



Große Kreisstadt
Schwandorf



Kommunale Wärmeplanung der Stadt Schwandorf

Potenzialanalyse



Auftraggeberin:



Große Kreisstadt
Schwandorf

Stadt Schwandorf

Spitalgarten 1

92421 Schwandorf

Projektleitung: Dipl.-Ing. BD Reinhard Schade

Projektteam: M.Sc. Maria Pushkareva

Dr. Johannes Stapf

Kontakt: klimaschutz@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 – 08.2026

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz
und nukleare Sicherheit



NATIONALE
KLIMASCHUTZ
INITIATIVE

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

1. Zusammenfassung

In der Potenzialanalyse im Zuge der kommunalen Wärmeplanung 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.

Es wurden für circa 270 Fragebögen von den Bürgerinnen und Bürgern zur kommunalen Wärmeplanung ausgefüllt. Die Auswertung der Fragebögen zeigt, dass 80 % der Befragten Interesse an einem Anschluss an ein Wärmenetz haben.

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.

Inhalt

1. Zusammenfassung.....	3
2. Potenzialanalyse	8
2.1. Datengrundlage.....	8
2.2. Schutzgebiete und Denkmalschutz	8
2.2.1. Schutzgebiete	8
2.2.2. Denkmalschutz.....	9
2.3. Energieeinsparung und Energieeffizienz	10
2.3.1. Wärmebedarfsreduktion in Gebäuden.....	10
2.3.2. Effizienzsteigerung in industriellen Prozessen.....	13
2.3.3. Effizienzsteigerung Abnehmer bestehendes Wärmenetz	14
2.4. Potenziale erneuerbarer Wärme.....	17
2.4.1. Umweltwärme	17
2.4.2. Oberflächennahe Geothermie	25
2.4.3. Solarthermie.....	32
2.4.4. Biomasse	34
2.4.5. Unvermeidbare Abwärme.....	43
2.4.6. Zentrale Wärmespeicher	47
2.4.7. Sonstige Potenziale erneuerbarer Wärme	48
2.4.8. Zusammenfassung Potenzialanalyse erneuerbare Wärme	50
2.4.9. Erweiterungspotenziale bestehendes Wärmenetz	52
2.5. Potenziale erneuerbarer Strom	55
2.5.1. Photovoltaik	55
2.5.2. Windenergie	57
2.5.3. KWK-Anlagen	58
2.5.4. Müllheizkraftwerk	58
2.5.5. Sonstige Potenziale erneuerbarer Strom.....	58
2.5.6. Zusammenfassung Potenzialanalyse Strom.....	59
2.5.7. Wirtschaftliche Einordnung strombasierter Wärmeversorgung	59
2.6. Power-to-X	61
2.7. Ausblick Energieinfrastruktur	64
2.8. Anschlussinteresse an ein Wärmenetz.....	67
3. Gegenüberstellung von Bestands- und Potenzialanalyse	70
4. Literaturverzeichnis	72
5. Hinweise	77

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schutzgebiete auf dem Stadtgebiet	9
Abbildung 2: Ensemble-, Boden- und Baudenkmäler	10
Abbildung 3: Energieeinsparpotenzial durch Sanierung.....	11
Abbildung 4: Potenzial zur Energieeinsparung durch Wärmebedarfsreduktion Wohnen & Kleinverbraucher.....	12
Abbildung 5: Simulationsergebnis des Fernwärmenetzes inklusive des bis 2026 geplanten Ausbaus	15
Abbildung 6: Simulationsergebnis des Fernwärmenetzes inklusive des bis 2026 geplanten Ausbaus für das Jahr 2040.....	16
Abbildung 7: Wassertemperatur an der Messstelle in Heitzenhofen im Jahr 2023.....	17
Abbildung 8: Fluss-Volumenstrom an der Messstelle in Münchshofen im Jahr 2023.....	18
Abbildung 9: Monatliche Entnahmemengen aus der Naab mit dem Gesamtbedarf der Stadt für Raumwärme und Warmwasser gegenübergestellt.....	19
Abbildung 10: Deckungsgrad je Gemeinde für Januar bei einer Abkühlung von 2K [8].....	20
Abbildung 11: Standorte von Flusswehren	21
Abbildung 12: Potenzialanalyse Luftwärmepumpen für Wohngebäude und Kleinverbraucher.....	23
Abbildung 13: Potenzial Umweltwärme	24
Abbildung 14: Bohrrisiken bis 100 m Tiefe sowie existierende Anlagen.....	25
Abbildung 15: Wärmequellen bebautes Gebiet (Kernstadt von Schwandorf)	26
Abbildung 16: Wärmequellen bebautes Gebiet (Norden und Süden von Schwandorf)	27
Abbildung 17: Wärmequellen bebautes Gebiet (Nordwesten von Schwandorf)	27
Abbildung 18: Deckungsgrad Geothermie auf bebautem Gebiet (Kernstadt von Schwandorf).....	28
Abbildung 19: Deckungsgrad Geothermie auf bebautem Gebiet (Norden und Süden von Schwandorf).....	29
Abbildung 20: Deckungsgrad Geothermie auf bebautem Gebiet (Nordwesten von Schwandorf).....	29
Abbildung 21: Potenzielle Geothermie Freiflächen	30
Abbildung 22: Potenzial oberflächennaher Geothermie	31
Abbildung 23: Potenzielle Solarthermie-Freiflächen in näherer Umgebung von bebauten Gebieten	33
Abbildung 24: Potenzial Solarthermie Freiflächen und Dachflächen.....	34
Abbildung 25: Einzugsgebiet Biomethanerzeugung (15 km Radius) mit Gemeindegrenzen	36
Abbildung 26: Holzeinschlag in Bayern [21].....	39
Abbildung 27: Holzeinschlag und Schadholzanteil [21].....	40
Abbildung 28: Benötigte Waldflächen für ausgewiesene Potenziale [18] und Verbräuche	41
Abbildung 29: Potenzial aus Biomasse. Aufgeteilt in Biogas und Energieholz	42
Abbildung 30: Darstellung der Abwärmepotenziale	45
Abbildung 31: Potenzialanalyse Abwärme.....	46
Abbildung 32: Potenzielle Standorte zentraler Wärmespeicherung	48
Abbildung 33: Temperaturverteilung in 250 m unter NHN [38].....	50



Abbildung 34: Zusammenfassung Potenziale erneuerbarer Wärme	51
Abbildung 35: Täglicher Lastgang im Auslegungsfall (-13,6 °C)	53
Abbildung 36: Resultierender täglicher Lastgang im Auslegungsfall (-13,6 °C) inklusive eines Wärmespeichers zur Glättung der Lastspitzen	54
Abbildung 37: PV-Potenzialflächen im Stadtgebiet	56
Abbildung 38: Windvorranggebiet.....	57
Abbildung 39: Zusammenfassung Potenzial Strom	59
Abbildung 40: Stromgestehungskosten für Erneuerbare Energien und konventionelle Kraftwerke in Deutschland 2024 [46].....	60
Abbildung 41: Netzbezug & -einspeisung pro Tag im Jahr 2022 [48].....	61
Abbildung 42: Netzeinspeisung und -verbrauch pro Tag für 2040	63
Abbildung 43: Wasserstoff-Kernnetz Deutschland [51]	65
Abbildung 44: Darstellung des CO ₂ -Netzes der VBW-Studie [55]	66
Abbildung 45: Grober Verlauf des Abschnittes „D1“ des Süd-Ost-Links [59].....	67
Abbildung 46: Prozentuales Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz.....	68
Abbildung 47: Örtliche Übersicht an Gebäuden mit Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz.	69
Abbildung 48: Gegenüberstellung Verbrauch und Potenzial von Wärme und Strom.....	71



Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Datengrundlagen der Potenzialanalyse.....	8
Tabelle 2: Potenzial zur Energieeinsparung durch Wärmebedarfsreduktion	12
Tabelle 3: Energieeinsparung Prozesswärme (abgeschätzt anhand Fragebögen)	13
Tabelle 4: Potenzial Fernwärmenetz aufgrund von Sanierung Abnehmer	14
Tabelle 5: Potenzial Umweltwärme.....	24
Tabelle 6: Potenzial Wärme oberflächennaher Geothermie.....	31
Tabelle 7: Potenzial Solarthermie Freiflächen und Dachflächen	34
Tabelle 8: Potenzialanalyse Biogas	37
Tabelle 9: Potenziale Energieholz (ohne Abzug aktueller Verbrauch).....	38
Tabelle 10: Potenzial Biomasse (Biogas und feste Biomasse)	42
Tabelle 11: Potenzial Klärschlammverbrennung.....	43
Tabelle 12: Potenzial Biogas aus Bioabfall Stadt Schwandorf	43
Tabelle 13: Potenzialanalyse Abwärme	46
Tabelle 14: Zusammenfassung Potenziale erneuerbarer Wärme	51
Tabelle 15: THG-Emissionen erneuerbarer Wärme	52
Tabelle 16: Spitzenlastreduzierung Fernwärmenetz aufgrund Integration Wärmespeicher und Redundanz aufgrund Umbau MHKW	54
Tabelle 17: Potenzial elektrischer Ertrag Photovoltaik	56
Tabelle 18: Elektrisches Potenzial Windenergieanlagen.....	57
Tabelle 19: Elektrisches Potenzial KWK-Anlagen.....	58
Tabelle 20: Geschätzte Strom-Einspeisung des MHKW	58
Tabelle 21: Zusammenfassung Potenzial Strom.....	59
Tabelle 22: Vergleich erzeugter und verbrauchter Strommengen für 2040 in MWh/a	62
Tabelle 23: PtX Potenziale aus 300 GWh Stromüberschuss	63
Tabelle 24: Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz.	67
Tabelle 25:Gegenüberstellung Verbrauch und Potenzial der Sektoren Wärme und Strom ...	70

2. 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.

2.1. Datengrundlage

In Tabelle 1 sind die Datengrundlagen der einzelnen Abschnitte für die Potenzialanalyse aufgelistet.

Tabelle 1: 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

2.2. 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.

2.2.1. Schutzgebiete

Abbildung 1 zeigt die Schutzgebiete auf dem Gebiet der Stadt Schwandorf auf. Die Daten stammen aus dem Geodatendienst des Bayerischen Landesamt für Umwelt [1, 1]. 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 [2]. 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.

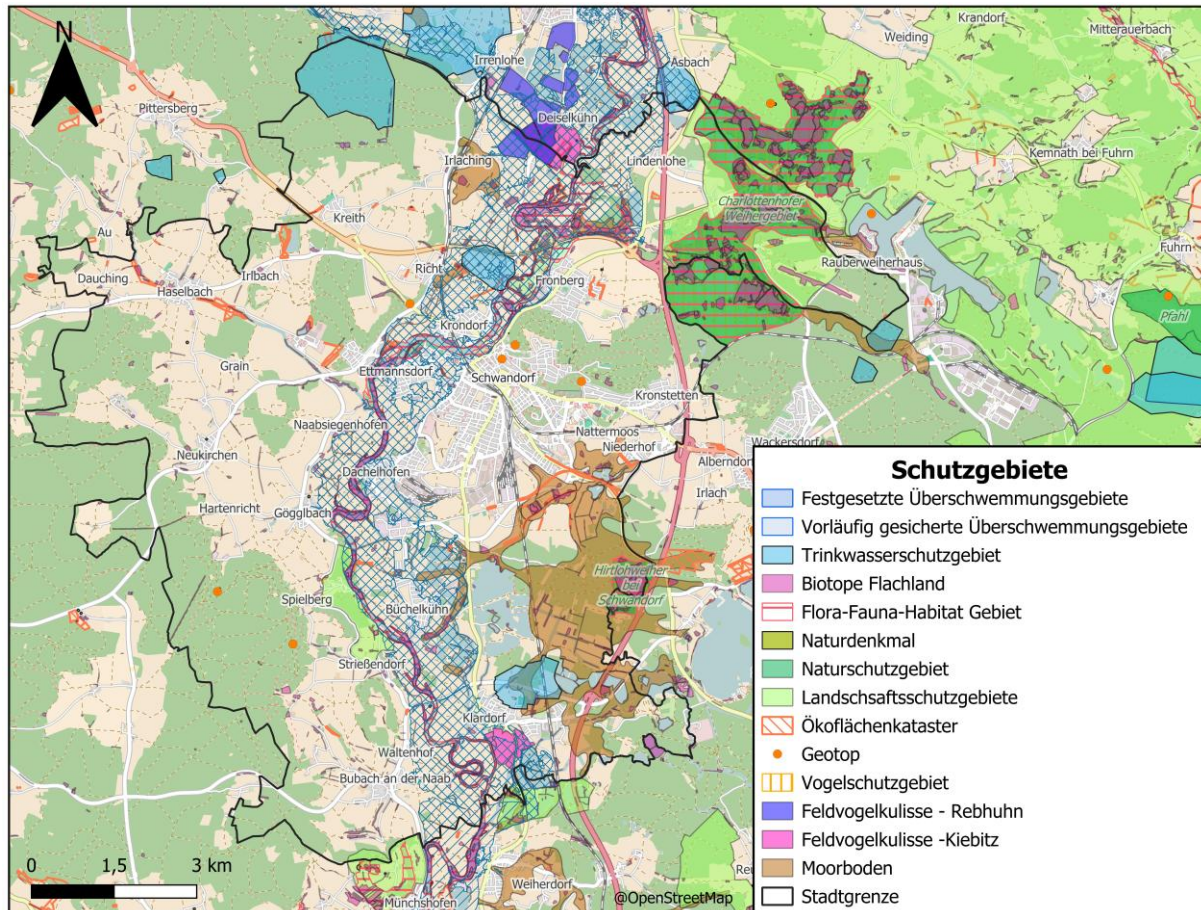


Abbildung 1: Schutzgebiete auf dem Stadtgebiet

2.2.2. Denkmalschutz

Abbildung 2 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.

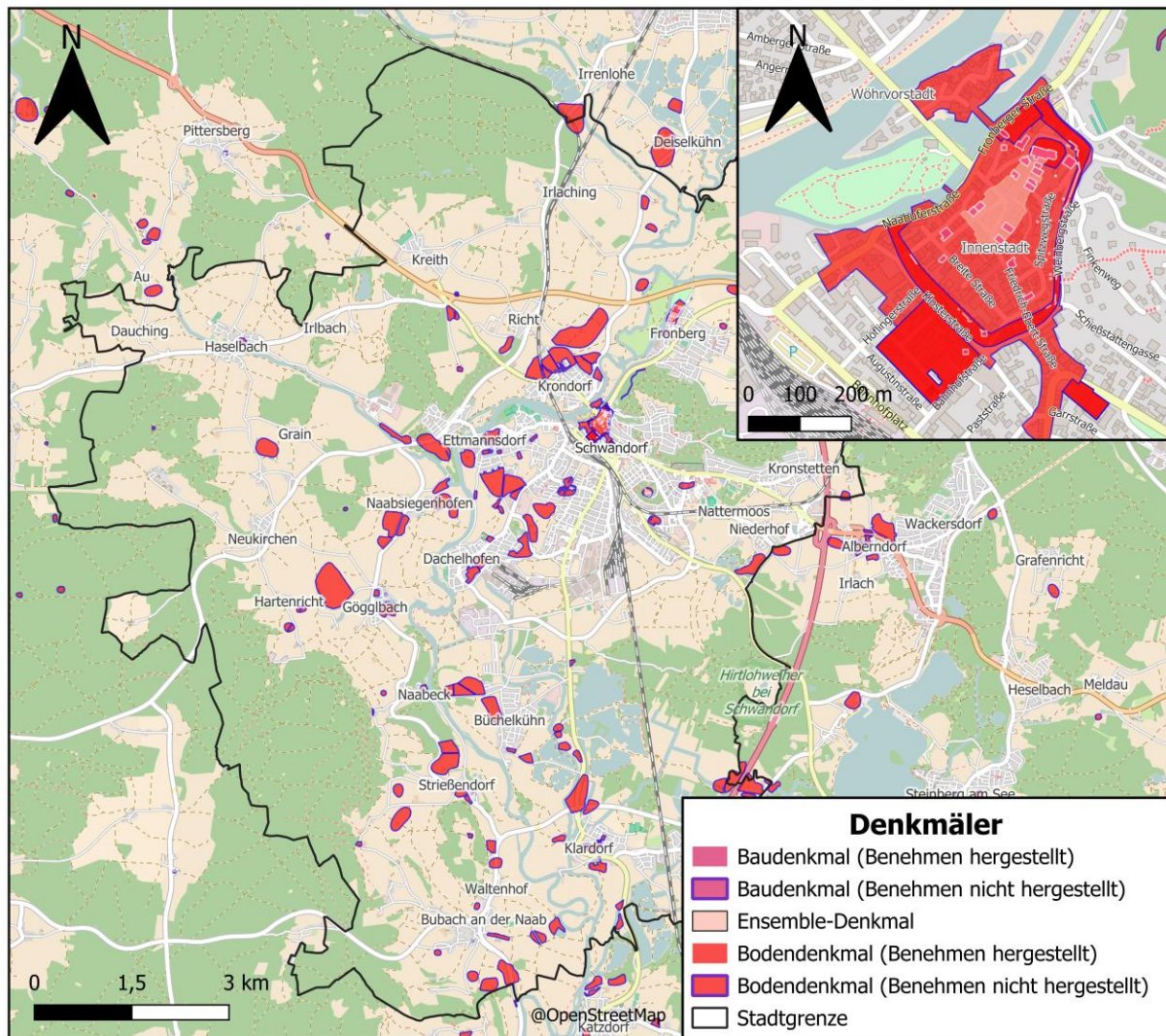


Abbildung 2: Ensemble-, Boden- und Baudenkmäler

2.3. 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.

2.3.1. 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 [3], 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 3 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.

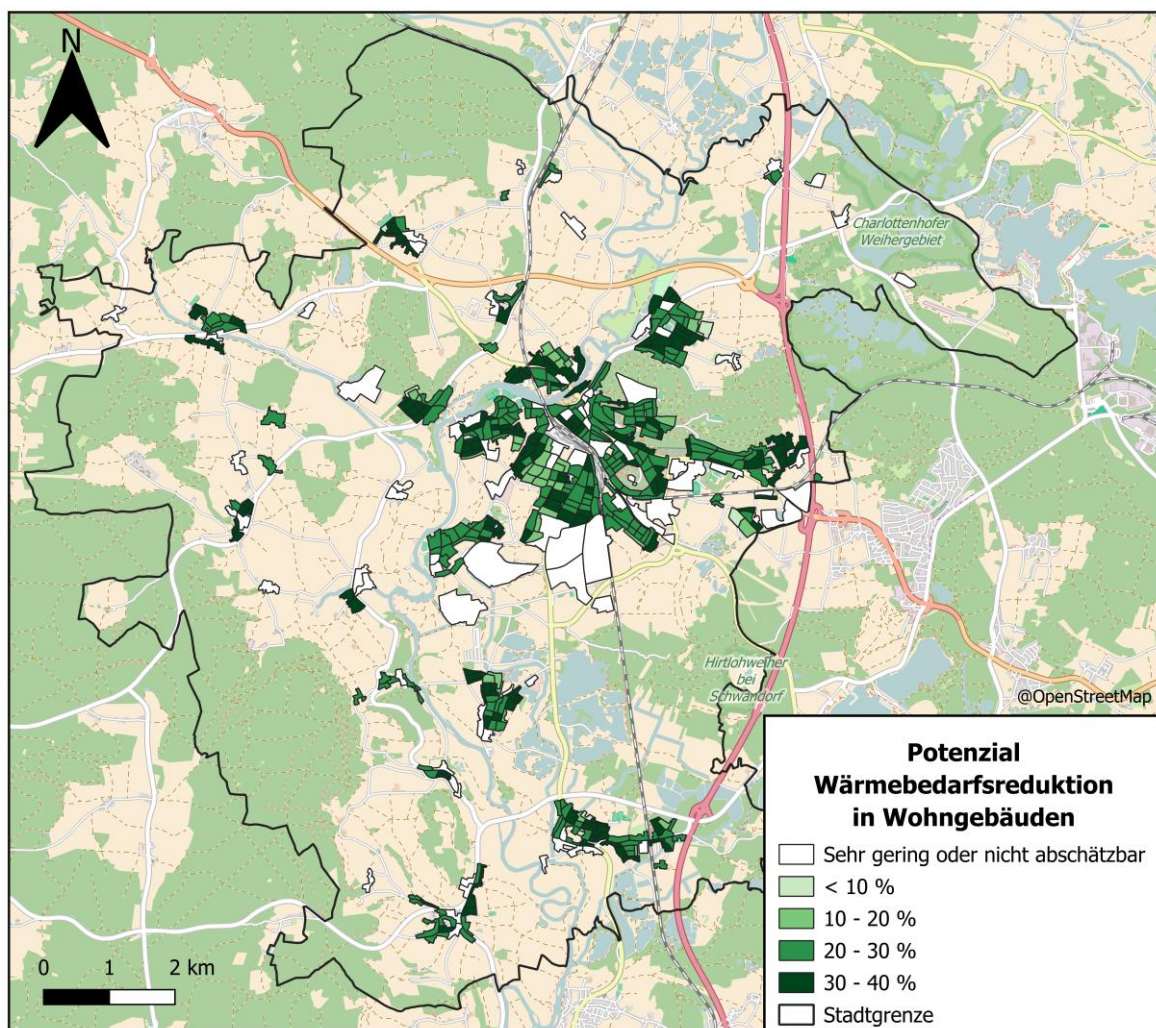


Abbildung 3: Energieeinsparpotenzial durch Sanierung berechnet mittels Technikkatalog des Bundes [3]

Abbildung 4 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 [4] 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.

