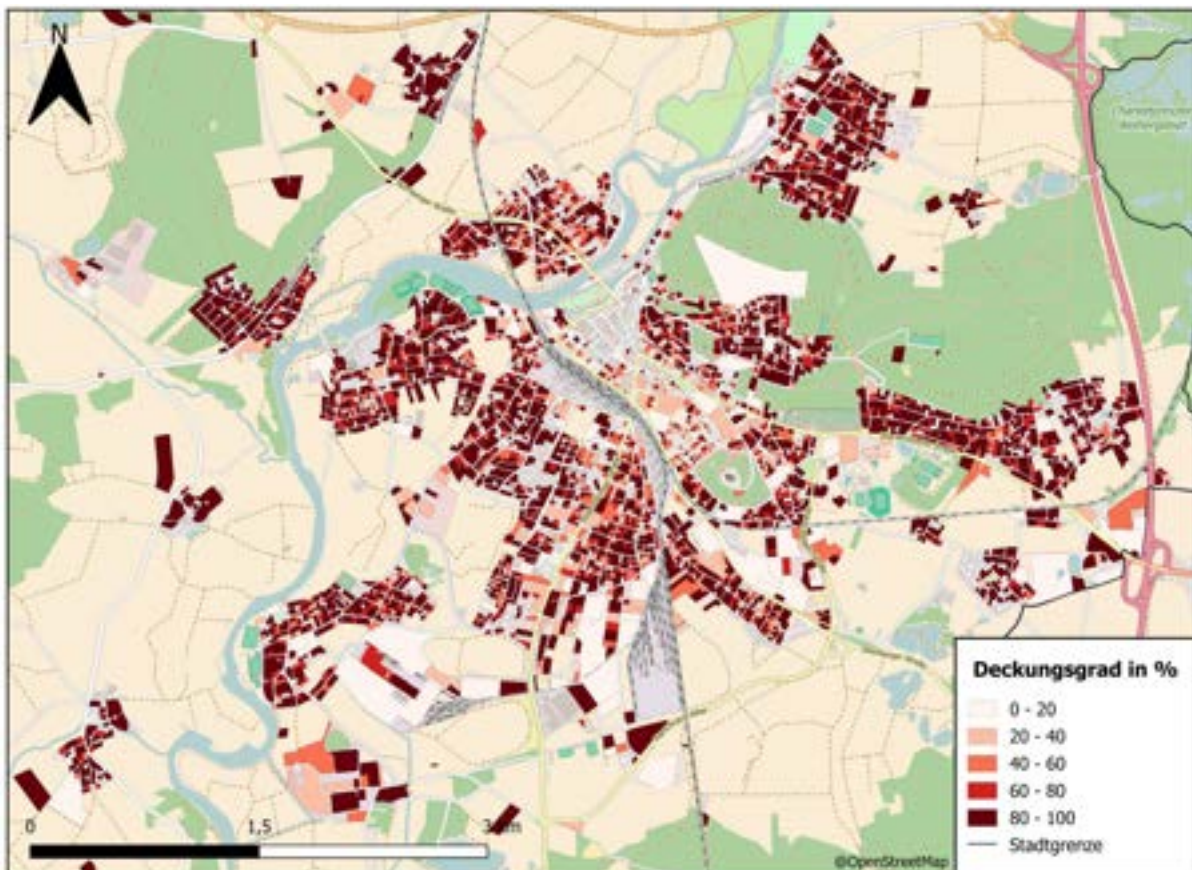


Abbildung 57: Deckungsgrad Geothermie auf bebautem Gebiet (Kernstadt von Schwandorf)

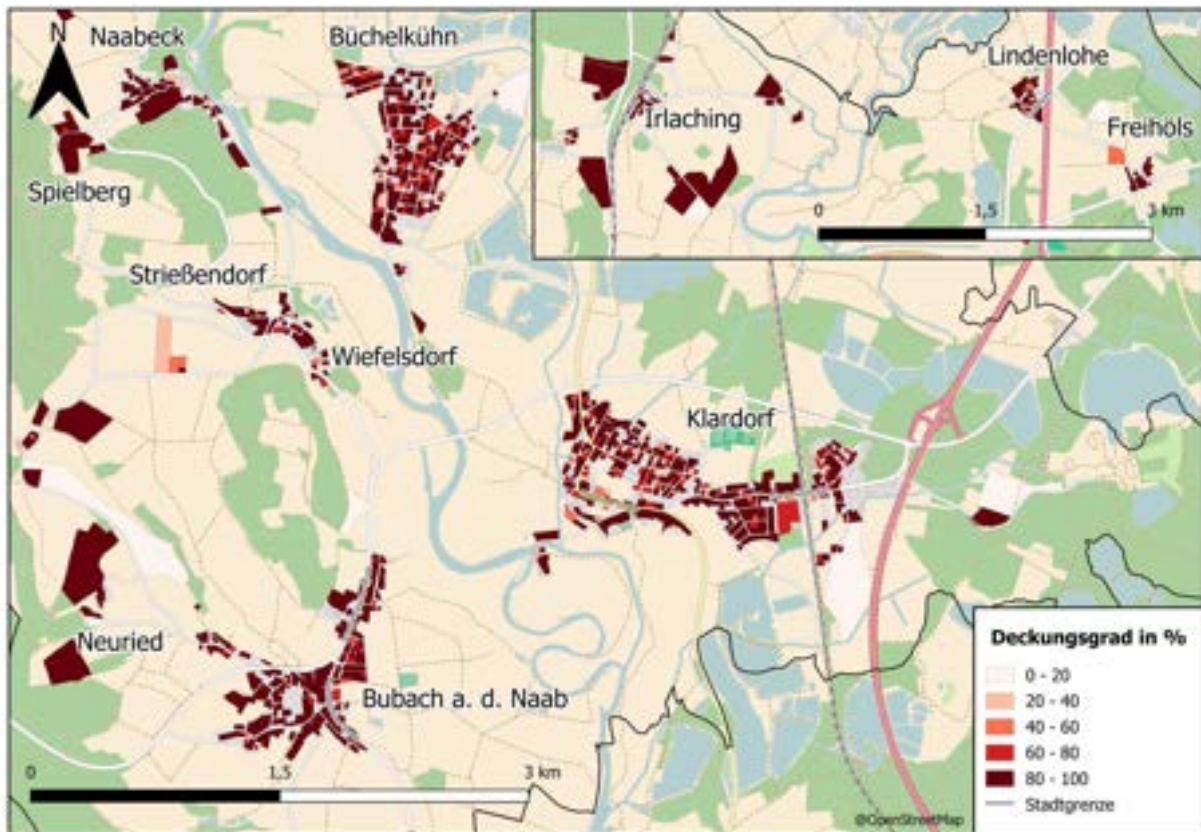


Abbildung 58: Deckungsgrad Geothermie auf bebautem Gebiet (Norden und Süden von Schwandorf)

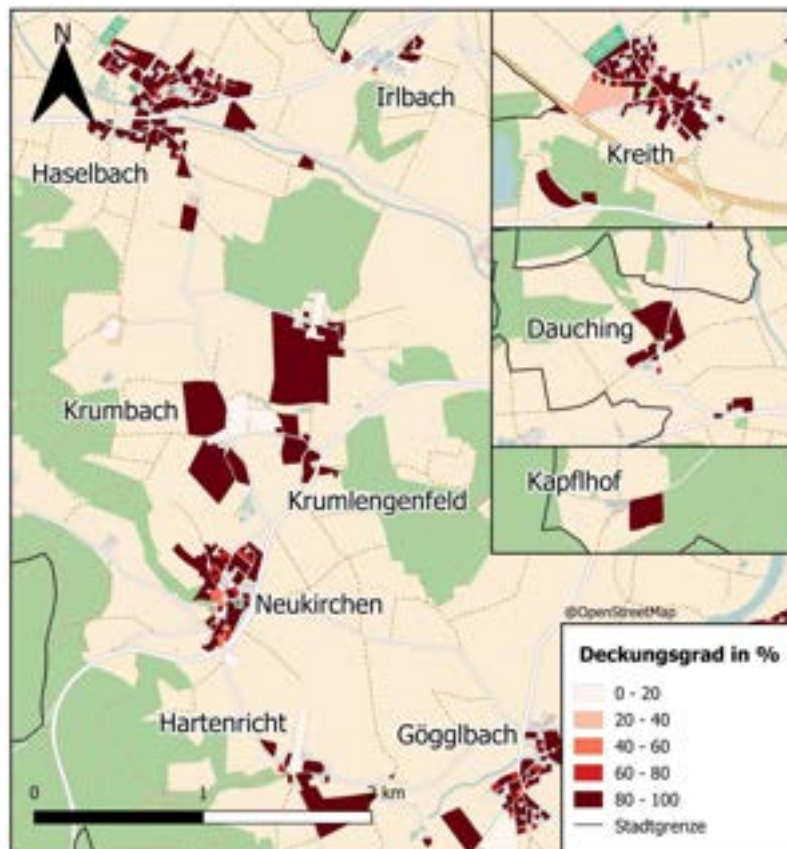


Abbildung 59: Deckungsgrad Geothermie auf bebautem Gebiet (Nordwesten von Schwandorf)

Freiflächen:

Oberflächennahe Geothermie kann nicht nur für einzelne Häuser genutzt werden, sondern auch als Quelle für ein (kaltes) Nahwärmenetz dienen. Daher wird das grobe Potenzial von Freiflächen in näherer Umgebung von bebauten Gebieten, die sich laut Eignungsprüfung für eine erweiterte Wärmeplanung eignen, zur Nutzung geothermischer Energie abgeschätzt. Ortsteile mit verkürzter Wärmeplanung werden hier nicht betrachtet. Aufgrund der großen Menge landwirtschaftlicher Flächen, werden nur Ackerflächen (und keine Grünflächen) als potenzielle Gebiete für Geothermie betrachtet.

In Abbildung 60 sind potenzielle Freiflächen zur Nutzung von oberflächennaher Geothermie dargestellt. Während Erdwärmekollektoren flächendeckend verwendet werden können, können Grundwasserwärmepumpen nur sehr eingeschränkt eingesetzt werden. Für Erdwärmesonden kann kein Potenzial in diesen Gebieten ausgewiesen werden.

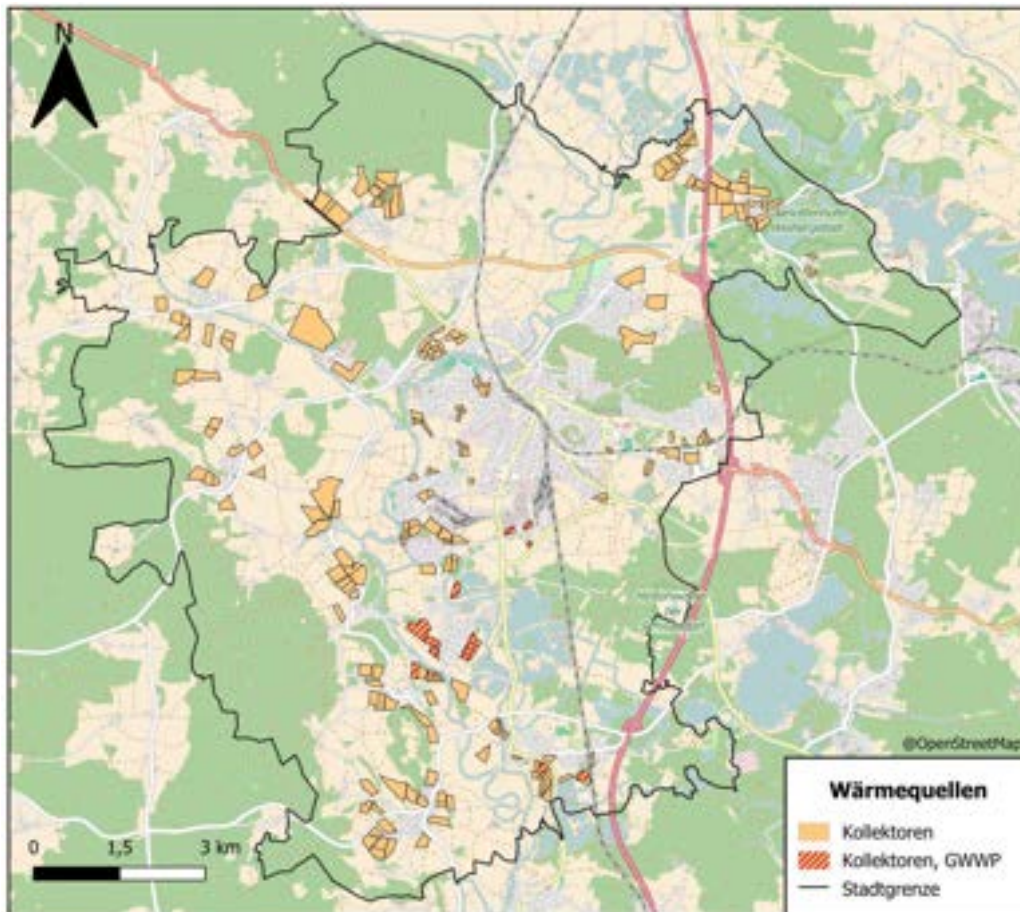


Abbildung 60: Potenzielle Geothermie Freiflächen

Da die Potenziale des Kurzgutachtens bei großen Flächen auf einen Maximalwert gedeckelt wurden, wurden die Potenziale für Freiflächen gesondert berechnet.

Für Erdwärmekollektoren wurde je Flurstück die vorhandene Bodenart über den Umweltatlas ermittelt und durch diese eine jeweilige Entzugsenergie pro Quadratmeter aus der VDI 4640 entnommen. Durch Einbezug der Flurstücksfläche und einer JAZ einer Wärmepumpe von 4 wurde das Potenzial berechnet. Für die Potenziale der GWWP wurde der Wert aus dem Kurzgutachten verwendet. Wie auch bei bebautem Gebiet, wurde in der Gesamtbilanz nur das

jeweils höchste Potenzial betrachtet, auch hier stehen die Technologien daher nicht in Konkurrenz zueinander

Die Summe aus potenziell für oberflächennahe Geothermie verwendbare Fläche (vgl. Abbildung 60) wurde anschließend auf 2 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche begrenzt, um keine unrealistisch hohen Potenziale auszugeben. Insgesamt ergibt sich daraus ein Potenzial für Erdwärmekollektoren von circa 55.300 MWh/a.

Abbildung 61 und Tabelle 28 zeigen die Ergebnisse der Potenzialanalyse für Wärme aus oberflächennaher Geothermie graphisch und tabellarisch auf. Da, wie oben bereits erwähnt, jeweils das höchste Potenzial eines Flurstücks verwendet wurde, stehen die aufgezeigten Potenziale nicht in Konkurrenz zueinander. Grundsätzlich könnten alle Geothermie-Arten ca. 62 % des gesamten Wärmebedarfs an Raumwärme und Warmwasser der Stadt (338.500 MWh/a) decken. Da möglicherweise aufgrund der Nutzung einer Freifläche die Nutzung einer dezentralen Anlage nicht mehr notwendig ist oder aufgrund des geringeren Deckungsanteils eine alternative Wärmeerzeugungstechnologie gewählt wird, kann das reale Potenzial geringer ausfallen.

Tabelle 28: Potenzial Wärme oberflächennaher Geothermie

| System | | Potenzial [MWh/a] |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Bebautes Gebiet | Erdwärmekollektoren (EWK) | 140.400 |
| | Erdwärmesonden (EWS) | 4.000 |
| | Grundwasserwärmepumpen (GWWP) | 10.500 |
| Freiflächen Erdwärmekollektoren | | 55.300 |
| Gesamt | | 210.200 |

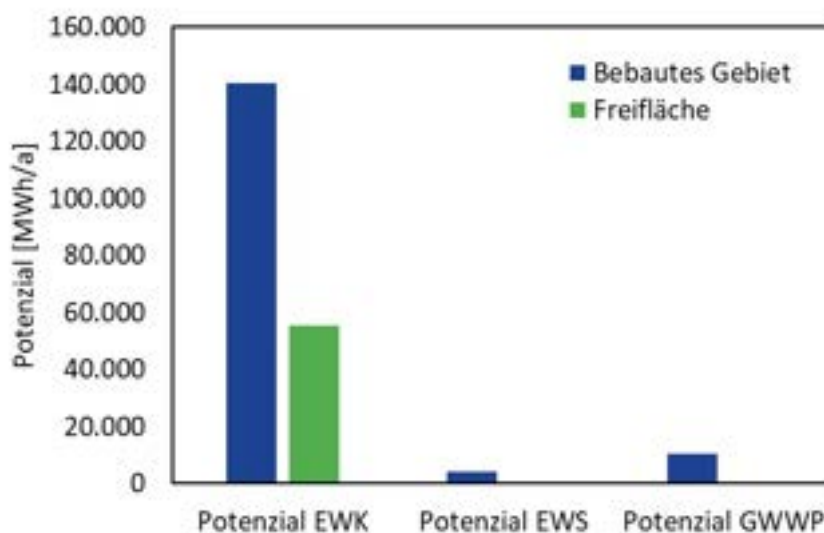


Abbildung 61: Potenzial oberflächennaher Geothermie

4.4.3. Solarthermie

Das theoretische Potenzial zentraler und dezentraler Solarthermie wird in diesem Kapitel untersucht und anhand von Annahmen und Randbedingungen auf ein realisierbares Potenzial heruntergerechnet.

Solarthermie-Freiflächen:

In Abbildung 62 sind potenzielle Freiflächen für Solarthermie im Stadtgebiet dargestellt. Diese werden anhand der als PV-Freiflächen geeignet eingestuft Flächen aus dem Energie-Atlas Bayern [13] sowie unter Betrachtung der Ausschlusskriterien ermittelt. Da hier, im Gegensatz zur Photovoltaik, die Leitungsverluste die Wirtschaftlichkeit eines Projektes stark beeinflussen, werden nur mögliche Flächen betrachtet, die weniger als 500 m von potenziellen Abnehmern entfernt sind und mindestens eine Fläche von 2.000 m² aufweisen. Zudem muss sich die Fläche in der Nähe eines potenziellen Wärmenetzgebiets befinden. Ortsteile mit verkürzter Wärmeplanung werden also nicht betrachtet.

Zur Berechnung des Ertrages der Solarthermie-Freiflächen werden vier existierende Anlagen in Dänemark als Vergleich hergenommen, da es in Deutschland wenige Solarthermie-Freiflächen gibt und die Kennwerte der Anlagen in Dänemark reale Messwerte darstellen [40]. Ein Mittelwert von 220 kWh pro Jahr und Quadratmeter Grundfläche konnte festgestellt werden. Das Potenzial wird mit dem Wärmebedarf der umliegenden Gebiete für kleinere Ortsteile verglichen bzw. falls notwendig auf eine Fläche von höchstens 2 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche begrenzt. Zur kompletten Ausnutzung des Potenzials ist in den meisten Fällen ein auf den Bedarf dimensionierter Wärmespeicher notwendig. Die Flächen befinden sich vor allem im Westen und Osten der Stadt. Die Freiflächen stehen gegebenenfalls in Konkurrenz zu Freiflächen mit Geothermie-Kollektoren und PV-Freiflächen.

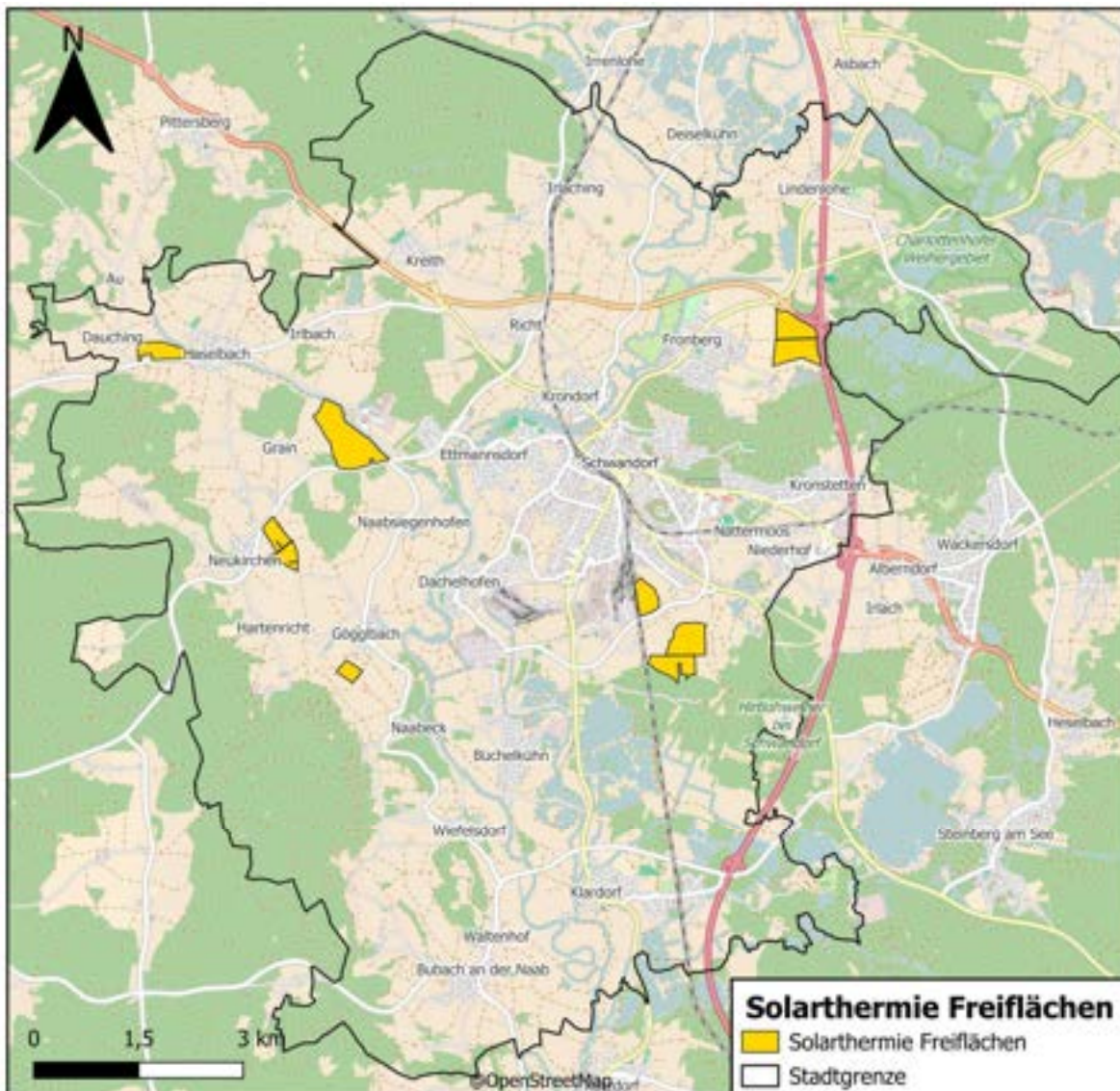


Abbildung 62: Potenzielle Solarthermie-Freiflächen in näherer Umgebung von bebauten Gebieten

Solarthermie-Dachflächen:

Das Potenzial der Solarthermie-Dachflächen wird mit Hilfe des Energie-Atlas Bayern berechnet [13], in dem jedoch nur das Potenzial der Warmwassererzeugung betrachtet wird. Daher fällt das Potenzial an Solarthermie-Dachflächen im Vergleich zur Photovoltaik gering aus. Der Großteil des Solarthermie-Potenzials fällt im Sommer an, wo jedoch der Raumwärmebedarf gering bis nicht vorhanden ist. Ohne eine saisonale Wärmespeicherung ist dieses Potenzial nur geringfügig nutzbar. Daher ist diese Einschätzung sinnvoll. Auf Industriedachflächen kann Solarthermie auch ggf. für die Bereitstellung von Prozesswärme genutzt werden. Dies ist individuell abzuschätzen. Grundsätzlich steht das Potenzial von Solarthermie und Photovoltaik immer in Konkurrenz zueinander.

Neben den bereits jährlich erzeugten Wärmemengen von 2.400 MWh/a im Bilanzjahr 2023 kann die Solarthermie auf Dachflächen noch weitere 28.400 MWh/a Wärme liefern, was zusammen ca. 9 % der von den Verbrauchergruppen Wohnen & Kleinverbraucher sowie Öffentliche Einrichtungen benötigten Wärmemenge ausmacht. Tabelle 29 listet die realistischen

Potenziale für Solarthermie auf. In Abbildung 63 sind diese graphisch dargestellt. Solarthermie-Dachflächen könnten somit ca. 11 % des jährlichen Wärmebedarfs für die Verbrauchergruppe Wohnen & Kleinverbraucher decken. Inklusive Freiflächen wäre eine Deckungsrate am Wärmebedarf aller Verbrauchergruppen (338.500 MWh/a, Prozesswärme nicht mitbetrachtet) von ca. 65 % möglich.

