Kommunale Wärmeplanung Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz

- Abschlussbericht -

Kommunale Wärmeplanung Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz

Projekt	Kommunale Wärmeplanung Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz
Auftraggeber	Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz, Gemeinden Rückersdorf, Leinburg, Schwaig b. Nürnberg
Bearbeiter	Katharina Will, Markus Rößler, zeitgeist engineering gmbh
Kontakt	katharina.will@ib-zeitgeist.de +49 (0) 911 21707-411
Datum	26.05.2025

1 Zusammenfassung

Die kommunale Wärmeplanung ist ein informelles Planungsinstrument der Kommune zur Gestaltung der langfristigen Wärmeversorgung. Sie soll als Grundlage für weitere Schritte wie z.B. Machbarkeitsstudien oder energetische Quartierskonzepte dienen. Inhalt der Wärmeplanung ist eine Bestands- und Potenzialanalyse des Sektors Wärme, die Einteilung der Gemeinde in Wärmeversorgungsgebiete, eine schrittweise Zielsetzung hin zum Ziel der Klimaneutralität 2040 sowie die Skizzierung von ersten Umsetzungsmaßnahmen, welche der Wärmeplanung folgen sollen, einschließlich der Betrachtung von zwei Fokusgebieten.

Um Zeit und Kapazitäten zu sparen, wird den oben genannten Punkten eine Eignungsprüfung von Teilgebieten außerhalb der Kernstadt vorangestellt. Hierbei wird untersucht, ob eine leitungsgebundene Wärmeversorgung (mittels Wärme-, Biomethan- oder Wasserstoffnetz) anhand von ersten Abschätzungen der Bedarfe und Potenziale von vornherein ausgeschlossen werden kann. Gegebenenfalls wird für diese Gebiete eine verkürzte Wärmeplanung durchgeführt. In der Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz werden die Kernstadt sowie die Ortsteile Haimendorf und Rockenbrunn weiterbetrachtet.

In der Bestandsanalyse wird die aktuelle Situation in der Wärme- und Stromversorgung aufgezeigt. Dazu wird die Flächennutzung sowie Siedlungsstruktur, die bestehenden Energieversorgungsanlagen und -netze und die Verteilung der Wärmeerzeuger analysiert. Darauf basierend wird eine Energie- und Treibhausgasbilanz erstellt. Das bebaute Gebiet umfasst circa 35,6 Prozent der Stadtfläche. Der Großteil der Wohnbebauung stammt aus den Jahren 1949 bis 1978 und 1978 bis 1995. Die Stromerzeugung vor Ort erfolgt durch ca. 380 PV-Anlagen (meist kleiner als 30 kWp) mit ca. 3.110 MWh pro Jahr sowie durch mehrere fossile

Anlagen, die ca. 2.600 MWh pro Jahr erzeugen. Darüber hinaus existieren keine weiteren Stromerzeugungsanlagen. Das Gasnetz umfasst den ganzen Kernort, im Gebiet Steinberg gibt es ein erdgasbasiertes Wärmenetz. Im Bereich Wohnen & Kleinverbraucher stammt 84 Prozent der erzeugten Energiemenge für Raumwärme und Warmwasser aus Erdgas und Heizöl, 9 Prozent aus Biomasse. Bei Industrie & Großgewerbe wird 98 Prozent der Wärme (inklusive Prozesswärme) durch die Verbrennung von Erdgas gewonnen. Raumwärme und Warmwasser zur Versorgung von Öffentlichen Einrichtungen wird zu 53 Prozent aus Erdgas erzeugt, 46 Prozent stammen aus Nahwärme. 92 Prozent des Strombezugs aus dem Stromnetz ist auf den Bereich Industrie & Großgewerbe zurückzuführen, 8 Prozent auf Wohnen & Kleinverbraucher und weniger als 1 Prozent auf die Öffentlichen Einrichtungen. Insgesamt summiert sich der thermische Endenergieverbrauch aller Verbrauchergruppen im Stadtgebiet auf circa 170.900 MWh pro Jahr; der elektrische Endenergieverbrauch, bezogen aus dem Stromnetz, auf 266.600 MWh pro Jahr. Dies entspricht einem Ausstoß von 40.300 bzw. 101.500 t CO_2-Äquivalenten pro Jahr.