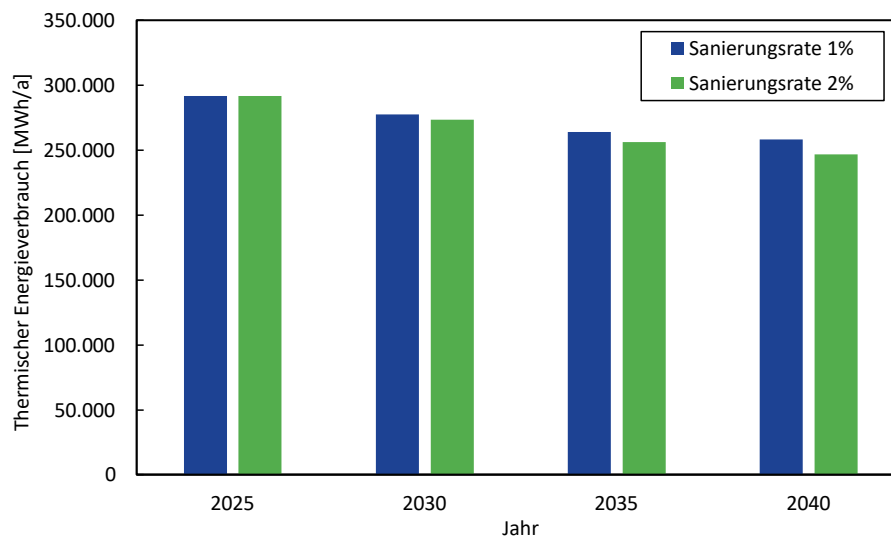


Abbildung 4: Potenzial zur Energieeinsparung durch Wärmebedarfsreduktion Wohnen & Kleinverbraucher

Für die Energieeinsparung der Raumwärme der Industrie wird pauschal nach Energieeffizienzrichtlinie von einer Einsparung von 1,5 % pro Jahr ausgegangen [5]. 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 [6]. 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 2: 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 Einrichtungen	12.400	11.600	10.800
Gesamt	316.600	296.300	284.000

2.3.2. 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 3 der Prozesswärmebedarf bis 2040 aufgezeigt. Die tatsächliche Einsparung an Prozesswärmebedarf bis 2040 ist von vielen Faktoren abhängig und kann nur schwer vorhergesagt werden.

Tabelle 3: 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 Prozessdampfahnehmer 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.

2.3.3. 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 5 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 6 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 4 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 4: 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

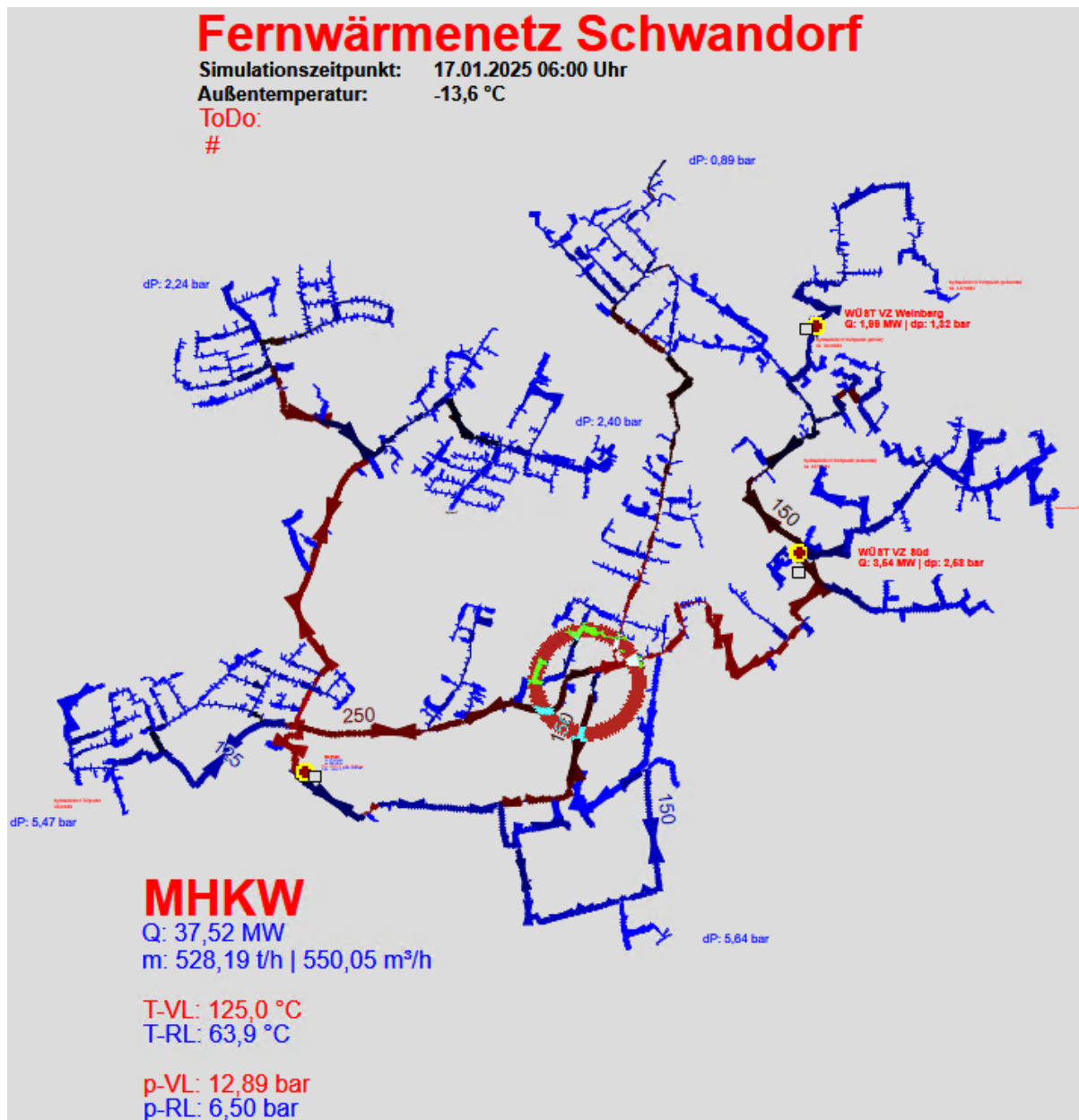


Abbildung 5: Simulationsergebnis des Fernwärmenetzes inklusive des bis 2026 geplanten Ausbaus

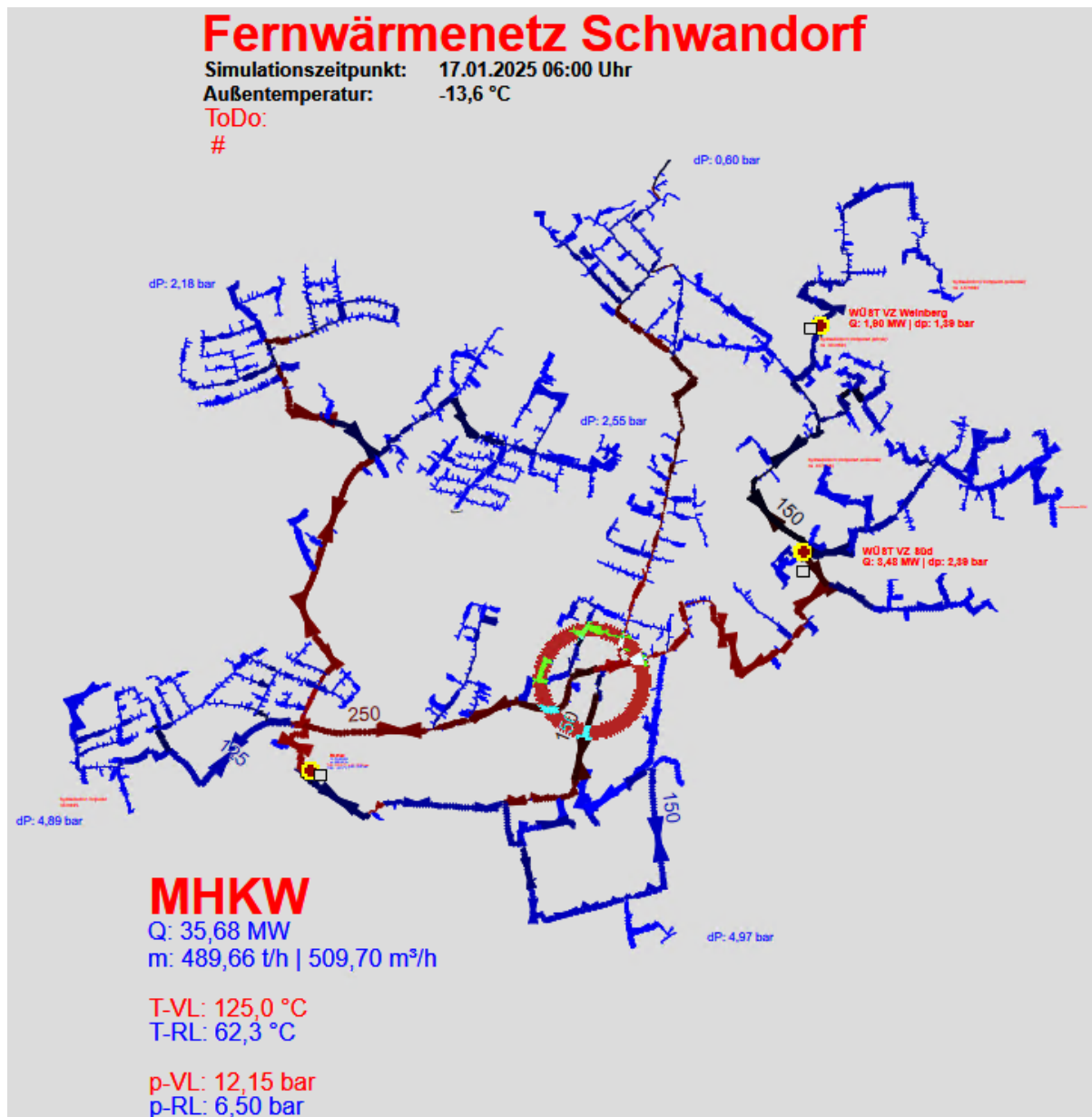


Abbildung 6: Simulationsergebnis des Fernwärmenetzes inklusive des bis 2026 geplanten Ausbaus für das Jahr 2040 unter Berücksichtigung einer Sanierungsquote von 2 %

2.4. 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.

2.4.1. 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 2.4.2 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) [7] 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 Jahressgänge der Wassertemperatur und des Volumenstroms sind in Abbildung 7 und Abbildung 8 abgebildet.

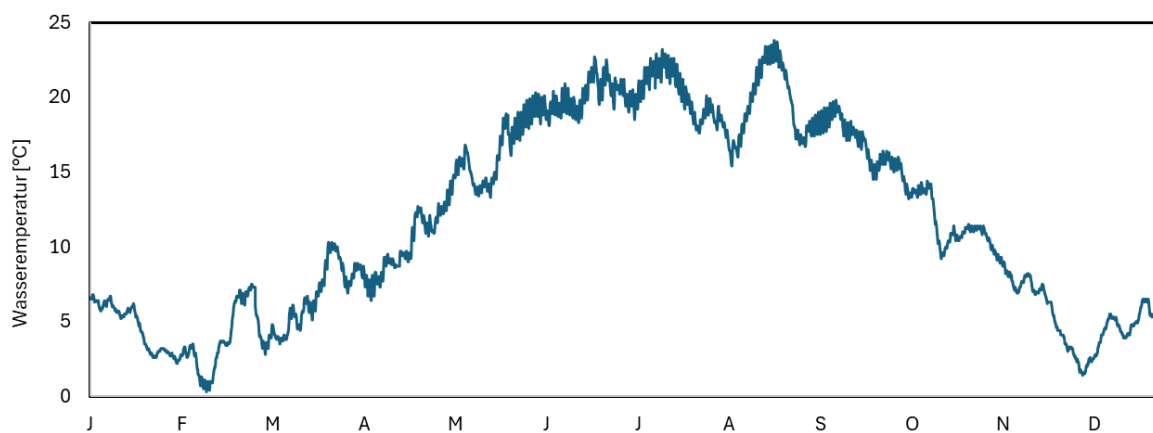


Abbildung 7: Wassertemperatur an der Messstelle in Heitzenhofen im Jahr 2023

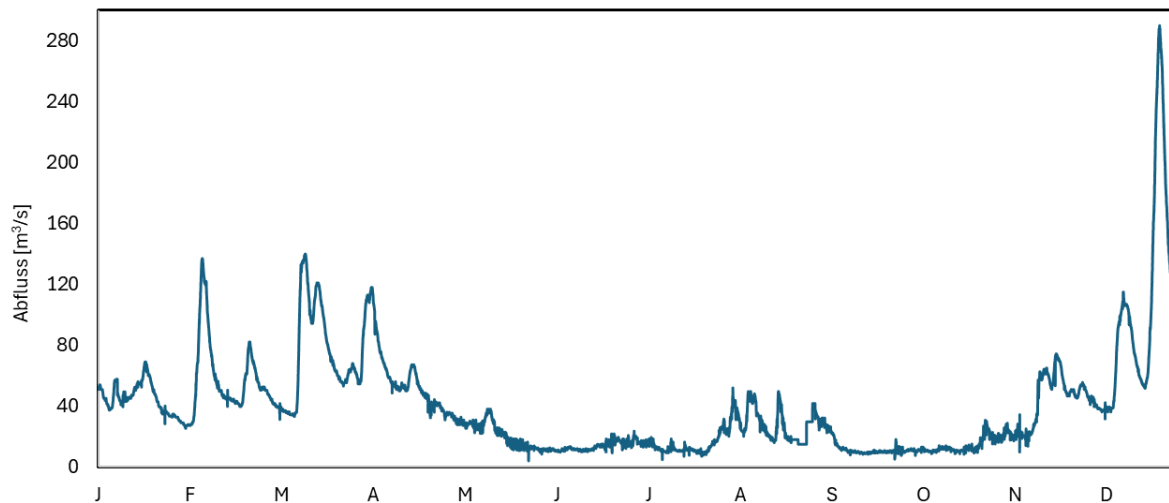


Abbildung 8: Fluss-Volumenstrom an der Messstelle in Münchshofen im Jahr 2023

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 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 9 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.

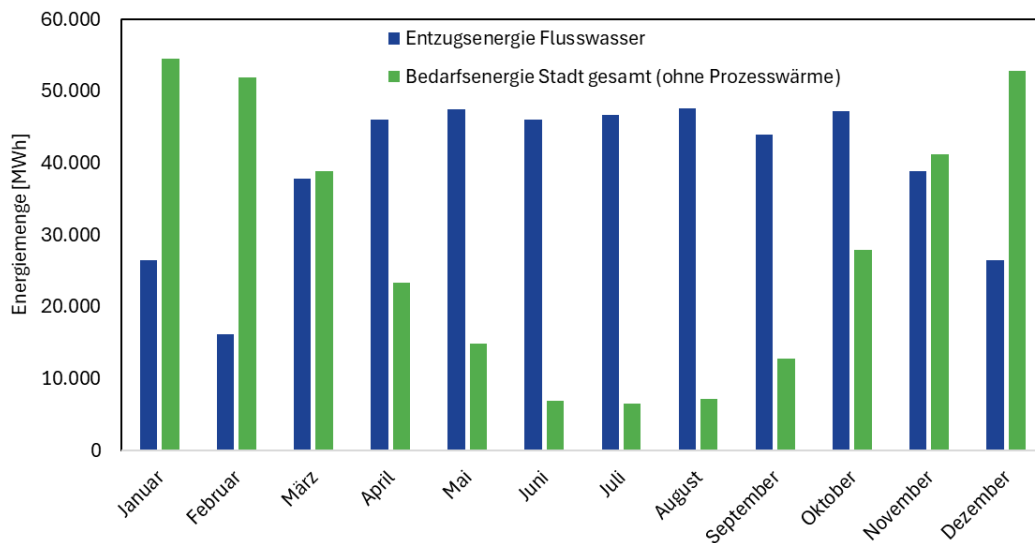
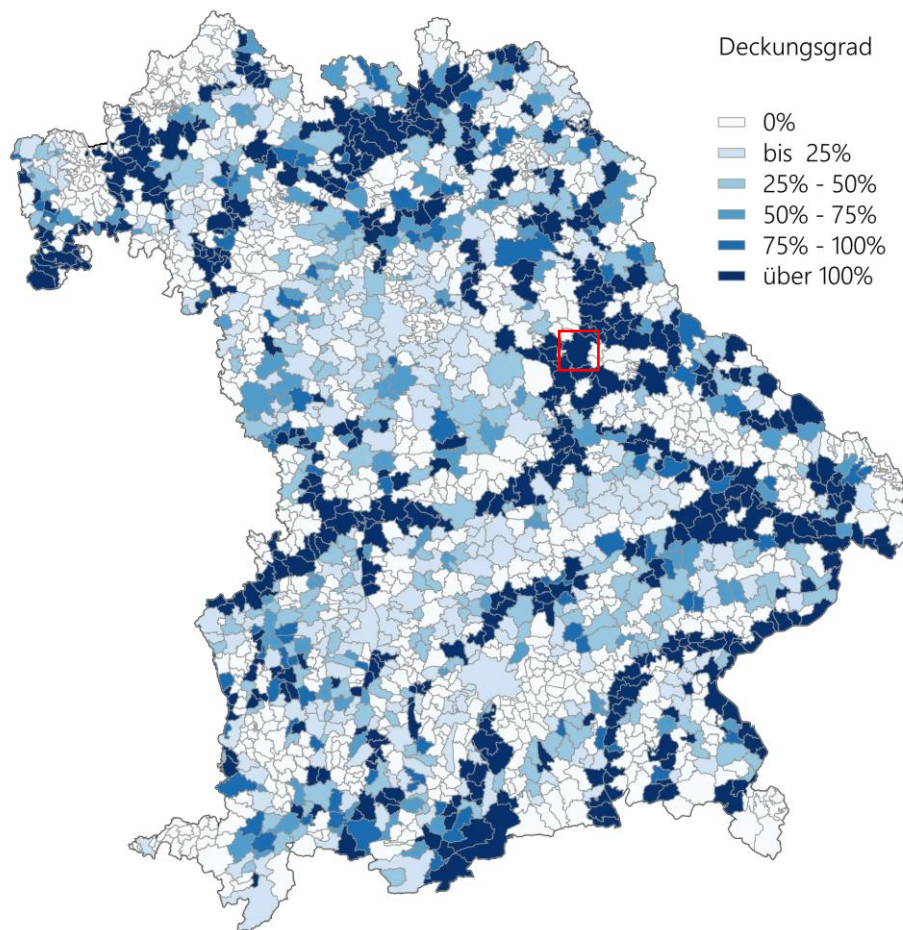


Abbildung 9: Monatliche Entnahmemengen aus der Naab mit dem Gesamtbedarf der Stadt für Raumwärme und Warmwasser gegenübergestellt

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 [8], in welcher das theoretische Potenzial durch Wärmepumpen nutzbarer Wärme aus Fließgewässern untersucht wurde. In Abbildung 10 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 10: Deckungsgrad je Gemeinde für Januar bei einer Abkühlung von 2K [8]

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 11 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.