Tabelle 29: Potenzial Solarthermie Freiflächen und Dachflächen

| System | Potenzial [MWh/a] |
|--------------------------|-------------------|
| Freiflächen-Solarthermie | 191.300 |
| Dachflächen-Solarthermie | 28.400 |
| Gesamt | 219.700 |

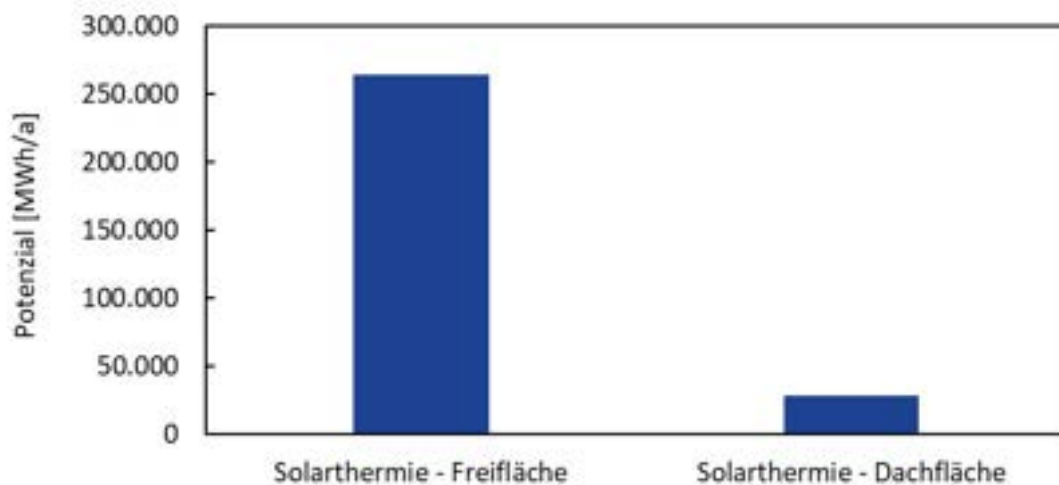


Abbildung 63: Potenzial Solarthermie Freiflächen und Dachflächen

4.4.4. Biomasse

Zur Abschätzung des Potenzials für Wärme aus Biomasse werden die Bereiche Biogas, Energieholz und Klärschlammverwertung betrachtet.

Biogas:

Für die Abschätzung des Potenzials für Biogas, sowohl thermisch als auch elektrisch, werden die Daten des Energie-Atlas Bayern verwendet [13]. Hier wird das Biogas-Potenzial anhand von den folgenden vier Unterpunkten errechnet. Zudem sind die prozentualen Anteile am Gesamtpotenzial für die Stadt Schwandorf angegeben.

- Erntehauptprodukte 75,9 %
- Erntenebenprodukte 6,7 %
- Organischer Abfall 3,3 %
- Gülle und Festmist 14,0 %

Von diesem Potenzial wird die aktuelle auf dem Stadtgebiet verbrauchte Biogasmenge abgezogen, um das übrige Potenzial zu erhalten. Der organische Abfall enthält u.a. kommunales Biogut (Biotonne), kommunales Grüngut, Organik im Hausmüll, gewerbliche organische

Abfälle und Landschaftspflegeabfälle. Insgesamt ergibt sich ein Potenzial von ca. 90.100 MWh/a für die Stadt Schwandorf.

Aktuell wird ein Großteil des Bioabfalls in dem Restmüll entsorgt und anschließend in dem Müllheizkraftwerk thermisch verwertet (vgl. Anteil Biomasse an verwerteter Abfallmenge 2023 ca. 53 %). Der Bau und Betrieb einer Bioabfallvergärungsanlage wurde vom ZMS bereits untersucht, aber nicht weiter betrachtet (siehe unten). Daher dürfe der Anteil organischer Abfälle in Schwandorf nicht als Biogas zur Verfügung stehen. Dieser hat jedoch einen geringen Anteil am Biogas-Potenzial.

Aktuell wird auf Grundlage der Daten des Marktstammdatenregisters, Energie-Atlas Bayern und der rückgemeldeten Fragebögen ca. 21.400 MWh_e/a an Biogas in Biogasanalgen verstromt. Dies entspricht grob einer Biogasmengen von 5.500.000 m³/a.

Die Biomethananlage in Schwandorf speist mit einer Produktion von 900 Nm³/h eine jährliche Energiemenge von ca. 82 GWh in das Erdgasnetz ein. Laut der Betreibergesellschaft Bioerdgas Schwandorf GmbH werden die Rohstoffe zur Biogaserzeugung aus einem Umkreis von ca. 15 km bezogen und verteilen sich wie folgt auf die Ausgangsprodukte:

- Maissilage 49 %
- Grünpflanzensilage 25 %
- Grassilage 20 %
- Getreidekorn 6 %

Unter Annahme der mittleren Werte des spezifischen Ertrags an Methan pro Hektar aus der Literatur kann auf die zur Methanherstellung benötigte landwirtschaftliche Fläche geschlossen werden [41]. Aktuell wird für die in das Gasnetz eingespeiste Menge an Biomethan ca. 2.200 ha an landwirtschaftlicher Fläche benötigt. Rechnet man die Stromerzeugung durch Biogas auf dem Stadtgebiet Schwandorf dazu, werden insgesamt ca. 3.600 ha benötigt. Dies entspricht 70 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche bzw. 187 % der für Pflanzen zur Grün-ernte genutzten Fläche auf dem Stadtgebiet Schwandorf [32]. Abbildung 64 zeigt das Einzugsgebiet anhand eines 15 km Radius (roter Kreis). Zudem sind die bestehenden Biomasseanlagen und die Gemeindegrenzen eingezeichnet. Unter Annahme einer gleichen Rohstoffverteilung für die weiteren Biogasanlagen in Schwandorf würden ca. 13,2 % der landwirtschaftlichen Fläche des Einzugsgebietes für den Anbau von Rohstoffen gebraucht, lediglich um die aktuell in Schwandorf verbrauchten Biomethanmengen herzustellen [42]. Die entspricht ca. 38 km² an Fläche und ist ebenfalls in Abbildung 64 zu sehen.

Laut Literatur werden durchschnittlich 12,33 % der landwirtschaftlichen Fläche in der Oberpfalz für die Biogaserzeugung verwendet [43]. Mit 13,2 % werden selbst für das betrachtete Einzugsgebiet ist dieser Wert bereits überschritten, obwohl hier lediglich der Biomethanverbrauch der Stadt Schwandorf betrachtet wird. Große Teile des Einzugsgebietes liegen nicht im Stadtgebiet Schwandorf, weswegen diese Potenziale den jeweiligen Gemeinden zumindest teilweise zugeschrieben werden müssten. Auch nicht betrachtet ist der Flächenbedarf der zahlreichen weiteren Biogasanlagen im Betrachtungsgebiet außerhalb Schwandorfs. Deren Verbrauch würde den relativen Flächenbedarf weiter steigern.

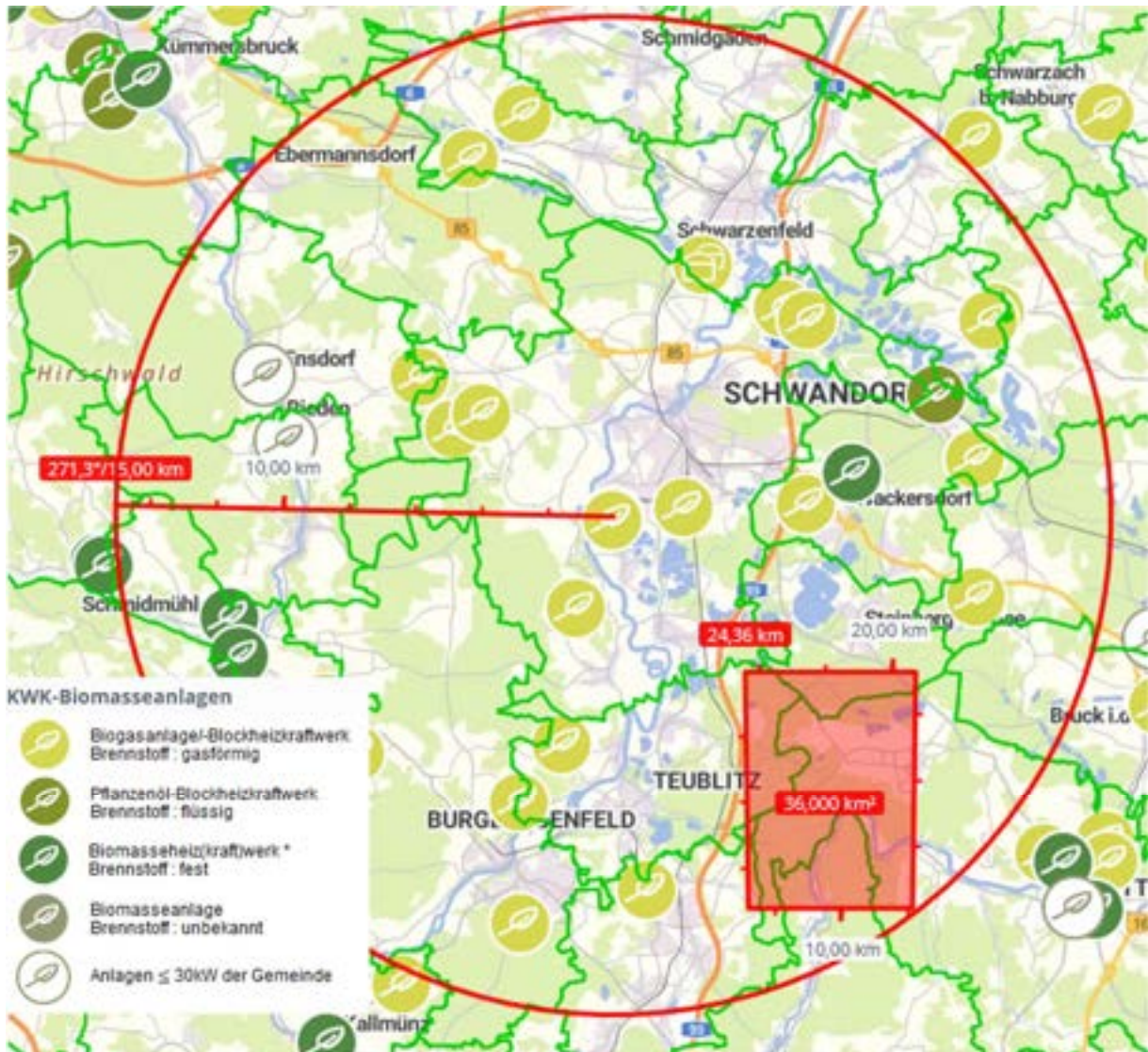


Abbildung 64: Einzugsgebiet Biomethanerzeugung (15 km Radius) mit Gemeindegrenzen

Vergleicht man die verbrauchten Mengen an Biomethan für die Einspeisung in das Gasnetz und die Stromerzeugung in den BHKWs auf dem Stadtgebiet Schwandorf mit dem vorliegenden Potenzial ergibt sich ein übriges Potenzial von ca. -46.600 MWh/a. Dies bedeutet, dass aktuell mehr Biogas verstromt, in Wärme umgewandelt oder aufbereitet in das Gasnetz eingespeist wird als nachhaltig zur Verfügung steht. Da lediglich das Potenzial für die Stadt Schwandorf betrachtet wird, das Einzugsgebiet zur Biomethanerzeugung aber zu großen Teilen auch außerhalb des Stadtgebietes liegt, weist diese Betrachtungsweise Ungenauigkeiten auf. Unter der Annahme, dass das eingespeiste Biomethan sowie die durch Biogasanlagen erzeugte elektrische Energie in Schwandorf verbraucht wird, ist diese Untersuchung ein guter Anhaltspunkt zur Abschätzung des noch verfügbaren Potenzials an Biogas auf dem Stadtgebiet Schwandorf.

Tabelle 30 listet die Ergebnisse der Potenzialanalyse für den Energieträger Biogas auf.

Tabelle 30: Potenzialanalyse Biogas

| System | Wert [MWh/a] |
|-----------------------------------|----------------|
| Biogasverbrauch BHKW | 54.700 |
| Biogasverbrauch Methaneinspeisung | 82.000 |
| Potenzial Biogas | 90.100 |
| Übriges Potenzial Biogas | -46.600 |

Verfügbarkeit Biomethan:

Biomethan gilt gemäß Gebäudeenergiegesetz (GEG) als klimaneutraler Energieträger. Heizungsanlagen, die mit Biomethan betrieben werden, erfüllen damit die Anforderung eines Mindestanteils von 65 % erneuerbarer Energien. Die Nutzung von Biomethan kann dabei bilanziell erfolgen. Das bedeutet, dass der GEG-konforme Bezug von Biomethan über einen Herkunftsnachweise des Energieversorgers mit der Jahresschlussrechnung erfolgt, während die physikalische Einspeisung und Entnahme orts- und zeitlich entkoppelt sein können. So wird beispielsweise Biomethan in Schwandorf eingespeist, während an einem anderen Standort in Deutschland eine Abnehmer Erdgas physikalisch aus dem Gasnetz verbraucht, bilanziell aber das Biomethan aus Schwandorf über den Gasmarkt bezieht. Im Folgenden werden der potenzielle Biomethanbedarf sowie die Verfügbarkeit deutschlandweit auf Basis von Literaturquellen näher betrachtet.

Im Jahr 2023 wurden in Deutschland 810 TWh Gas verbraucht, davon 333 TWh im Bereich Haushalte und Gewerbe. Dem gegenüber stand eine Biomethanproduktion von nur 10,4 TWh – das entspricht lediglich 1,3 % des Gesamtverbrauchs bzw. 3,1 % des Verbrauchs im Gebäudesektor. Für den künftigen Einsatz in Gasheizungen, die gemäß GEG weiterhin zulässig sind, könnte der Biomethanbedarf bis 2040 auf 13 bis 45 TWh steigen. Gleichzeitig schwanken die Prognosen zum technisch erschließbaren Potenzial zwischen 40 und 200 TWh bis 2045 – je nach Quelle. Dieses Potenzial basiert überwiegend auf Rest- und Abfallstoffen, da der Einsatz von Energiepflanzen zunehmend eingeschränkt wird. Rest- und Abfallstoffe werden bereits thermisch in Schwandorf verwertet. Neben dem Wärmemarkt wird auch in der Stromerzeugung und dem Verkehr ein steigender Bedarf an Biomethan erwartet, was einen erheblichen Ausbau der Erzeugungsinfrastruktur erfordern würde. Unter den derzeitigen Rahmenbedingungen erscheint ein solcher Ausbau jedoch nur schwer realisierbar. [29] [30] [31]

Angesichts des derzeit geringen Anteils von Biomethan am Gesamtgasverbrauch (1,3 %) und eines langfristig realistischen Potenzials von 40 bis 200 TWh pro Jahr sollte Biomethan künftig ausschließlich dort eingesetzt werden, wo es technisch oder wirtschaftlich notwendig ist. Dazu zählen insbesondere die Bereitstellung von Prozesswärme in der Industrie, der flexible Einsatz in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung sowie die Spitzenlastabdeckung in unsanierten Bestandsgebäuden.

Klärgas:

Das in der Kläranlage anfallende Klärgas wird bereits vollständig im BHKW vor Ort verbraucht. Somit ist das Potenzial an Klärgas bei einer Erzeugung/Verbrauch von ca. 3.400 MWh im Jahr 2023 ausgeschöpft.

Energieholz:

Das Potenzial für Energieholz wird anhand der Kennzahlen des Berichts bezüglich des Energieholzmarktes in Bayern der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft ermittelt [44]. Da das Potenzial im zitierten Bericht lediglich auf Landesebene ausgegeben wird, wird das Potenzial für die Stadt Schwandorf anhand der prozentualen Einwohnerzahl der Stadt bezüglich des Bundeslands Bayern heruntergerechnet. Somit wird die Transportfähigkeit des Energieträgers Holz mitbetrachtet und auch größere Städte ohne Waldfläche erhalten einen Anteil am bayernweiten Potenzial. Das bayernweite Potenzial aller Holz-Sortimente beträgt 34.854.300 MWh/a. Zudem werden aktuell ca. 37 % des Gesamteinschlags an Holz für energetische Zwecke genutzt [44]. Der Großteil (62 %) des Energieholzes aus dem Forst wird als Scheitholz und weitere 38 % als Hackschnitzel verwertet.

Da Biomasse ein begrenzter Rohstoff ist, wird das Potenzial mit dem aktuellen Verbrauch verglichen. Dafür werden die Verbrauchswerte von Biomasse aus der Energiebilanz Wärme für alle Verbrauchergruppen aufsummiert.

Die einzelnen Holzsortimente werden in dezentrale und zentrale Potenziale eingeteilt. Generell können die dezentralen Potenziale auch in einem Wärmenetz verwendet werden. Da auch in Zukunft viele Gebäude dezentral versorgt werden müssen und eine leitungsgebundene Wärmeversorgung eine größere Vielfalt an möglichen Energiequellen aufweist, wird das Potenzial an Waldholz und Pellets ausschließlich der dezentralen Wärmeerzeugung zugewiesen. In Tabelle 31 sind die Potenziale ohne Abzug des aktuellen Verbrauchs angegeben.

Tabelle 31: Potenziale Energieholz (ohne Abzug aktueller Verbrauch).

Bayernweite Potenziale auf die Einwohnerzahl heruntergerechnet.

| System | Sortiment | Potenzial [MWh/a] |
|--|-------------------------|-------------------|
| Dezentral | Waldholz | 41.200 |
| | Pellets | 17.300 |
| Zentral | Flur- und Siedlungsholz | 5.600 |
| | Altholz | 6.900 |
| | Sägenebenprodukte | 7.000 |
| | Kurzumtriebsplantagen | 200 |
| Gesamtes Potenzial Energieholz nach LWF | | 78.200 |

Laut Energie-Atlas Bayern beziffert sich das Potenzial an Kurzumtriebsplantagen (KUP) auf 1.450 MWh/a [13]. Dies entspräche einer ungefähren Fläche von 25 ha [45]. 200 MWh/a entsprächen ca. 3,5 ha. Aktuell werden rund 1.950 ha in Schwandorf für den Anbau von Pflanzen zur Grünernte verwendet [32]. Daher würde das ausgewiesene Potenzial von 200 MWh/a lediglich 0,2 % der für Pflanzen zur Grünernte genutzten Fläche ausmachen. Für den Anbau von Maissilage zur Biogaserzeugung liegt der flächenbezogene Energieertrag im Vergleich zu den KUP im gleichen Rahmen [46]. Vergleicht man die THG-Emissionen der Massenerträge von KUP und Maissilage ist mit einem Faktor von 0,1 zu rechnen [45]. Das bedeutet, dass der Anbau von Kurzumtriebsplantagen im Vergleich zur Maissilage mit einem annähernd gleichen Energieertrag lediglich 10 % der THG-Emissionen verursacht. Daher ist aus ökologischer Sicht der Anbau von KUP der Maissilage zu bevorzugen. Ökonomische, rechtliche und unternehmerische Aspekte müssen zudem mitbetrachtet werden und können hier nicht detaillierter dargestellt werden.

Ein Potenzial aus der Altholz-Sortieranlage Bodenwöhr kann nicht ausgewiesen werden, da diese inzwischen nicht mehr in Betrieb ist. Anfallendes Holz aus Sperrmüll der Mitgliedskommunen wird nun vor Ort getrennt und daraufhin im MHKW verwertet. Das Altholz Potenzial wird nun bayernweit betrachtet und auf die Stadt heruntergerechnet.

Nachhaltigkeit Energieholzpotenziale:

Um die zukünftige Entwicklung des Energieholz Potenzials abzuschätzen, kann der jährliche Zuwachs an Holz mit dem jährlichen Holzeinschlag verglichen werden. Abbildung 65 zeigt den Holzeinschlag nach Baumarten der letzten Jahre. Der erste Balken stellt den durchschnittlichen jährlichen Holzzuwachs von 2012-2022 nach der vierten Bundeswaldinventur dar. Die zweite Säule stellt die durchschnittliche jährliche Nutzung zwischen 2012-2022 dar. Demnach übersteigt der Zuwachs den Einschlag um ca. 14 %. Allerdings zeigt sich für die letzten Jahre ein steigender Trend des Einschlags. So hat sich das Verhältnis in den letzten drei Jahren (2022-2024) umgekehrt - der Holzeinschlag übersteigt nun den Zuwachs um bis zu 9 %. Falls sich dieser Trend fortsetzt, wird in Zukunft eindeutig mehr Holz eingeschlagen als nachhaltig nachwachsen kann.

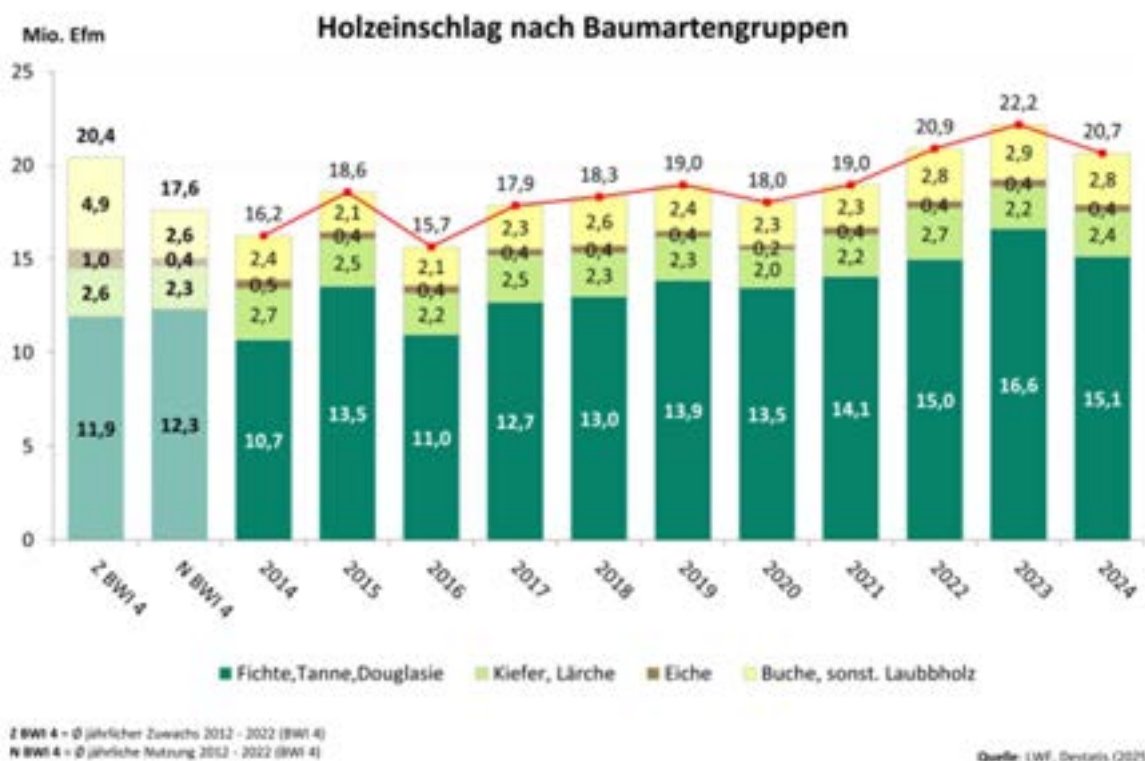


Abbildung 65: Holzeinschlag in Bayern [47]

Neben der Nachhaltigkeit ist ein weiterer wichtiger Faktor für eine wirtschaftliche Energieversorgung die Versorgungssicherheit der Energieträger. Abbildung 66 zeigt den Schadholzanteil am Holzeinschlag für die letzten Jahre. Von 2019-2024 lag der Schadholzanteil am Holzeinschlag bei fast 50 %. Aufgrund des Klimawandels werden die Wetterextreme in Bayern voraussichtlich weiter zunehmen. Wetterextreme und deren Auswirkungen verursachen einen hohen Anteil an unplanbarem Holzeinschlag, welcher Auswirkungen auf die Marktpreise des Energieträgers hat.