In der Potenzialanalyse werden die möglichen Potenziale zur Nutzung erneuerbarer Wärme und erneuerbaren Stroms aufgezeigt. Dazu werden zuerst Ausschlussgebiete für die Nutzung erneuerbarer Energieanlagen identifiziert und das Energieeinsparpotenzial durch Sanierung berechnet. Danach werden alle möglichen Potenziale für erneuerbare Erzeugung von Wärme und Strom ermittelt. Über Teile des Stadtgebiets erstrecken sich ein Landschafts- und Vogelschutzgebiete, sowie Biotope. Eine Herausforderung Trinkwasserschutzgebiet der Schutzklasse III b dar, in dem die Kernstadt liegt. In der Kernstadt sind mehrere Baudenkmäler vorhanden. Die Betrachtung des Energieeinsparpotenzials durch Sanierung ergibt bei der Mehrheit der Baublöcke hohe Werte von über 50 Prozent. Als mögliche Quellen erneuerbarer Wärme werden unter anderem die Potenziale von Biomasse, oberflächennaher Geothermie, Solarthermie, Abwärme und Umweltwärme (Luft und Gewässer) betrachtet. Insgesamt ergibt sich ein ungenutztes Potenzial von 167.500 MWh pro Jahr, wobei das Potenzial der Umweltwärme nicht quantifizierbar ist und somit noch zusätzlich zur Verfügung steht. Das ungenutzte Potenzial von Photovoltaik zur Erzeugung erneuerbaren Stroms im Stadtgebiet beläuft sich auf 53.100 MWh_{el} pro Jahr. Es wurden für circa 7,8 Prozent der Gebäude in der Gemeinde von den Bürgerrinnen und Bürgern Fragebogen zur kommunalen Wärmeplanung ausgefüllt. Die Auswertung der Fragebögen zeigt, dass 78 Prozent der Befragten Interesse an einem Anschluss an ein Wärmenetz haben.

Eine Gegenüberstellung von Bestands- und Potenzialanalyse ergibt, dass die Potenziale an erneuerbarer Wärme höher 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 der Verbrauch die Potenziale um fast das 5-fache.

Auf Grundlage der Bestands- und Potenzialanalyse wird die Stadt in Wärmeversorgungsgebiete eingeteilt. In Gebieten mit Wärmenetzeignung werden weitere Untersuchungen für eine mögliche Versorgung durch Nahwärme empfohlen. In dezentralen Gebieten ist eine individuelle Wärmeversorgung der einzelnen Gebäude wahrscheinlich. Dennoch ist auch hier eine Versorgung durch kalter Nahwärme oder eines Inselnetzes möglich. In Prüfgebieten liegen besondere Gegebenheiten vor, die vor einer Einstufung durch die Kommune geprüft werden müssen. Die Mehrheit der Baublöcke in Röthenbach sind als wahrscheinlich ungeeignet für ein Wärmenetz eingestuft, es gibt jedoch auch einige Gebiete, die (sehr) wahrscheinlich

geeignet sind (wie z.B. die Seespitze, die Conradty-Siedlung, der Speckschlag u.a.). In den restlichen Gebieten ist eine dezentrale Lösung, kalte Nahwärme oder ein Inselnetz wahrscheinlich.

Als Fokusgebiete wird die Errichtung zweier Wärmenetze in der Conradty-Siedlung und im Speckschlag genauer untersucht. In der Conradty-Siedlung wird eine Versorgung mittels Flusswärmepumpe (mit dem Röthenbach als Quelle), Luftwärmepumpe und Biomethan zur Spitzenlastabdeckung geprüft. Nach ersten groben Berechnungen liegen die Verbraucherpreise bei circa 20 ct pro kWh netto und damit im wirtschaftlich konkurrenzfähigen Rahmen. Im Speckschlag wird ein Netz mit Abwärme der Kläranlage und Biomethan geprüft. Die Verbraucherpreise liegen bei circa 16 ct pro kWh. Die Treibhausgasemissionen sinken in beiden Netzen signifikant im Vergleich zur aktuellen Wärmeversorgung.