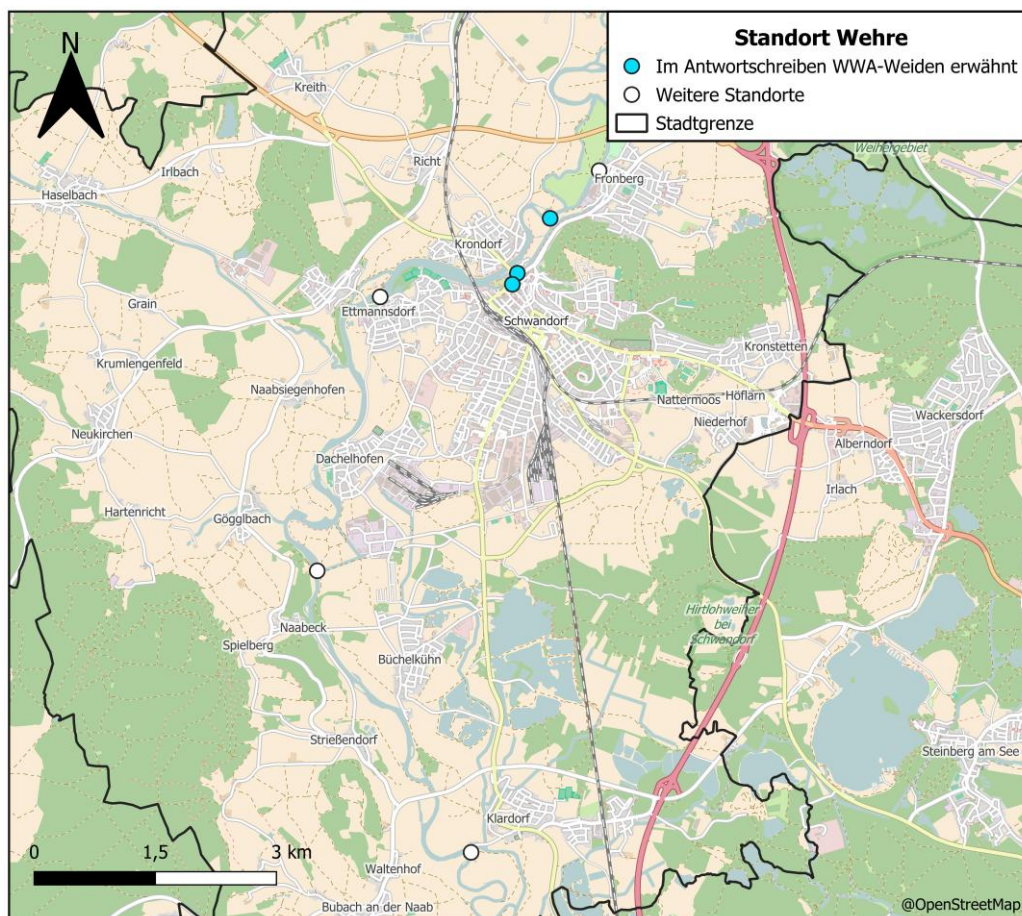


Abbildung 11: Standorte von Flusswehren

Außenluft:

Außenluft stellt für dezentrale als auch zentrale Wärmeversorgungslösungen 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 12 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.

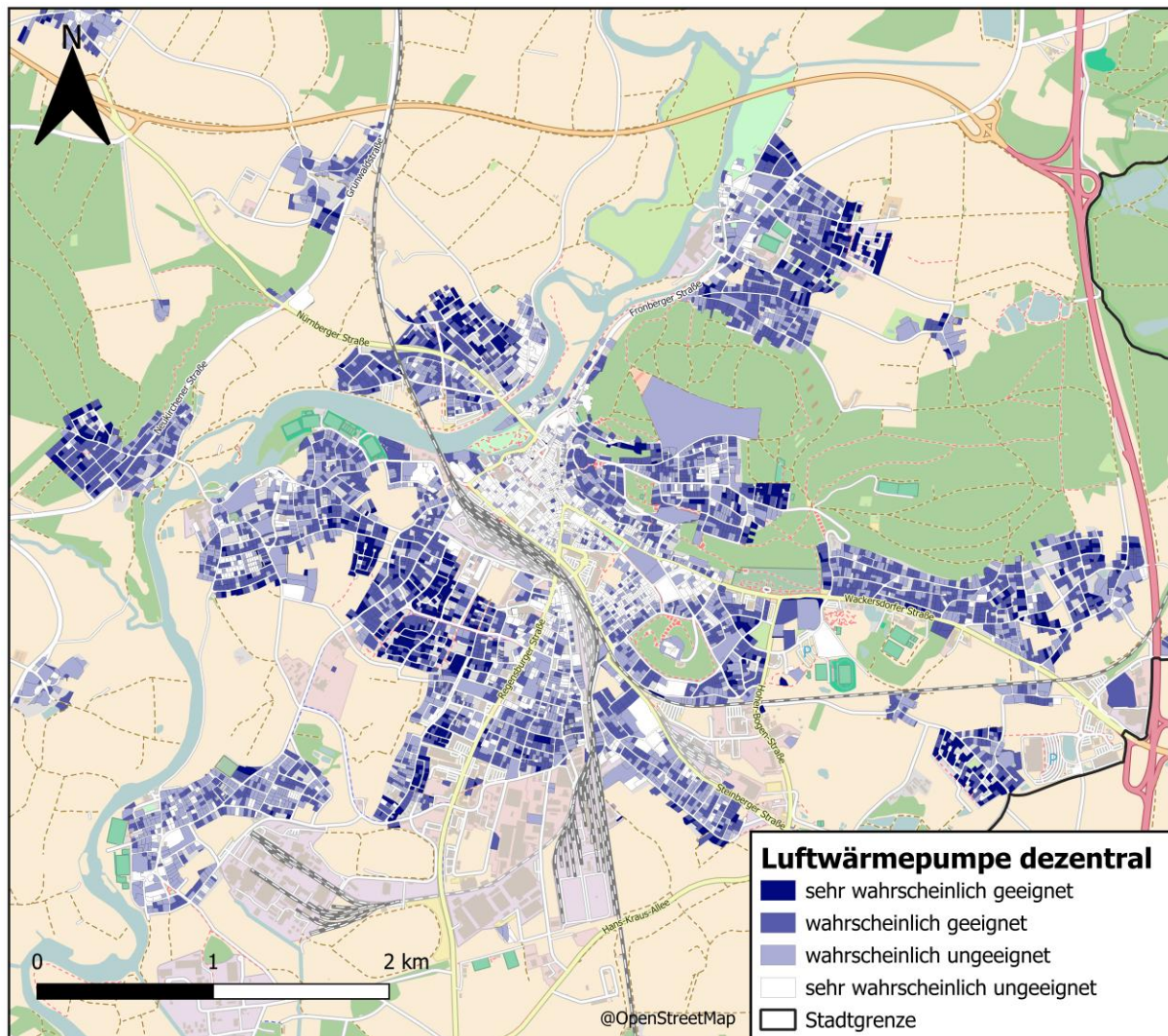


Abbildung 12: Potenzialanalyse Luftwärmepumpen für Wohngebäude und Kleinverbraucher

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 Warmegewinnung 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 [9].

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 5 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 12 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 5: Potenzial Umweltwärme

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

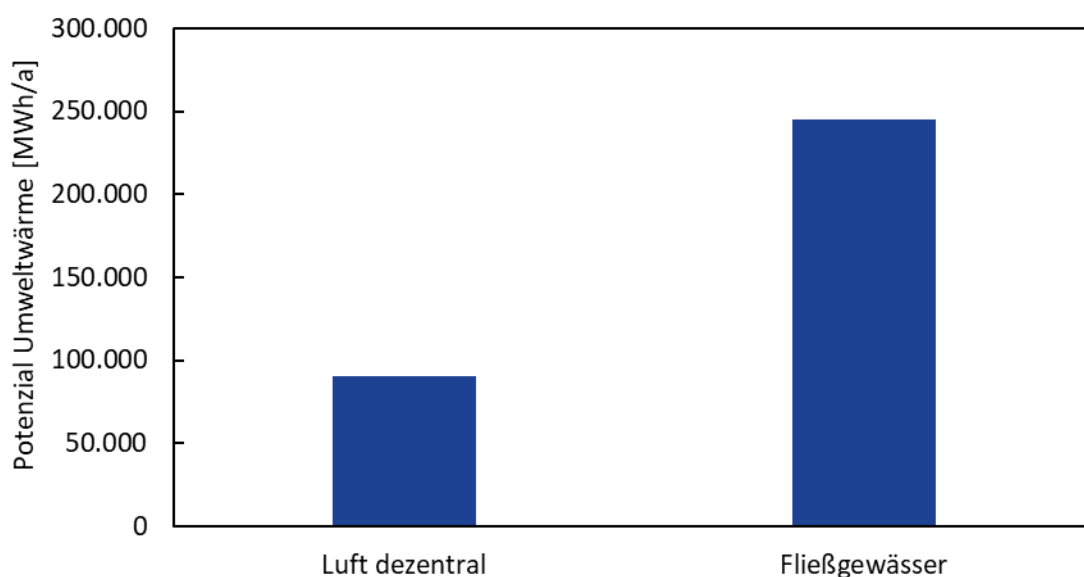


Abbildung 13: Potenzial Umweltwärme

2.4.2. 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 1) und Bodendenkmäler (siehe Abbildung 2) sind von der Verwendung mit Geothermie grundsätzlich ausgeschlossen. Für Gebiete mit Karstgesteinen (siehe Abbildung 14) 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 Bodenwöhrer 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 14 eingezeichneten existierenden Anlagen.

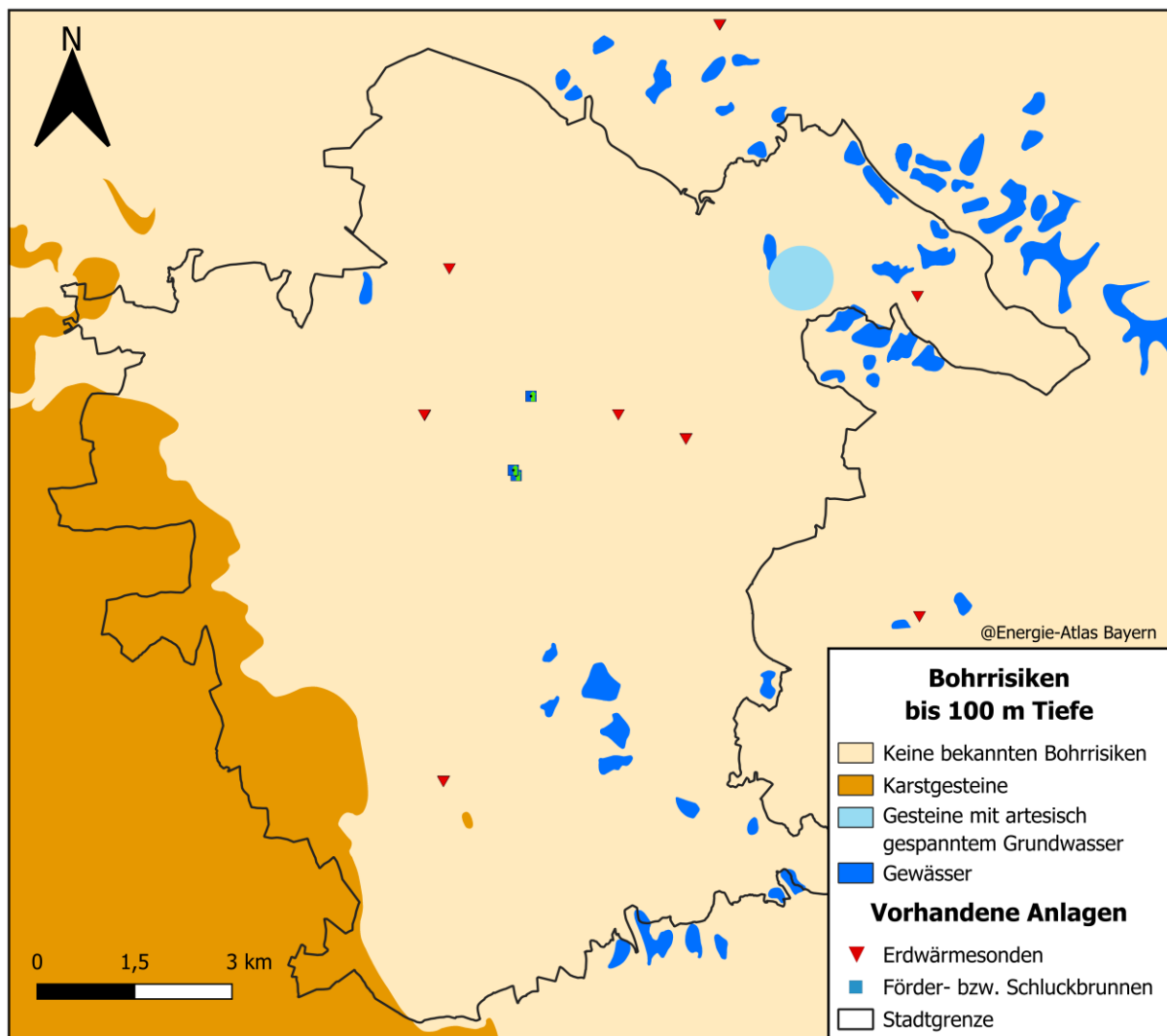


Abbildung 14: Bohrrisiken bis 100 m Tiefe sowie existierende Anlagen

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 15, Abbildung 16 und Abbildung 17 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.

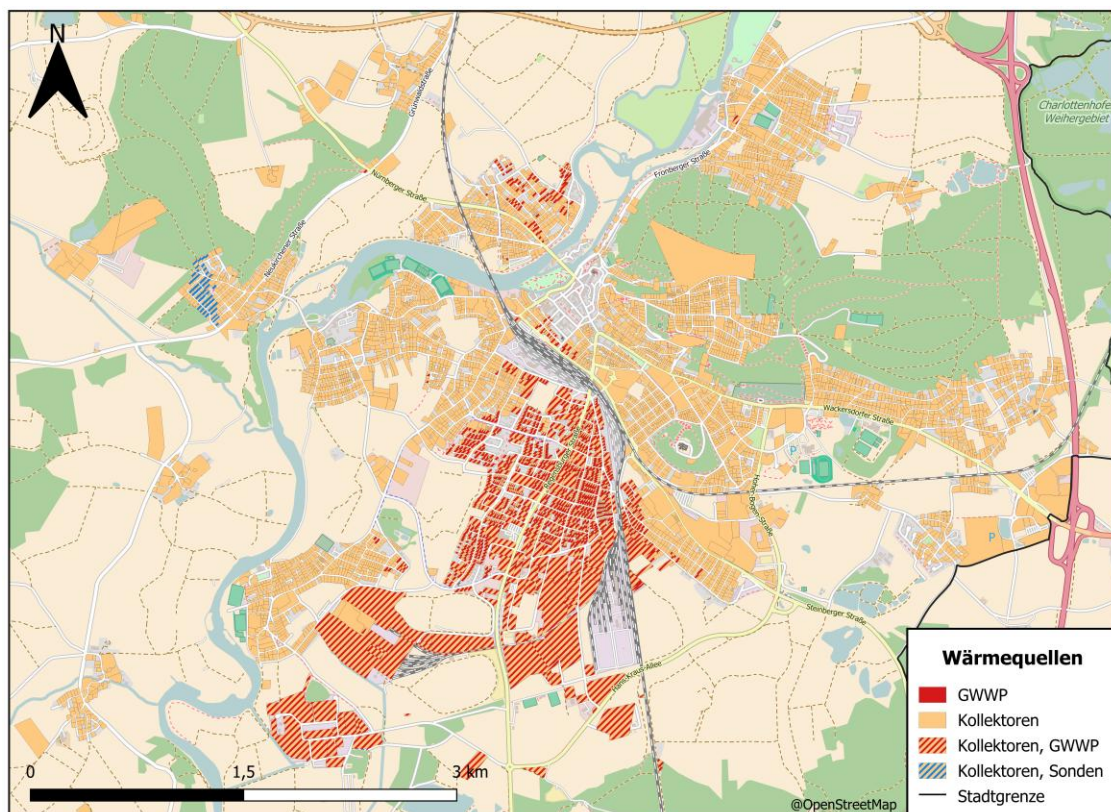


Abbildung 15: Wärmequellen bebautes Gebiet (Kernstadt von Schwandorf)

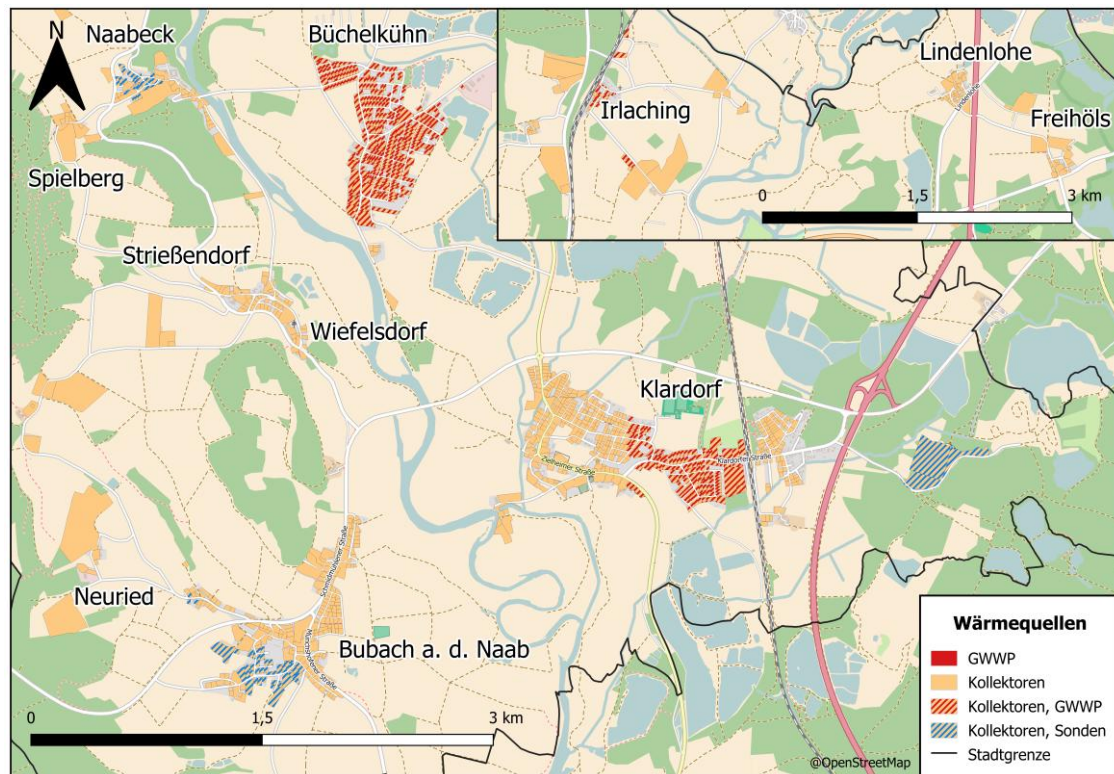


Abbildung 16: Wärmequellen bebautes Gebiet (Norden und Süden von Schwandorf)