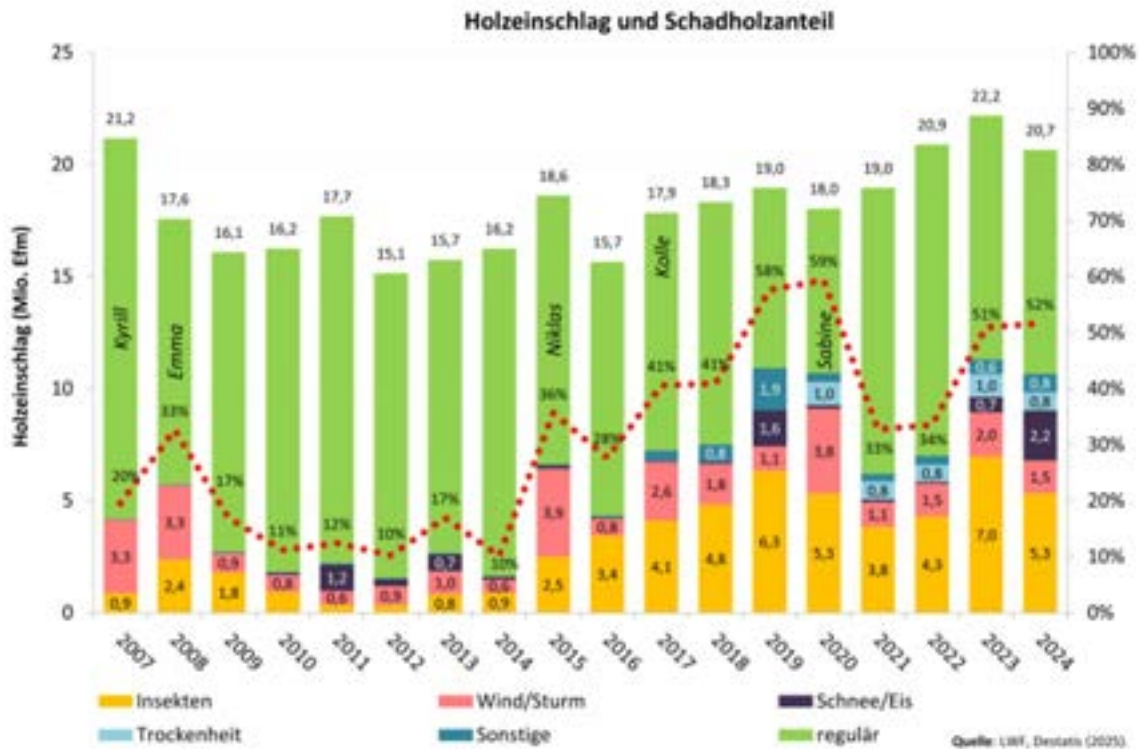


Abbildung 66: Holzeinschlag und Schadholzanteil [47]

Der steigende Anteil des Holzeinschlages verglichen mit dem nachhaltigen Nachwuchs in Verbindung mit dem steigenden Schadholzanteil am Holzeinschlag zeigt, dass der Rohstoff Energieholz für eine nachhaltige und wirtschaftlich planbare Energieversorgung nicht übermäßig vorhanden ist und daher stets überlegt eingesetzt werden sollte.

Einordnung Energieholzpotenziale:

Im Folgenden werden die Potenziale der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) [44] quantitativ eingeordnet. Umgerechnet (am Beispiel der Kiefer mit 18,383 MWh/a/ha Nachwuchs [48] [49]) entsprechen die Potenziale für Energieholz von 34.854.300 MWh/a eine Waldfläche von ca. 19.000 km². Bei einer bestehenden Waldfläche in Bayern von ca. 25.000 km² [50] entsprechen die ausgewiesenen Potenziale (gerechnet am Beispiel der Kiefer) ca. 76 % der bayerischen Waldfläche. Wie oben beschrieben, werden anteilig am Gesamtholzeinschlag aktuell 37 % des Holzes zur energetischen Nutzung verwendet. Auf die Stadt Schwandorf heruntergerechnet nimmt das ausgewiesene Potenzial (am Beispiel der Kiefer) ca. 4.250 ha in Anspruch. Diese Fläche ist in Abbildung 67 aufgezeigt und stellt ca. 108 % der Waldfläche Schwandorfs dar. Diese Einordnung kann zu dem Entschluss führen, dass das durch das Landesamt für Wald und Forstwirtschaft ausgewiesene Potenzial zu hoch eingeschätzt wird.

Daher wird für die Potenzialanalyse im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung das Energieholzpotenzial des LWF mittels eines Faktors reduziert. Dieser Faktor errechnet sich anhand der für das Potenzial benötigten Waldfläche Bayerns und der Angabe zum Energieholzanteil am Gesamtholzeinschlag und beziffert sich auf ca. 49 %. Somit würde rechnerisch die gesamte Waldfläche Bayerns (in Form der Kiefer) für die Holznutzung verwendet werden. Und davon 37 % für Energieholz verwendet werden. Die Nutzung der gesamten Waldfläche Bayerns

für holzwirtschaftliche Zwecke ist unrealistisch, dennoch grenzt diese Betrachtung das Potenzial ein. Prinzipiell könnten alternative Faktoren verwendet werden. Im Energienutzungsplan des Landkreises Schwandorf aus dem Jahr 2023 wurde in Abstimmung mit der zuständigen Steuerungsrunde ein Faktor von 0,5 gewählt. Dies wurde u.a. aufgrund der Unklarheit, ob das gesamte theoretische Potenzial wirklich praktisch genutzt werden kann, und der Gegebenheit, dass der Wald eine CO₂-Senke darstellt, entschieden.

Abbildung 67 zeigt die verschiedenen Waldflächen (Kiefer) dieser Betrachtung. In Hellblau ist die vorhandene Waldfläche Schwandorfs zu sehen. In Dunkelblau die benötigte Waldfläche für den aktuellen Energieholzverbrauch für Raumwärme und Warmwasser. In Hellgrün ist die Waldfläche für das nach LWF ausgewiesenen Potenzial dem für die kommunale Wärmeplanung in Dunkelgrün verwendetem Potenzial gegenübergestellt.

Da in diesem Potenzial auch Altholz und Sägenebenprodukte enthalten sind, kann der Ursprung des dafür verwendeten Holzes nicht aus Bayern stammen. Eine nachhaltige Nutzung von fester Biomasse setzt allerdings eine regionale Nutzung des angebauten Holzes voraus. Zudem wird Holz in Zukunft auch in anderen Bereichen mehr zum Einsatz kommen. Die Mengen von Holz als Baustoff als auch der Einsatz von Papier für Verpackungen ist in den letzten Jahren gestiegen und wird laut Prognosen sich weiter erhöhen. [51] Dies sind weitere Indizien, welche für eine Nutzung von Energieholz weit unter den ausgewiesenen Potenzialen für die Wärmeversorgung in der Stadt Schwandorf sprechen.

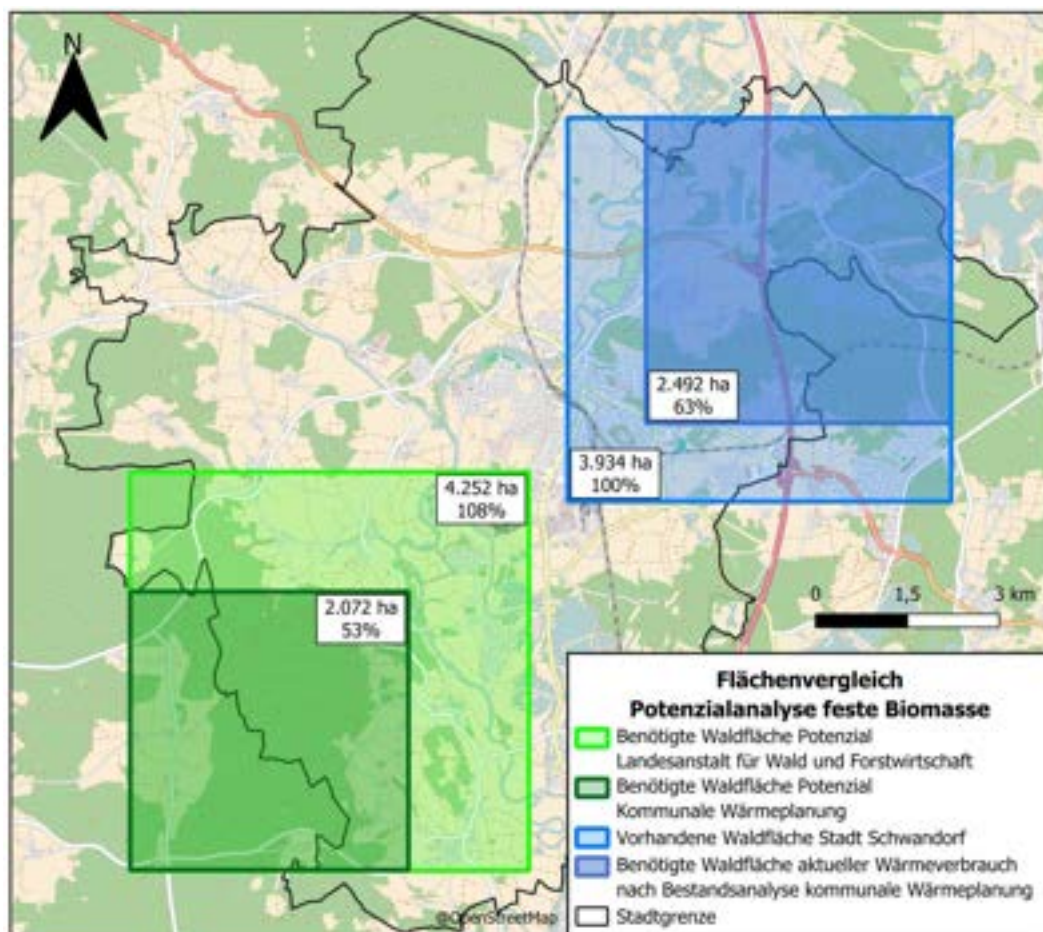


Abbildung 67: Benötigte Waldflächen für ausgewiesene Potenziale [44] und Verbräuche

(anhand der Kiefer). Sowie prozentualer Anteil der Fläche an der bestehenden Waldfläche Schwandorfs.

Tabelle 32 listet das noch verfügbare Potenzial von Biogas und Energieholz, abzüglich des aktuell bereits genutzten Energieholzes, für die Stadt auf. Abbildung 68 zeigt das Ergebnis in graphischer Form. Da die Wärmeversorgung der aktuellen Wärmenetze nicht auf Energieholz beruht, ist dieses Potenzial weiterhin gegeben. Hierbei sei nochmal erwähnt, dass dieses Potenzial keine Hackschnitzel beinhaltet. Falls ein Wärmenetz mit diesem Energieträger errichtet wird, muss dieses Potenzial vom Waldholz für die dezentrale Energieversorgung abgezogen werden. Aufgrund des aktuellen Verbrauchs ist das Potenzial an Energieholz für eine dezentrale Wärmeversorgung bereits überreizt und daher negativ.

Unter der Annahme, dass das in Schwandorf erzeugte und ins Netz eingespeiste Biogas vollständig lokal genutzt wird, ergibt sich rechnerisch ein negatives Restpotenzial. Dies deutet darauf hin, dass das nachhaltig nutzbare Biogaspotenzial bereits vollständig ausgeschöpft ist.

Tabelle 32: Potenzial Biomasse (Biogas und feste Biomasse)

| System | Potenzial [MWh/a] |
|-----------------------|-------------------|
| Biogas | -46.600 |
| Energieholz zentral | 9.600 |
| Energieholz dezentral | -17.300 |
| Gesamt | 9.600 |

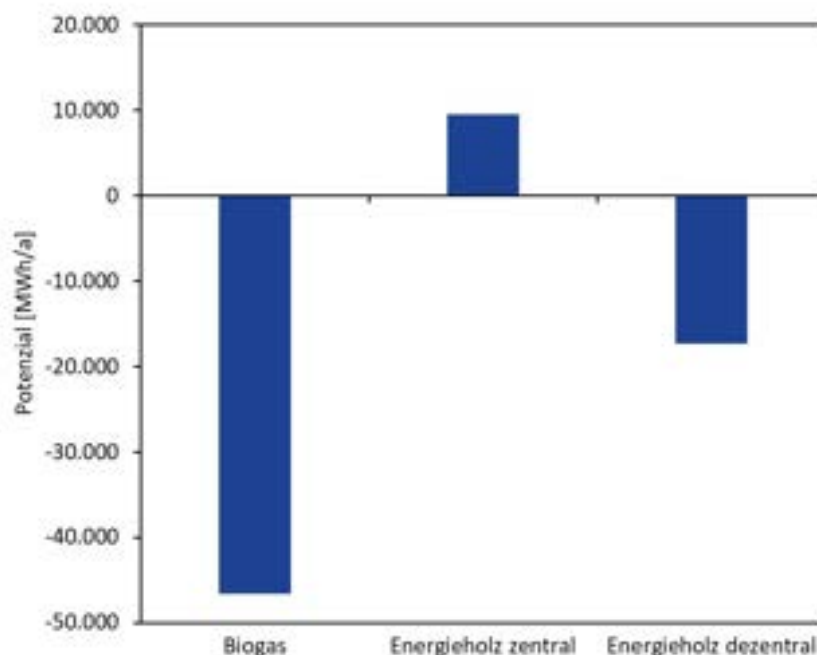


Abbildung 68: Potenzial aus Biomasse. Aufgeteilt in Biogas und Energieholz

Klärschlamm:

Klärschlamm fällt als Nebenprodukt der kommunalen Abwasserreinigung an und enthält organische Substanzen, Nährstoffe wie Phosphor sowie Schwermetalle und Schadstoffe. Derzeit wird ein Großteil des Klärschlammes thermisch verwertet: Der Großteil wird als zusätzlicher Brennstoff z. B. in Kohlekraftwerken oder Zementwerken mitverbrannt, nur ein sehr kleiner Teil

(ca. 1 %) wird in speziellen Monoverbrennungsanlagen wiederverwertet. Eine landwirtschaftliche Ausbringung ist stark rückläufig und durch die novellierte Klärschlammverordnung 2017 aufgrund von gesteigener Schadstoffbelastung für Kläranlagen > 100.000 EW ab Januar 2029 nicht mehr zulässig. Die aktuell noch teurere Monoverbrennung wird zukünftig auch vermehrt in den Fokus geraten, da diese die durch die oben genannte Klärschlammverordnung zukünftig geforderte Rückgewinnung von Phosphor ermöglicht.

Um das hohe energetische Potenzial des Klärschlammes zu nutzen, muss dieser in mehreren Schritten entwässert und getrocknet werden. In Schwandorf, in der Nähe des MHKW, gibt es eine Klärschlamm-trocknungsanlage. Jährlich werden hier knapp 40.000 t Klärschlamm (25 % Trockensubstanz) auf ca. 10.000 t getrockneten Klärschlamm (~95 % Trockensubstanz) reduziert, wovon nur ca. 8 % von der örtlichen Klärschlamm-anlage stammen. Ca. 85 % des getrockneten Klärschlammes werden aktuell in diversen Zementwerken mitverbrannt, nur 1 % wird durch Monoverbrennung verwertet.

Unter Annahme eines Heizwertes von 10 MJ/kg [52] und einem Wirkungsgrad der Anlage von 80 % könnten durch die Monoverbrennung des anfallenden Klärschlammes knapp 21.900 GWh Energie zurückgewonnen werden. Tabelle 33 listet dieses Potenzial auf.

Tabelle 33: Potenzial Klärschlammverbrennung

| System | Potenzial [MWh/a] |
|------------------------|-------------------|
| Klärschlammverbrennung | 21.900 |

Bioabfall:

Der Bau einer Bioabfallvergärungsanlage im MHKW wurde bereits intensiv vom ZMS untersucht. Aufgrund von nicht dauerhaft zugesicherten Bioabfallmengen von den entsorgungspflichtigen Körperschaften wurde das Vorhaben nicht weiterverfolgt und somit auch im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung nicht weiter betrachtet. Bei einem Biomasseanteil von 54 % des im Jahr 2024 im MHKW verwerteten Abfalls, stünden 204.000 t/a Bioabfall zur Verfügung. Bei einem Biogasenertrag von 100 m³/t und einem Methangehalt von 61 % ergibt die Bioabfallvergärung in Schwandorf ein Potenzial von 12.444.000 m³/a an Biomethan bzw. 124,4 GWh/a an Energie [46]. Dieses Potenzial bezieht sich auf die gesamte Bioabfallmenge des MHKW und dessen Einzugsgebiet von Landshut bis Hof. Das Potenzial für die Stadt Schwandorf, bezogen auf die Einwohnerzahl, würde sich dementsprechend auf ca. 2.000 MWh/a beziffern und ist in Tabelle 34 aufgezeigt. Das Potenzial bezogen auf den Landkreis Schwandorf entspricht 9.800 MWh/a.

Tabelle 34: Potenzial Biogas aus Bioabfall Stadt Schwandorf

| System | Potenzial [MWh/a] |
|----------------------|-------------------|
| Biogas aus Bioabfall | 2.000 |

4.4.5. Unvermeidbare Abwärme

Das Potenzial der unvermeidbaren Abwärme wird separat für die Bereiche Industrie, Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) und Abwasser betrachtet. Da nicht für jedes Unternehmen Daten zur

Verfügung stehen, sind die folgenden Potenziale möglicherweise nicht vollständig und lediglich die bekannten Energiemengen werden aufgelistet.

Abwärme aus Industrie:

Insgesamt nahmen 13 Industrie- und Gewerbetrieben in Schwandorf an der Befragung für Industrieunternehmen teil. Teilweise wurden entweder unzureichende Angaben zur Abschätzung des Potenzials getroffen oder die Einspeisung in ein potenzielles Wärmenetz ist nicht möglich bzw. gewünscht. Die bekannten und abgeschätzten Wärmemengen durch unvermeidbare Abwärme aus der Industrie sind in Tabelle 35 gelistet. Zudem wurden die in der Plattform für Abwärme des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle angegebenen Abwärmemengen mitberücksichtigt und ggf. ergänzt oder mit den Angaben der Fragebögen verglichen. Das Potenzial ist zudem unterteilt in Wärmemengen mit einer Temperatur von unter und über 60 °C. Somit lassen sich für ein heißes Wärmenetz zur Verfügung stehende Abwärmemengen besser einschätzen. Bei niedrigeren Temperaturen ist ggf. der Einsatz einer Wärmepumpe notwendig, um auf die benötigten Temperaturen im Wärmenetz zu kommen. Dennoch stellen auch diese Abwärmemengen ein gutes Potenzial dar.

Kraft-Wärme-Kopplung:

Es befindet sich sieben potenzielle Abwärmequellen in Form von Biogasanlagen auf dem Stadtgebiet. Zwei haben rückgemeldet, dass aktuell kein Potenzial vorhanden ist. Zwei Anlagen haben eine konkrete Abwärmemengen angegeben. Für die restlichen drei Anlagen wird anhand der thermischen Leistung und der Volllaststunden aus dem Marktstammdatenregister eine Abwärmemenge abgeschätzt.

Abwasser:

Auf dem Stadtgebiet gibt es eine Kläranlage, deren Abwärme genutzt werden kann. Es gibt zudem einige Kanäle mit einer Größe, für welche die Nutzung der Abwärme möglich wäre. Vor allem im Winter stellt Abwärme aus Abwasser aufgrund der hohen Temperaturen eine gute Quelle für z.B. eine Großwärmepumpe dar. Mit Hilfe des Mindesttrockenabflusses und der Mindesttemperatur des Wassers der Standorte, einem exemplarischen Abflussverlauf über den Tag und einer potenziellen Abkühlung des Wassers von 3 K kann das Potenzial der Abwärme aus Abwasser berechnet werden. Da diese Werte nicht vorliegen, kann für die Abwasserkanäle keine Potenzialabschätzung gemacht werden.

Anhand der von der Kläranlage gelieferten Daten bezüglich der Abwassermengen und -temperaturen für jeden Tag im Jahr kann ein grobes Potenzial der Abwasserwärmenutzung in Kombination mit einer Wärmepumpe abgeschätzt werden. Dieses Potenzial kann auch am Kanal, welcher das geklärte Abwasser von der Kläranlage zur Naab leitet, abgegriffen werden.

Abbildung 69 verortet die ermittelten Abwärmepotenziale in der Stadt Schwandorf. Die Abwärme der Industrie ist als Heatmap dargestellt. Je dunkler und kräftiger die Einfärbung, desto höher ist das Abwärmepotenzial.

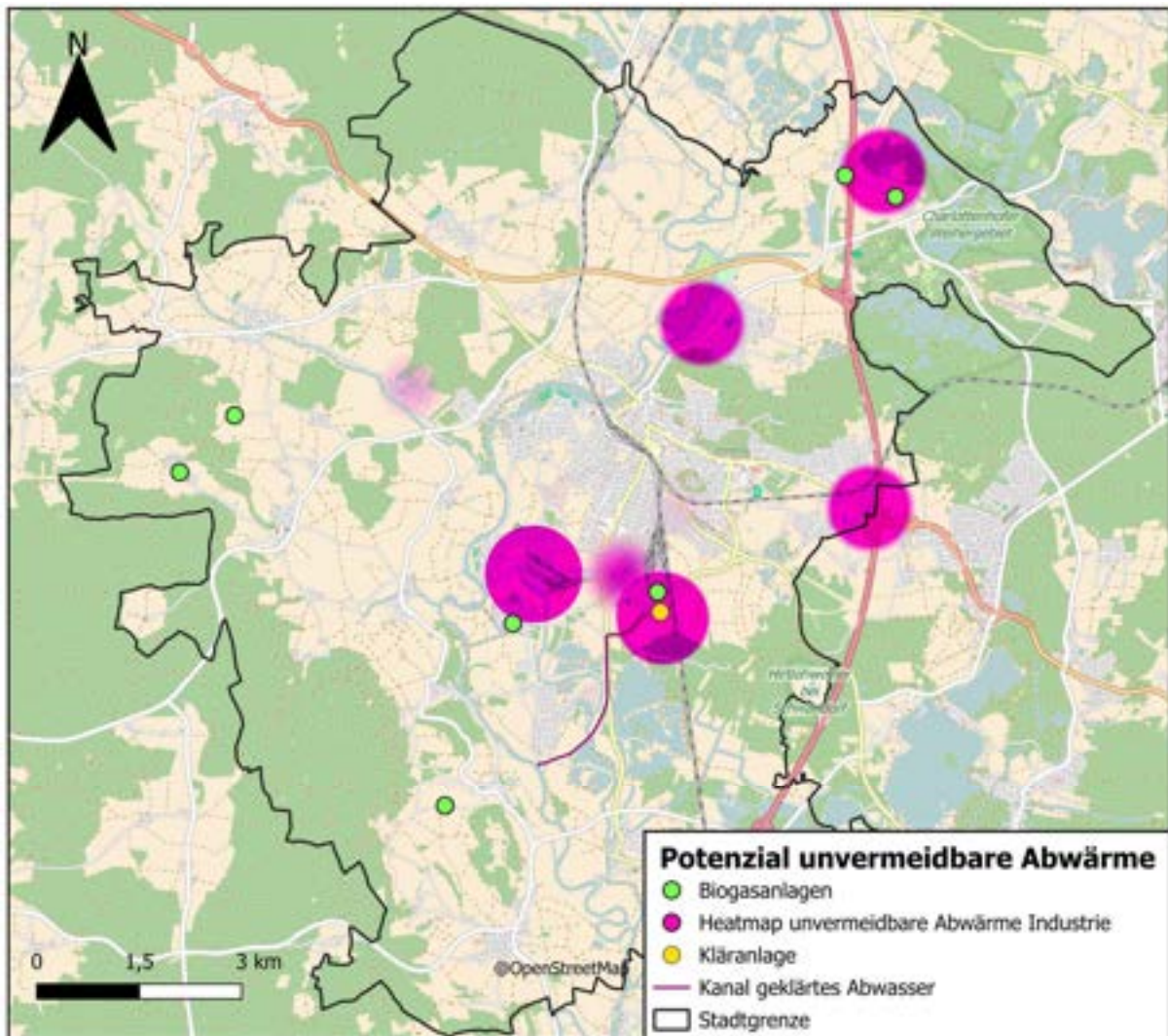


Abbildung 69: Darstellung der Abwärmepotenziale

Tabelle 35 und Abbildung 70 zeigen die Ergebnisse der Potenzialanalyse zur Gewinnung von Wärme aus unvermeidbarer Abwärme und Abwasser. Der Großteil des Potenzials fällt als industrieller Abwärme mit einer Temperatur von unter 60° C an und könnte somit nicht direkt in das Fernwärmenetz eingespeist werden. Das Temperaturniveau des Abwassers beläuft sich im Auslegungsfall auf 8 °C, während im Fernwärmenetz ein Vorlauf von 125 °C bereitgestellt wird. Diese große Temperaturdifferenz zwischen potenzieller Wärmequelle und Wärmesenke würde eine Nutzung des Quellwärmepotenzials mittels Wärmepumpe nur unter sehr ineffizienten Betriebsbedingungen ermöglichen und hätte so sehr hohe Wärmegestehungskosten zur Folge. Eine Einspeisung in den Rücklauf des Fernwärmenetz zur Anhebung der Rücklauf-Temperatur ist energetisch aktuell auch nicht sinnvoll, da so die nutzbare Wärmemenge aus der Verbrennung des Abfalls im MHKW verringert und weniger genutzt wird.