In den Zielszenarien werden für alle Verbrauchergruppen Wege aufgezeigt, wie die Wärmeversorgung bis zum Jahr 2040 klimaneutral werden kann. Auch diese Ergebnisse basieren auf der Bestands- und Potenzialanalyse. Während die Versorgung der privaten Haushalte großteils durch Wärmepumpen und Fernwärme erfolgt, benötigt die Industrie, vor allem für die Prozesswärme, eine größere Menge an Grünen Gasen und Direktstrom. Im Falle der kommunalen Liegenschaften und der öffentlichen Großverbraucher liegt das Hauptaugenmerk der Wärmeversorgung auf der Fernwärme.

In einem Maßnahmenkatalog werden der Kommune 15 Maßnahmen aufgelistet, welche nach der Wärmeplanung begonnen werden sollten. Vorschläge im Bereich Wärmenetzaufbau, Sanierung und strategischen Ursprungs werden in Stechbriefen genauer beschrieben.

Inhalt

1 Zusammenfassung 1
2 Eignungsprüfung 11
2.1 Ausgangslage 11
2.1.1 Gesetzliche Vorgaben 11
2.1.2 Prüfgebiete 11
2.1.3 Einteilungskriterien 12
2.2 Ergebnis Eignungsprüfung 13
2.3 Weiteres Vorgehen 14
2.3.1 Erweiterte Wärmeplanung 14
2.3.2 Verkürzte Wärmeplanung 14
2.4 Zukünftige Möglichkeiten dezentraler Wärmeversorgung 15
2.4.1 Energetische Sanierung 15
2.4.2 Erfüllungsoptionen der 65- Prozent-Regelung nach GEG 15
2.4.3 Potenziale für dezentrale Wärmeversorgung 16
3 Bestandsanalyse 21
3.1 Datengrundlagen und Verbrauchergruppen 21
3.1.1 Datengrundlagen 21
3.1.2 Verbrauchergruppen 21
3.2 Flächennutzung und Siedlungsstruktur 22
3.2.1 Flächennutzung 22
3.2.2 Siedlungsstruktur 23
3.3 Energieerzeugungsanlagen und Versorgungsnetze 25
3.3.1 Energieerzeugungsanlagen 25
3.3.2 Versorgungsnetze der Wärmeversorgung 27
3.3.3 Stromversorgungsnetze 28
1.1.1. Abwasserkanalnetz 29
3.4 Wärmeerzeugung: Methodik zur Ermittlung des IST-Zustands 30
3.5 Energiebilanz Wärme 34
3.5.1 Wohnen & Kleinverbraucher 34
3.5.2 Industrie & Großgewerbe 35
3.5.3 Öffentliche Einrichtungen 36
3.5.4 Zusammenfassung Energiebilanz Wärme 36
3.6 Raumwärme- und Warmwasserbedarf auf Baublockebene 38
3.6.1 Absoluter Heizwärme- und Warmwasserbedarf 39

3.6.2 Heizwärme- und Warmwasserbedarf pro Baublockfläche 40
3.6.3 Wärmeliniendichte 40
3.7 Energiebilanz Strombezug 41
3.7.1 Methodik 41
3.7.2 Zusammenfassung Energiebilanz Strombezug 42
3.8 Treibhausgasbilanz Wärme und Strom 43
4 Potenzialanalyse 46
4.1 Datengrundlage 46
4.2 Schutzgebiete und Denkmalschutz 46
4.2.1 Schutzgebiete 46
4.2.2 Denkmalschutz 47
4.3 Energieeinsparpotenzial durch Sanierung 48
4.4 Potenziale erneuerbarer Wärme 49
4.4.1 Oberflächennahe Geothermie 49
4.4.2 Solarthermie 52
4.4.3 Biomasse 54
4.4.4 Abwärme 57
4.4.5 Sonstige 58
4.4.6 Zusammenfassung Potenzial erneuerbare Wärme 59
4.5 Potenziale erneuerbarer Strom 60
4.5.1 Photovoltaik 60
4.5.2 Windenergie 61
4.5.3 Sonstige 61
4.5.4 Zusammenfassung Potenzial Strom 62
4.6 Anschlussinteresse an einem Wärmenetz 62
5 Gegenüberstellung von Bestands- und Potenzialanalyse 64
6 Wärmeversorgungsgebiete 65
6.1 Einteilungskriterien 65
6.2 Wärmenetzeignung 66
7 Fokusgebiet Conradty-Siedlung 68
7.1 Ausgangssituation 68
7.2 Auslegung Wärmenetz 70
7.3 Annahmen Berechnung 71
7.4 Detailprüfung Flusswärme 72
7.4.1 Beschaffenheit des Röthenbachs 73