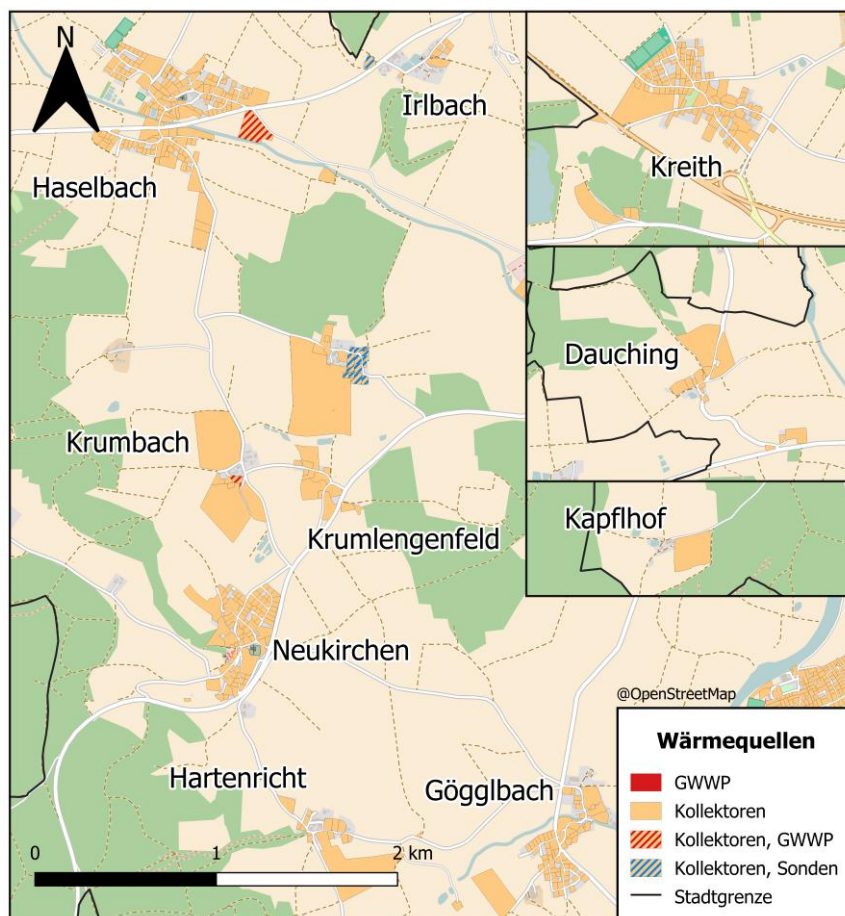


Abbildung 17: Wärmequellen bebautes Gebiet (Nordwesten von Schwandorf)

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 Bedarfen abzugleichen sind in Abbildung 18, Abbildung 19 und Abbildung 20 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 Grundstücks-spezifischen Einschränkungen berücksichtigt wurden. Für die konkrete Umsetzung eines solchen Vorhabens sollte daher stets eine Energieberatung hinzugezogen werden.

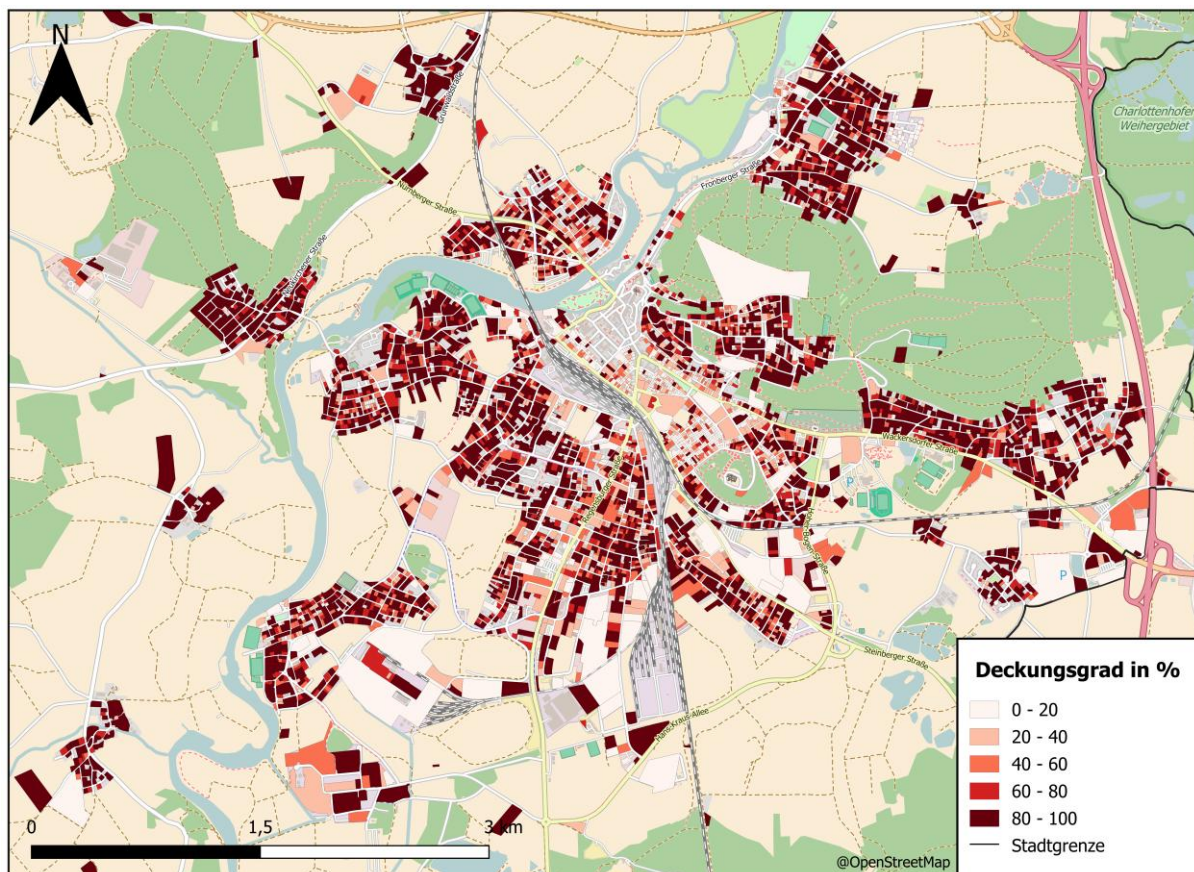


Abbildung 18: Deckungsgrad Geothermie auf bebautem Gebiet (Kernstadt von Schwandorf)

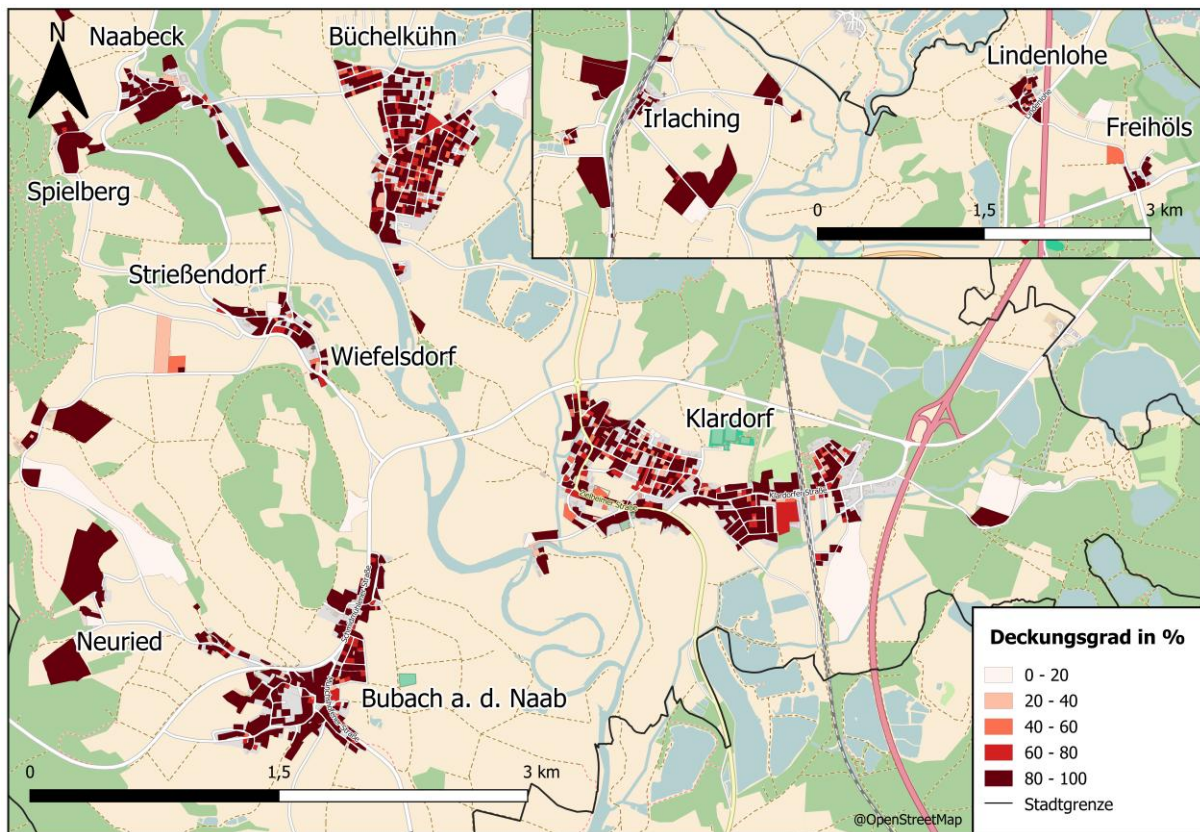


Abbildung 19: Deckungsgrad Geothermie auf bebautem Gebiet (Norden und Süden von Schwandorf)

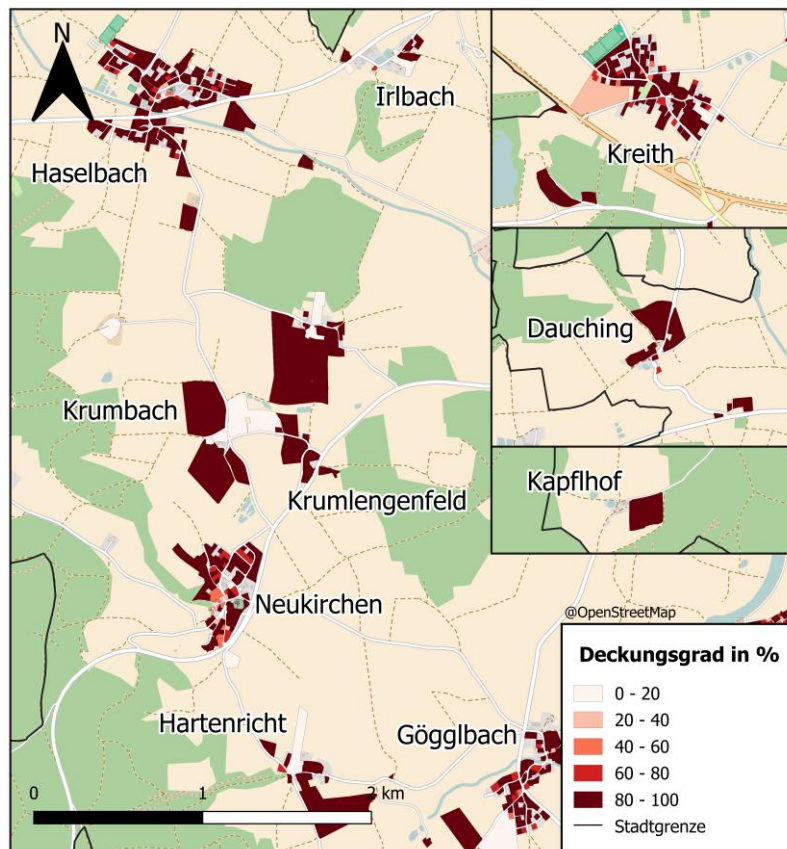


Abbildung 20: Deckungsgrad Geothermie auf bebautem Gebiet (Nordwesten von Schwandorf)

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 21 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.

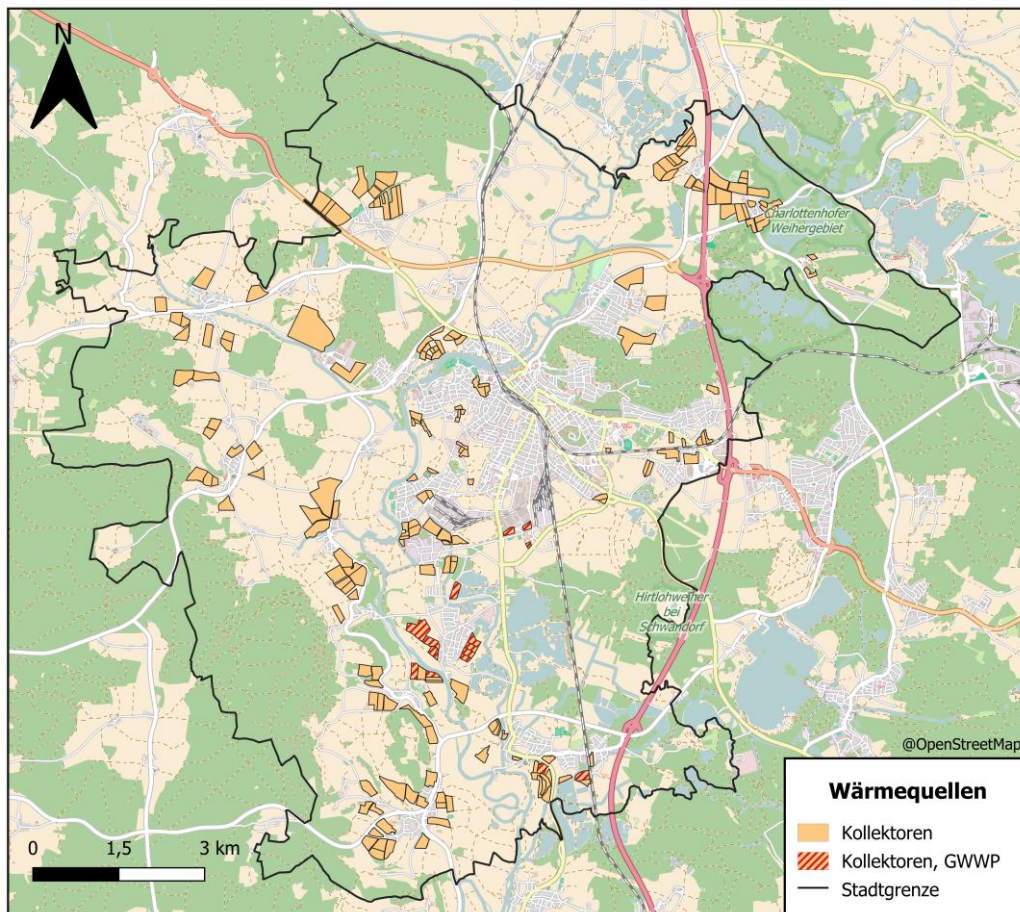


Abbildung 21: Potenzielle Geothermie Freiflächen

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 21) 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 22 und Tabelle 6 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/s) 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 6: 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

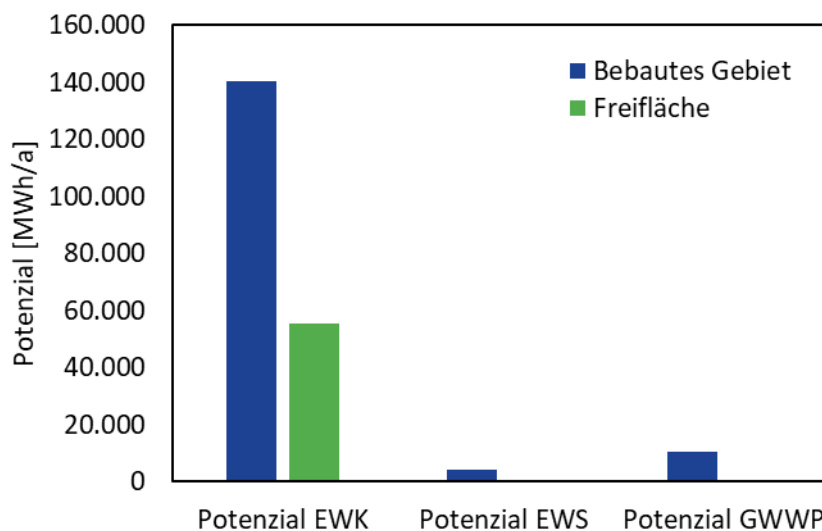


Abbildung 22: Potenzial oberflächennaher Geothermie

2.4.3. 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 23 sind potenzielle Freiflächen für Solarthermie im Stadtgebiet dargestellt. Diese werden anhand der als PV-Freiflächen geeignet eingestuften Flächen aus dem Energie-Atlas Bayern [10] 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 [11]. 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.