In einem separaten Wärmenetz, welches auf Vorlauftemperaturen von maximal 75 °C ausgelegt ist, könnte diese spitzenlastfähige Wärmequelle jedoch sehr effizient und wirtschaftlich attraktiv nutzbar gemacht werden. Die Nutzung von Abwärme bedarf ggf. größeren Abstimmungen und beinhaltet regulatorische Hürden, weswegen weitere detailliertere Studien notwendig sind, um das real nutzbare Abwärmepotenzial zu bestimmen.

Tabelle 35: Potenzialanalyse Abwärme

| System | Potenzial [MWh/a] |
|---------------------|-------------------|
| Industrie (>60°C) | 39.000 |
| Industrie (<60°C) | 241.500 |
| KWK-Anlagen | 16.100 |
| Abwasser Kläranlage | 53.600 |
| Gesamt | 350.200 |

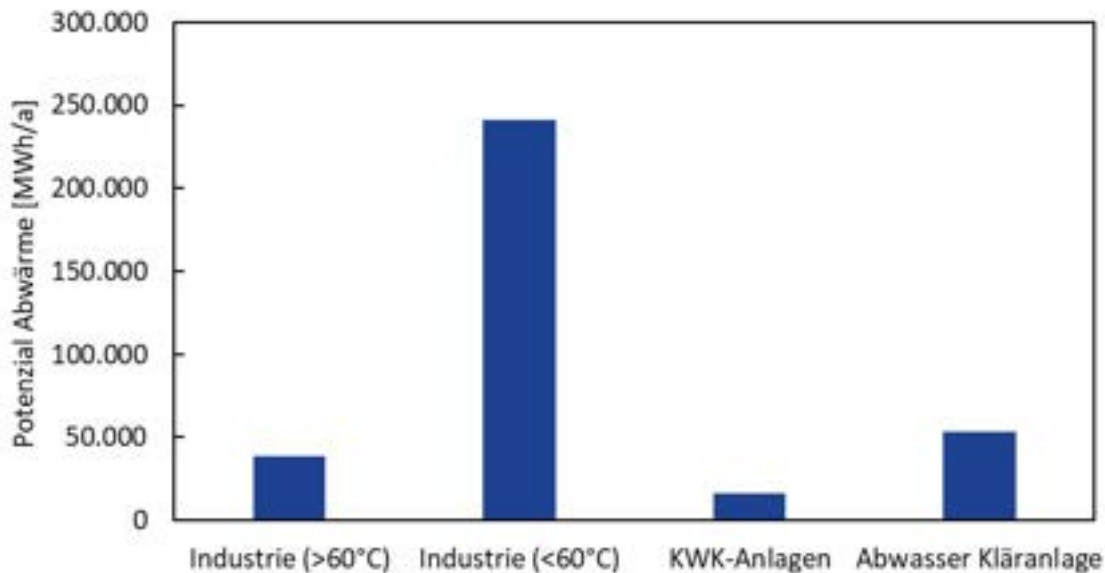


Abbildung 70: Potenzialanalyse Abwärme

Abfallmengen:

Die thermische Abfallbehandlung (TAB) in Deutschland steht bis 2040 vor großen Herausforderungen, insbesondere durch veränderte Abfallmengen und den sinkenden Biomasseanteil. Eine Prognos-Studie im Auftrag der ITAD zeigt, dass die Anlagenkapazitäten bis 2040 grundsätzlich ausgelastet sein werden. Die Abfallmengen steigen zunächst von 34,5 auf 36,8 Mio. t, werden durch Recycling jedoch auf rund 30,5 Mio. t reduziert. Rechtliche Anpassungen und Stoffstromverschiebungen können diese wieder auf etwa 33,4 Mio. t anheben [53]. Ähnliche Untersuchungen des Umweltbundesamtes kommen auf annähernd gleiche Werte (32 Mio. t im Jahr 2030 an anfallender Abfallmenge) [54]. Gleichzeitig sinkt die verfügbare Kapazität durch den Kohleausstieg und den Rückbau von Mitverbrennung von heute 36,8 auf 34,2 Mio. t. [53] [55] [56] Die erwartete verwertbare Abfallmenge im MHKW Schwandorf beträgt laut dem Zweckverband MHKW Schwandorf ab 2032 bei 460.000 t/a.

Der Biomasseanteil in der thermischen Abfallverwertung hängt stark von der Abfallzusammensetzung ab. Steigende Recyclingquoten, insbesondere bei biogenen Abfällen, können den Anteil im Restabfall verringern. Genauso könnten steigende Recyclingquoten bei nicht-biogenen Abfall den Anteil biogenen Abfalls in der thermischen Abfallverwertung erhöhen. Gleichzeitig könnten neue gesetzliche Vorgaben dazu führen, dass bestimmte biogene Stoffe verstärkt thermisch verwertet werden. Genaue Prognosen bis 2040 sind daher schwierig und hängen maßgeblich von rechtlichen und technologischen Entwicklungen ab. [53] [57] Der Anteil an Biomasse im Abfall betrug im Falle des Müllheizkraftwerks Schwandorf in den vergangenen Jahren zwischen 46-54 %.

Die Integration von Carbon Capture and Storage (CCS) in Müllverbrennungsanlagen gilt als mögliche Maßnahme zur Reduzierung von CO₂-Emissionen. Das Umweltbundesamt empfiehlt, die Technologie in der Abfallwirtschaft zu erproben, insbesondere für unvermeidbare Emissionen. In deutschen Anlagen entstehen jährlich rund 24 Mio. t CO₂, etwa zur Hälfte aus fossilen Quellen. Mit CCS könnten 60–70 % dieser Emissionen abgeschieden und gespeichert werden. Allerdings ist die Abscheidung energieintensiv und kann den (Strom-) Verbrauch der Anlagen um bis zu 40 % erhöhen. Zudem erfordert Transport und Speicherung des CO₂ kostspielige Infrastrukturen wie Pipelines. Kritiker befürchten, dass ein zu starker Fokus auf CCS die Abfallvermeidung und das Recycling schwächen könnte, mit denen sich Emissionen häufig effektiver vermeiden lassen. [58] [59] [60] [61] [62]

4.4.6. Zentrale Wärmespeicher

Zentrale Wärmespeicher, welche u.a. saisonal betrieben werden, dienen der Verschiebung von Potenzialen aus lastärmeren Phasen in Zeiten höheren Bedarfs. Somit lassen sich Potenziale oder Leistungsgrenzen ggf. effektiver nutzen.

Zur Ermittlung möglicher Standorte zentraler Wärmespeicherung werden vorhandene und potenzielle Energiequellen für das bestehende Wärmenetz lokalisiert und deren Entfernung zum nächsten Einspeisepunkt bestimmt. Grundlegend in Frage kommende Flächen, die nahe an den Wärmequellen liegen, werden auf verschiedene Faktoren (Flächengröße, Art der Nutzung, Ausschlussgebiete) geprüft, um die Realisierbarkeit der Nutzung dieser Flächen zu bewerten.

Abbildung 71 zeigt das Ergebnis dieser Untersuchung. Neben dem Müllheizkraftwerk stellt die Kläranlage eine mögliche Wärmequelle dar. Die hohen Temperaturen des Abwassers im Sommer stehen den geringen Heizbedarfen zu dieser Zeit gegenüber. Laut Fragebogenrückläufer fällt im Krankenhaus St. Barbara ungenutzte Abwärme an. Da sich direkt daneben eine Wärmeübergabestation des Wärmenetzes für ein kleineres Teilnetz befindet, ist hier ein möglicher Standort eines zentralen Wärmespeichers denkbar.

Hierbei handelt es sich um vereinfachte Überlegungen. Für eine genaue Standortbestimmung sind detaillierte Studien und eine individuelle Abstimmung mit den zuständigen Behörden und Betreibern von Nöten.

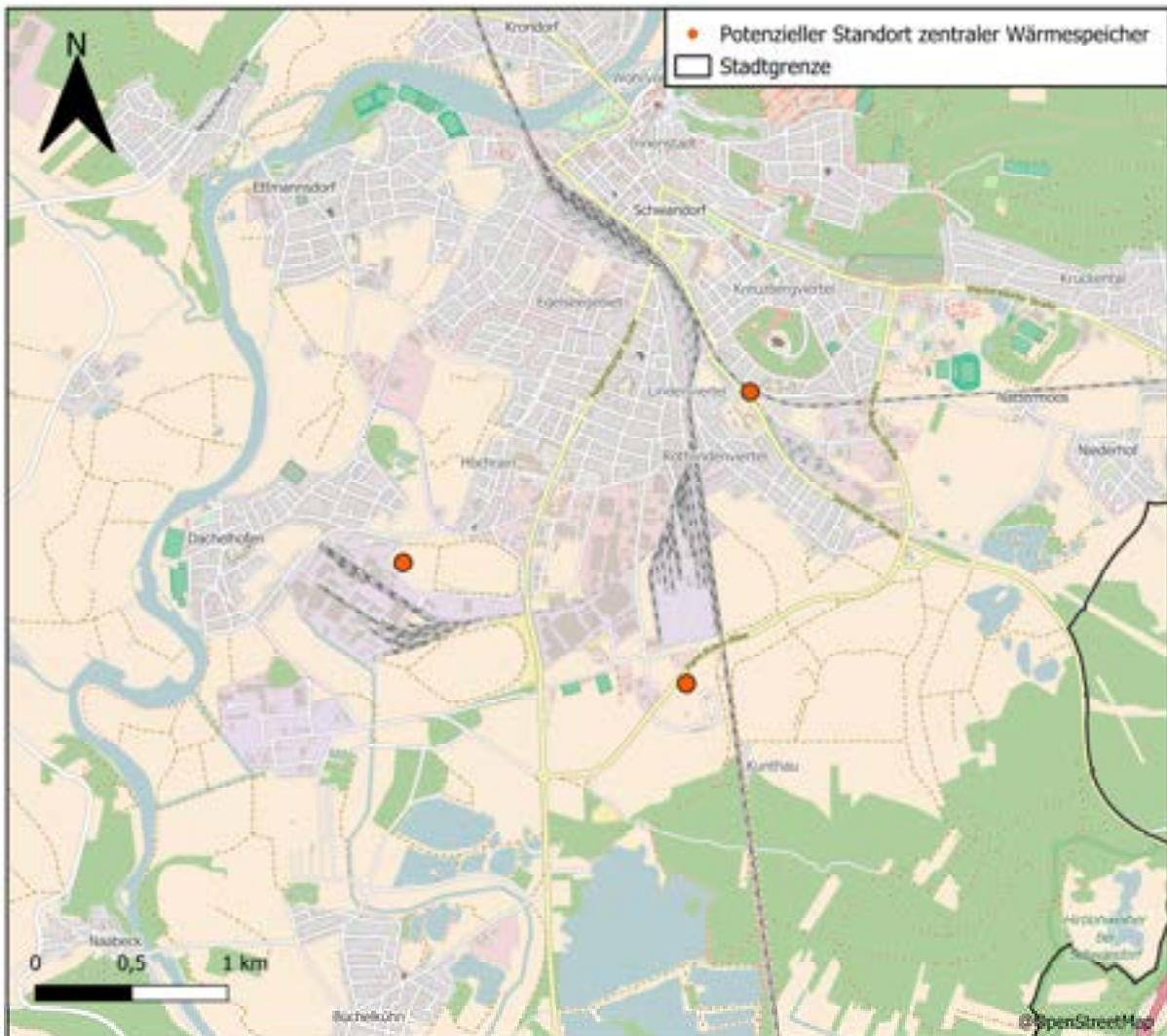


Abbildung 71: Potenzielle Standorte zentraler Wärmespeicherung

4.4.7. Sonstige Potenziale erneuerbarer Wärme

Weitere mögliche Potenziale für erneuerbare Energien sind Tiefengeothermie und importierter Wasserstoff bzw. synthetische Gase. Eine Anlage zur thermischen Müllbehandlung ist bereits auf dem Stadtgebiet vorhanden und wird separat betrachtet.

Wasserstoff und synthetische Gase:

Perspektivisch könnte Wasserstoff im Stadtgebiet Schwandorf insbesondere im industriellen Sektor eine Rolle spielen. Laut dem aktuellen Antragsentwurf der Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas e. V. [1] zum Aufbau eines bundesweiten Wasserstoff-Kernnetzes soll eine entsprechende Trasse bis zum Jahr 2032 durch das Stadtgebiet führen (vgl. Kapitel 4.6). Zum heutigen Zeitpunkt lässt sich jedoch noch nicht verlässlich abschätzen, wann Wasserstoff in Schwandorf tatsächlich verfügbar sein wird. Eine vertiefte Betrachtung dieses Themas erfolgt im Kapitel zu den Zielszenarien. Mögliche Synergien im Energiesystem ZMS-Nabaltec-Fernwärme-ZTKS lassen sich aktuell nicht einschätzen und werden im späteren Planungsprozess berücksichtigt.

Unabhängig davon stellt Wasserstoff grundsätzlich ein relevantes energetisches Potenzial dar – insbesondere dort, wo alternative Energiequellen technische oder wirtschaftliche Nachteile aufweisen. Analog zur Biomasse sollte der Einsatz von Wasserstoff gezielt und möglichst effizient erfolgen. Für den Einsatz in Heizzentralen zur Abdeckung von Spitzenlasten wäre Wasserstoff grundsätzlich denkbar. Der zentrale Anwendungsbereich innerhalb des Stadtgebiets liegt jedoch primär in der Industrie – ebenso wie bei synthetischen Gasen.

Tiefengeothermie:

Die Tiefengeothermie ermöglicht sowohl die Wärme- als auch die Stromerzeugung. Zur Wärmenutzung wird vor allem die hydrothermale Geothermie eingesetzt, bei der heißes Tiefengrundwasser gefördert und für Fernwärmenetze, industrielle Prozesse oder Gewächshäuser genutzt wird. Eine weitere Möglichkeit ist die petrothermale Geothermie, bei der Wasser in heiße, trockene Gesteine injiziert und über Wärmetauscher genutzt wird. Die Closed-Loop-Geothermie mit einem geschlossenen Kreislauf stellt auch eine Möglichkeit der Tiefengeothermie dar. Für die Stromerzeugung kommen verschiedene Verfahren zum Einsatz. Der ORC (Organic Rankine Cycle) nutzt geothermisches Wasser ab etwa 100 °C, indem ein organisches Arbeitsmedium verdampft wird, das eine Turbine antreibt. Eine Variante davon ist der Kalina-Prozess, bei dem ein Ammoniak-Wassergemisch für eine höhere Effizienz sorgt. Bei sehr hohen Temperaturen über 150 °C können Dampfturbinen direkt mit Wasserdampf betrieben werden. Oft wird die Kaskadennutzung angewendet, bei der nach der Stromerzeugung die verbleibende Wärme weiter für Heizzwecke genutzt wird, um die Energieeffizienz der Anlage zu maximieren.

Zwar liegt Schwandorf in keinem der drei deutschen für hydrothermalen Tiefengeothermie bevorzugten Gebiete (Norddeutsches Becken, Süddeutsches Molassebecken, Oberrheingraben), dennoch wird dieses Potenzial im Folgenden eingeordnet. Tiefengeothermie stellt ein mögliches Potenzial zur Wärme- und Stromerzeugung dar. Hier soll eine qualitative Aussage getroffen werden, da die Datengrundlage meist noch zu ungenau ist. Hierfür sind weitere Untersuchungen notwendig bzw. Untersuchungsergebnisse, wie z.B. eine geophysikalische Messung der N-Energie per Flugzeug im Gebiet der Stadt Nürnberg, noch ausstehend. Die Temperaturkarten des Bayerischen Geothermie-Atlas (Stand Oktober 2022) zeigen die interpolierte Temperaturverteilung in Tiefen von 250 m bis 4.500 m unter NHN mit einer Standardabweichung von ± 10 °C. Da keine Extrapolation erfolgt, können scheinbare Temperaturabnahmen mit der Tiefe auftreten. Die Karten dienen zur ersten Einschätzung für geothermische Nutzungsmöglichkeiten, ersetzen jedoch keine standortspezifischen Untersuchungen. Abbildung 72 zeigt die Temperatur in 250 m unter Normalhöhennull. Schwandorf befindet sich in einer Zone ohne Temperaturenaussage. Oberhalb der Gemeindegrenze befindet sich ein Temperaturbereich von 30 °C. Eine Aussage über die Temperaturverteilung in tieferen Erdbereichen ist aufgrund der nicht vorhandenen Datenlage in der Oberpfalz aktuell nicht möglich. [63]

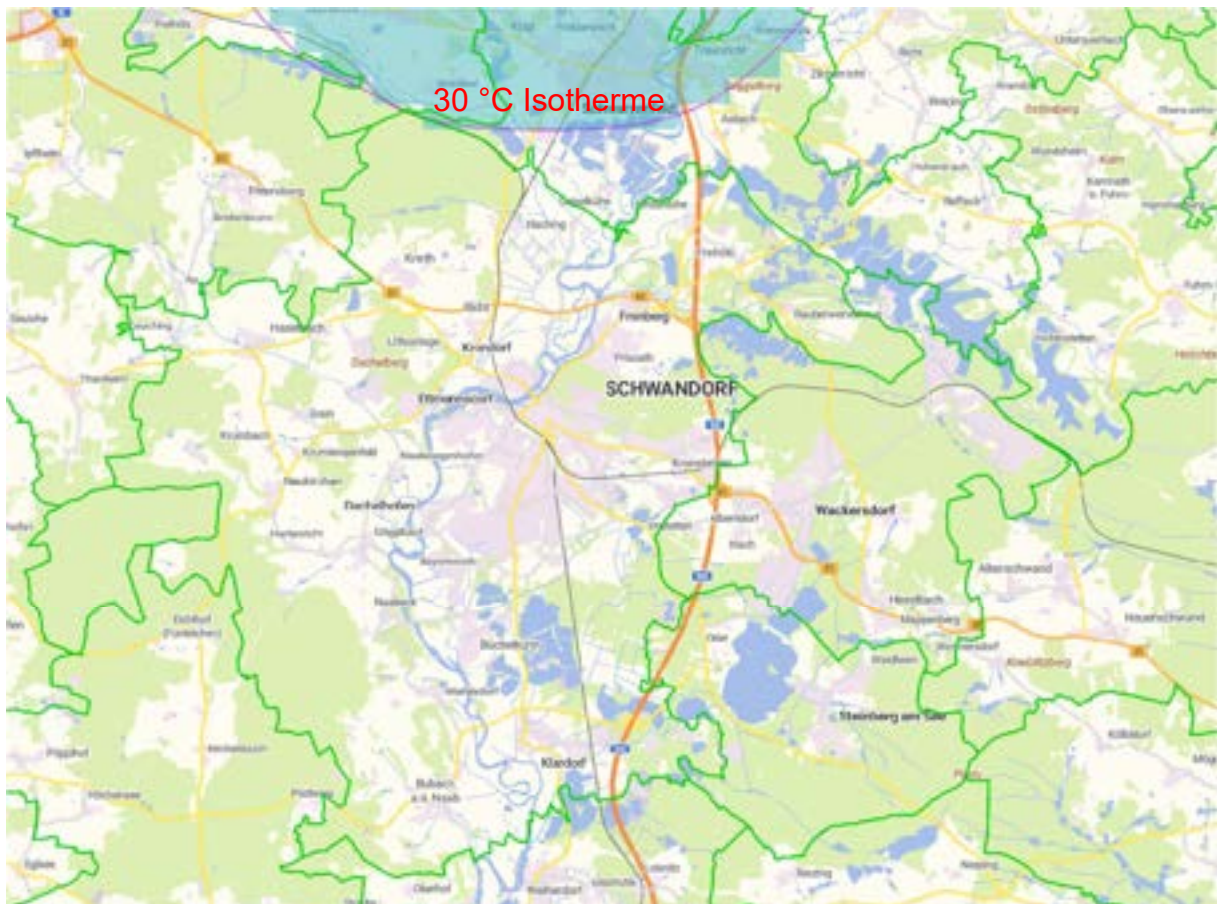


Abbildung 72: Temperaturverteilung in 250 m unter NHN [63]

4.4.8. Zusammenfassung Potenzialanalyse erneuerbare Wärme

In Abbildung 73 sind die abgeschätzten technisch-realistischen Potenziale für erneuerbare Wärme auf dem Stadtgebiet aufgezeigt, nicht eingerechnet sind die Energiemengen, die schon genutzt werden. Insgesamt ergibt das ein Potenzial von ca. 1.033.100 MWh pro Jahr plus die Energiemenge der Umweltwärme durch zentrale Wärmepumpen. Da Solarthermie und Photovoltaik sowohl auf Dachflächen als auch auf Freiflächen in Konkurrenz stehen, wird dies in der untenstehenden Graphik berücksichtigt. Somit wird eine doppelte Betrachtung von Potenzialflächen verhindert.

Hierbei handelt es sich jedoch ausschließlich um Energiemengen. Parameter wie Temperatur oder zeitliche Verfügbarkeit der Wärmequelle wurden nur teilweise berücksichtigt. So variieren vor dem Hintergrund der verfügbaren Potenziale die zu präferierende Anwendung der verschiedenen Quellen. Der begrenzte Rohstoff Biomasse, der die Eigenschaft hat, im Verbrennungsprozess hohe Vorlauftemperaturen generieren zu können, sollte so im Schwerpunkt zur Deckung der Spitzenlast bei sehr niedrigen Außentemperaturen eingesetzt werden.

Tabelle 36: Zusammenfassung Potenziale erneuerbarer Wärme

| Energieträger | Übriges Potenzial [MWh/a] |
|---------------------------------------|---------------------------|
| Biogas | -46.600 |
| Klärgas | 0 |
| Energieholz dezentral | -17.300 |
| Energieholz zentral | 9.600 |
| Klärschlammverbrennung | 21.900 |
| Abwärme Industrie (Hochtemperatur) | 39.000 |
| Abwärme Industrie (Niedertemperatur) | 241.500 |
| Abwärme Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen | 16.100 |
| Abwärme Kläranlage | 53.600 |
| Solarthermie- (PV-) Freifläche | 191.300 |
| Solarthermie- (PV-) Dachfläche | 28.400 |
| Oberflächennahe Geothermie-Bebauung | 154.900 |
| Oberflächennahe Geothermie-Freifläche | 55.300 |
| Umluftwärme dezentral | 90.500 |
| Flusswärme | 245.100 |
| Gesamt | 1.147.200 |

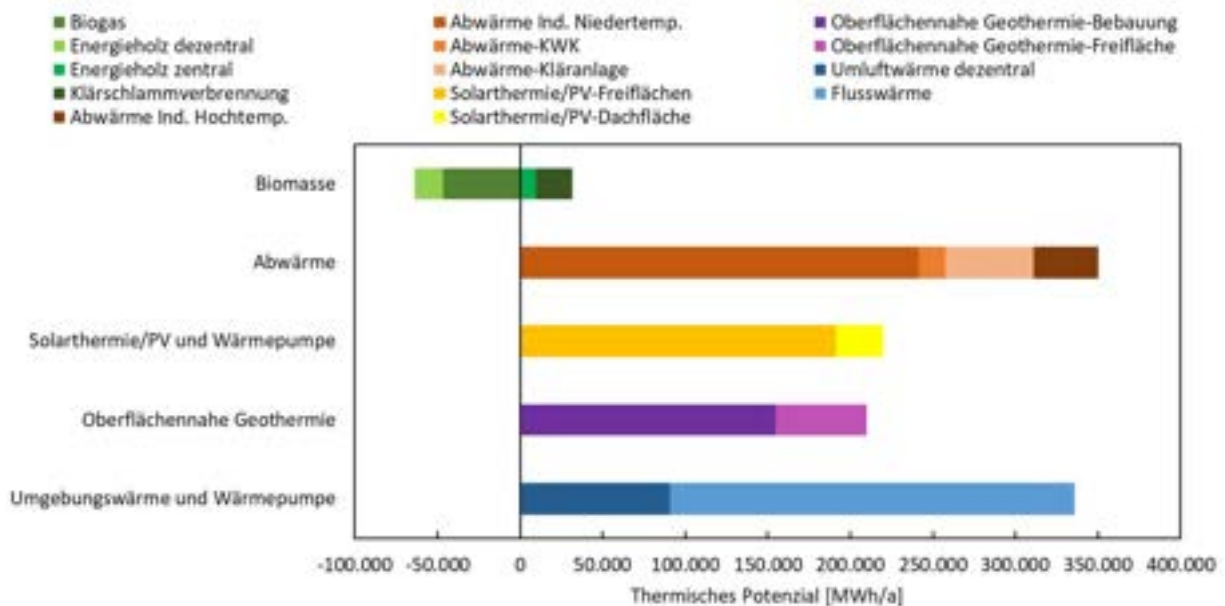


Abbildung 73: Zusammenfassung Potenziale erneuerbarer Wärme

Tabelle 37 listet die Treibhausgasemissionen von Energieträgern erneuerbarer Wärme auf. Falls zwei Werte pro Energieträger gelistet sind, wird von einer Reduktion der THG-Emissionen in den kommenden Jahren aufgrund von technologischen Erneuerungen ausgegangen. Wird Waldholz nicht nachhaltig genutzt und der Nachwuchs ist kleiner als der Holzeinschlag, wird das durch die Verbrennung des Holzes freigesetzte CO₂ mit in die Berechnung einbezogen. Bei Geothermie und Solarthermie bezieht sich der Technikkatalog des Bundes zur Wärmeplanung auf das Gebäudeenergiegesetz (GEG), in welchem diese Energieträger per Definition einen Emissionsfaktor von Null haben, wobei der Emissionsfaktor des benötigten Stroms mitberücksichtigt wird.