7.4.2 Genehmigung Flussthermie 73
7.5 Ergebnisse Simulation Wärmenetz 74
7.6 Alternative Wärmeversorgung 76
8 Fokusgebiet Speckschlag 77
8.1 Ausgangssituation 77
8.1.1 Wärmebedarfe 77
8.1.2 Wärmequelle: Abwärme aus der Kläranlage 78
8.2 Auslegung Wärmenetz 79
8.3 Annahmen Berechnung 80
8.4 Ergebnisse Simulation Wärmenetz 81
8.5 Alternative Wärmeversorgung 84
9 Zielszenario 85
9.1 Entwicklung des Wärmeverbrauchs 85
9.2 Entwicklung der Wärmeerzeugung 87
9.2.1 Methodik 87
9.2.2 Wohnen & Kleinverbraucher 89
9.2.3 Öffentliche Einrichtungen 90
9.2.4 Industrie & Großgewerbe 91
9.3 Energie- und Treibhausgasbilanz 2040 93
9.4 Entwicklung Nahwärme 94
9.5 Zukünftige Versorgungsstruktur 96
9.6 Entwicklung Erdgasnetz 96
9.7 Ausblick Strom 97
9.8 Vergleich der Kosten verschiedener Versorgungsfälle 97
9.8.1 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Dezentrale Versorgung 98
9.8.2 Ausbau bestehendes Nahwärmenetz 100
9.8.3 Bau von neuen Nahwärmenetzen 100
10 Umsetzungsstrategie und Maßnahmen 101
11 Literaturverzeichnis 106
12 Hinweise 112

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ergebnis der Eignungsprüfung für Röthenbach a. d. Pegnitz 14
Abbildung 2: Erste Informationen zur potenziellen Nutzung von Geothermie in Röthenbach [6] 17
Abbildung 3: Nutzungsmöglichkeiten oberflächennaher Geothermie in den einzelnen Prüfgebieten 17
Abbildung 4: Auszug aus dem Solarkataster des Landkreises Nürnberger Land [7] am Beispiel eines Hauses in Grüne Au. 18
Abbildung 5: Absoluter Flächenbedarf und Potenzialfläche für die Bereitstellung fester Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen im Gemeindegebiet Röthenbach a. d. Pegnitz. [3] 20
Abbildung 6: Flächennutzung auf dem Stadtgebiet Röthenbach a. d. Pegnitz 23
Abbildung 7: Siedlungsentwicklung der Stadt Röthenbach 24
Abbildung 8: Baublöcke unterschieden nach Nutzungsarten 25
Abbildung 9: Standorte größerer Energieerzeugungsanlagen 26
Abbildung 10: Elektrische Leistungen und Erträge nach Marktstammdatenregister 27
Abbildung 11: Leitungsgebundene Wärmeversorgung in den Baublöcken 28
Abbildung 12: Stromversorgungsnetze auf dem Stadtgebiet 29
Abbildung 13: Kanalnetz mit Durchmesser größer 800 mm, Sammel-, Rückhalte- und Überlaufbecken und Kläranlage 30
Abbildung 14: Verteilung thermischer Endenergieverbrauch Wohnen & Kleinverbraucher 34
Abbildung 15: Verteilung thermischer Endenergieverbrauch Industrie & Großgewerbe 35
Abbildung 16: Verteilung thermischer Endenergieverbrauch der Öffentlichen Einrichtungen 36
Abbildung 17: Prozentualer Energieverbrauch für Heiz- und Prozesswärme aufgeteilt auf Verbrauchergruppen 37
Abbildung 18: Energieträgerverteilung für Heiz- und Prozesswärme aller Verbrauchergruppen 37
Abbildung 19: Absoluter jährlicher Heizwärme- und Warmwasserbedarf pro Baublock 39
Abbildung 20: Jährlicher Heizwärme- und Warmwasserbedarf pro Baublockfläche 40
Abbildung 21: Wärmeliniendichten am Beispiel des Stadtteils Steinberg 41
Abbildung 22: Prozentualer Strombezug aufgeteilt auf die Verbrauchergruppen 42
Abbildung 23: Endenergieverbrauch thermisch und elektrisch 44
Abbildung 24: CO_2-Äquivalente resultierend aus dem Endenergieverbrauch. Für das ganze Stadtgebiet aufgeteilt auf die Verbrauchergruppen 44
Abbildung 25: Schutzgebiete auf dem Stadtgebiet 47
Abbildung 26: Boden- und Baudenkmäler in Röthenbach 48
Abbildung 27: Energieeinsparpotenzial durch Sanierung berechnet mittels Technikkatalog der KEA Baden-Württemberg [21] 49
Abbildung 28: Potenzial Wärme aus oberflächennaher Geothermie auf bebautem Gebiet 51
Abbildung 29: Potenzielle Geothermie Freiflächen 52
Abbildung 30: Potenzielle Solarthermie-Freiflächen in näherer Umgebung von bebauten Gebieten 53
Abbildung 31: Potenzial Solarthermie Freiflächen und Dachflächen 54
Abbildung 32: Potenzial aus Biomasse. Aufgeteilt in Biomasse aus Abfällen, Landwirtschaft, Waldbestand 55