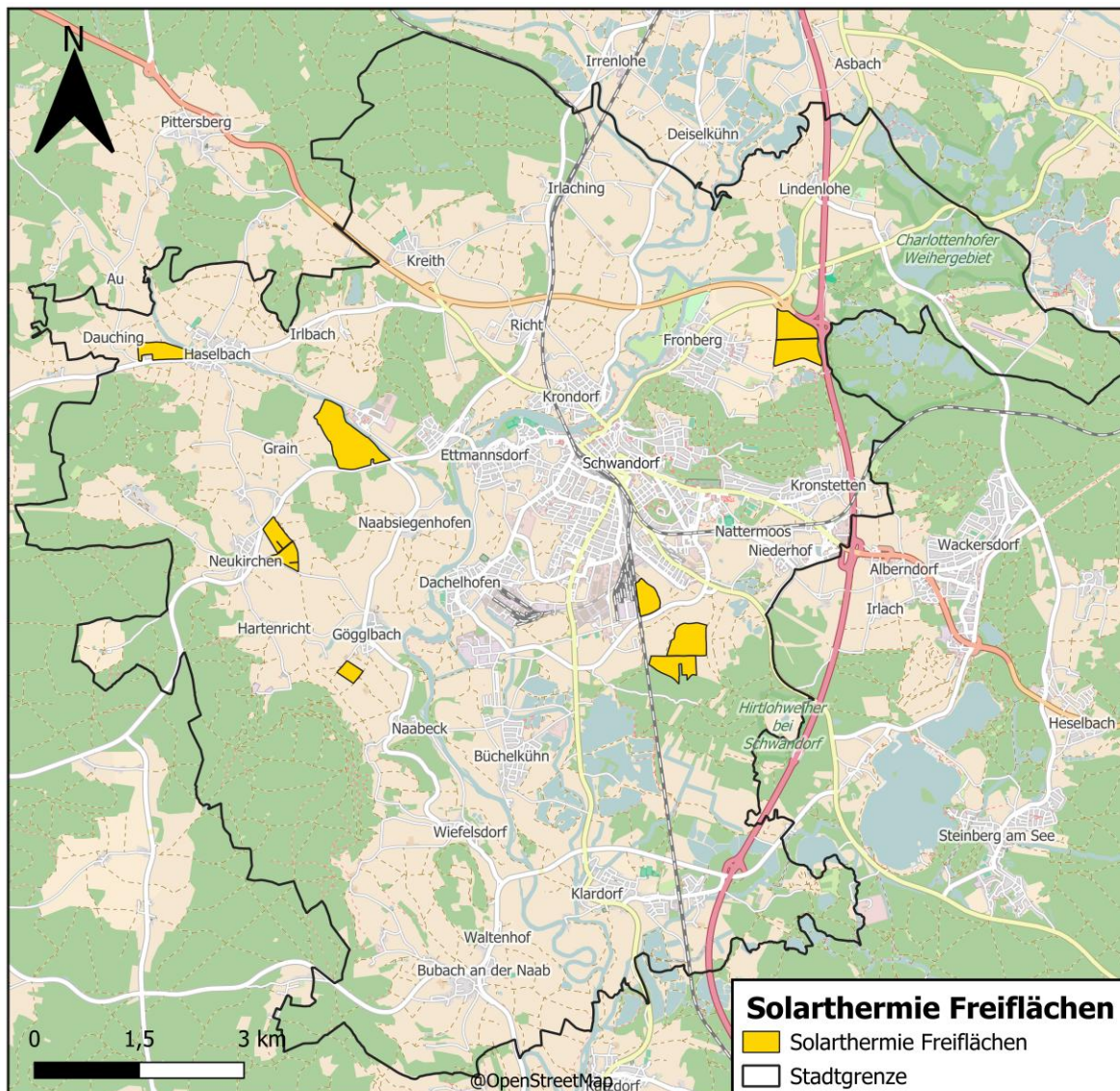


Abbildung 23: Potenzielle Solarthermie-Freiflächen in näherer Umgebung von bebauten Gebieten

Solarthermie-Dachflächen:

Das Potenzial der Solarthermie-Dachflächen wird mit Hilfe des Energie-Atlas Bayern berechnet [10], 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 7 listet die realistischen

Potenziale für Solarthermie auf. In Abbildung 24 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 7: Potenzial Solarthermie Freiflächen und Dachflächen

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

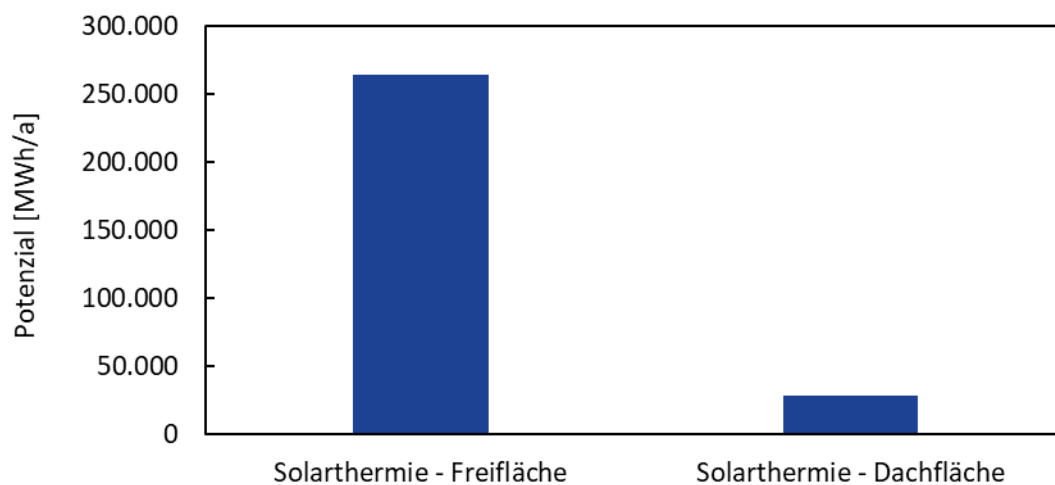


Abbildung 24: Potenzial Solarthermie Freiflächen und Dachflächen

2.4.4. 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 [10]. 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 Biogasanlagen 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 [12]. 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 [1]. Abbildung 25 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 [13]. Die entspricht ca. 38 km² an Fläche und ist ebenfalls in Abbildung 25 zu sehen.

Laut Literatur werden durchschnittlich 12,33 % der landwirtschaftlichen Fläche in der Oberpfalz für die Biogaserzeugung verwendet [14]. 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.

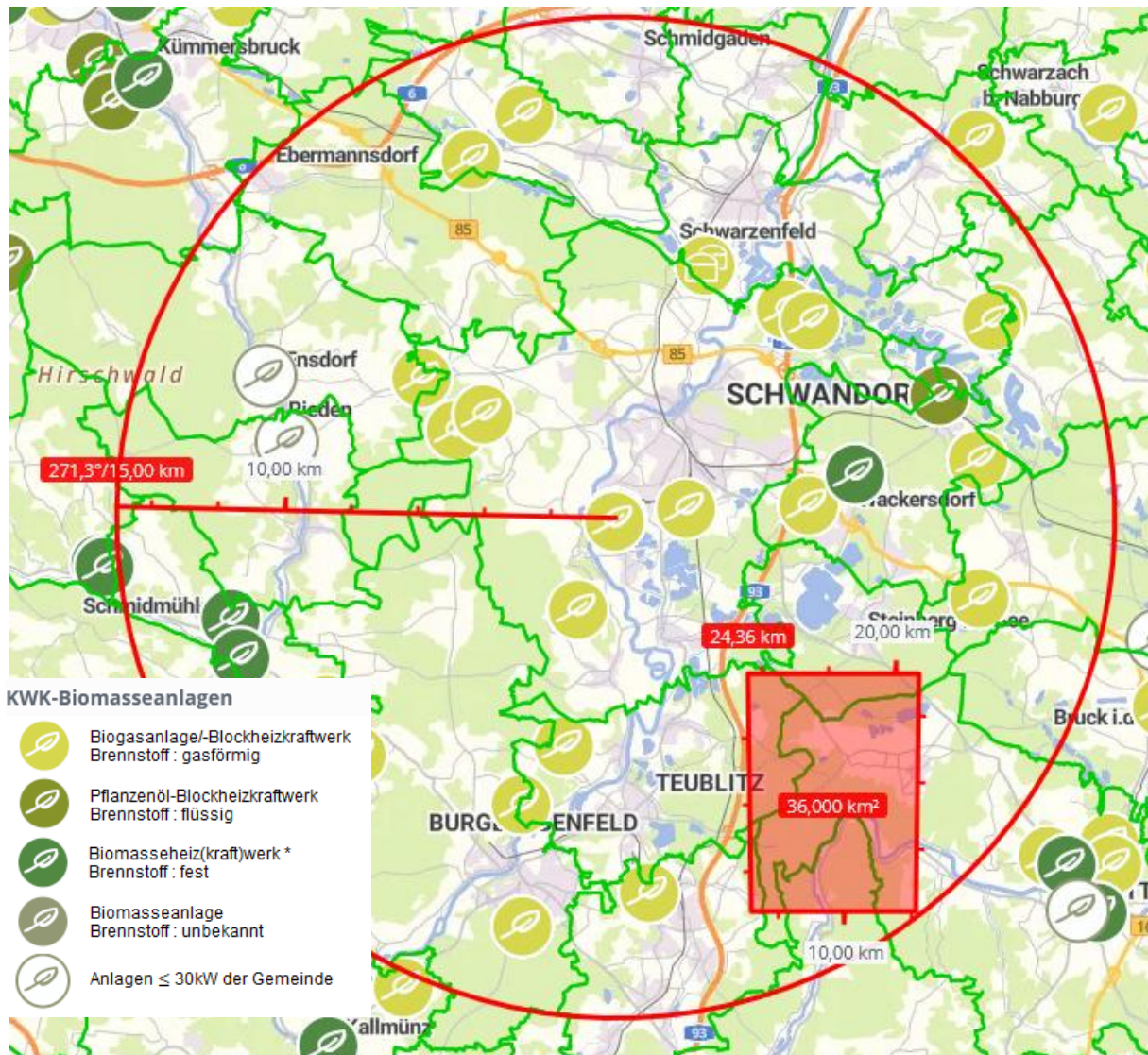


Abbildung 25: Einzugsgebiet Biomethanerzeugung (15 km Radius) mit Gemeindegrenzen

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 8 listet die Ergebnisse der Potenzialanalyse für den Energieträger Biogas auf.

Tabelle 8: 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. [15] [16] [17]

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 [18]. 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 [18]. 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 9 sind die Potenziale ohne Abzug des aktuellen Verbrauchs angegeben.

Tabelle 9: 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 [10]. Dies entspräche einer ungefähren Fläche von 25 ha [19]. 200 MWh/a entsprächen ca. 3,5 ha. Aktuell werden rund 1.950 ha in Schwandorf für den Anbau von Pflanzen zur Grünernte verwendet [1]. 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 [20]. Vergleicht man die THG-Emissionen der Massenerträge von KUP und Maissilage ist mit einem Faktor von 0,1 zu rechnen [19]. 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 26 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.

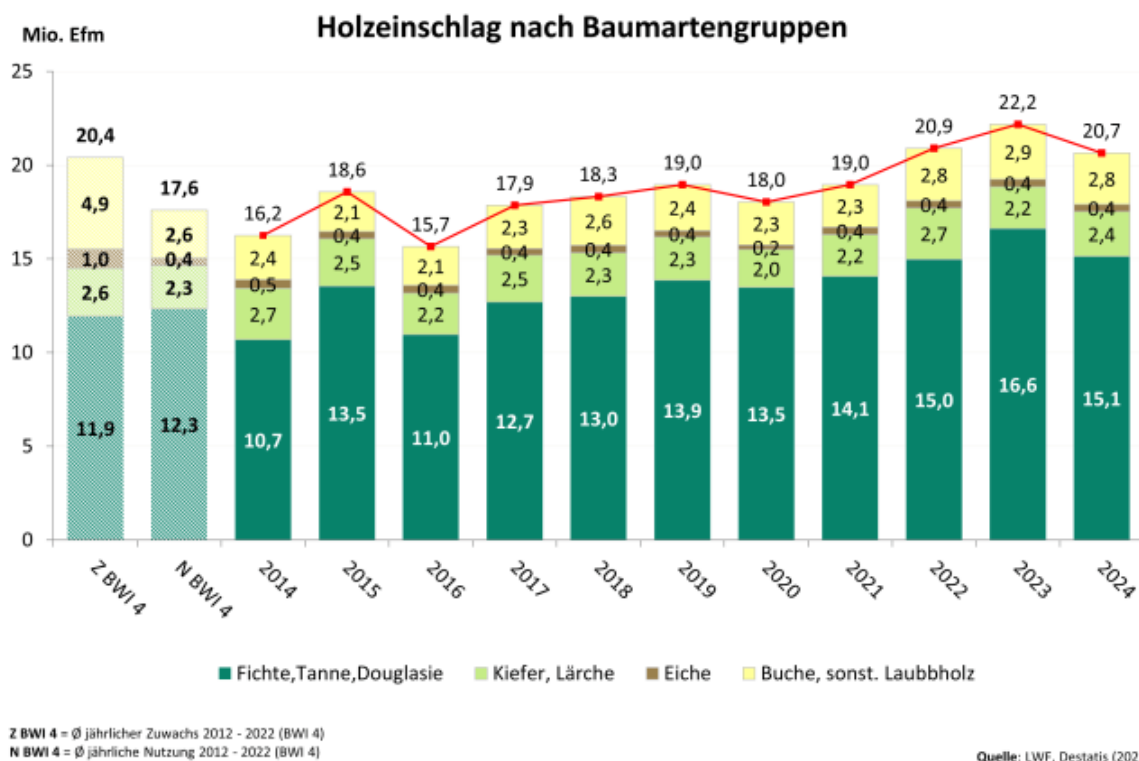


Abbildung 26: Holzeinschlag in Bayern [21]

Neben der Nachhaltigkeit ist ein weiterer wichtiger Faktor für eine wirtschaftliche Energieversorgung die Versorgungssicherheit der Energieträger. Abbildung 27 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.

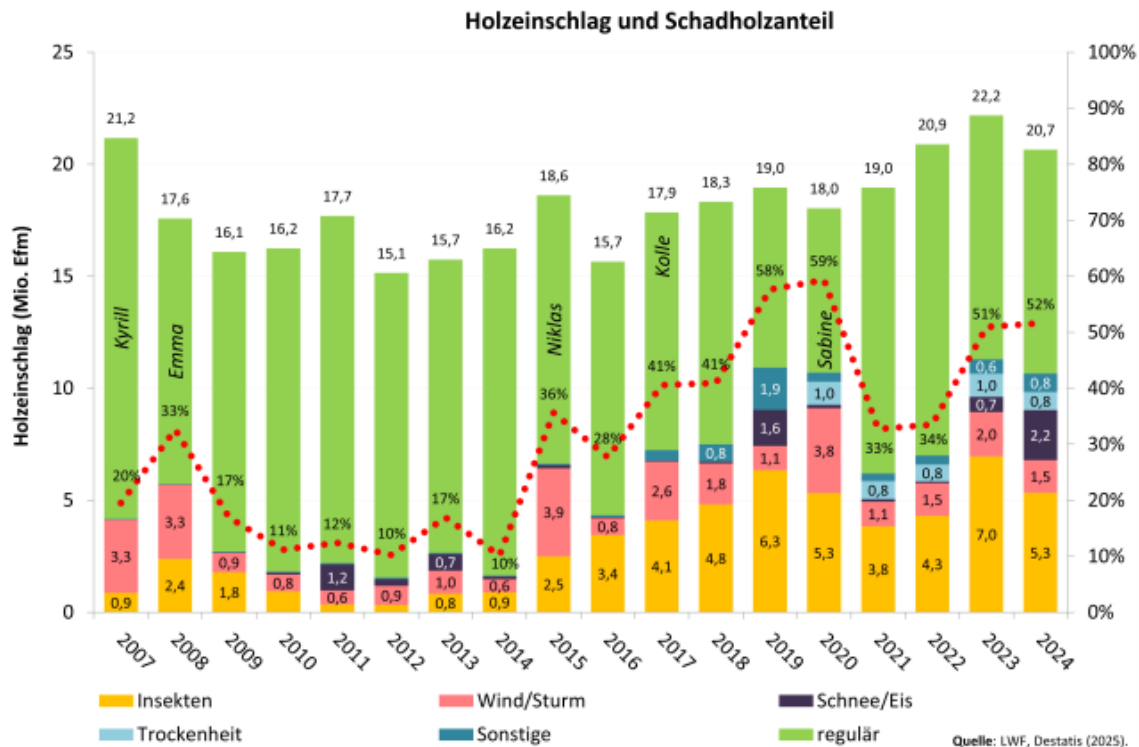


Abbildung 27: Holzeinschlag und Schadholzanteil [21]

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) [18] quantitativ eingeordnet. Umgerechnet (am Beispiel der Kiefer mit 18,383 MWh/a/ha Nachwuchs [22] [23]) 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 [24] entsprächen 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 28 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 Steuerungsgruppe 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 28 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. [25] Dies sind weitere Indizien, welche für eine Nutzung von Energieholz weit unter den ausgewiesenen Potenzialen für die Wärmeversorgung in der Stadt Schwandorf sprechen.

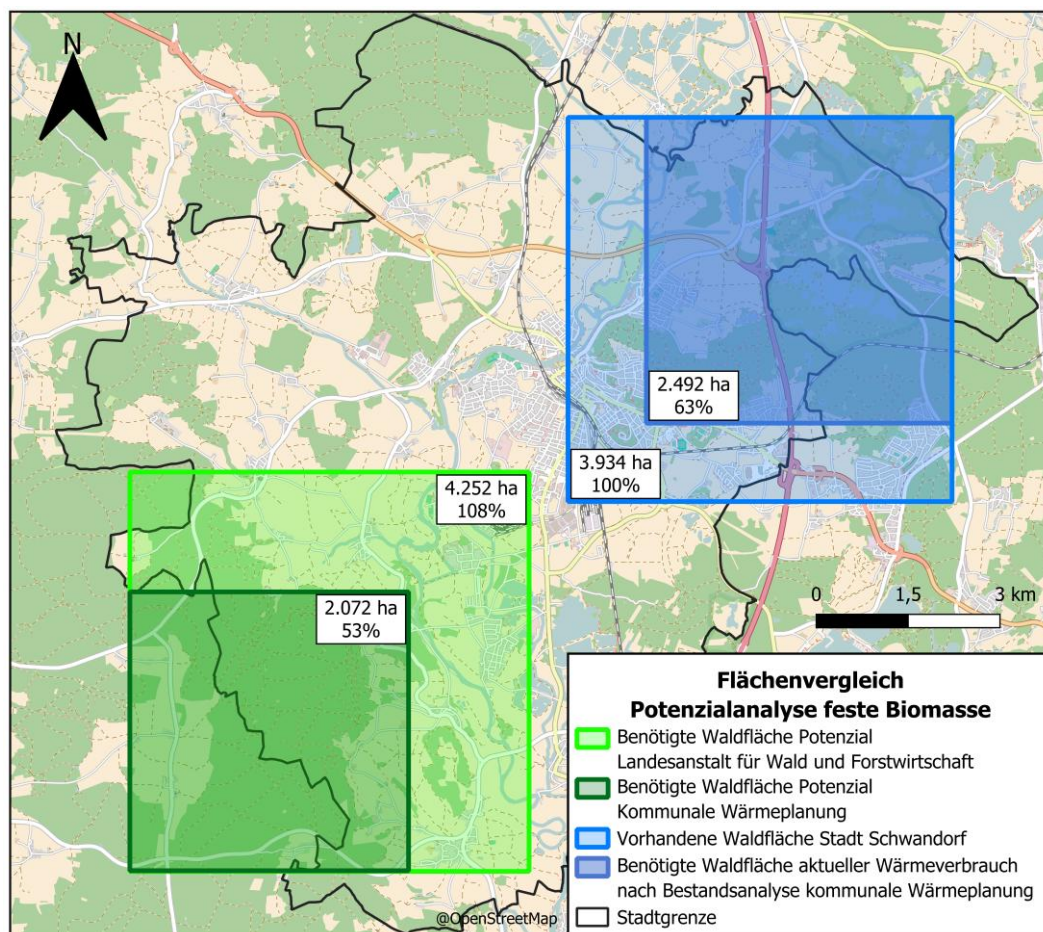


Abbildung 28: Benötigte Waldflächen für ausgewiesene Potenziale [18] und Verbräuche (anhand der Kiefer). So wie prozentualer Anteil der Fläche an der bestehenden Waldfläche Schwandorfs.

Tabelle 10 listet das noch verfügbare Potenzial von Biogas und Energieholz, abzüglich des aktuell bereits genutzten Energieholzes, für die Stadt auf. Abbildung 29 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 10: Potenzial Biomasse (Biogas und feste Biomasse)

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

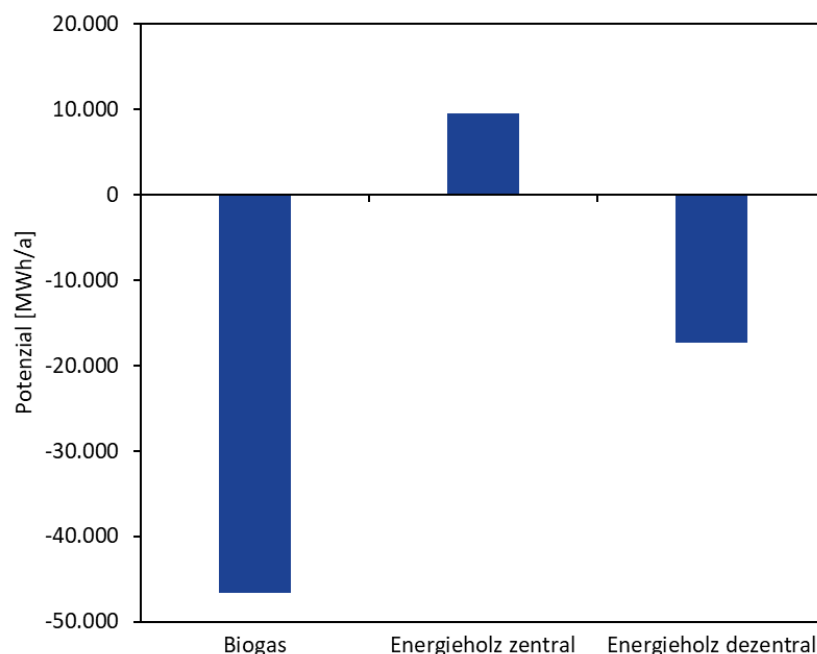


Abbildung 29: Potenzial aus Biomasse. Aufgeteilt in Biogas und Energieholz

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 gestiegener 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 [26] und einem Wirkungsgrad der Anlage von 80 % könnten durch die Monoverbrennung des anfallenden Klärschlammes knapp 21.900 GWh Energie zurückgewonnen werden. Tabelle 11 listet dieses Potenzial auf.