Tabelle 37: THG-Emissionen erneuerbarer Wärme

| Energieträger | Treibhausgas-Emissionen [CO ₂ -Äq./kWh] | Literatur |
|---|--|-----------|
| Brennholz | 20 | GEG |
| Brennholz nicht nachhaltig | 364 | [64] |
| Pellets nachhaltig | 18 | [65] |
| Biogas 2025 | 137 | [25] |
| Biogas 2040 | 126 | ebd. |
| Geothermie/Umweltwärme | 0 | GEG |
| Solarthermie | 0 | ebd. |
| Abwärme aus Industrieprozessen | 40 | [25], GEG |
| Abwärme aus Abfallverwertung für Fernwärme | 0 | [26] |
| Abwärme aus Abfallverwertung für Prozessdampf | 20 | GEG |
| Strom-Mix (2023) | 449 | [24] |
| Strom-Mix (2040) | 25 | [25] |
| PV-Eigenverbrauch (2025) | 30-55 | [66] |

4.4.9. Erweiterungspotenziale bestehendes Wärmenetz

In der Bestandsanalyse des Wärmenetzes in Form der Simulation mittels der Software STANET wurde grundsätzlich ersichtlich, dass die Hydraulik in Form verbauter Rohrquerschnitte aktuell nicht der limitierende Faktor für den weiteren Netzausbau ist. Viel mehr stellt die maximal auskoppelbare Leistung von 36 MW die aktuell limitierende Größe dar. Wie in Abbildung 74 zu sehen ist, tritt unter Berücksichtigung des geplanten Netzausbaus bis 2026 abnehmerseitig im Auslegungsfall eine Spitzenlast von 37,5 MW auf. Aufgrund des punktuellen Auftretens dieser Spitzenlast in Kombination mit der Trägheit des Netzes kann diese erhöhte Leistung kurzzeitig bereitgestellt werden. Dennoch wird hierbei ersichtlich, dass bei der jetzigen Ausführung der Wärmequelle ein umfangreicher Netzausbau nicht möglich ist.

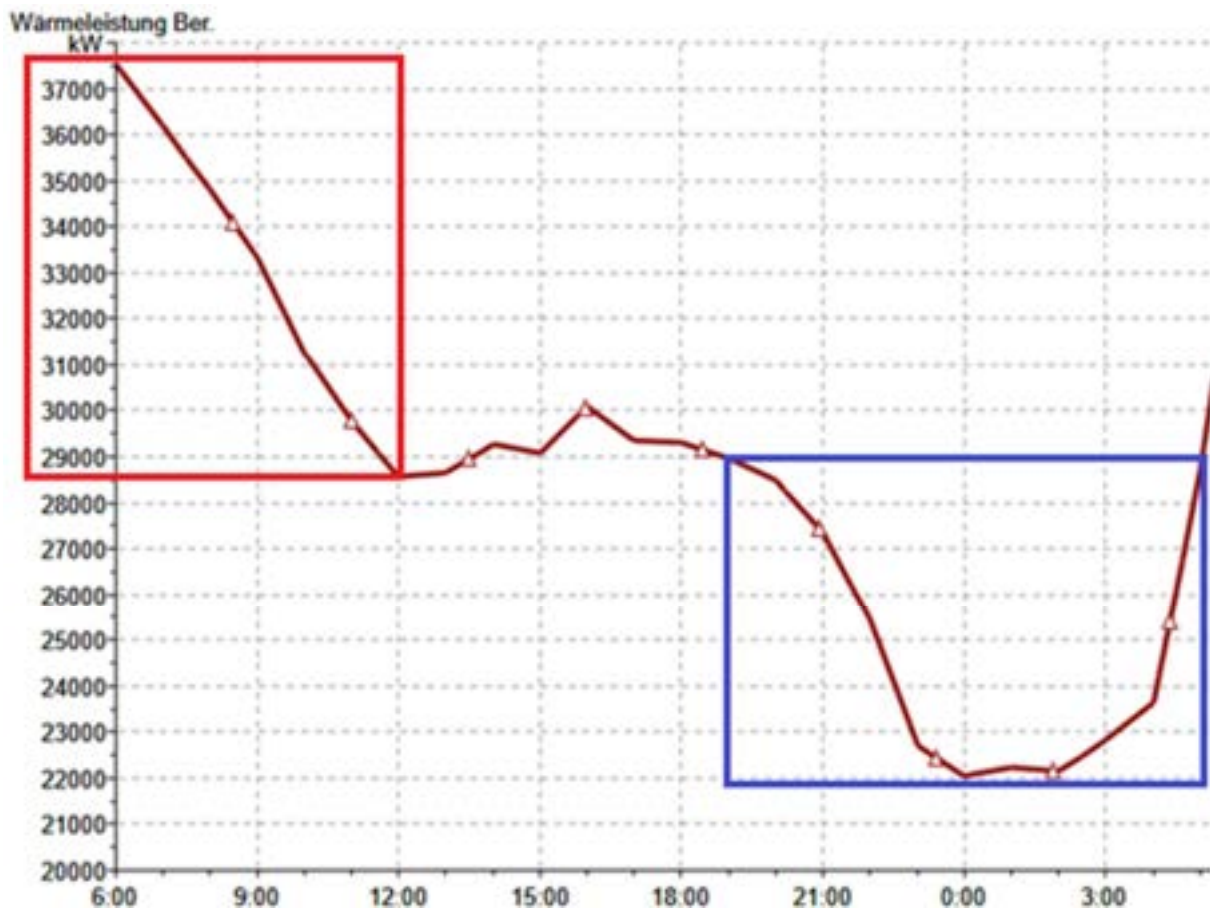


Abbildung 74: Täglicher Lastgang im Auslegungsfall (-13,6 °C)

Der morgendlichen Spitze (roter Bereich) im Auslegungsfall, steht im weiteren Tagesverlauf aufgrund tagsüber steigender Temperaturen sowie der nächtlichen Absenkung (blauer Bereich) von Gebäuden ein deutlich reduzierter Wärmebedarf gegenüber. Dieser Verlauf der bereitzustellenden Energiemenge bietet das Potenzial mittels eines Wärmespeichers die morgendliche Lastspitze für die Wärmequelle zu glätten, indem der Pufferspeicher während dieser Zeit Wärme in das Netz einspeist und während des reduzierten Bedarfs im weiteren Verlauf des Tages wieder beladen wird. Die Charakteristik des Wärmebedarfs im Wärmenetz Schwandorf bietet somit das Potenzial, durch die Integration eines Wärmespeichers mit einer Kapazität von ca. 24 MWh die morgendliche Lastspitze für die Wärmequelle auf eine Leistung von ca. 30 MW zu glätten. Wie in Abbildung 75 zu sehen ist, kann die Beladung des Pufferspeichers während der nächtlichen Absenkung der Abnehmer erfolgen.

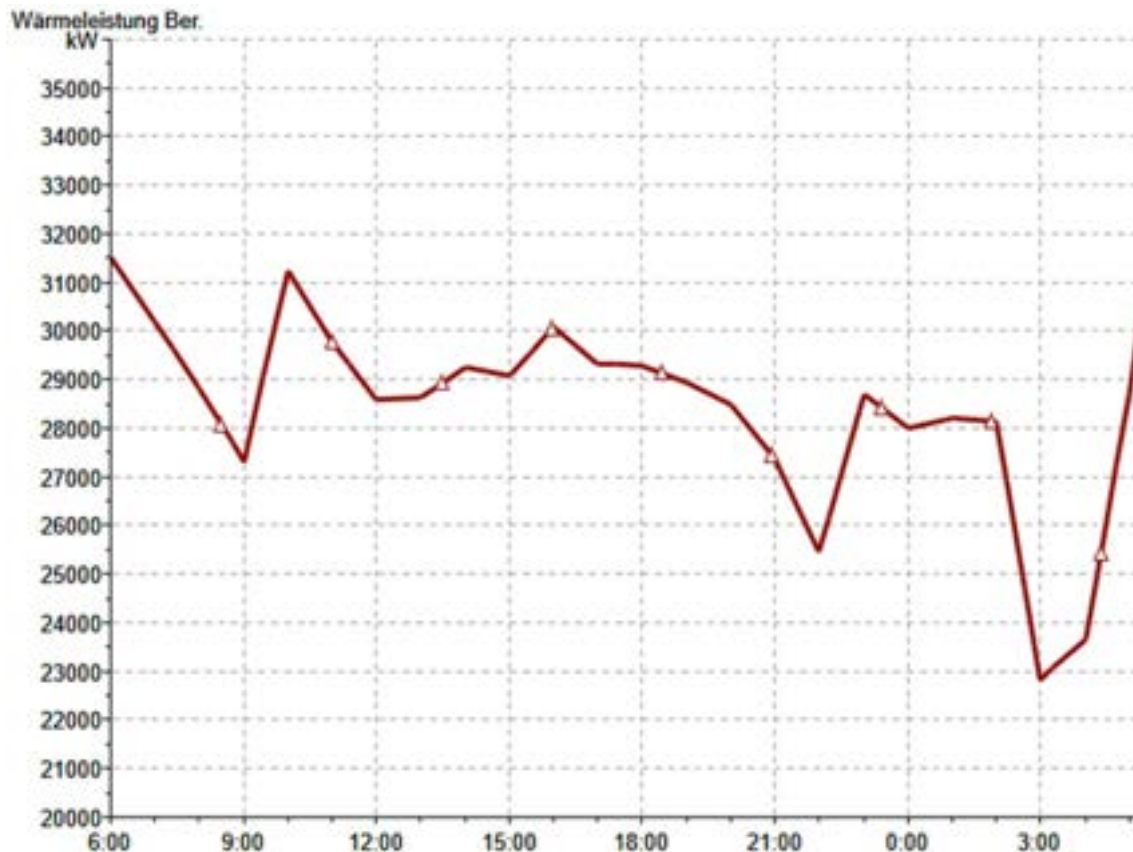


Abbildung 75: Resultierender täglicher Lastgang im Auslegungsfall (-13,6 °C) inklusive eines Wärmespeichers zur Glättung der Lastspitzen

Erzeugerseitig ist potenziell so eine Erweiterung der Abnahme um rund 6 MW möglich, wie in Tabelle 38 gelistet. Gemäß dem Netzmodell darf der Druck im Vorlauf 13 bar nicht überschreiten. Aus diesem Grund definiert sich der tatsächlich mögliche Zubau und die damit tatsächlich nötige Pufferspeicherkapazität über die Lage der weiteren Anschlussnehmer im Netz, dem damit zusätzlich auftretenden Druckverlust im Fall des Netzausbaus sowie möglicher Druckerhöhungen innerhalb des Netzes. Zudem ist geplant, aufgrund des Umbaus des MHKW, in den kommenden Jahren eine Redundanz in Form zweier Gaskessel für das Wärmenetz aufzubauen. Die weitere Nutzung der Gaskessel nach dem Umbau wird im weiteren Verlauf der Wärmeplanung diskutiert.

Tabelle 38: Spitzenlastreduzierung Fernwärmenetz aufgrund Integration Wärmespeicher und Redundanz aufgrund Umbau MHKW

| System | Potenzial |
|---|-----------|
| Spitzenlastreduzierung Fernwärmenetz aufgrund Integration Wärmespeicher | 6 MW |
| Gaskessel (Redundanz aufgrund Umbau MHKW) | 6+2 MW |

Seitens der SWFS läuft aktuell bereits eine Initiative zur Reduzierung von Anschlussleistungen sowie Rücklauftemperaturen. Dies ist eine abnehmerseitige Maßnahme zur Reduzierung auftretender Spitzenlasten ohne kostenintensive Maßnahmen innerhalb des Fernwärmenetzes, weswegen diese Maßnahme auch mit reduzierten Kosten für die Anschlussnehmer vergütet werden kann.

4.5. Potenziale erneuerbarer Strom

In diesem Kapitel werden die Potenziale von erneuerbarem Strom in Form von Photovoltaik, Windenergie und Biomasse berechnet.

4.5.1. Photovoltaik

Analog zur Potenzialabschätzung der Solarthermie wird auch bei der Photovoltaik in Dach- und Freiflächen unterschieden.

Photovoltaik-Freiflächen:

Für die Ermittlung der potenziellen PV-Freiflächen werden die als voraussichtlich geeignet eingestuft Flächen aus dem Energie-Atlas Bayern [13] herangezogen. Mit einem festgelegten Abstand zu Wohnhäusern und Wald (Schattenwurf) sowie der Aussparung von Bodendenkmälern und der Berücksichtigung von Flurstücksgrenzen und Schutzgebieten sowie Ausgleichflächen und mögliche Neubaugebiete werden geeignete Flächen ermittelt. Um die Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten, werden nur Flächen von einer Größe ab ca. 2,5 ha berücksichtigt. Zudem werden grundsätzlich Ackerland vor Grünland als potenzielle Flächen betrachtet, wobei in Schwandorf lediglich Ackerland betrachtet wird. Mit einem durchschnittlichen Erfahrungswert von 1050 kWh pro kWp und Jahr kann das Potenzial an elektrischer Energie abgeschätzt werden.

Abbildung 76 zeigt die im Stadtgebiet für Freiflächen-PV voraussichtlich geeigneten Flächen basierend auf den oben genannten Kriterien auf. Zudem sind die bestehenden und geplanten Freiflächen sowie die PV-Förderkulisse 500 m Randstreifen eingezeichnet. Eine vollständige Bebauung dieser Flächen durch PV wäre unrealistisch. Daher wird ein Nutzungsgrad von maximal 2,5 % der landwirtschaftlichen Fläche für die Energieabschätzung angenommen. Die in der Abbildung gezeigten Flächen haben einen Gesamtwert von ca. 535 ha. Nach Abzug der Bestandsflächen sowie unter Beachtung der maximal nutzbaren landwirtschaftlichen Fläche stehen noch 98 ha Potenzialfläche zur Verfügung. Alle potenziellen Freiflächen haben eine Entfernung zur nächsten Mittelspannungsleitung oder Trafo-Station von unter einem Kilometer. Als nächster Schritt nach der Wärmeplanung zur Ermittlung der geeignetsten Flächen müssen lokale Gegebenheiten geklärt und der Austausch mit den Flurstückseigentümern gesucht werden. Das ganze Stadtgebiet ist PV-Förderkulisse benachteiligter Gebiete nach Erneuerbaren-Energie-Gesetz. Die Freiflächen stehen gegebenenfalls in Konkurrenz zu Freiflächen mit Geothermie-Kollektoren und Solarthermie-Freiflächen.

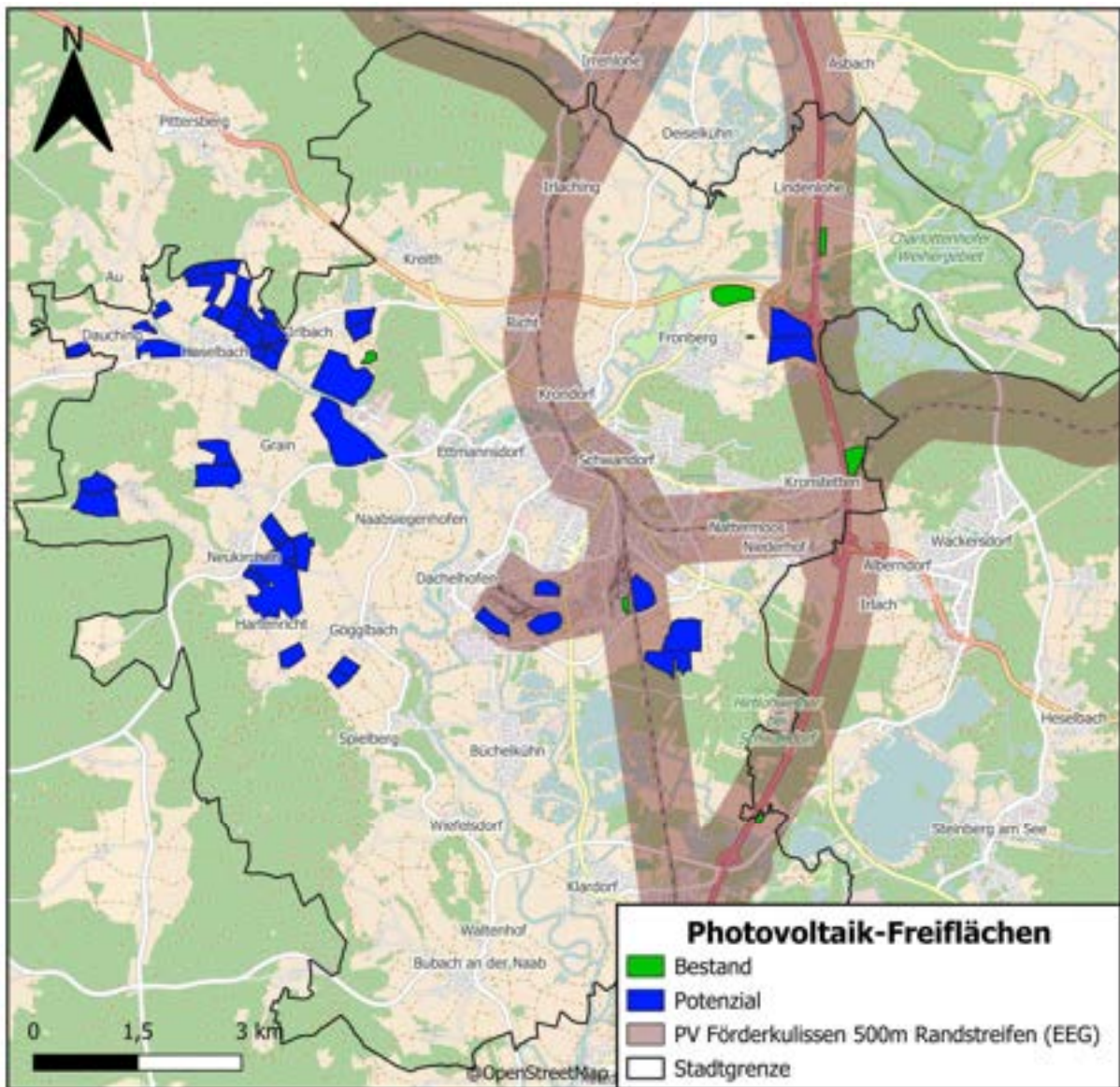


Abbildung 76: PV-Potenzialflächen im Stadtgebiet

Photovoltaik-Dachflächen:

Das Dachflächenpotenzial für Photovoltaik wird aus dem Energie-Atlas Bayern entnommen [13]. Bereits für PV genutzte Dachfläche werden gegengerechnet. Auch hier steht die Nutzung von PV-Anlagen in Konkurrenz zum Potenzial der Solarthermie.

Tabelle 39 listet die Ergebnisse der Potenzialanalyse für Photovoltaik im Stadtgebiet auf. Angegeben wird hier das noch nicht genutzte Potenzial.

Tabelle 39: Potenzial elektrischer Ertrag Photovoltaik

| System | Potenzial [MWh _{el} /a] |
|--------------------------|----------------------------------|
| Freiflächen-Photovoltaik | 103.400 |
| Dachflächen-Photovoltaik | 148.600 |
| Gesamt | 252.000 |

Verglichen mit den Daten aus dem Marktstammdatenregister werden aktuell 12 % des Potentials an Photovoltaik im Stadtgebiet genutzt. Die Potenziale für Dachflächen sind vorbehaltlich einer statischen Prüfung der Dachfläche. Das reale Potenzial kann dementsprechend kleiner ausfallen.

4.5.2. Windenergie

Im Stadtgebiet soll ein knapp 300 ha großes Windvorranggebiet ausgewiesen werden (Abbildung 77). Basierend auf den aktuellen Plänen des Projektierers sollen auf dem Stadtgebiet elf Anlagen errichtet werden, die einen Ertrag von ca. 135.000 MWh/a aufweisen. Der Baubeginn ist für das Jahr 2027 geplant. In Betrieb sollen die Windenergieanlagen spätestens Anfang 2029 gehen. Zusätzlich sollen auf dem Gebiet der Stadt Burglengenfeld mindestens vier Anlagen installiert werden. Tabelle 40 zeigt das erwartete elektrische Potenzial der Anlagen auf dem Gebiet der Stadt Schwandorf. Abbildung 77 zeigt das ausgewiesene Windvorranggebiet, in welchem die elf Anlagen gebaut werden sollen.

Tabelle 40: Elektrisches Potenzial Windenergieanlagen

| Betrachtung | Potenzial [MWh _{el} /a] |
|--------------------|----------------------------------|
| Windenergieanlagen | 135.000 |

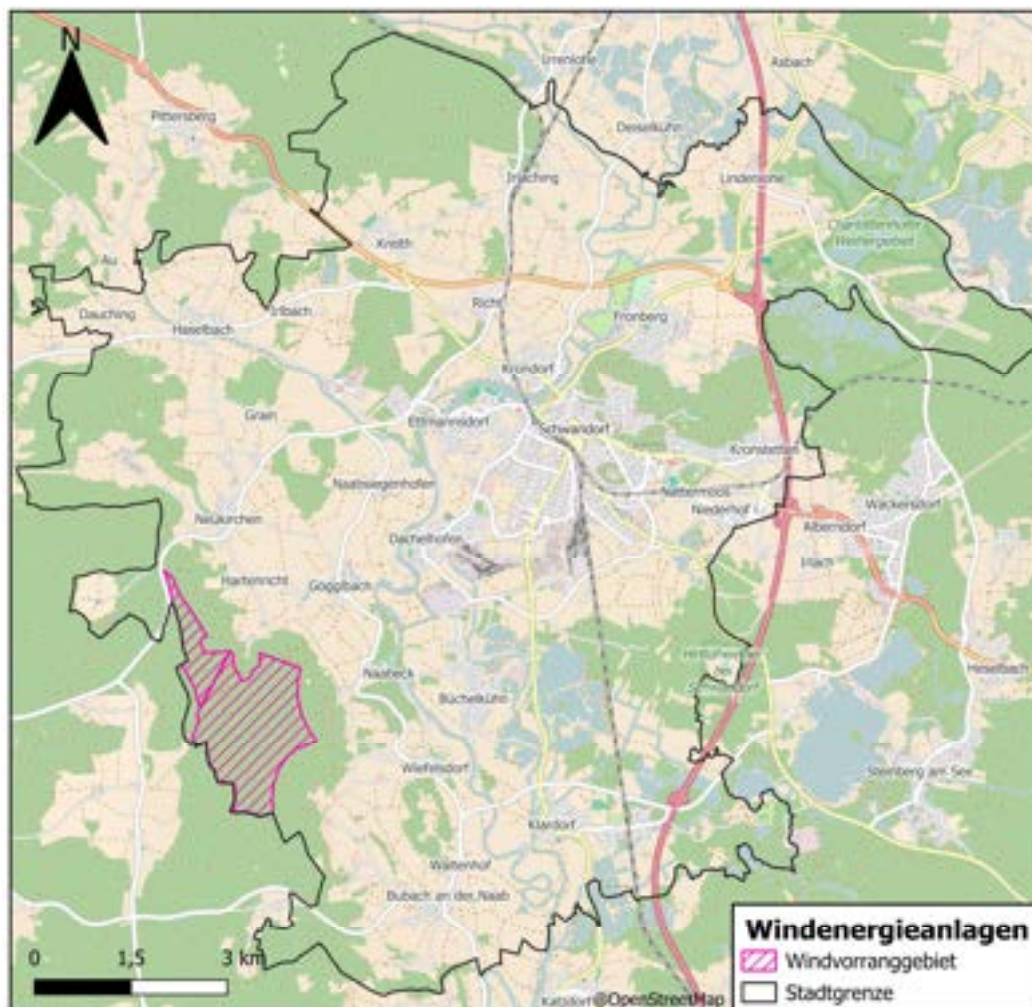


Abbildung 77: Windvorranggebiet

4.5.3. KWK-Anlagen

Das elektrische Potenzial der Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen wird anhand der Daten des Energie-Atlas Bayern [13] und des Marktstammdatenregisters abgeschätzt. Die vorhandenen Verbräuche der Biogasanlagen auf dem Gebiet der Kommune werden von den ausgewiesenen Potenzialen abgezogen. Zudem wird die aktuell eingespeiste Menge an Biomethan auf dem Stadtgebiet mitbetrachtet. Tabelle 41 zeigt das elektrische Potenzial der KWK-Anlagen auf.