Abbildung 33: Übrige Potenzialfläche für Energieholz der Städte und Gemeinden im Umkreis von Röthenbach 56
Abbildung 34: Übrige Potenzialfläche für Energieholz der im Landkreis Nürnberger Land und im Regierungsbezirk Mittelfranken 57
Abbildung 35: Potenzialanalyse Abwärme 58
Abbildung 36: Zusammenfassung Potenziale erneuerbarer Wärme 59
Abbildung 37: PV-Potenzialflächen im Stadtgebiet 60
Abbildung 38: Potenzial Leistung und Ertrag Photovoltaik 61
Abbildung 39: Prozentuales Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz. 63
Abbildung 40: Örtliche Übersicht an Gebäuden mit Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz 63
Abbildung 41: Gegenüberstellung Verbrauch und Potenzial von Wärme und Strom 64
Abbildung 42: Bewertungsmatrix zur Bestimmung von Wärmenetzeignungsgebieten. 65
Abbildung 43: Einteilung der Stadt in Wärmenetzeignungsgebiete. 67
Abbildung 44: Mögliches Wärmenetz Conradty-Siedlung. 68
Abbildung 45: Benötigte Wärmeleistung (einschl. Verluste) des Quartiers in kW mit Jahresdauerlinie 69
Abbildung 46: Schematische Darstellung der Energieflüsse mit dem Simulationstool nPro [39] 71
Abbildung 47: Bereitgestellte Wärme nach Energieträger 75
Abbildung 48: Wärmebedarf und CO_2-Äq. Emissionen für das Netzeignungsgebiet bis zum Zieljahr 2040 76
Abbildung 49: Mögliches Wärmenetz am Speckschlag 77
Abbildung 50: Benötigte Wärmeleistung (einschl. Verluste) des Quartiers in kW mit Jahresdauerlinie 78
Abbildung 51: Schematische Darstellung der Energieflüsse mit dem Simulationstool nPro [39] 80
Abbildung 52: Bereitgestellte Wärme nach Energieträger 83
Abbildung 53: Wärmebedarf und CO_2-Äq. Emissionen für das Wärmenetz Speckschlag bis zum Zieljahr 2040. 84
Abbildung 54: Thermischer Endenergieverbrauch der Verbrauchergruppen bis 2040 86
Abbildung 55: Absoluter jährlicher Heizwärme- und Warmwasserbedarf pro Baublock 2030 86
Abbildung 56:Absoluter jährlicher Heizwärme- und Warmwasserbedarf pro Baublock 2040 87
Abbildung 57: Entwicklung des CO_2-Preises (Non-ETS) [21] 88
Abbildung 58: Zielszenario der Energieträgerverteilung Wohnen & Kleinverbraucher 89
Abbildung 59: Zielszenario der Energieträgerverteilung Öffentliche Einrichtungen 91
Abbildung 60: Zielszenario der Energieträgerverteilung für Raumwärme und Warmwasser Industrie & Großgewerbe 92
Abbildung 61: Treibhausgasbilanz der Sektoren bis zum Jahr 2040 93
Abbildung 62: Energieträgerverteilung für Heiz- und Prozesswärme aller Verbrauchergruppen für das Jahr 2040 94
Abbildung 63: Entwicklung Nahwärme 95
Abbildung 64: Versorgungsstruktur in Röthenbach a. d. Pegnitz in den Jahren 2030 und 2040 96