Tabelle 11: 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 Biogasertrag 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 [20]. 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 12 aufgezeigt. Das Potenzial bezogen auf den Landkreis Schwandorf entspricht 9.800 MWh/a.

Tabelle 12: Potenzial Biogas aus Bioabfall Stadt Schwandorf

System	Potenzial [MWh/a]
Biogas aus Bioabfall	2.000

2.4.5. 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 13 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 30 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.

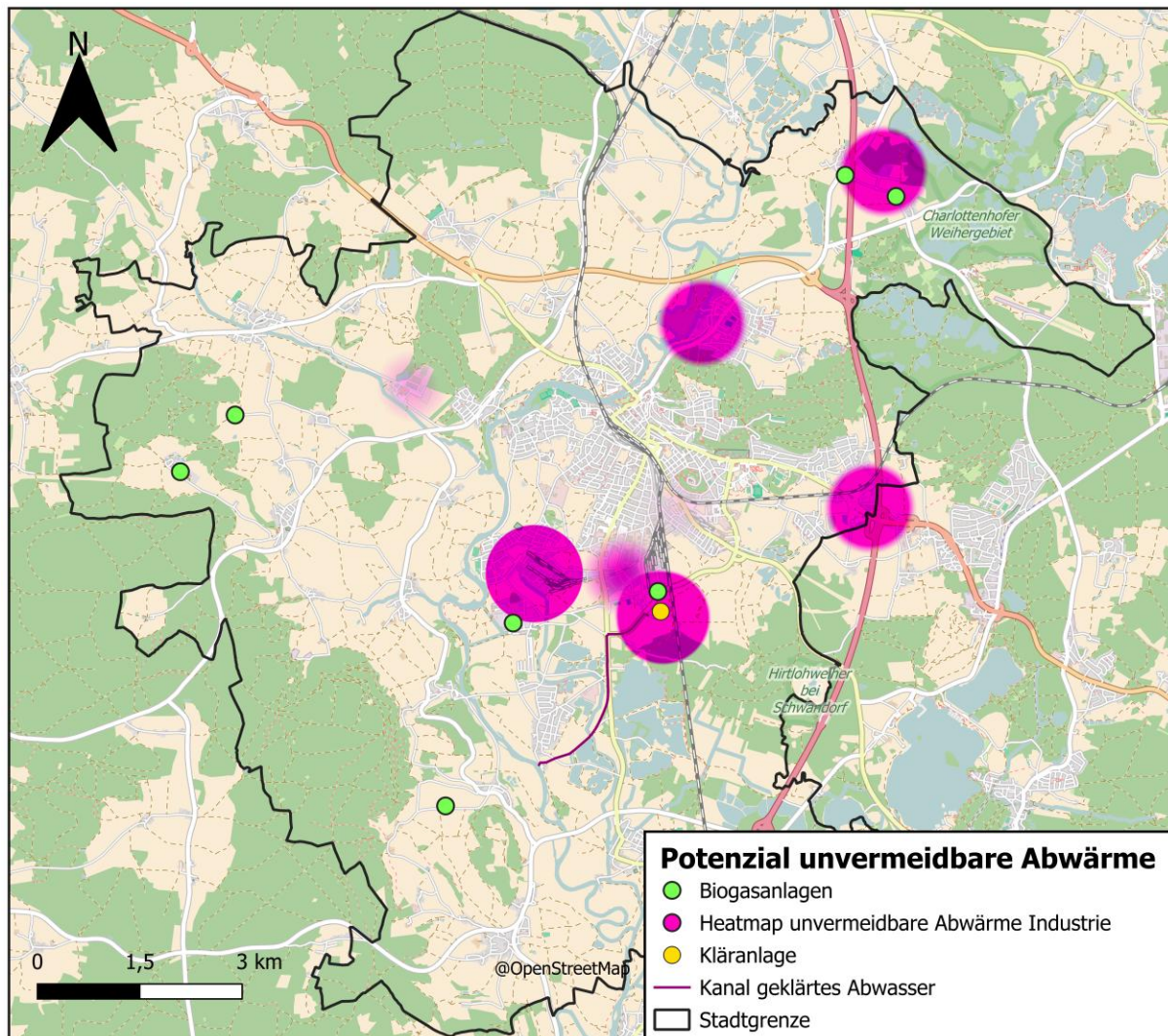


Abbildung 30: Darstellung der Abwärmepotenziale

Tabelle 13 und Abbildung 31 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 13: 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

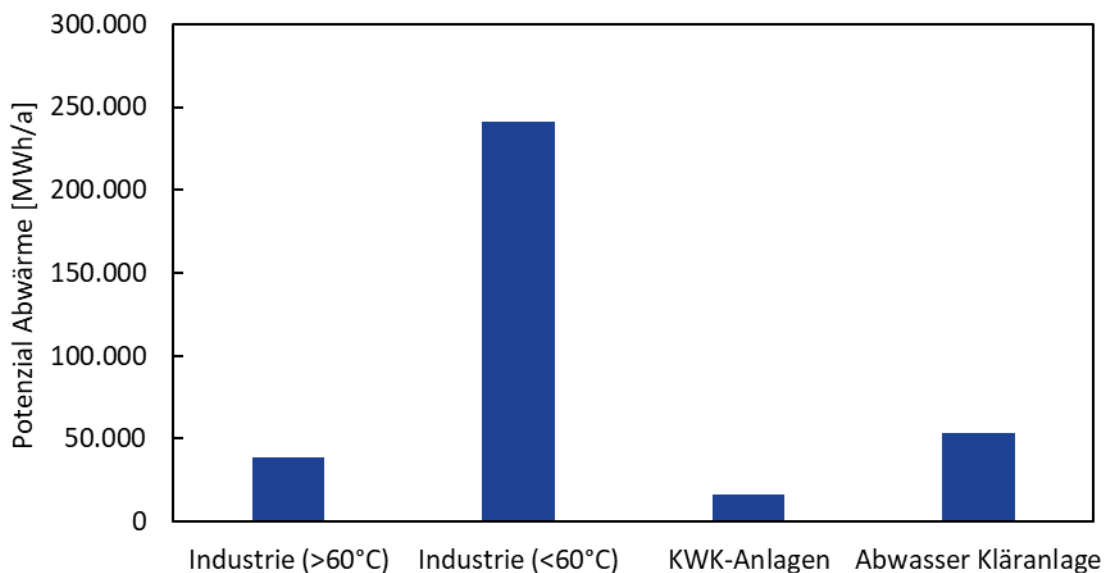


Abbildung 31: Potenzialanalyse Abwärme

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 [27]. Ähnliche Untersuchungen des Umweltbundesamtes kommen auf annähernd gleiche Werte (32 Mio. t im Jahr 2030 an anfallender Abfallmenge) [28]. Gleichzeitig sinkt die verfügbare Kapazität durch den Kohleausstieg und den Rückbau von Mitverbrennung von heute 36,8 auf 34,2 Mio. t. [27] [29] [30] 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. [27] [31] 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. [32] [33] [34] [35] [36]

2.4.6. 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 32 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.

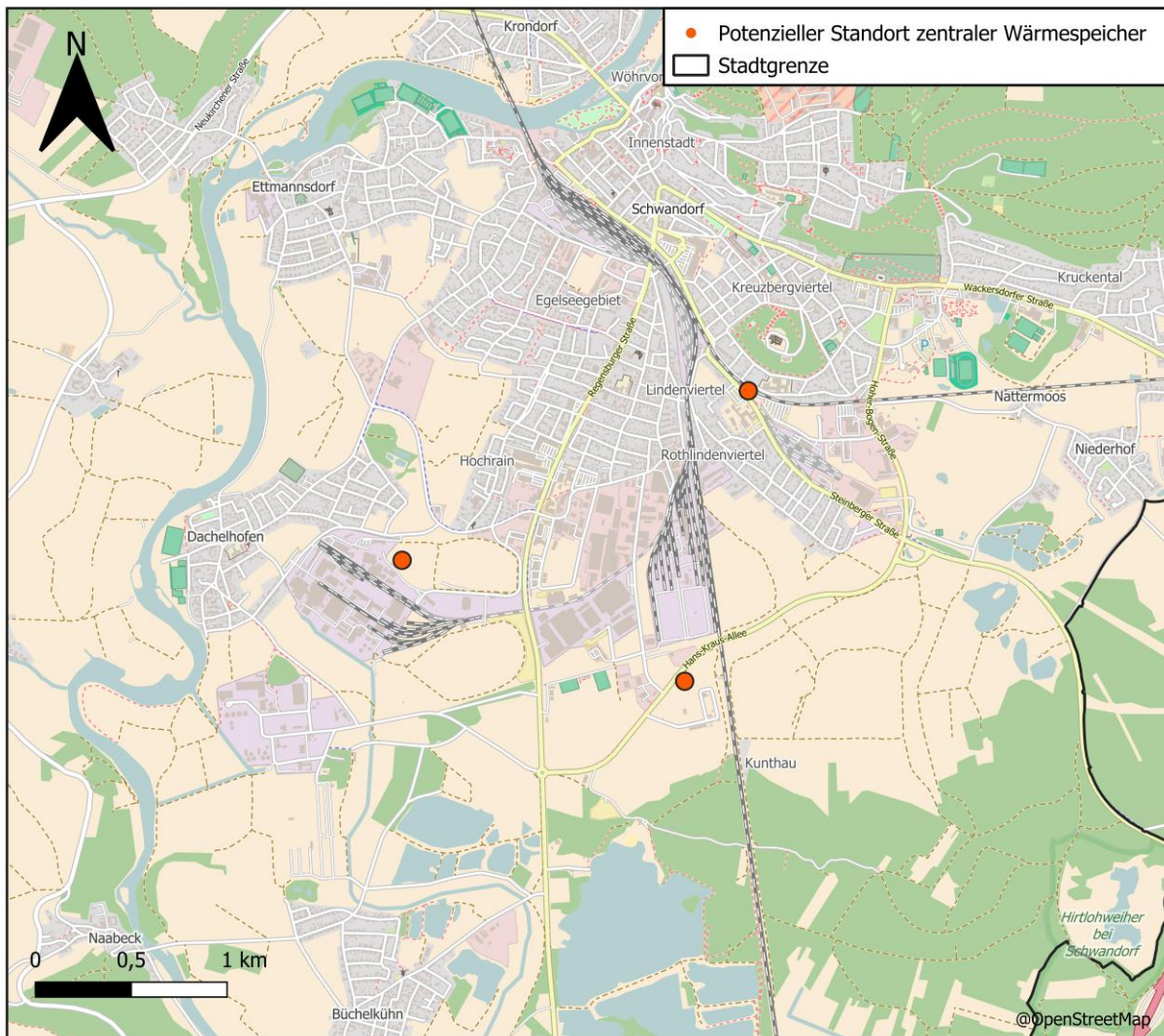


Abbildung 32: Potenzielle Standorte zentraler Wärmespeicherung

2.4.7. 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 Fernleitungsbetreiber Gas e. V. [37] zum Aufbau eines bundesweiten Wasserstoff-Kernnetzes soll eine entsprechende Trasse bis zum Jahr 2032 durch das Stadtgebiet führen (vgl. Kapitel 2.6). 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-Ergie 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 33 zeigt die Temperatur in 250 m unter Normalhöhennull. Schwandorf befindet sich in einer Zone ohne Temperaturessage. 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. [38]

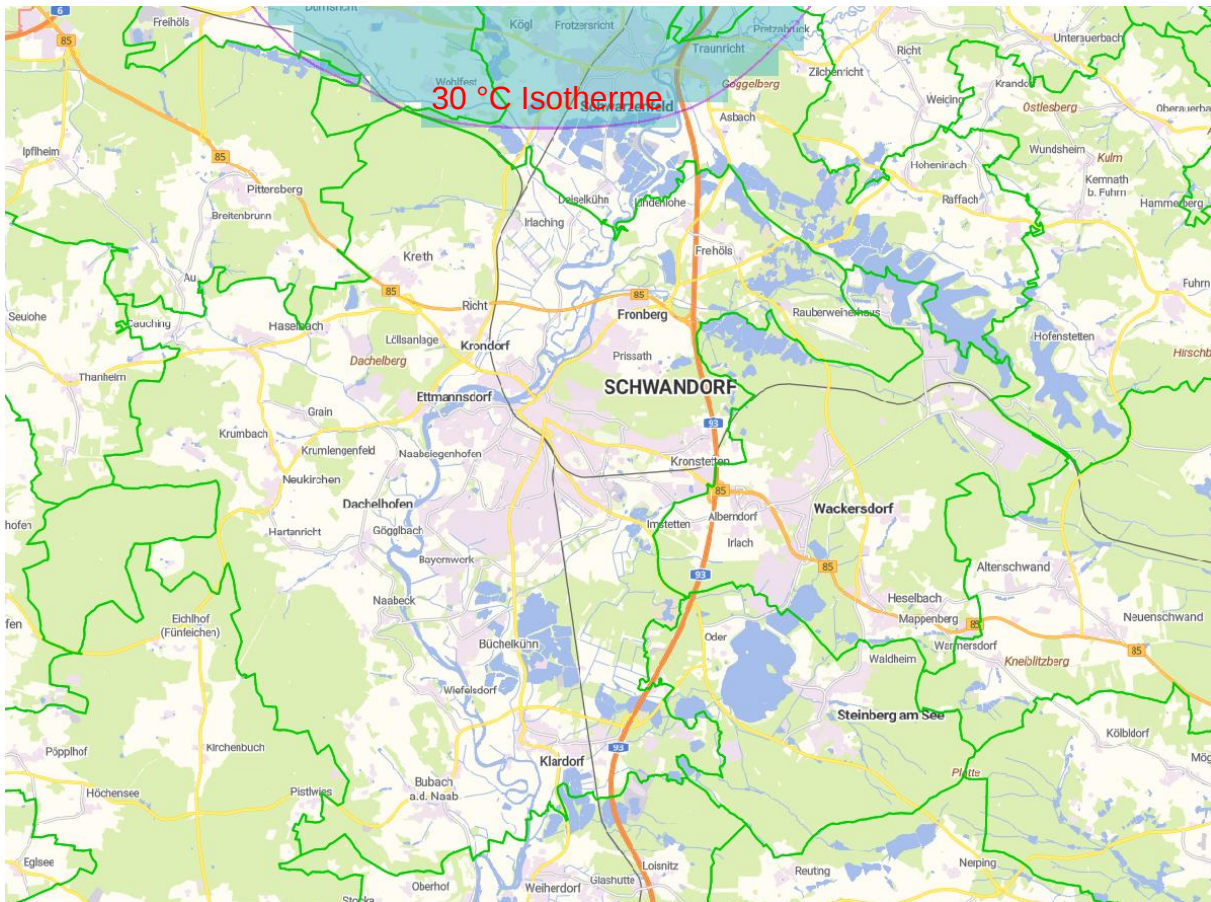


Abbildung 33: Temperaturverteilung in 250 m unter NHN [38]

2.4.8. Zusammenfassung Potenzialanalyse erneuerbare Wärme

In Abbildung 34 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 14: 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

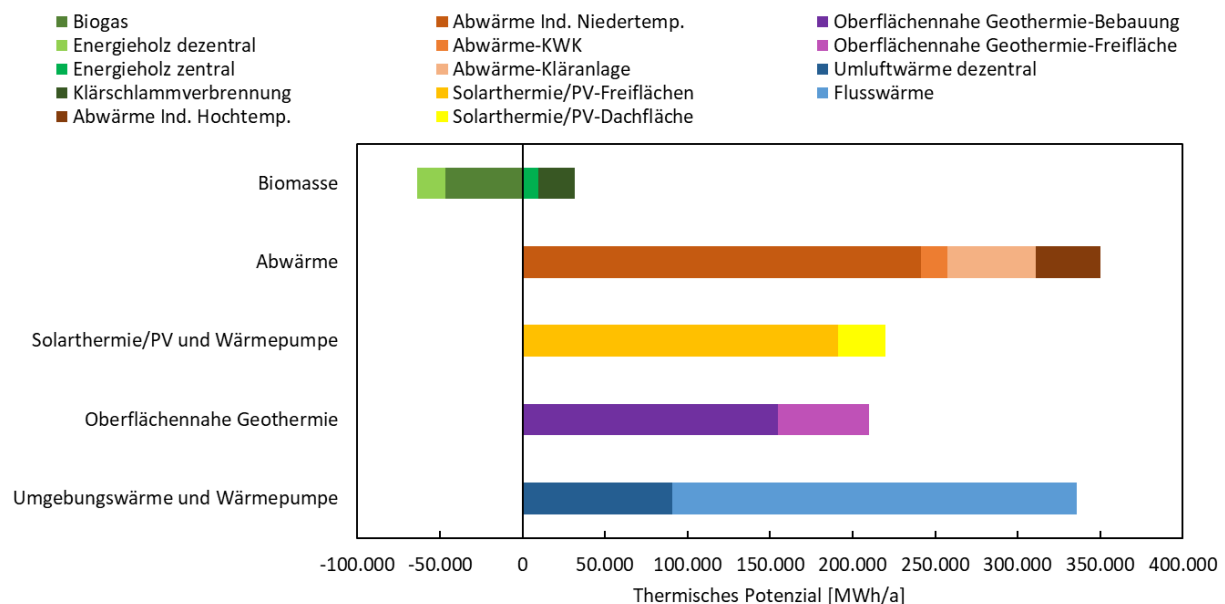


Abbildung 34: Zusammenfassung Potenziale erneuerbarer Wärme

Tabelle 15 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 15: THG-Emissionen erneuerbarer Wärme

Energieträger	Treibhausgas-Emissionen [CO ₂ -Äq./kWh]	Literatur
Brennholz	20	GEG
Brennholz nicht nachhaltig	364	[39]
Pellets nachhaltig	18	[40]
Biogas 2025	137	[41]
Biogas 2040	126	ebd.
Geothermie/Umweltwärme	0	GEG
Solarthermie	0	ebd.
Abwärme aus Industrieprozessen	40	[41], GEG
Abwärme aus Abfallverwertung für Fernwärme	0	[42]
Abwärme aus Abfallverwertung für Prozessdampf	20	GEG
Strom-Mix (2023)	449	[43]
Strom-Mix (2040)	25	[41]
PV-Eigenverbrauch (2025)	30-55	[44]

2.4.9. 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 35 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.