Tabelle 41: Elektrisches Potenzial KWK-Anlagen

| Betrachtung | Potenzial [MWh _{el} /a] |
|-------------|----------------------------------|
| KWK-Anlagen | -18.200 |

Aufgrund der hohen Menge an verbrauchtem Biogas durch Verstromung und Einspeisung in das Erdgasnetz, wird das Potenzial an Biogas in Schwandorf bereits stark überreizt. Genauere Informationen stehen im Kapitel Biomasse zur Wärmeversorgung.

4.5.4. Müllheizkraftwerk

Durch die geplanten Umbaumaßnahmen des Triphönix-Programms ist bis 2031 mit einer verringerten Kapazität des MHKWs zu planen. Bis 2028 ist mit einer Abfallmenge von 240.000 t/a zu rechnen, 2028-2031 mit 360.000 t/a und ab 2032 mit 460.000 t/a. Die bisher durchschnittlich verarbeitete Müllmenge von 450.000 t/a wird sich durch das Triphönix-Projekt daher nicht signifikant steigern. Die als konstant zu erwartende abzugebende Wärmemenge an das Fernwärmenetz sowie Prozessdampfbereitstellung kann weiterhin sichergestellt werden. Durch die aus den Einbußen des Umbaus resultierende verminderte Gesamtenergie und die gleichbleibende Prozessdampf- und Wärme-Bereitstellung wird bis 2032 eine deutlich reduzierte Stromeinspeisung stattfinden. Ab 2032 ist im Vergleich zum aktuellen Zeitpunkt wieder eine höhere Stromerzeugung zu erwarten. Die Differenz zur aktuellen Erzeugung (114,4 GWh im Jahr 2023) ergibt ein Potenzial von 65,6 GWh/a, wie in Tabelle 42 gelistet. Aufgrund der Priorität des Prozessdampfes und der Wärmebereitstellung für die Fernwärme wird die Stromerzeugung in Zeiten des geringen Wärmebedarfs stattfinden. Dies ist einerseits bei niedrigerem Prozessdampfbedarf, bedingt durch industrielle Prozesse, als auch in wärmeren Jahreszeiten, durch den niedrigeren Raumwärmebedarf begründet. Daher kann vor allem in den Sommermonaten mit einer erhöhten Stromeinspeisung des MHKWs gerechnet werden.

Tabelle 42: Geschätzte Strom-Einspeisung des MHKW

| Zeitraum | Potenzial [MWh _{el} /a] |
|----------|----------------------------------|
| Ab 2032 | 65.600 |

4.5.5. Sonstige Potenziale erneuerbarer Strom

In Bayern ist der Neubau von Wasserkraftanlagen vor allem an bereits vorhandenen und noch nicht energetisch genutzten Querbauwerken vorgesehen [13]. In Abbildung 50 sind mögliche Standorte von Wasserkraftanlagen zu sehen. An drei Standorten wird bereits Wasserkraft zur Stromerzeugung genutzt. Für neue Anlagen wären weitere Anforderungen in Bezug auf Natur- und Artenschutz zu erfüllen. Aus diesem Grund wird das Potenzial von Wasserkraftwerken zur Stromerzeugung in Schwandorf als ausgeschöpft bewertet. Das Thema der

Tiefengeothermie und des Wasserstoffs wurden bereits im Kapitel „Sonstige“ (4.4.7) des Potenzials der erneuerbaren Wärme diskutiert. Die dort besprochenen Stichpunkte finden auch bei der Stromversorgung Anwendung. Wobei hierbei der Wirkungsgrad der Stromerzeugung mitbetrachtet werden muss.

4.5.6. Zusammenfassung Potenzialanalyse Strom

Das Potenzial zur Erzeugung von elektrischer Energie besteht im Stadtgebiet Schwandorf v.a. aus Photovoltaik, Biogas und Windenergie mit einer möglichen jährlichen Strommenge von circa 461.700 MWh_{el} pro Jahr. Abbildung 78 und Tabelle 43 zeigen aufgeteilt auf die betrachteten Technologien das Potenzial an elektrischer Energie auf dem Stadtgebiet.

Tabelle 43: Zusammenfassung Potenzial Strom

| System | Potenzial [MWh/a] |
|-------------------|-------------------|
| PV-Freifläche | 103.400 |
| PV-Dachfläche | 148.600 |
| Biogas | -18.200 |
| Windkraft | 135.000 |
| Müllheizkraftwerk | 65.600 |
| Gesamt | 452.600 |

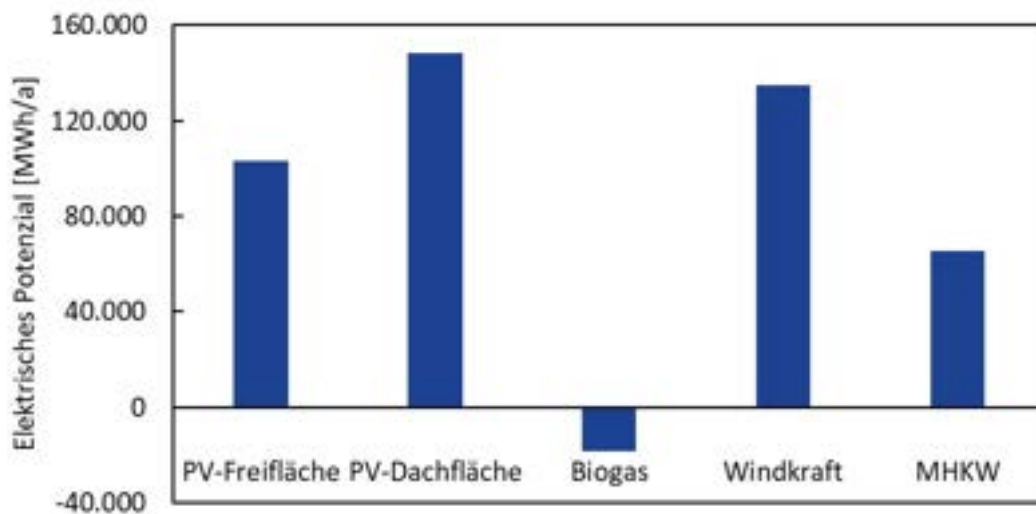


Abbildung 78: Zusammenfassung Potenzial Strom

4.5.7. Wirtschaftliche Einordnung strombasierter Wärmeversorgung

Strombasiertes Heizen – etwa mit Wärmepumpen oder Power-to-Heat – ist ein zentraler Baustein der kommunalen Wärmewende. Entscheidend für Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz sind dabei weniger die Investitions- als vielmehr die laufenden Stromkosten, insbesondere im Gebäudebestand. [67] Ein Schlüssel liegt im Zugang zu günstigem, planbarem Strom aus erneuerbaren Energien. Instrumente wie Power-Purchase-Agreements (PPAs) oder der direkte Bezug aus EE-Anlagen sichern stabile Preise und fördern zugleich die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung. Orientierung bieten die aktuellen Stromgestehungskosten erneuerbarer Energien in Abbildung 79.

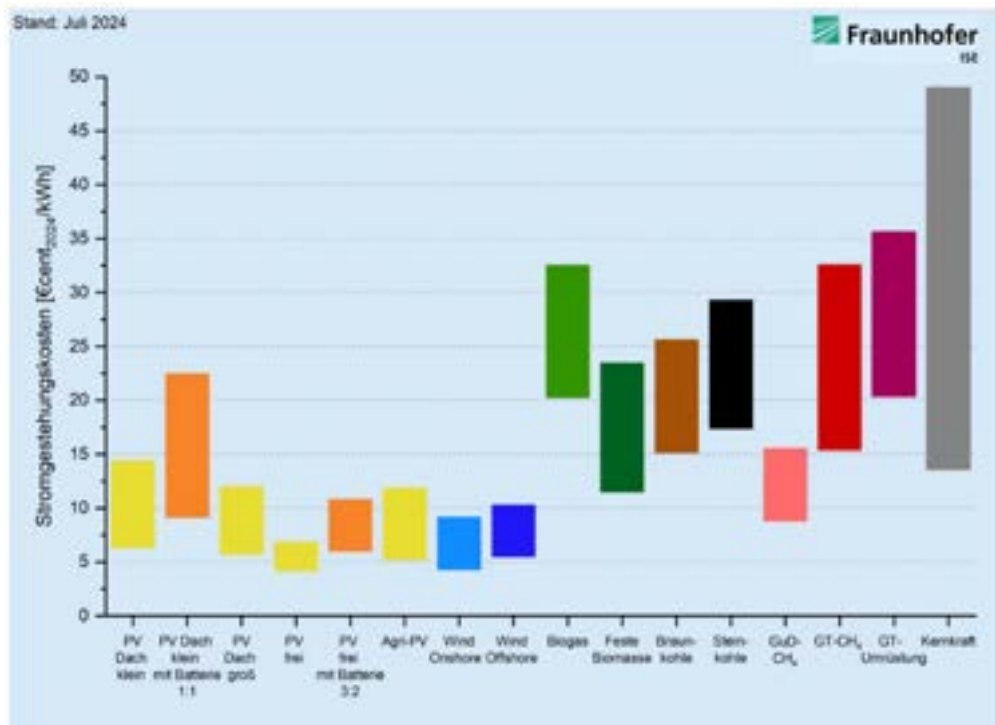


Abbildung 79: Stromgestehungskosten für Erneuerbare Energien und konventionelle Kraftwerke in Deutschland 2024 [68]

Die Stromgestehungskosten (SGK) aus dem Jahr 2024 verdeutlichen, dass erneuerbare Energien – insbesondere Photovoltaik und Windkraft – bereits heute zu den günstigsten Erzeugungsformen zählen. Vor allem PV-Freiflächenanlagen, Dachanlagen mit Eigenverbrauch und Onshore-Windparks ermöglichen Kommunen langfristig stabile und gut kalkulierbare Strompreise. Damit schaffen sie eine verlässliche Grundlage, um Wärmelösungen auch über Jahrzehnte wirtschaftlich zu betreiben. Analysen des Fraunhofer ISE zeigen zudem, dass dieser Kostenvorteil bis 2045 anhält: Die SGK erneuerbarer Technologien bleiben auf niedrigem Niveau und sichern so langfristige Planungssicherheit. Für Kommunen bedeutet das: Wer frühzeitig auf erneuerbare Stromquellen setzt, kann die Betriebskosten von Wärmesystemen dauerhaft niedrig halten.

Power Purchase Agreements (PPAs) sind langfristige Stromlieferverträge zwischen einem Erzeuger – meist aus erneuerbaren Energien – und einem Abnehmer wie einer Kommune oder einem kommunalen Unternehmen. Sie bieten die Möglichkeit, sich über viele Jahre hinweg von den Schwankungen des Strommarktes zu entkoppeln und stabile, kalkulierbare Preise zu sichern. Damit schaffen PPAs eine verlässliche Grundlage für strombasiertes Heizen und andere Anwendungen in der kommunalen Wärmewende. [69]

Es lassen sich zwei Vertragsformen unterscheiden:

- On-Site PPA: Die Erzeugungsanlage wird direkt auf kommunalen Flächen errichtet (z. B. PV oder kleine Windkraftanlagen). Der Strom wird vor Ort verbraucht, wodurch Netzentgelte und Abgaben deutlich reduziert oder vermieden werden können.
- Off-Site PPA: Der Strom stammt aus einer externen Anlage an einem ertragreichen Standort und wird über das öffentliche Netz geliefert. Dadurch fallen Netzentgelte und Stromsteuer an, gleichzeitig bietet diese Variante größere Standortflexibilität und

ermöglicht auch Kommunen ohne eigene Flächen Zugang zu günstigem erneuerbarem Strom.

Besonders attraktiv sind PPAs beim Bau neuer, nicht geförderter Anlagen oder beim Weiterbetrieb von EE-Anlagen nach dem Ende der EEG-Förderung. Sie sichern langfristige Preisstabilität und erhöhen die Planungssicherheit für Investitionen in strombasierte Wärmelösungen erheblich.

Neben der Nutzung von PV-Freiflächen für PPA-Verträge können diese auch mit dem Müllheizkraftwerk umgesetzt werden. Zurzeit wird bereits Strom direkt vom MHKW an umliegende Großabnehmer geliefert. In Zeiten geringem Prozesswärmebedarf könnte v.a. im Winter und der Übergangszeit überschüssiger Strom zur Wärmeerzeugung für das Wärmenetz genutzt werden. Welche genauen Potenziale zur Verfügung stehen ist von unterschiedlichen Parametern abhängig und muss in einer detaillierten Studie unter Betrachtung der realen Lastgänge ermittelt werden sowie mit den wirtschaftlichen Betriebsmodellen des MHKWs abgestimmt sein.

4.6. Power-to-X

Das am MHKW gekoppelte Energiesystem ist zentral für die Strom-, Wärme- und Prozessdampfversorgung der Stadt. Die kontinuierliche Strom- und Wärmeerzeugung aus der Abfallverbrennung trifft auf die stark schwankende Stromerzeugung aus Wind und Photovoltaik sowie auf einen im Winter deutlich erhöhten Wärmebedarf. Daraus entstehen saisonale Discrepanzen: Im Sommer treten teils hohe Stromüberschüsse auf, während in den Wintermonaten Unterversorgungen bestehen. Abbildung 80 zeigt die täglichen Daten zu Netzbezug und Netzeinspeisung für das Jahr 2022 in Schwandorf. Als Referenzjahr wurde 2022 gewählt, da ab 2023 die MHKW-Produktion infolge des Triphönix-Projekts eingeschränkt war. Rein bilanziell wird damit insgesamt ausreichend Strom erzeugt; praktisch steht dieser jedoch nicht immer zur Verfügung, wenn er gebraucht wird, weshalb Netzbezug weiterhin erforderlich ist.

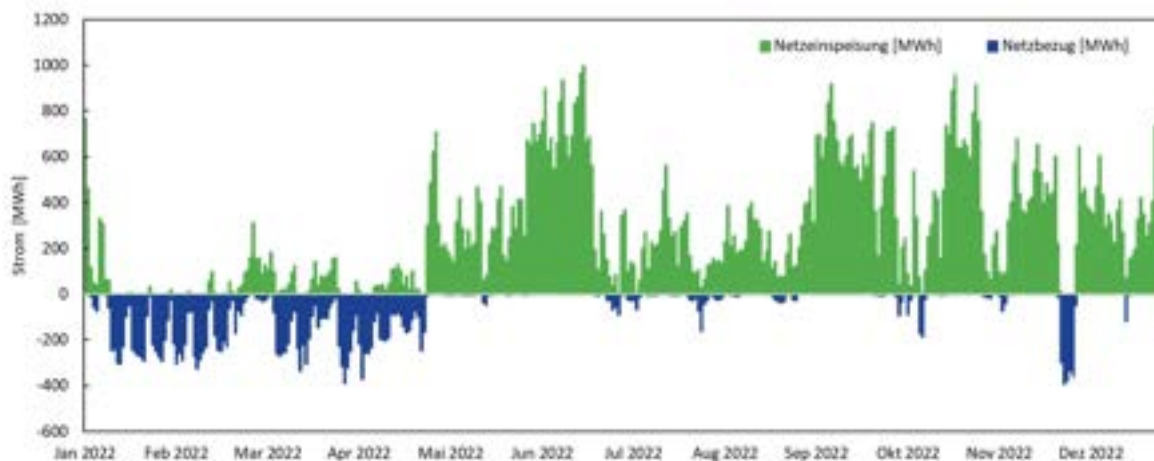


Abbildung 80: Netzbezug & -einspeisung pro Tag im Jahr 2022 [70]

Der Sammelbegriff Power-to-X (PtX) fasst Technologien zusammen, die überschüssigen (erneuerbaren) Strom in andere Energieträger überführen und damit Lastverschiebungen sowie Sektorenkopplung ermöglichen. Relevante Beispiele sind:

- Power-to-Gas (PtG): Strom → Wasserstoff (Elektrolyse) oder weiter zu synthetischem Methan (Methanisierung von H₂ und CO₂)
- Power-to-Heat (PtH): Strom → Wärme, z. B. direkt elektrisch (Heizkessel) oder über Wärmepumpen zur Nutzung von Umweltwärme
- Power-to-Liquid (PtL): Folgeschritt, bei dem aus gasförmigen Zwischenprodukten flüssige Kraftstoffe hergestellt werden

Für die Ausweisung des Potenzials verschiedener PtX-Technologien wird ein typischer Lastgang für Strom und Wärme benötigt. Für Strom kann ein solcher Lastgang aus dem Energiemonitor Schwandorf, der durch den Stromnetzbetreiber Bayernwerk Netz GmbH bereitgestellt wird, herausgezogen werden. Hier wird Stromerzeugung- und -verbrauch daher mit Einspeisung und Bezug gleichgestellt. Da bis 2032 weiterhin Einschränkungen im MHKW durch die Umbaumaßnahmen bestehen werden, wird für die Ausweisung eines Potenzials eine geschätzte Hochrechnung für eine Einspeisung ab 2032 angenommen (180 GWh/a). Biomasse- und Wasserkraftproduktion bleiben konstant, PV- und Windleistung werden durch Zubau erhöht (siehe ausgewiesenes Potenzial). Der Verlauf der Stromproduktion aus Windkraft wurde anhand des Verlaufs der Windkraftproduktion des Energiemonitors aus dem Landkreis Schwandorf festgelegt. Für den Stromverbrauch wird eine Zunahme um 50 % angenommen. Dieser Wert wurde auf Basis des 80%-THG-Reduktionsszenarios der dena (Deutsche Energie Agentur), welches potenzielle Stromverbräuche für Deutschland ausgibt, festgelegt [71].

In Tabelle 44 sind angenommene Stromerzeugung, Stromverbräuche und daraus resultierende Überschüsse und Defizite für das Jahr 2040 aufgelistet.

Tabelle 44: Vergleich erzeugter und verbrauchter Strommengen für 2040 in MWh/a

| Stromverbrauch | Stromerzeugung | Erzeugter Überschuss | Vorhandenes Stromdefizit | Überschuss nach Deckung des Defizits |
|----------------|----------------|----------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| 319.000 | 606.000 | 300.000 | 13.000 | 287.000 |

Abbildung 81 zeigt den potenziellen Lastgang für 2040, basierend auf prozentualer Hochrechnung der Werte aus 2022 und den geschätzten Potenzialen nach oben beschriebenen Annahmen. Wie bereits in Tabelle 44 dargestellt, ergibt sich rein bilanziell ein Stromüberangebot von knapp 300 GWh. Trotz des hohen bilanziellen Überschusses bleiben Versorgungslücken (13 GWh) in kalten Monaten (z. B. Januar, Februar, Dezember), die durch Netzbezug oder zusätzliche Speichertechnologien (z. B. Batteriespeicher) geschlossen werden müssten.

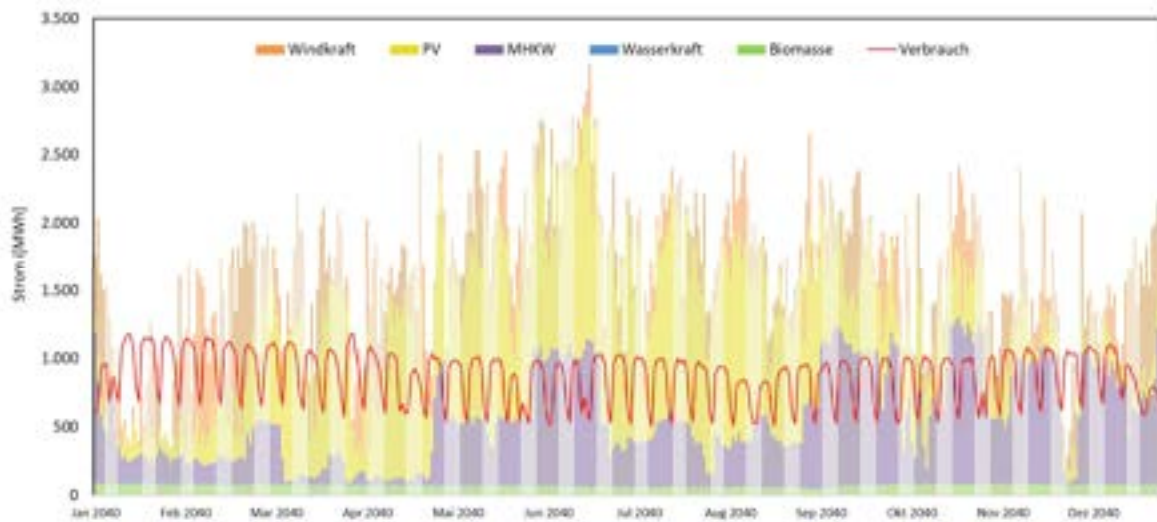


Abbildung 81: Netzeinspeisung und -verbrauch pro Tag für 2040

In Tabelle 45 sind die Potenziale für die einzelnen PtX-Technologien und die zugrunde liegenden Annahmen, berechnet aus dem erzeugten Stromüberschuss (300 GWh) zusammengefasst.

Tabelle 45: PtX Potenziale aus 300 GWh Stromüberschuss

| PtX-Technologie | Potenzial in MWh/a | Annahmen |
|--------------------------------|--------------------|---|
| PtH mit WP | 1.203.000 | $COP = 4$ |
| PtH direkt | 295.000 | $\eta_{Elektroheizkessel} = 98\%$ |
| PtH ₂ (Wasserstoff) | 195.000 | $\eta_{Elektrolyse} = 65\%$ |
| PtCH ₄ (Methan) | 156.000 | $\eta_{Elektrolyse} = 65\%, \eta_{Methanisierung} = 80\%$ |

Wichtig ist: Alle Potenziale beziehen sich auf dieselbe Gesamtmenge an Überschussstrom und stehen daher in Konkurrenz zueinander. Darüber hinaus benötigen die einzelnen Technologien zusätzliche Input-Ströme und Infrastruktur:

- Elektrolyse erfordert große Mengen Wasser
- Methanisierung braucht CO₂ in ausreichender Menge und Qualität
- Großwärmepumpen benötigen geeignete Wärmequellen (Umweltwärme aus Erde, Wasser oder Luft)

Die in den Tabellen und Abbildungen angegebenen Energiemengen für Wasserstoff und Methan sind die im jeweiligen Medium gespeicherte chemische Energie — nicht die direkt nutzbare Endenergie. Speicherung, Transport, Verbrennung oder Rückverstromung verursachen zusätzliche Verluste, die in der vorliegenden Potenzialausweisung nicht berücksichtigt sind.

Für eine realistische, wirtschaftliche Nutzung des PtX-Potenzials ist eine genaue räumliche und zeitliche Gegenüberstellung von Angebot und Bedarf notwendig: Welche Wärme-, Wasserstoff- oder Methanbedarfe bestehen direkt am Produktionsort (z. B. an PV-Flächen, Windstandorten oder am MHKW)? Nur wenn die Umwandlung lokal erfolgt, lassen sich Netzentgelte und Verluste durch Einspeisung/Transport vermeiden. Genau dieser

Lokalitätsfaktor verringert die praktisch nutzbaren Potenziale oft deutlich, weil vor Ort meist nur ein begrenzter zusätzlicher Wärmebedarf besteht.