Abbildung 65: Spez. Nettowärmegestehungskosten (einschl. Förderung) der verschiedenen Heizungsvarianten 99

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Prüfgebiete mit Nummerierung, Bezeichnung und Einwohnerzahl 12
Tabelle 2: Erfüllungsoptionen 65- Prozent-Regelung nach GEG für dezentrale Heizungen 15
Tabelle 3: Datengrundlagen der Bestandsanalyse 21
Tabelle 4: Flächen nach Nutzungsart auf dem Stadtgebiet der Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz [8] 22
Tabelle 5: Therm. und elektr. Leistungen bzw. Energiemengen der Wärmenetze und Stromerzeugungsanlagen nach Marktstammdatenregister 27
Tabelle 6: Angenommene Leistung der einzelnen Energieträger 31
Tabelle 7: Thermischer Endenergieverbrauch des Bereichs Wohnen & Kleinverbraucher. 34
Tabelle 8: Thermischer Endenergieverbrauch von Industrie & Großgewerbe. 35
Tabelle 9: Thermischer Endenergieverbrauch der öffentlichen Einrichtungen. Aufgeteilt auf Energieträger 36
Tabelle 10: Kennwerte der Energiebilanz Wärme 38
Tabelle 11: Strombezug aufgeteilt auf Verbrauchergruppen 42
Tabelle 12: Kennwerte der Energiebilanz Strombezug 43
Tabelle 13: CO_2-Äquivalente der Energieträger 43
Tabelle 14: Kennwerte der Treibhausgasbilanz 45
Tabelle 15: Datengrundlagen der Potenzialanalyse 46
Tabelle 16: Potenzial Wärme oberflächennaher Geothermie 50
Tabelle 17: Potenzial Solarthermie Freiflächen und Dachflächen 54
Tabelle 18: Potenzial Biomasse 55
Tabelle 19: Potenzialanalyse Abwärme 58
Tabelle 20: Potenzial elektrischer Ertrag Photovoltaik 61
Tabelle 21: Elektrisches Potenzial Windenergieanlagen 61
Tabelle 22: Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz. 62
Tabelle 23: Kategorien Einstufung Wärmenetzeignung 66
Tabelle 24: Wärmebedarf und Anzahl Gebäude 69
Tabelle 25: Zentrale Annahmen Wirtschaftlichkeitsberechnung 71
Tabelle 26: Preiskomponenten für Kostenschätzung 72
Tabelle 27: Sonstige Parameter zur Wärmenetzauslegung 72
Tabelle 28: Ergebnisse Simulation Wärmenetz Conradty-Siedlung 74
Tabelle 29: Wärmebedarf und Anzahl Gebäude 78
Tabelle 30: Zentrale Annahmen Wirtschaftlichkeitsberechnung 80
Tabelle 31: Preiskomponenten für Kostenschätzung 81
Tabelle 32: Sonstige Parameter zur Wärmenetzauslegung 81
Tabelle 33: Ergebnisse Simulation Wärmenetz Speckschlag 82
Tabelle 34: Umsetzungsmaßnahmen Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz 102
Tabelle 35: Legende für Maßnahmenkatalog in Anlehnung an [58] [38] 103

2 Eignungsprüfung

2.1 Ausgangslage

2.1.1 Gesetzliche Vorgaben

Um den aktuell in der Erstellung befindlichen kommunalen Wärmeplan der Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz mit den künftigen Anforderungen an eine Wärmeplanung zu versehen, werden die Vorgaben des seit dem 01.01.2024 in Kraft getretenen Wärmeplanungsgesetzes (WPG) mitberücksichtigt. Daher wird zu Beginn der Planung die Gemeinde auf Teilgebiete geprüft, bei welchen eine Wärmeversorgung durch ein Wärme-, Biomethan- oder Wasserstoffnetz mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht in Frage kommt (§14 WPG).