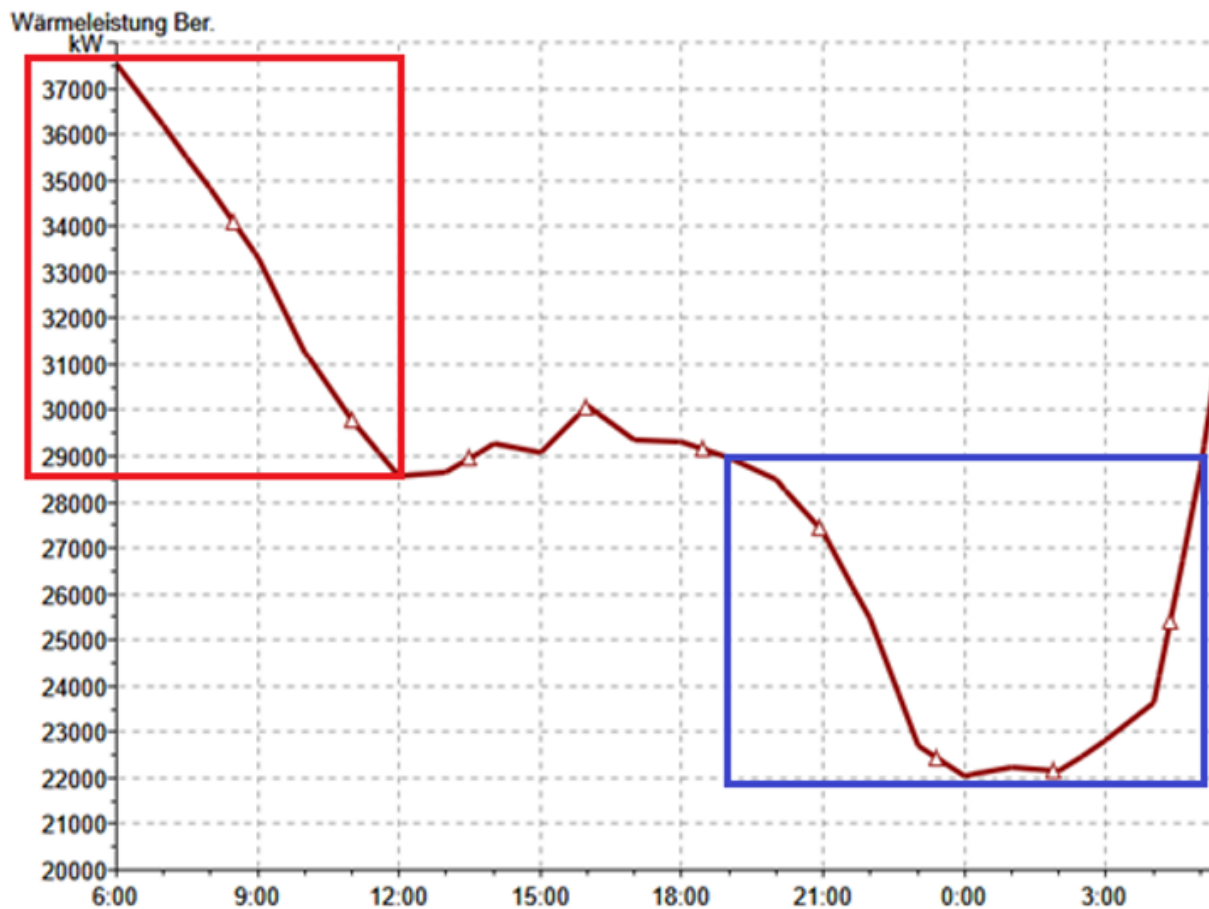


Abbildung 35: Täglicher Lastgang im Auslegungsfall (-13,6 °C)

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 36 zu sehen ist, kann die Beladung des Pufferspeichers während der nächtlichen Absenkung der Abnehmer erfolgen.



Abbildung 36: 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 16 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 MHKWs, 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 16: 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.

2.5. Potenziale erneuerbarer Strom

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

2.5.1. 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 eingestuften Flächen aus dem Energie-Atlas Bayern [10] 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 37 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.

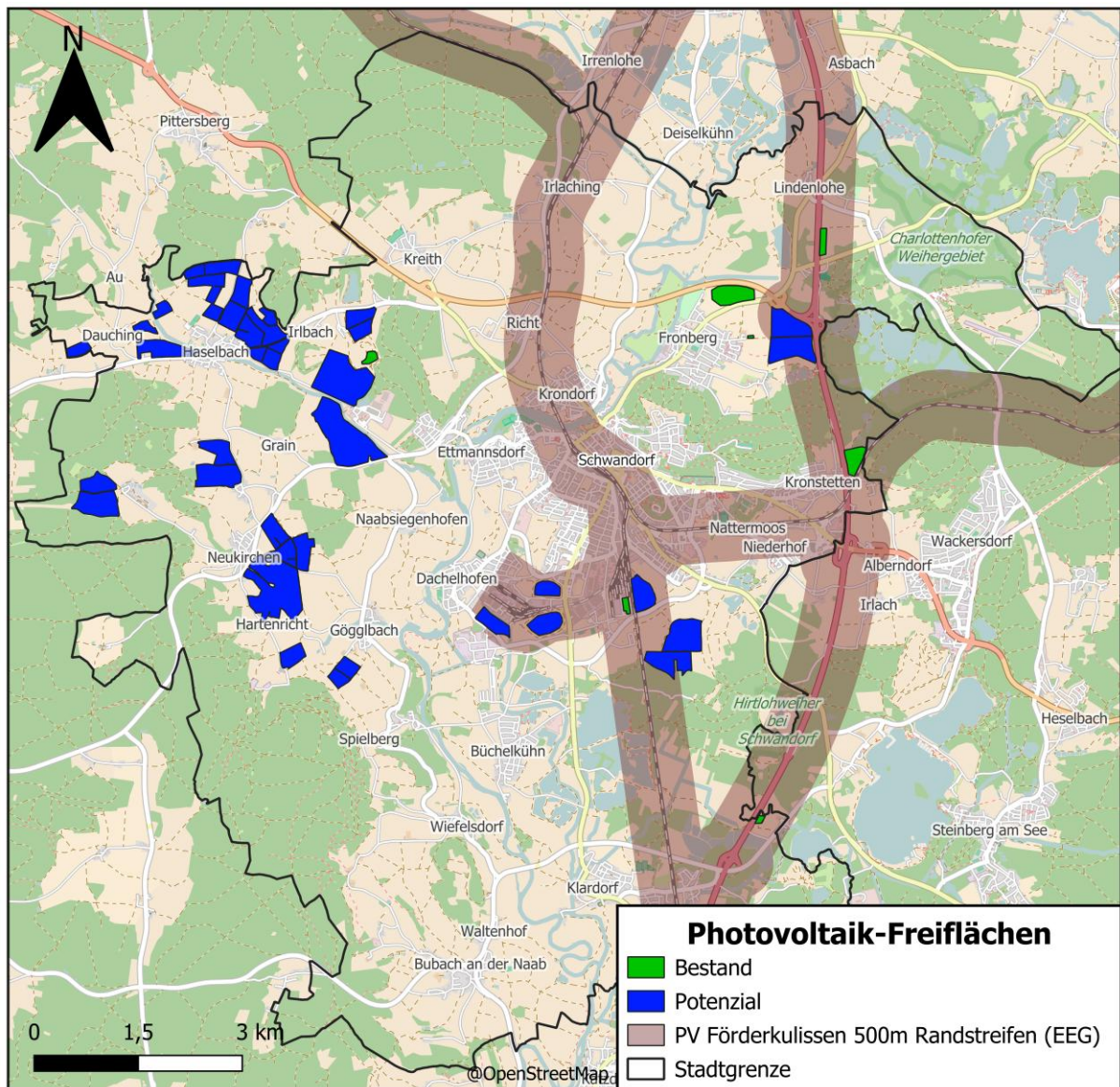


Abbildung 37: PV-Potenzialflächen im Stadtgebiet

Photovoltaik-Dachflächen:

Das Dachflächenpotenzial für Photovoltaik wird aus dem Energie-Atlas Bayern entnommen [10]. Bereits für PV genutzte Dachfläche werden gegengerechnet. Auch hier steht die Nutzung von PV-Anlagen in Konkurrenz zum Potenzial der Solarthermie.

Tabelle 17 listet die Ergebnisse der Potenzialanalyse für Photovoltaik im Stadtgebiet auf. Angegeben wird hier das noch nicht genutzte Potenzial.

Tabelle 17: 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.

2.5.2. Windenergie

Im Stadtgebiet soll ein knapp 300 ha großes Windvorranggebiet ausgewiesen werden (Abbildung 38). 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 18 zeigt das erwartete elektrische Potenzial der Anlagen auf dem Gebiet der Stadt Schwandorf. Abbildung 38 zeigt das ausgewiesene Windvorranggebiet, in welchem die elf Anlagen gebaut werden sollen.

Tabelle 18: Elektrisches Potenzial Windenergieanlagen

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

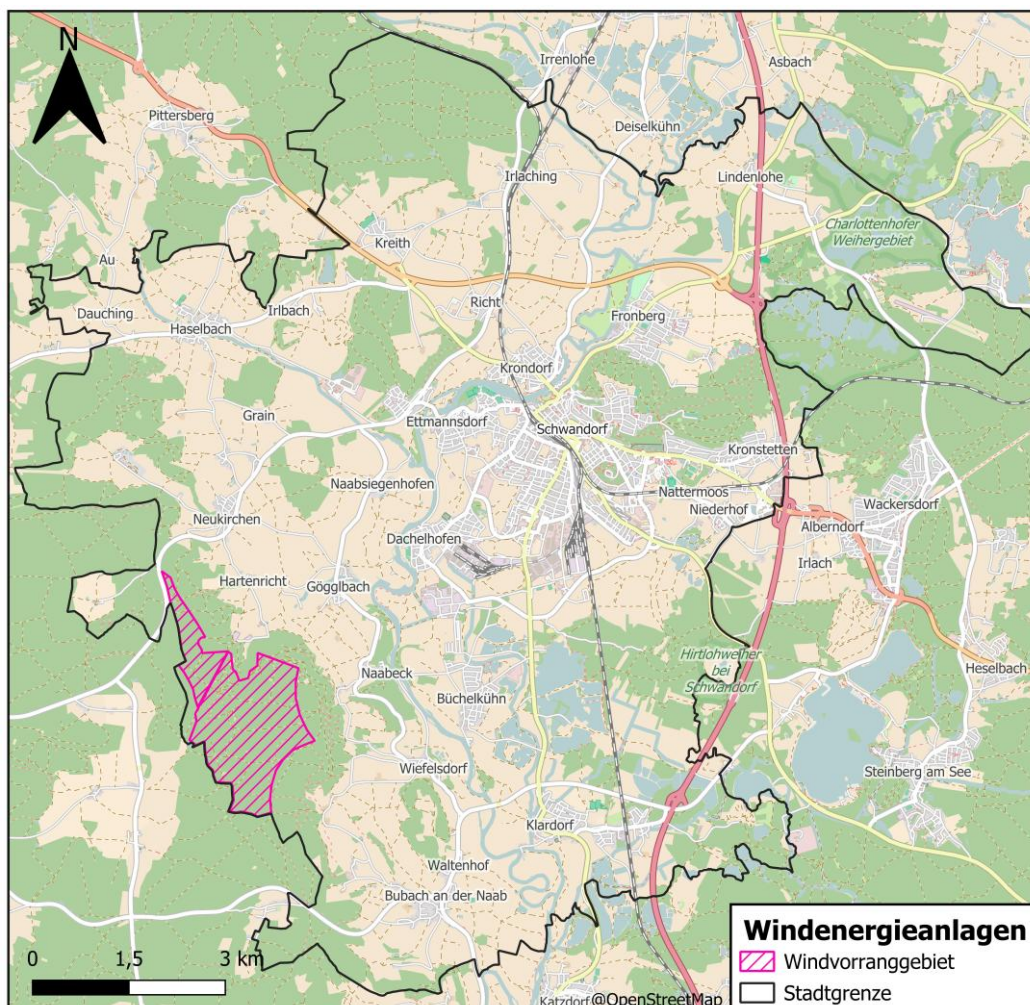


Abbildung 38: Windvorranggebiet

2.5.3. KWK-Anlagen

Das elektrische Potenzial der Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen wird anhand der Daten des Energie-Atlas Bayern [10] 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 19 zeigt das elektrische Potenzial der KWK-Anlagen auf.

Tabelle 19: 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.

2.5.4. 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 20 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 20: Geschätzte Strom-Einspeisung des MHKW

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

2.5.5. Sonstige Potenziale erneuerbarer Strom

In Bayern ist der Neubau von Wasserkraftanlagen vor allem an bereits vorhandenen und noch nicht energetisch genutzten Querbauwerken vorgesehen [10]. In Abbildung 11 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“ (2.4.7) 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.

2.5.6. 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 39 und Tabelle 21 zeigen aufgeteilt auf die betrachteten Technologien das Potenzial an elektrischer Energie auf dem Stadtgebiet.

Tabelle 21: 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

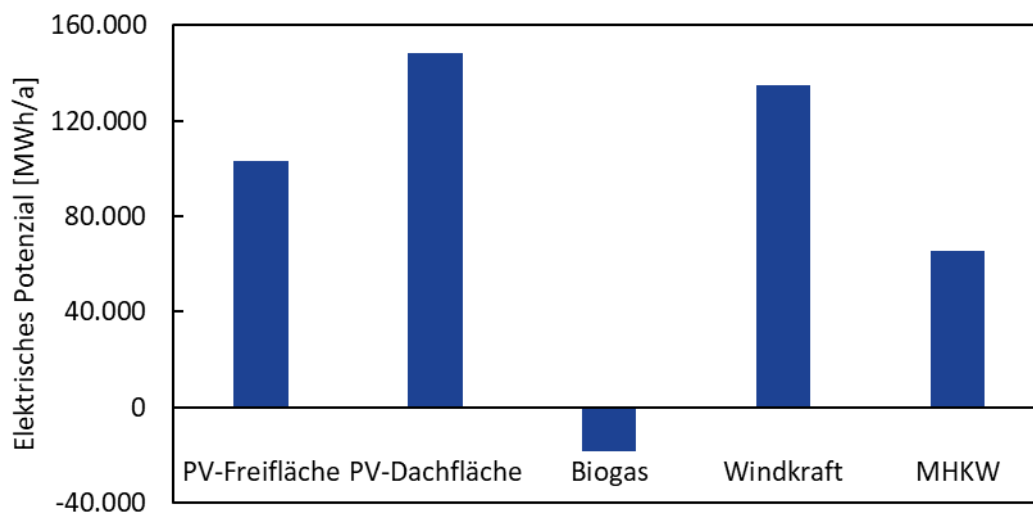


Abbildung 39: Zusammenfassung Potenzial Strom

2.5.7. 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. [45] 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 40.

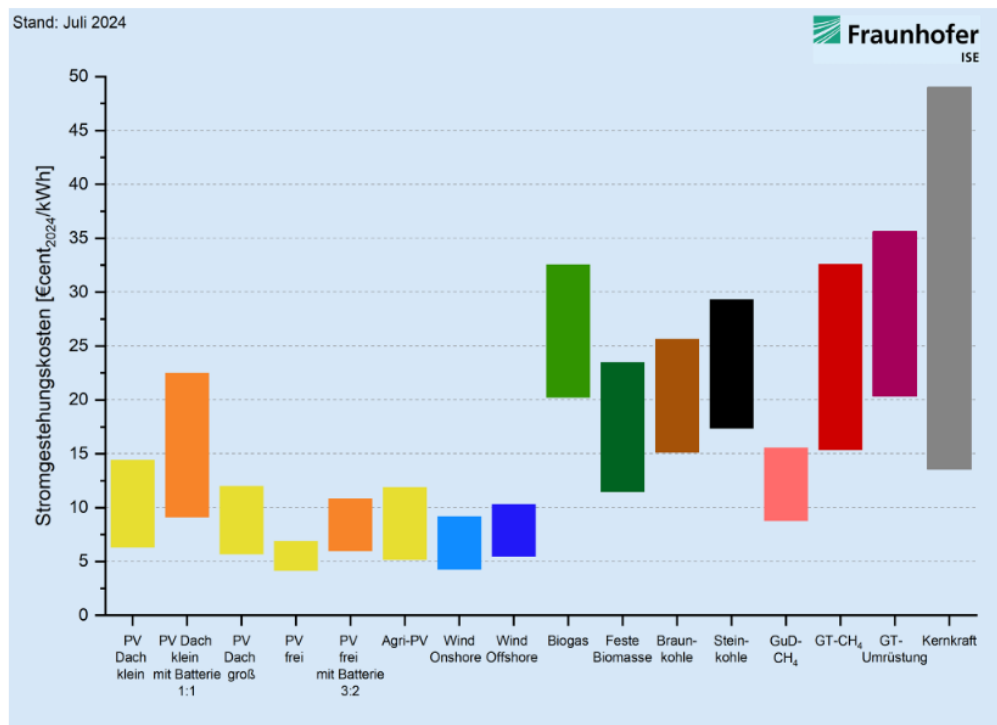


Abbildung 40: Stromgestehungskosten für Erneuerbare Energien und konventionelle Kraftwerke in Deutschland 2024 [46]

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. [47]

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.

2.6. 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 Diskrepanzen: Im Sommer treten teils hohe Stromüberschüsse auf, während in den Wintermonaten Unterversorgungen bestehen. Abbildung 41 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.

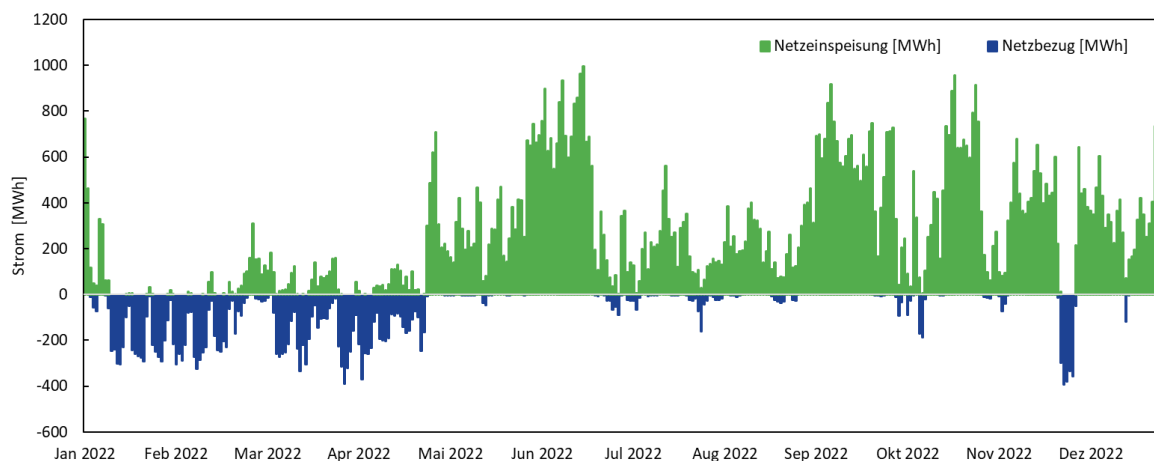


Abbildung 41: Netzbezug & -einspeisung pro Tag im Jahr 2022 [48]

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 [49].

In Tabelle 22 sind angenommene Stromerzeugung, Stromverbräuche und daraus resultierende Überschüsse und Defizite für das Jahr 2040 aufgelistet.

Tabelle 22: Vergleich erzeugter und verbrauchter Strommengen für 2040 in MWh/a

Strom- verbrauch	Strom- erzeugung	Erzeugter Überschuss	Vorhandenes Stromdefizit	Überschuss nach Deckung des Defizits
319.000	606.000	300.000	13.000	287.000

Abbildung 42 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 22 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.

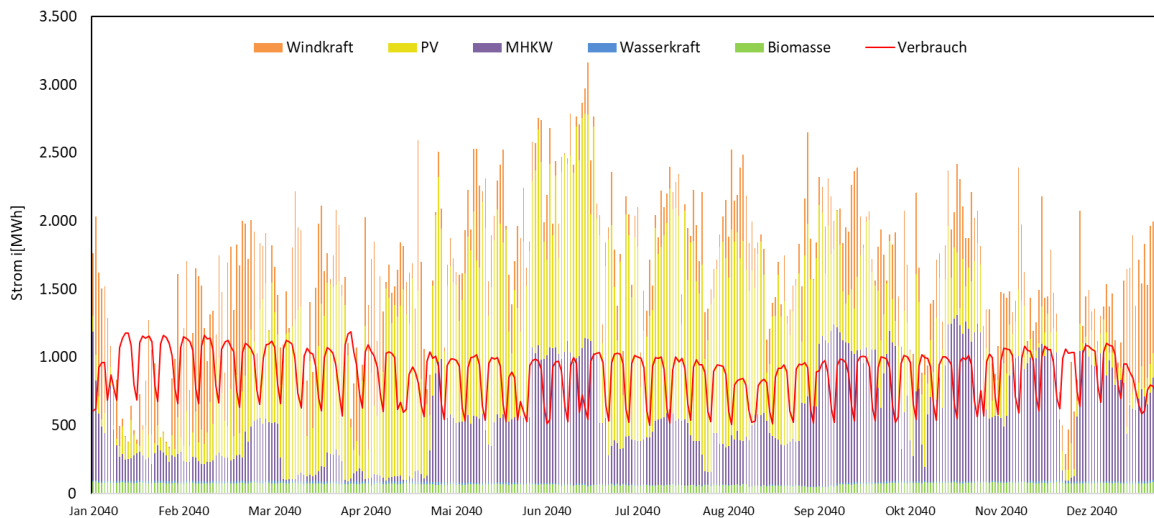


Abbildung 42: Netzeinspeisung und -verbrauch pro Tag für 2040

In Tabelle 23 sind die Potenziale für die einzelnen PtX-Technologien und die zugrunde liegenden Annahmen, berechnet aus dem erzeugten Stromüberschuss (300 GWh) zusammengefasst.