Die Unterstützung des nahegelegenen Fernwärmenetzes wurde bereits in Kapitel 4.3.3 ausführlich beschrieben. Ein Wärmespeicher, der direkt mit der Abwärme des MHKW gespeist wird, ist aufgrund geringerer Umwandlungsverluste deutlich effizienter als ein Speicher, der mit aus dem Dampf erzeugten Strom beheizt wird. PtH ergäbe daher vorrangig Sinn für räumlich und operativ vom bestehenden Fernwärmenetz getrennte, neue Wärmenetze in Verbindung mit einem saisonalen Wärmespeicher, z. B. in der Nähe neu gebauter PV-Anlagen in umliegenden Dörfern.

4.7. Ausblick Energieinfrastruktur

Aufgrund der sich verändernder Landschaft in der Energieversorgung, sind Um- und Neubau-maßnahmen im Rahmen der Verteilnetze geplant. Im Folgenden sind die Pläne für den Transport von Wasserstoff und CO₂ in einem Verteilnetz sowie der Transport von Strom in einem Gleichstromkabel (Süd-Ost-Link) dargestellt.

Wasserstoffkernnetz:

Am 22. Oktober 2024 hat die Bundesnetzagentur das bundesweite Wasserstoff-Kernnetz genehmigt. Bis 2032 entsteht damit das größte Wasserstoffnetz Europas mit einer Gesamtlänge von 9.040 km. Rund 60 % beruhen auf der Umstellung bestehender Erdgasleitungen, etwa 40 % auf Neubau. Die Investitionskosten belaufen sich auf 18,9 Mrd. €, finanziert über Netzentgelte und eine staatlich abgesicherte Zwischenfinanzierung. Der Netzaufbau beginnt 2025 mit den ersten Umstellungen; bis 2032 sollen alle genehmigten Trassen in Betrieb gehen, einzelne Abschnitte spätestens bis 2037. Bereits bis 2025 werden 525 km realisiert. Technisch bietet das Kernnetz eine Einspeiseleistung von 101 GW und eine Ausspeiseleistung von 87 GW. Über den Netzentwicklungsplan wird zudem der Anschluss von Verteilernetzen, Elektrolyseuren und kommunalen Wärmeprojekten berücksichtigt. Eine zentrale Trasse verläuft, wie in Abbildung 82 zu sehen, durch das Gebiet der Großen Kreisstadt Schwandorf und ist als Neubauleitung ausgewiesen. Der genaue Verlauf ist derzeit nicht öffentlich, sollte aber bei der Fortschreibung des kommunalen Wärmeplans bis 2030 eingeplant werden. [72] [73] [74]



Abbildung 82: Wasserstoff-Kernnetz Deutschland [73]

CO₂-Pipeline:

OGE plant ab 2028 ein bundesweites CO₂-Backbone (Fertigstellung bis 2040), das auch Bayern in den 2030er-Jahren anbinden soll. Parallel entwickelt bayernets mit der „co₂pipeline“ ein 80 km langes Startnetz zwischen Rohrdorf und Burghausen als frühzeitige Regionallösung. Die vbw-Studie (2023) schlägt ein bayernweites Netz mit 700 km Haupt- und 400 km Verteilungen vor und verknüpft beide Initiativen. Eine der geplanten Leitungen, wie in Abbildung 83 zu sehen, betrifft Schwandorf durch die CO₂-Quellen in Burglengenfeld und der Müllverbrennungsanlage. [75] [76] [77]

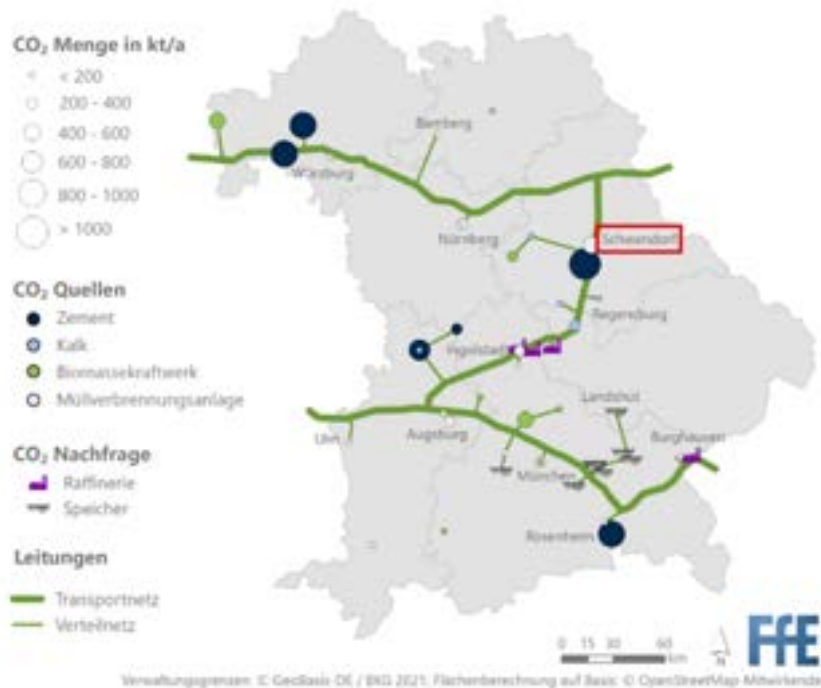


Abbildung 83: Darstellung des CO₂-Netzes der VBW-Studie [77]

Süd-Ost-Link:

Der Süd-Ost-Link ist ein im Bau befindliches Gleichstrom-Erdkabel (HVDC), das Strom aus erneuerbaren Quellen von Nord- und Ostdeutschland nach Bayern transportiert. Die Leitung verläuft, wie in Abbildung 84 zu sehen, von Klein Rogahn bzw. Wolmirstedt bis zum Netzverknüpfungspunkt Isar bei Landshut und soll Versorgungslücken durch den Rückbau konventioneller Kraftwerke ausgleichen. Mit einer Länge von 540–580 km, 525 kV Spannung und bis zu 4 GW Übertragungsleistung (bei Doppeltrasse) ist er eine zentrale Nord-Süd-Verbindung der Energiewende. Verantwortlich sind die Übertragungsnetzbetreiber 50Hertz (Nordabschnitt) und TenneT (Südabschnitt). Der Verlauf der Trasse führt an der Stadt Schwandorf vorbei. [78] [79] [80]



Abbildung 84: Grober Verlauf des Abschnittes „D1“ des Süd-Ost-Links [81]

4.8. Anschlussinteresse an ein Wärmenetz

Im Zuge der Bestandsanalyse wurde ein Fragebogen an die Bürgerinnen und Bürger ausgehändigt. Darin wird u.a. das Interesse am Anschluss des Gebäudes an ein Wärmenetz abgefragt. Insgesamt gibt es nach circa vier Monaten Fragezeitraum (Stand 08/2025) 267 Rückläufer. Bei ca. 7.800 Wohngebäuden (ALKIS) ergibt das eine Antwortquote von ungefähr 3,4 %. Es ist nicht auszuschließen, dass in Mehrfamilienhäusern für die gleiche Adresse mehrere Fragebögen abgegeben wurden. Tabelle 46 listet die Antworten der Bürgerinnen und Bürger auf die Frage auf, ob ein Interesse am Anschluss Ihres Hauses an ein Wärmenetz besteht. Abbildung 85 stellt das Ergebnis graphisch prozentual dar.

Tabelle 46: Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz.

Auswertung der Rückläufer der Fragebögen an die Bürgerinnen und Bürger (Stand 08/2025)

| Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz | Anzahl Gebäude |
|---|----------------|
| Ja | 213 |
| Nein | 52 |
| Keine Angabe | 2 |
| Gesamt | 267 |

Bei circa 80 % der Antworten besteht Interesse am Anschluss des Gebäudes an ein Wärmenetz der Bürgerinnen und Bürger. Es liegt nahe, dass Personen, die ein Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz haben, mehr gewilligt sind, einen Fragebogen auszufüllen. Da unter 5 % der Hauseigentümer einen Fragebogen ausgefüllt haben, ist dieses Ergebnis nicht auf die Stadt übertragbar.

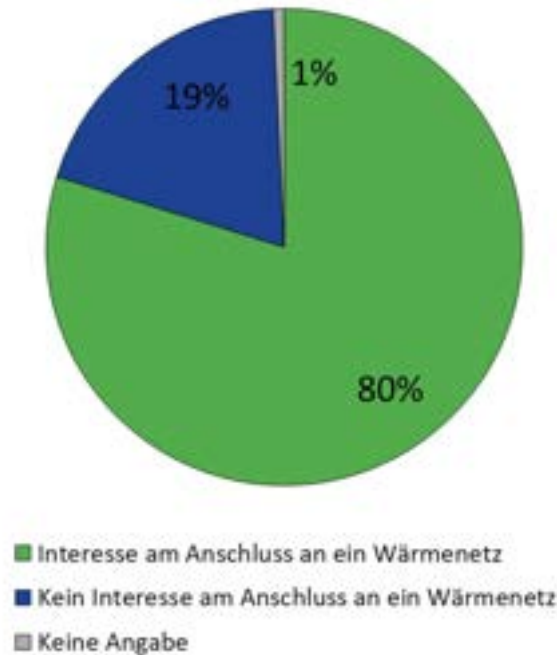


Abbildung 85: Prozentuales Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz.

Auswertung der Rückläufer der Fragebögen an die Bürgerinnen und Bürger

Abbildung 86 zeigt kartografisch das Interesse von Gebäuden am Anschluss an ein Wärmenetz auf. Dargestellt ist hier die Anzahl an Gebäuden mit Anschlussinteresse in einem Baublock. Insgesamt gibt es aus 114 Baublöcken mindestens eine Rückmeldung. Die höchste Rücklaufquote an Anschlussinteresse beträgt circa 30 %. Mehr als 80 % der Baublöcke mit Rückmeldung haben eine Meldequote von kleiner 15 %. Daher lassen sich an dieser Auswertung keine eindeutigen Gebiete mit Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz identifizieren. Die Daten stellen dennoch eine wertvolle Ergänzung und Präzisierung des Wärmekatasters als Planungsgrundlage dar.

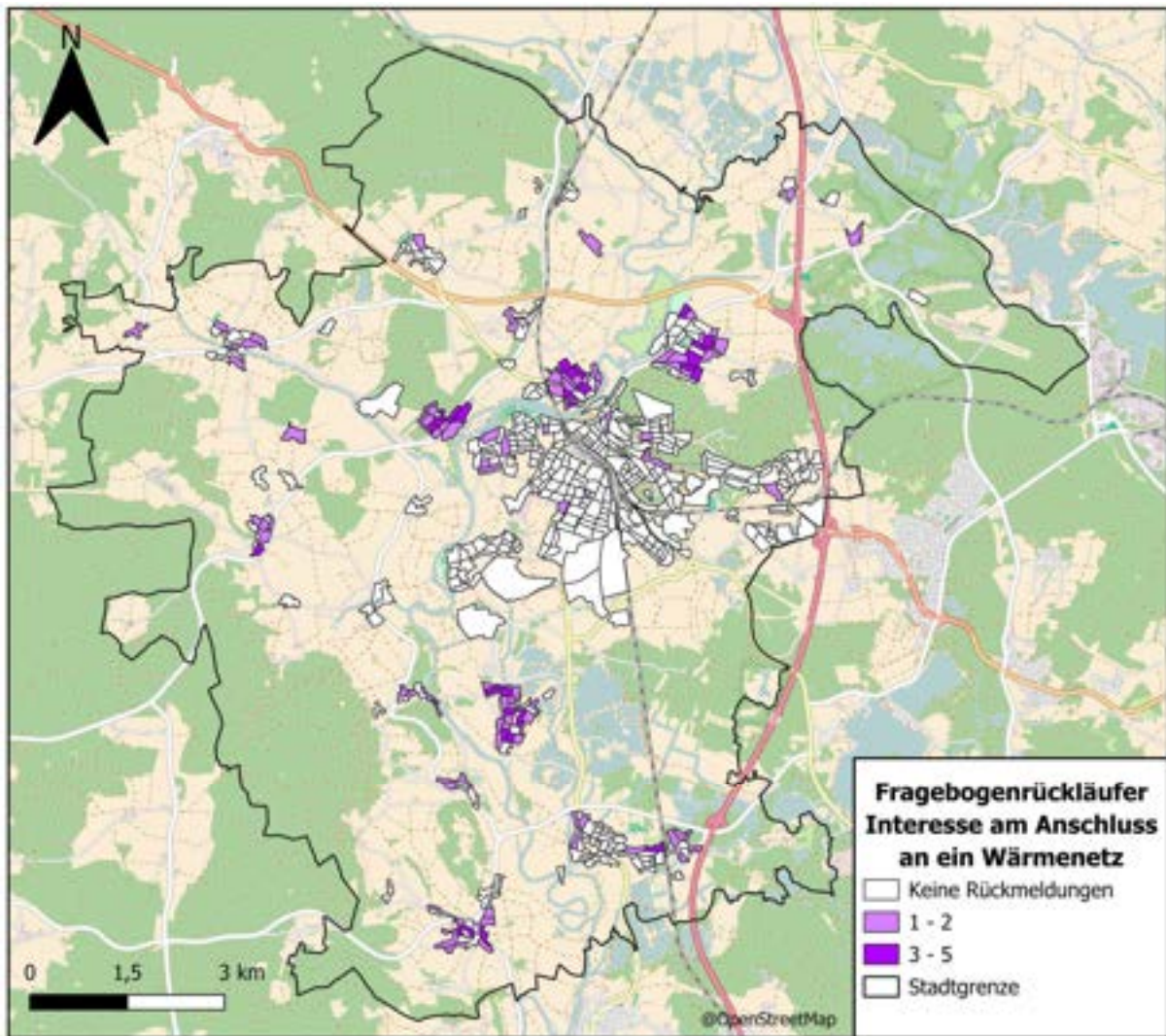


Abbildung 86: Örtliche Übersicht an Gebäuden mit Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz.

Darstellung des absoluten Anschlussinteresses in einem Baublock auf Basis von Fragebogenrückläufer.

5. Gegenüberstellung von Bestands- und Potenzialanalyse

In Abbildung 87 und Tabelle 47 sind die Verbräuche und Potenziale der Sektoren Wärme und Strom gegenübergestellt. Die Verbräuche sind zudem auf die einzelnen Verbrauchergruppen aufgeteilt. In Grau ist das nicht zu quantifizierende Potenzial von Umweltwärme für eine zentrale Wärmeversorgungslösung dargestellt. Hierbei werden lediglich Energiemengen verglichen.

Es zeigt sich, dass im Wärmebereich bilanziell mehr erneuerbare Energiepotenziale vorhanden sind als derzeit tatsächlich verbraucht werden. Dabei ist das Potenzial zur Wärmeerzeugung nur eingeschränkt quantifizierbar, da Umweltwärme für zentrale Wärmelösungen schwer abschätzbar ist. Der größte Teil des konkret abschätzbaren Potenzials entfällt auf industrielle Abwärme im Niedertemperaturbereich. Für die praktische Nutzung spielen jedoch sowohl das Temperaturniveau als auch die zeitliche und räumliche Verfügbarkeit eine zentrale Rolle. So lässt sich beispielsweise das Potenzial oberflächennaher Geothermie nur begrenzt zur Deckung des Hochtemperaturbedarfs industrieller Prozesse einsetzen. Der Ersatz von Erdgas durch klimafreundliche Energieträger für industrielle Prozesswärme zählt daher zu den größten Herausforderungen. Eine Elektrifizierung der Prozesse oder die Nutzung von Power-to-X könnte es ermöglichen, den Energiebedarf teilweise lokal zu decken – etwa über Strom aus erneuerbaren Quellen. Andernfalls wird auch künftig ein Import von Energie, zum Beispiel in Form von Wasserstoff oder synthetischen Gasen, notwendig sein.

Im Strombereich übersteigt das erneuerbare Potenzial den aktuellen Bedarf um ein Vielfaches. Allerdings ist zu beachten, dass die Verfügbarkeit regenerativer Energiequellen nicht zwangsläufig mit den zeitlichen Lastprofilen des Strombedarfs übereinstimmt. Mit fortschreitender Sektorenkopplung wird zudem ein deutlich höherer Strombedarf in den Bereichen Wärme und Mobilität erwartet. Vor diesem Hintergrund gewinnen intelligentes Energiemanagement sowie leistungsfähige Speichertechnologien zunehmend an Bedeutung, um die lokal verfügbaren Potenziale effizient und bedarfsgerecht zu nutzen.

Tabelle 47: Gegenüberstellung Verbrauch und Potenzial der Sektoren Wärme und Strom

| Parameter | | Wert [MWh/a] |
|------------------------|---------------------------|--------------|
| Verbrauch Wärme | Wohnen & Kleinverbraucher | 292.800 |
| | Industrie & Großgewerbe | 535.900 |
| | Öffentliche Einrichtungen | 13.400 |
| Verbrauch Strom | Wohnen & Kleinverbraucher | 36.500 |
| | Industrie & Großgewerbe | 188.800 |
| | Öffentliche Einrichtungen | 6.900 |
| Potenzial genutzt | Wärme | 289.700 |
| | Strom | 152.700 |
| Potenzial ungenutzt | Wärme | 1.147.200 |
| | Strom | 452.600 |

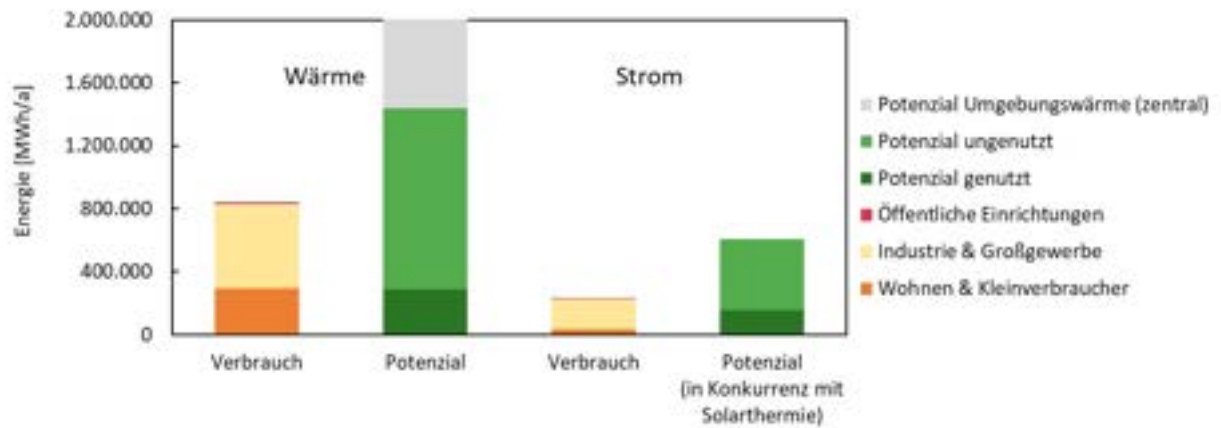


Abbildung 87: Gegenüberstellung Verbrauch und Potenzial von Wärme und Strom

17. Literaturverzeichnis

- [1] FNB Gas e.V., „Wasserstoff Kernnetz,“ 2024. [Online]. Available: <https://fnb-gas.de/wasserstoffnetz-wasserstoff-kernnetz/>. [Zugriff am 10 September 2024].
- [2] Rechtsanwälte Günther, „Umweltinstitut München e.V. - Rechtsgutachten Wasserstoffnetzgebiete,“ 2024. [Online]. Available: https://umweltinstitut.org/wp-content/uploads/2024/06/Rechtsgutachten_Wasserstoffnetzgebiete.pdf. [Zugriff am 10 September 2024].
- [3] Deutsche Umwelthilfe e.V., „H2-Ready" - Die Kostenfalle im Gebäude,“ Berlin, 2023.
- [4] Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE, „Bottom-Up Studie zu Pfadoptionen einer effizienten und sozialverträglichen Dekarbonisierung des Wärmesektors,“ Kassel, 2022.
- [5] ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH, „Leitfaden Wärmeplanung. Empfehlungen zur methodischen Vorgehensweise für Kommunen und andere Planungsverantwortliche,“ Heidelberg, 2024.
- [6] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, „Bundesförderung Energieberatung für Wohngebäude,“ 2024. [Online]. Available: https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieberatung/Energieberatung_Wohngebäude/energieberatung_wohngebäude_node.html. [Zugriff am Juni 2025].
- [7] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, „Gebäudeenergiegesetz (GEG),“ [Online]. Available: <https://www.bmwsb.bund.de/DE/bauen/innovation-klimaschutz/gebäudeenergiegesetz/GEG-Top-Thema-Artikel.html>. [Zugriff am 08 2025].
- [8] Bayerisches Landesamt für Umwelt, „UmweltAtlas,“ <https://www.umweltatlas.bayern.de/>, 2025.
- [9] Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, „Energie-Atlas Bayern,“ 2024. [Online]. Available: <https://www.energieatlas.bayern.de/>. [Zugriff am 10 2024].
- [10] Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, „Geobasisdaten: ALKIS,“ München.
- [11] Bayerisches Landesamt für Statistik, „Statistik kommunal 2023 – Große Kreisstadt Schwandorf,“ Februar 2024. [Online]. Available: https://statistik.bayern.de/mam/produkte/statistik_kommunal/2023/09376161.pdf. [Zugriff am 06 06 2025].

- [12] Bundesnetzagentur, „Marktsammdatenregister,“ 2024. [Online]. Available: <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR>. [Zugriff am 5 Juni 2024].
- [13] Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, „Energie-Atlas Bayern,“ 2024. [Online]. Available: <https://www.energieatlas.bayern.de/>. [Zugriff am 01 2024].
- [14] „Triphoenix.z-m-s,“ 2023. [Online]. Available: <https://triphoenix.z-m-s.de/abfallmengen/>. [Zugriff am 15 07 2025].
- [15] Bundesnetzagentur, „Breitbandatlas Karte,“ [Online]. Available: <https://gigabitgrundbuch.bund.de/GIGA/DE/Breitbandatlas/Vollbild/start.html>. [Zugriff am 09 2025].
- [16] Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik, „Kennzahlen zum Energieverbrauch in Dienstleistungsgebäuden,“ Wien, 2011.
- [17] K. Friedrich, D. Niermann, I. F., P. Bissolli, J. Daßler, V. Zins, H. S. und M. Ziese, „Deutscher Wetterdienst. Klimatologischer Rückblick auf 2023: Das bisher Wärmeste Jahr in Deutschland,“ 2024. [Online]. Available: https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20240201_klima_rueckblick-2023.pdf;jsessionid=F9E801852A692BA4A87E7AFF236A938F.live11042?__blob=publicationFile&v=6. [Zugriff am 02 12 2024].
- [18] eclareon GmbH, „Biomasseatlas,“ 2024. [Online]. Available: <https://www.biomasseatlas.de/>. [Zugriff am Oktober 2024].
- [19] D. Merten und D. Falkenberg, „Wärmegewinnung aus Biomasse,“ Leipzig, 2004.
- [20] BSW - Bundesverband Solarwirtschaft e.V., „Solaratlas,“ 2024. [Online]. Available: <https://www.solaratlas.de/index.php?id=1>. [Zugriff am 31 10 2024].
- [21] Z.-M.-S. (. M. Schwandorf), „Zahlen Daten Fakten 2024,“ 2024. [Online]. Available: <https://www.z-m-s.de/assets/2025-web-zdf--2024.pdf>. [Zugriff am 08 2025].
- [22] Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH, „Kommunale Wärmeplanung - Handlungsleitfaden,“ Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Stuttgart, 2020.
- [23] Bayerisches Landesamt für Statistik, „Statistik kommunal - Große Kreisstadt Schwandorf,“ Fürth, 2024.
- [24] Umweltbundesamt , „Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990-2024,“ Dessau-Roßlau, 2025.
- [25] BMWK und BMWSB, „Technikkatalog Wärmeplanung V 1.1,“ Berlin, 2024.