Tabelle 23: 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 Lokalfaktor

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 2.3.3 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.

2.7. Ausblick Energieinfrastruktur

Aufgrund der sich verändernden Landschaft in der Energieversorgung, sind Um- und Neubaumaßnahmen 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 43 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. [50] [51] [52]

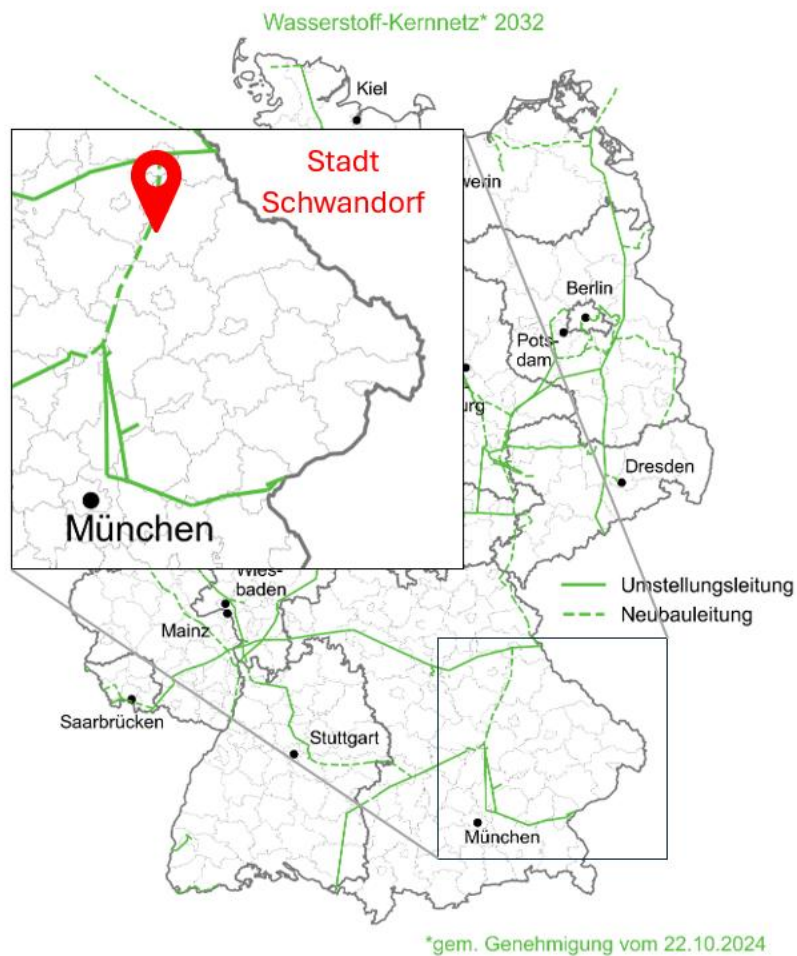


Abbildung 43: Wasserstoff-Kernnetz Deutschland [51]

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 „co₂peline“ 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 44 zu sehen, betrifft Schwandorf durch die CO₂-Quellen in Burglengenfeld und der Müllverbrennungsanlage. [53] [54] [55]

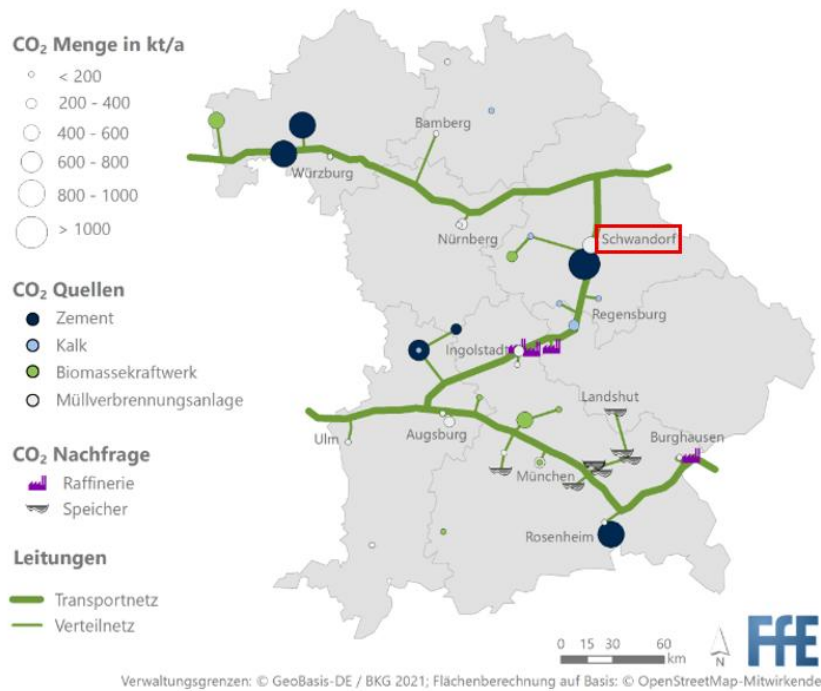


Abbildung 44: Darstellung des CO₂-Netzes der VBW-Studie [55]

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 45 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. [56] [57] [58]



Abbildung 45: Grober Verlauf des Abschnittes „D1“ des Süd-Ost-Links [59]

2.8. 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 24 listet die Antworten der Bürgerinnen und Bürger auf die Frage auf, ob ein Interesse am Anschluss Ihres Hauses an ein Wärmenetz besteht. Abbildung 46 stellt das Ergebnis graphisch prozentual dar.

Tabelle 24: 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.

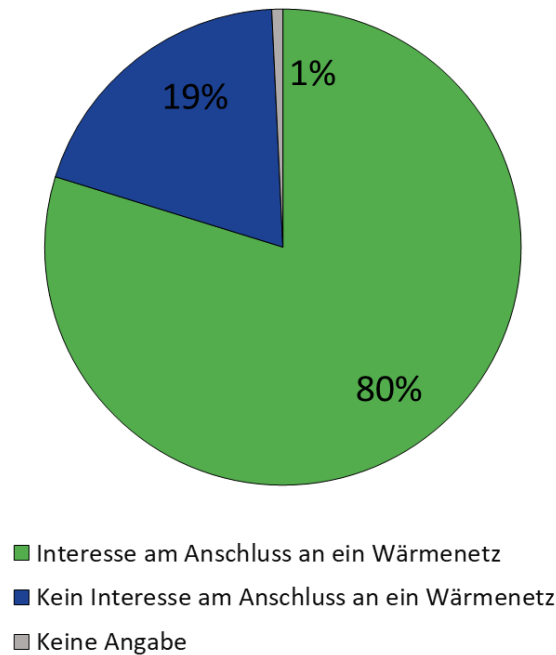


Abbildung 46: Prozentuales Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz. Auswertung der Rückläufer der Fragebögen an die Bürgerinnen und Bürger

Abbildung 47 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.

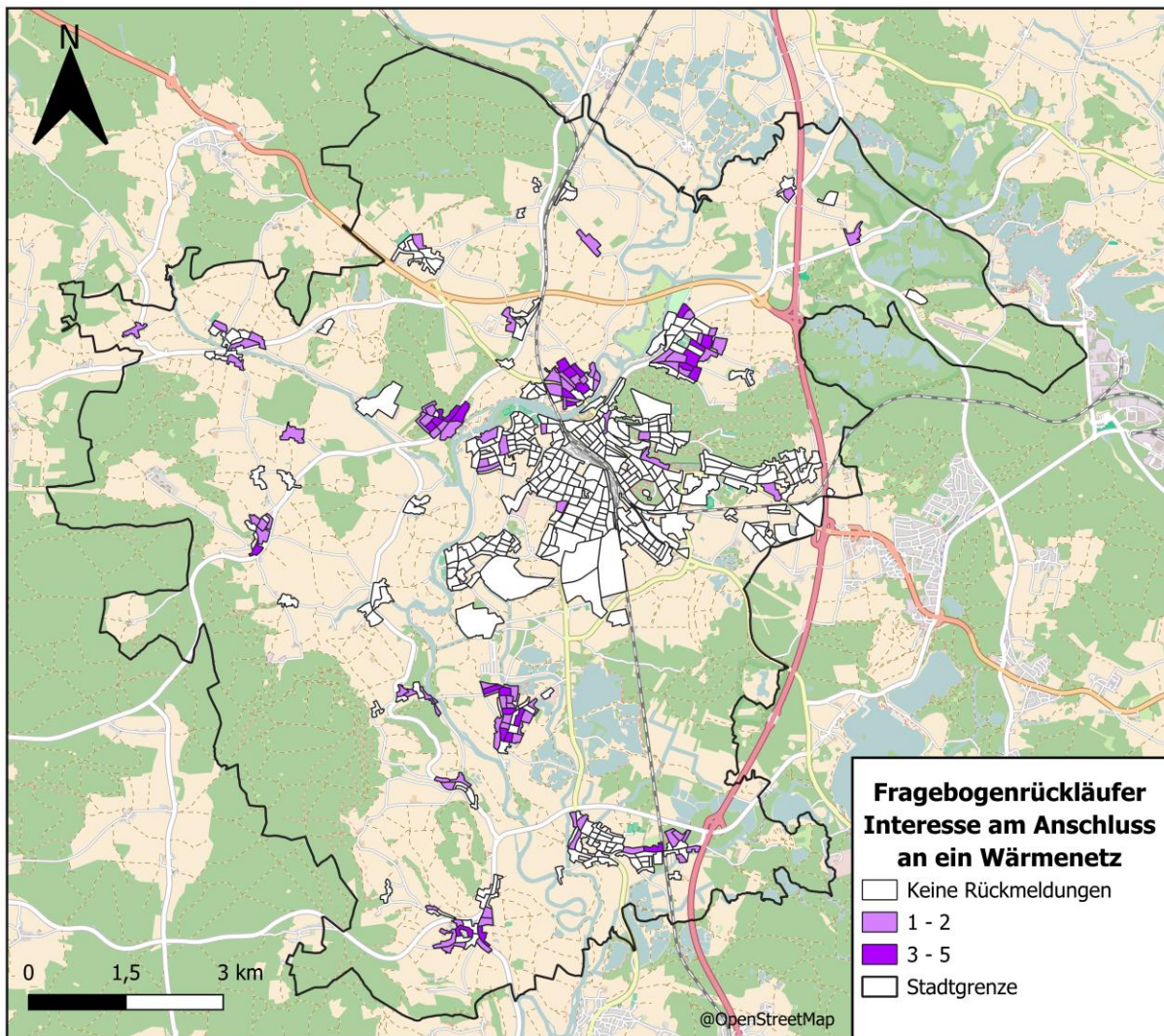


Abbildung 47: Örtliche Übersicht an Gebäuden mit Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz. Darstellung des absoluten Anschlussinteresses in einem Baublock auf Basis von Fragebögenrückläufer.

3. Gegenüberstellung von Bestands- und Potenzialanalyse

In Abbildung 48 und Tabelle 25 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 25: 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

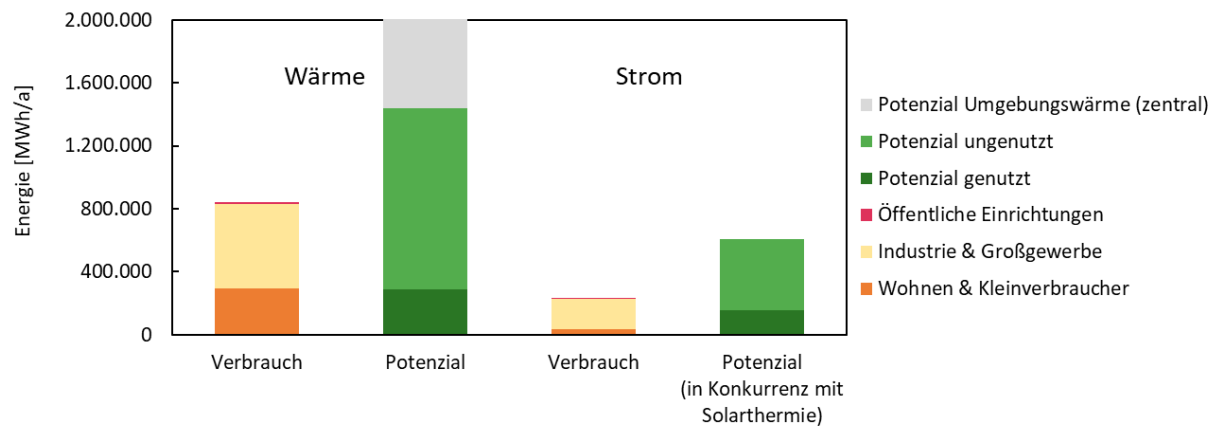


Abbildung 48: Gegenüberstellung Verbrauch und Potenzial von Wärme und Strom

4. Literaturverzeichnis

- [1] Bayerisches Landesamt für Statistik, „Statistik kommunal - Große Kreisstadt Schwandorf,“ Fürth, 2024.
- [2] 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].
- [3] ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH, „Leitfaden Wärmeplanung. Empfehlungen zur methodischen Vorgehensweise für Kommunen und andere Planungsverantwortliche,“ Heidelberg, 2024.
- [4] A. Herrmann und e. ak., „Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiebedarf von Gebäuden und den Ertrag erneuerbarer Energien,“ Graz, 2016.
- [5] „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].
- [6] 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].
- [7] Bayerisches Landesamt für Umwelt, „Gewässerkundlicher Dienst Bayern,“ [Online]. Available: <https://www.gkd.bayern.de/de/fluesse/abfluss/bayern>. [Zugriff am 07 2025].
- [8] Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., „Wärmepumpen an Fließgewässern - Analyse des theoretischen Potenzials in Bayern,“ München, 2024.
- [9] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Eignungsanalyse Wärmepumpe,“ [Online]. Available: <https://www.energiewechsel.de/KAENEf/Redaktion/DE/Standardartikel/eignungsanalyse-waermepumpe.html>. [Zugriff am 08 2025].
- [10] Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, „Energie-Atlas Bayern,“ 2024. [Online]. Available: <https://www.energieatlas.bayern.de/>. [Zugriff am 01 2024].

- [11] Aalborg CSP, „Solarthermieranlage, Dänemark,“ 04 2024. [Online]. Available: <https://www.aalborgcsp.de/projekte/fernwaerme/8-mwth-thermische-solaranlage-daenemark>. [Zugriff am 03 2024].
- [12] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., „Daten und Fakten. Faustzahlen,“ [Online]. Available: <https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen>. [Zugriff am 08 2025].
- [13] Landesamt für Statistik Bayern, „Statistik kommunal 2022 - Landkreis Schwandorf,“ Fürth, 2022.
- [14] 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].
- [15] 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].
- [16] 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].
- [17] 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].
- [18] Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, „Untersuchung des Energieholzmarktes in Bayern,“ Freising, 2024.
- [19] 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].
- [20] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., „Biogas Basisdaten Deutschland,“ Gülzow, 2008.
- [21] Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, „Holzeinschlag,“ [Online]. Available: <https://www.lwf.bayern.de/forsttechnik-holz/holzmarkt/051095/index.php>. [Zugriff am 08 2025].
- [22] Biomasseverband Österreich, „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].

- [23] Johann Heinrich von Thünen-Institut, „Tabellendefinition - Zuwachs des Vorrates,“ [Online]. Available: [https://bwi.info/inhalt1.3.aspx?Text=5.03%20Baumartengruppe%20\(rechnerischer%20Reinbestand\)&prrolle=public&prInv=BWI2012&prKapitel=5.03&mpXicode=](https://bwi.info/inhalt1.3.aspx?Text=5.03%20Baumartengruppe%20(rechnerischer%20Reinbestand)&prrolle=public&prInv=BWI2012&prKapitel=5.03&mpXicode=). [Zugriff am 09 2025].
- [24] Bayerisches Landesamt für Statistik, „Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung in Bayern zum Stichtag 31. Dezember 2024,“ Fürth, 2025.
- [25] WWF Deutschland, „Alles aus Holz - Rohstoff der Zukunft oder kommende Krise. Ansätze zu einer ausgewogenen Bioökonomie.,“ Berlin, 2022.
- [26] Umweltbundesamt, „Klärschlamm entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland,“ Dessau-Roßlau, 2018.
- [27] P. D. M. Faulstich, D. J. Hoffmeister, D. B. Birnstengel und A. Häusler, „Perspektiven der thermischen Abfallbehandlung - Roadmap 2040 -,“ ITAD, Dortmund, 2020.
- [28] Umweltbundesamt, „Energieerzeugung aus Abfällen - Stand und Potenziale in Deutschland bis 2030,“ Dessau-Roßlau, 2018.
- [29] waste:research, „Entsorgung gefährlicher Abfälle in Deutschland bis 2030,“ 22 05 2024. [Online]. Available: <http://www.wasteresearch.de/>. [Zugriff am 20 02 2025].
- [30] Umweltbundesamt, „Klimaschutz und Kohleausstieg: Politische Strategien und Maßnahmen bis 2030 und darüber hinaus,“ Climate Change, Berlin, 2019.
- [31] 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.
- [32] 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].
- [33] 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].
- [34] 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].

- [35] 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].
- [36] 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].
- [37] FNB Gas e.V., „Wasserstoff Kernnetz,“ 2024. [Online]. Available: <https://fnb-gas.de/wasserstoffnetz-wasserstoff-kernnetz/>. [Zugriff am 10 September 2024].
- [38] Bayrisches Landesamt für Umwelt, „UmweltAtlas,“ <https://www.umweltatlas.bayern.de/>, 2024.
- [39] Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, „Ist die Verbrennung von Holz gesundheits- und klimaschädlich?,“ Straubing, 2023.
- [40] Umweltbundesamt, „Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger,“ Dessau-Roßlau, 2022.
- [41] BMWK und BMWBS, „Technikkatalog Wärmeplanung V 1.1,“ Berlin, 2024.
- [42] 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].
- [43] Umweltbundesamt, „Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990-2024,“ Dessau-Roßlau, 2025.
- [44] Fraunhofer ISE, „Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland,“ Freiburg, 2025.
- [45] R. Meyer und et.al., „Heizkosten und Treibhausgasemissionen in Bestandsgebäuden,“ Potsdam, 2024.
- [46] Fraunhofer ISE, „Stromgestehungskosten Erneuerbarer Energien,“ Freiburg, 2024.
- [47] 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].
- [48] „Energiemonitor Bayernwerk Schwandorf,“ [Online]. Available: <https://energiemonitor.bayernwerk.de/schwandorf>. [Zugriff am 08 2025].

- [49] 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].
- [50] 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].
- [51] 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].
- [52] 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].
- [53] 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].
- [54] bayernets GmbH, „CO₂-Transport,“ bayernets GmbH, 15 03 2024. [Online]. Available: <https://www.bayernets.de/en/infrastructure/co2-transportation>. [Zugriff am 17 06 2025].
- [55] 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].
- [56] 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].
- [57] 50Hertz Transmission GmbH, „SuedOstLink,“ 50Hertz, 12 03 2024. [Online]. Available: <https://www.50hertz.com/de/Netzentwicklung/Projekte/Bundesbedarfsplangesetz/SuedOstLink>. [Zugriff am 17 06 2025].
- [58] 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].
- [59] 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].



5. 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