- [26] Städtische Wasser- und Fernwärmeversorgung Schwandorf, „Zertifikat,“ 22 05 2025. [Online]. Available: https://www.swf-sad.de/pdf_doc/primaerenergiefaktor/Zerti_GEG_Schwandorf_2025_Zertifikat.pdf. [Zugriff am 09 2025].
- [27] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, „Informationsblatt CO2-Faktoren,“ Eschborn, 2024.
- [28] Agentur für kommunalen Klimaschutz am Deutschen Institut für Urbanistik gGmbH, „BISKO Bilanzierungssystematik Kommunal,“ Berlin, 2025.
- [29] Bundesnetzagentur, „Rückblick: Gasversorgung im Jahr 2023,“ 2025. [Online]. Available: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Gasversorgung/a_Gasversorgung_2023/start.html. [Zugriff am 10 09 2025].
- [30] Deutsche Energie-Agentur, „Wie entwickelt sich der Biomethanbedarf auf Basis des Gebäudeenergiegesetzes?,“ 01 2024. [Online]. Available: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2024/Analyse_biogaspartner_Biomethanbedarf_Gebaeudeenergiegesetzes.pdf. [Zugriff am 09 10 2025].
- [31] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. , „Zukunftsbild Biomethan 2025-2045,“ 03 2025. [Online]. Available: <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/publikationen/zukunftsbild-biomethan-handlungsempfehlungen-dvgw.pdf>. [Zugriff am 10 09 2025].
- [32] Bayerisches Landesamt für Statistik, „Statistik kommunal - Große Kreisstadt Schwandorf,“ Fürth, 2024.
- [33] Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende, „Schutzgebiete und Erneuerbare Energien,“ 05 2022. [Online]. Available: <https://www.naturschutz-energiewende.de/fachwissen/veroeffentlichungen/uebersicht-schutzgebiete-und-erneuerbare-energien/>. [Zugriff am 04 2024].
- [34] A. Herrmann und e. ak., „Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiebedarf von Gebäuden und den Ertrag erneuerbarer Energien,“ Graz, 2016.
- [35] „EUR-Lex. Richtlinie (EU) 2023/1791 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. September 2023 zur Energieeffizienz und zur Änderung der Verordnung (EU) 2023/955 (Neufassung),“ 13 September 2023. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023L1791>. [Zugriff am 23 April 2025].
- [36] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, „Bundestag beschließt Energieeffizienzgesetz,“ 21 September 2023. [Online]. Available: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/09/20230921-bundestag-beschliesst-energieeffizienzgesetz.html>. [Zugriff am 23 April 2025].

- [37] Bayerisches Landesamt für Umwelt, „Gewässerkundlicher Dienst Bayern,“ [Online]. Available: <https://www.gkd.bayern.de/de/fluesse/abfluss/bayern>. [Zugriff am 07 2025].
- [38] Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., „Wärmepumpen an Fließgewässern - Analyse des theoretischen Potenzials in Bayern,“ München, 2024.
- [39] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Eignungsanalyse Wärmepumpe,“ [Online]. Available: <https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/Standardartikel/eignungsanalyse-waermepumpe.html>. [Zugriff am 08 2025].
- [40] Aalborg CSP, „Solarthermieanlage, Dänemark,“ 04 2024. [Online]. Available: <https://www.aalborgcsp.de/projekte/fernwaerme/8-mwth-thermische-solaranlage-daenemark>. [Zugriff am 03 2024].
- [41] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., „Daten und Fakten. Faustzahlen,“ [Online]. Available: <https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen>. [Zugriff am 08 2025].
- [42] Landesamt für Statistik Bayern, „Statistik kommunal 2022 - Landkreis Schwandorf,“ Fürth, 2022.
- [43] Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus (StMELF), „www.agrarbericht-2024.bayern.de,“ 2024. [Online]. Available: <https://www.agrarbericht-2024.bayern.de>. [Zugriff am 26 08 2025].
- [44] Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, „Untersuchung des Energieholzmarktes in Bayern,“ Freising, 2024.
- [45] Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, „Kurzumtriebsplantagen - LWF - Wissen 70,“ [Online]. Available: <https://www.lwf.bayern.de/forsttechnik-holz/biomassenutzung/033642/index.php>. [Zugriff am 09 2025].
- [46] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., „Biogas Basisdaten Deutschland,“ Gülzow, 2008.
- [47] Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, „Holzeinschlag,“ [Online]. Available: <https://www.lwf.bayern.de/forsttechnik-holz/holzmarkt/051095/index.php>. [Zugriff am 08 2025].
- [48] Biomasseverband Oberösterreich, „Masse und Energieinhalt von Hackgut in Abhängigkeit vom Wassergehalt,“ [Online]. Available: https://www.biomasseverband-ooe.at/uploads/media/Downloads/Publikationen/Umrechnungstabellen_Brennstoff_Holz-BMV-OOe.pdf. [Zugriff am 09 2025].
- [49] Johann Heinrich von Thünen-Institut, „Tabellendefinition - Zuwachs des Vorrates,“ [Online]. Available: [https://bwi.info/inhalt1.3.aspx?Text=5.03%20Baumartengruppe%20\(rechnerischer%](https://bwi.info/inhalt1.3.aspx?Text=5.03%20Baumartengruppe%20(rechnerischer%20Zuwachs))

- 20Reinbestand)&prrole=public&prInv=BWI2012&prKapitel=5.03&mpXicode=.
[Zugriff am 09 2025].
- [50] Bayerisches Landesamt für Statistik, „Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung in Bayern zum Stichtag 31. Dezember 2024,“ Fürth, 2025.
- [51] WWF Deutschland, „Alles aus Holz - Rohstoff der Zukunft oder kommende Krise. Ansätze zu einer ausgewogenen Bioökonomie.,“ Berlin, 2022.
- [52] Umweltbundesamt, „Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland,“ Dessau-Roßlau, 2018.
- [53] P. D. M. Faulstich, D. J. Hoffmeister, D. B. Birnstengel und A. Häusler, „Perspektiven der thermischen Abfallbehandlung - Roadmap 2040 -,“ ITAD, Dortmund, 2020.
- [54] Umweltbundesamt, „Energieerzeugung aus Abfällen - Stand und Potenziale in Deutschland bis 2030,“ Dessau-Roßlau, 2018.
- [55] waste:research, „Entsorgung gefährlicher Abfälle in Deutschland bis 2030,“ 22 05 2024. [Online]. Available: <http://www.wasteresearch.de/>. [Zugriff am 20 02 2025].
- [56] Umweltbundesamt, „Klimaschutz und Kohleausstieg: Politische Strategien und Maßnahmen bis 2030 und darüber hinaus,“ Climate Change, Berlin, 2019.
- [57] D. S. Jha, A. Wehrl und D. L. Montrone, „Mögliche Auswirkungen eines EU-Klimaziels von -90% für 2040 auf Deutschland,“ The Climate Desk; FutureCamp Climate, Berlin, 2024.
- [58] Umweltbundesamt, „CO₂-Speicherung darf Ausstieg aus fossilen Energien nicht behindern,“ 25 09 2023. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/co2-speicherung-darf-ausstieg-aus-fossilen-energien>. [Zugriff am 20 02 2025].
- [59] klimareporter, „CCS im Abfallsektor untergräbt Kreislaufwirtschaft und Klimaschutz,“ 2024 10 21. [Online]. Available: <https://www.klimareporter.de/technik/ccs-im-abfallsektor-untergraebt-kreislaufwirtschaft-und-klimaschutz>. [Zugriff am 20 02 2025].
- [60] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, „Nutzung tieferer Untergrund / CO₂-Speicherung,“ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, [Online]. Available: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Nutzung_tieferer_Untergrund_CO2Speicherung/Produkte/produkte_node.html. [Zugriff am 27 02 2025].
- [61] Umwelt Bundesamt, „Carbon Capture and Storage,“ Umwelt Bundesamt, 28 02 2024. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/grundwasser/nutzung-belastungen/carbon-capture-storage>. [Zugriff am 27 02 2025].

- [62] D. Wetzel, „Deutschland kassiert den nächsten Rückschlag für die Energiewende,“ Welt, 05 09 2024. [Online]. Available: <https://www.welt.de/wirtschaft/plus253303114/CCS-Das-Fragezeichen-hinter-der-grossen-CO-Hoffnung-der-deutschen-Industrie.html>. [Zugriff am 27 02 2025].
- [63] Bayrisches Landesamt für Umwelt, „UmweltAtlas,“ <https://www.umweltatlas.bayern.de/>, 2024.
- [64] Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, „Ist die Verbrennung von Holz gesundheits- und klimaschädlich?,“ Straubing, 2023.
- [65] Umweltbundesamt, „Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger,“ Dessau-Roßlau, 2022.
- [66] Fraunhofer ISE, „Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland,“ Freiburg, 2025.
- [67] R. Meyer und et.al., „Heizkosten und Treibhausgasemissionen in Bestandsgebäuden,“ Potsdam, 2024.
- [68] Fraunhofer ISE, „Stromgestehungskosten Erneuerbarer Energien,“ Freiburg, 2024.
- [69] Next Kraftwerke GmbH, „Was ist ein Power Purchase Agreement (PPA)?,“ [Online]. Available: <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/power-purchase-agreement-ppa#fr-wen-ist-ein-ppa-geeignet>. [Zugriff am 08 2025].
- [70] „Energiemonitor Bayernwerk Schwandorf,“ [Online]. Available: <https://energiemonitor.bayernwerk.de/schwandorf>. [Zugriff am 08 2025].
- [71] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), „dena,“ 07 2018. [Online]. Available: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf. [Zugriff am 09 2025].
- [72] Bundesnetzagentur, „Bundesnetzagentur genehmigt Wasserstoff-Kernnetz,“ Bundesnetzagentur, 22 10 2024. [Online]. Available: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2024/20241022_H2-Kernnetz.html. [Zugriff am 17 06 2025].
- [73] FNB Gas e. V., „Wasserstoff-Kernnetz Karte Deutschland,“ FNB Gas, 22 10 2024. [Online]. Available: <https://fnb-gas.de/wasserstoffnetz/kernnetzkarte>. [Zugriff am 17 06 2025].
- [74] FNB Gas e. V., „Wasserstoff-Kernnetz,“ FNB Gas, 22 10 2024. [Online]. Available: <https://fnb-gas.de/themen/wasserstoffnetz/kernnetz>. [Zugriff am 17 06 2025].
- [75] Open Grid Europe GmbH, „CO₂-Netz,“ Open Grid Europe GmbH, 10 04 2024. [Online]. Available: <https://oge.net/de/co2/co2-netz>. [Zugriff am 17 06 2025].

- [76] bayernets GmbH, „CO₂-Transport,“ bayernets GmbH, 15 03 2024. [Online]. Available: <https://www.bayernets.de/en/infrastructure/co2-transportation>. [Zugriff am 17 06 2025].
- [77] Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V., „Analyse CO₂-Infrastrukturbedarf in Bayern (PDF),“ Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V., 20 10 2023. [Online]. Available: https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Wirtschaftspolitik/2023/Downloads/vbw-Studie_Analyse_CO2-Infrastrukturbedarf_in_Bayern_Oktober-2023_online.pdf. [Zugriff am 17 06 2025].
- [78] TenneT TSO GmbH, „SuedOstLink Projektübersicht,“ TenneT, 01 03 2024. [Online]. Available: <https://www.tennet.eu/de/projekte/netzprojekte-deutschland/suedostlink>. [Zugriff am 17 06 2025].
- [79] 50Hertz Transmission GmbH, „SuedOstLink,“ 50Hertz, 12 03 2024. [Online]. Available: <https://www.50hertz.com/de/Netzentwicklung/Projekte/Bundesbedarfsplangesetz/SuedOstLink>. [Zugriff am 17 06 2025].
- [80] Bundesnetzagentur, „Netzentwicklungsplan Strom 2037/2045,“ Bundesnetzagentur, 05 06 2024. [Online]. Available: <https://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/2024/NEP-Strom-2045>. [Zugriff am 17 06 2025].
- [81] TenneT TSO GmbH, „SuedOstLink Projektbroschüre,“ TenneT TSO GmbH, 10 04 2025. [Online]. Available: <https://tennet-drupal.s3.eu-central-1.amazonaws.com/default/2025-04/SOL-Projektbrosch%C3%BCre.pdf>. [Zugriff am 17 06 2025].
- [82] Prognos AG, ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH, Universität Stuttgart - Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, „Technikkatalog Wärmeplanung,“ im Auftrag: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz; Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, Heidelberg, Freiburg, Stuttgart, Berlin, 2024.
- [83] C.A.R.M.E.N. e.V., QM Holzheizwerke - Planungshandbuch, Straubing, 2022.
- [84] Energie Schweiz, Bundesamt für Energie BFE, Planungshandbuch Fernwärme, Ittigen, CH, 2021.
- [85] ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH, Öko-Institut e.V., Universität Stuttgart, Becker Büttner Held, Prognos AG, Fraunhofer-Institut für System- und Energieforschung ISI, „Leitfaden Wärmeplanung. Empfehlungen zur methodischen Vorgehensweise für Kommunen und andere Planungsverantwortliche,“ im Auftrag: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz; Bundesministerium für

- Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen , Heidelberg, Freiburg, Stuttgart, Berlin, 2024.
- [86] nPro Energy GmbH, „App - nPro Energy,“ 2025. [Online]. Available: <https://www.npro.energy/main/de/>.
- [87] VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (GBG), „VDI 2067 - Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen,“ Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, 2012.
- [88] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, „Bundesförderung Effiziente Wärmenetze. Modul 2: Antragstellung und Verwendungsnachweise,“ 14 Februar 2023. [Online]. Available: https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/bew_merkblatt_antragstellung_m2.pdf?__blob=publicationFile&v=2. [Zugriff am 04 April 2025].
- [89] Statista GmbH, „Entwicklung des Emissionsfaktors der Stromerzeugung in Deutschland und Frankreich im Zeitraum 2000 bis 2024,“ 2025. [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1421117/umfrage/emissionen-strom-deutschland-und-frankreich/>. [Zugriff am 01 2025].
- [90] Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH, „Technikkatalog zur Kommunalen Wärmeplanung,“ 01 2024. [Online]. Available: <https://www.kea-bw.de/waermewende/wissensportal/kommunale-waermeplanung/einfuehrung-in-den-technikkatalog>. [Zugriff am 09 04 2024].
- [91] A. M. U. G. H. K. A. Herrmann, „Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiebedarf von Gebäuden und den Ertrag erneuerbarer Energien,“ in *14. Symposium Energieinnovation*, Graz, 2016.
- [92] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, „Plattform für Abwärme,“ [Online]. Available: https://www.bfee-online.de/BfEE/DE/Effizienzpolitik/Plattform_fuer_Abwaerme/plattform_fuer_abwaerme_node.html.
- [93] Carmen e.V., „Marktpreise Pellets. Preisentwicklung bei Holzpellets,“ 2025. [Online]. Available: <https://www.carmen-ev.de/service/marktueberblick/marktpreise-energieholz/marktpreise-pellets/>. [Zugriff am 30 Januar 2025].
- [94] Wirtschaftswoche, „Strompreis aktuell. Das kostet die Kilowattstunde in Deutschland im Jahr 2025,“ Dezember 2025. [Online]. Available: <https://www.wiwo.de/unternehmen/strompreis-aktuell-das-kostet-die-kilowattstunde-in-deutschland-im-jahr-2025/29558224.html>. [Zugriff am 23 Januar 2025].
- [95] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, „Auf einen Blick: Die neue Förderung für den Heizungstausch,“ November 2024. [Online]. Available: https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/Downloads/foerderung-heizungstausch-beg.pdf?__blob=publicationFile&v=25. [Zugriff am 10 März 2025].

- [96] Europäische Kommission, „ETS2: buildings, road transport and additional sectors,“ [Online]. Available: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/ets2-buildings-road-transport-and-additional-sectors_en. [Zugriff am 05 2025].
- [97] Bundesverband energieeffiziente Gebäudehülle e.V., „Sanierungsquote,“ [Online]. Available: <https://buveg.de/sanierungsquote/>. [Zugriff am 05 2025].
- [98] Deutsche Energie-Agentur (dena) (Hrsg.), „Wie entwickelt sich der Biomethanbedarf auf Basis des Gebäudeenergiegesetzes?,“ Berlin, 2024.
- [99] Solarbranche.de, „Solarthermiemarkt Deutschland,“ [Online]. Available: <https://www.solarbranche.de/ausbau/deutschland/solarthermie>. [Zugriff am 05 2025].
- [100] Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE und Bundesverband Solarwirtschaft e. V., „Solare Prozesswärme für die deutsche Industrie - Ertrag und Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu konventioneller Wärmeversorgung,“ Freiburg, 2025.
- [101] Energiewirtschaftliches Institut zu Köln, „dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität,“ Köln, 2022.
- [102] Fraunhofer Umsicht, „Durch die Flexibilisierung von Kälteversorgungssystemen CO₂-Emissionen minimieren und Stromkosten sparen,“ 08 02 2024. [Online]. Available: <https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/presse-medien/pressemitteilungen/2024/kaelteversorgung-energieausgleich.html>. [Zugriff am 25 11 2025].
- [103] Fraunhofer Umsicht, „FLX Kälte,“ 01 2021. [Online]. Available: https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/referenzen/flxkaelte/K%C3%A4lletechnik_in_Deutschland-Metastudie_K%C3%A4ltebedarf_Deutschland.pdf. [Zugriff am 25 11 2025].
- [104] Umweltbundesamt, „Analyse des wirtschaftlichen Potentials für eine effiziente Wärme- und Kälteversorgung,“ 05 08 2021. [Online]. Available: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2021-08-05_cc_54-2021_effiziente_waerme-kaelteversorgung.pdf. [Zugriff am 25 11 2025].
- [105] Umweltbundesamt, „Nachhaltige Kälteversorgung in Deutschland an den Beispielen Gebäudeklimatisierung und Industrie,“ 01 01 2014. [Online]. Available: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_25_2014_nachhaltige_kaelteversorgung_in_deutschland_1.pdf. [Zugriff am 25 11 2025].
- [106] Umweltbundesamt, „Klimaschonende Klimatisierung (Heizen und Kühlen) mit natürlichen Kältemitteln – Konzepte für Nichtwohngebäude mit Serverräumen/Rechenzentren,“ 01 04 2016. [Online]. Available:

- https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_18_2016_klimaschonende_klimatisierung_0.pdf. [Zugriff am 25 11 2025].
- [107] BMW, „Bürgerenergie,“ [Online]. Available: <https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/Standardartikel/buergerenergie.html>. [Zugriff am 03 12 2025].
- [108] Wikipedia, „Bürgerenergiegenossenschaft,“ [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/B%C3%BCrgerenergiegenossenschaft>. [Zugriff am 03 12 2025].
- [109] D. H. Klemisch, „Bürgerenergiegenossenschaften als Promotoren der Energiewende,“ 2021 05 01. [Online]. Available: https://www.wilabonn.de/images/PDFs/Genossenschaften/Brgerenergiegenossenschaften_als_Promotoren_der_Energiewende_GESAMT_EPaper_kompr_RV.pdf. [Zugriff am 03 12 2025].
- [110] Kommunale Energieversorgung GmbH, „Die Kommunale Energieversorgung GmbH Eisenhüttenstadt (KEV),“ [Online]. Available: <https://kev-ehst.de/>. [Zugriff am 03 12 2025].
- [111] Deutschen Energie-Agentur GmbH, „Wärmenetz in einer öffentlich-privaten Partnerschaft betreiben,“ [Online]. Available: <https://www.kww-halle.de/fokusthemen/waermenetze-betreibermodelle-finanzierung/oeffentlich-private-partnerschaft>. [Zugriff am 03 12 2025].
- [112] Deutschen Energie-Agentur GmbH, „Wärmenetze durch die Kommune umsetzen,“ [Online]. Available: <https://www.kww-halle.de/fokusthemen/waermenetze-betreibermodelle-finanzierung/kommunaler-betrieb>. [Zugriff am 03 12 2025].
- [113] Deutschen Energie-Agentur GmbH, „Wärmenetze durch ein privates Energieversorgungsunternehmen betreiben,“ [Online]. Available: <https://www.kww-halle.de/fokusthemen/waermenetze-betreibermodelle-finanzierung/privates-energieversorgungsunternehmen>. [Zugriff am 03 12 2025].
- [114] Deutschen Energie-Agentur GmbH, „Wärmenetze durch eine Wärmegenossenschaft umsetzen,“ [Online]. Available: <https://www.kww-halle.de/fokusthemen/waermenetze-betreibermodelle-finanzierung/waermegenossenschaft>. [Zugriff am 03 12 2025].
- [115] BMWK, „Was ist eigentlich Bürgerenergie?,“ [Online]. Available: <https://energiewende.bundeswirtschaftsministerium.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2024/07/Meldung/direkt-erklaert.html>. [Zugriff am 03 12 2025].
- [116] Netzwerk Energiewende Jetzt e. V., „Was sind Energiegenossenschaften?,“ [Online]. Available: <https://netzwerk-energiewende-jetzt.de/genossenschaften/was-sind-energiegenossenschaften>. [Zugriff am 03 12 2025].

- [117] EG-Gussenstadt, „Informationsbroschüre,“ [Online]. Available: <https://www.eg-gussenstadt.de/wp-content/uploads/2023/07/Informationsbroschuere-final-2023.pdf>. [Zugriff am 11 11 2025].
- [118] Bürger-Energie Erdbach, [Online]. Available: <https://energie.erdbach.eu/konzept/die-kosten>. [Zugriff am 11 11 2025].
- [119] Bürger Energie Genossenschaft - Freisinger Land eG, „Bürger-Strom,“ [Online]. Available: <https://beg-fs.de/buerger-strom>. [Zugriff am 11 11 2025].
- [120] Statista, „Wie setzt sich der Strompreis zusammen?,“ [Online]. Available: <https://de.statista.com/infografik/34734/zusammensetzung-des-strompreises-fuer-haushaltskunden/#:~:text=Laut%20einer%20Analyse%20des%20Bundesverbands%20der%20Energie%2D,kWh%20im%20Schnitt%2039%2C7%20Cent%20pro%20Kilo-wattstunde..> [Zugriff am 11 11 2025].
- [121] Bürger Energiegenossenschaft eG, „Unsere Anlagen,“ [Online]. Available: <https://buerger-energiegenossenschaft.de/unsere-anlagen>. [Zugriff am 11 11 2025].
- [122] BENEG, „Nachrangdarlehen,“ [Online]. Available: <https://beneg.de/gemeinsam-investieren/nachrangdarlehen>. [Zugriff am 11 11 2025].
- [123] EG-Oberland, „EG-Oberland,“ [Online]. Available: <https://mitgliedschaft.eg-oberland.de>. [Zugriff am 11 11 2025].
- [124] Bürger Energiegenossenschaft eG, „Mitgliedschaft & Infoservice,“ [Online]. Available: <https://buerger-energiegenossenschaft.de/mitgliedschaft-infoservice/>. [Zugriff am 11 11 2025].
- [125] Kompetenzzentrum Kommunale Wärmewende (KWW), „Wärmenetze errichten & betreiben,“ [Online]. Available: <https://www.kww-halle.de/fokusthemen/waermenetze-betreibermodelle-finanzierung>. [Zugriff am 12 2025].
- [126] GermanZero e.V., „WärmeGuide - Schwandorf,“ 12 2025. [Online]. Available: <https://waermeguide.de/09376161/sozio-oekonomischer-ist-zustand>.
- [127] Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH, „Klimaschutz in Kommunen,“ Berlin, 2023.
- [128] Deutsche Energie-Agentur GmbH, „Erste Schritte in der Kommunalen Wärmeplanung: Die Vorbereitungsphase,“ Berlin, 2023.
- [129] IZES gGmbH - Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme, „Erhebung der Alteursstrukturen - Methodenbeschreibung,“ Berlin, 2022.
- [130] Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH, „Akteure im kommunalen Klimaschutz erfolgreich beteiligen,“ Berlin, 2017.

- [131] Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, „Beteiligung und Mitwirkung im kommunalen Klimaschutz,“ Berlin, 2020.

Hinweise

zeitgeist engineering trifft keine verbindlichen rechts- und steuerberaterlichen Auskünfte, deren Hoheitsgebiete einschlägigen Berufsgruppen obliegen.

Alle im Rahmen dieser Arbeit angenommenen oder vorausgesetzten Rahmenbedingungen basieren auf der Sichtweise von zeitgeist engineering auf die aktuell vorliegenden Gesetzestexte und anderen Unterlagen. Die Betrachtung erfolgt grundsätzlich auf einer ingenieurtechnischen Perspektive. Aufgrund der komplexen Thematik und teils unterschiedlichen Auslegungen der Rechtslage kann keine Gewährleistung für die Richtigkeit dieser Annahmen übernommen werden.

Konkrete Rechtsfragen zu der Thematik dürfen ausschließlich durch zugelassene Anwälte und Experten beantwortet werden. Ebenso können steuerliche Fragen ausschließlich durch einen Steuerberater rechtssicher geklärt werden. Die hier getroffenen Annahmen können nicht als belastbare Steuerberatung oder Rechtsberatung angesehen werden.



Markus Rößler