Die im Gesetzestext gelisteten Kriterien zur Eignungsprüfung sind in Kapitel 2.1.3 beschrieben. Falls für ein Teilgebiet eine leitungsgebundene Versorgung ausgeschlossen wird, kann eine verkürzte Wärmeplanung durchgeführt werden, außer es handelt sich um ein Gebiet mit erhöhtem Energieeinsparpotenzial (§18 Absatz 5 WPG). Dazu zählen Sanierungsgebiete (§136 Baugesetzbuch) und Gebiete mit einem hohen Anteil an Gebäuden mit einem hohen spezifischen Endenergieverbrauch für Raumwärme.

Alle fünf Jahre, aber spätestens bis Ende 2030, soll der Wärmeplan fortgeschrieben werden (§25 WPG). Im Zuge der Fortschreibung werden die Teilgebiete erneut auf eine leitungsgebundene Wärmeversorgung überprüft.

Für Bürgerinnen und Bürger, die in einem Teilgebiet mit einer verkürzten Wärmeplanung wohnen, ist anzunehmen, dass sie sich in Zukunft eigenständig um die Einhaltung der 65-Prozent-Regelung (§71 Absatz 1 Gebäudeenergiegesetz) kümmern müssen.

Laut dem Antragsentwurf zu einem Wasserstoff-Kernnetz der Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas e.V. soll das zukünftige Wasserstoff-Kernnetz 2032 durch den Landkreis Nürnberger Land verlaufen [1]. Laut dem Netzbetreiber N-ERGIE Netz GmbH wird die Priorität bei der Versorgung mit Wasserstoff zuerst auf der energieintensiven Industrie und den Kraftwerken liegen. Ob auch eine Versorgung von privaten Haushalten möglich ist, lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht festsetzen, aber als in der ersten Stufe des Markthochlaufs als unwahrscheinlich einstufen. In einem Rechtsgutachten der Rechtsanwälte Günther für das Umweltinstitut München wird dargelegt, dass eine Wärmeplanung, die bis Mitte 2026 bzw. 2028 fertiggestellt werden muss, bei der aktuellen Sachlage nicht von einer Geeignetheit der Wasserstoffplanung für Haushalte ausgehen kann [2]. Aus diesem Grund wird in diesem Wärmeplan die Versorgung eines neuen Wasserstoffverteilnetzes über darüberliegende Netzebenen als nicht sichergestellt eingeordnet (§71k Absatz 3 Gebäudeenergiegesetz). Dies kann sich in Zukunft ändern und ist bei der nächsten Fortschreibung des Wärmeplans zu berücksichtigen. Zudem ist aufgrund der Umwandlungsverluste und Verfügbarkeit der Einsatz von Wasserstoff zur Bereitstellung von Raumwärme als kritisch zu sehen.

2.1.2 Prüfgebiete

Die umliegenden bebauten Gebiete der Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz wurden in insgesamt 7 Teilgebiete eingeteilt. Tabelle 1 listet die Teilgebiete mit der zugeordneten Nummer, Bezeichnung und der im Teilgebiet befindlichen Einwohnerzahl auf. In Abbildung 1 sind die

Teilgebiete kartografisch abgebildet. Die Kernstadt Röthenbach a. d. Pegnitz wird im Zuge der Eignungsprüfung nicht untersucht. Hier ist eine erweiterte Wärmeplanung festgeschrieben.

Tabelle 1: Prüfgebiete mit Nummerierung, Bezeichnung und Einwohnerzahl

Nummer	Bezeichnung	Einwohnerzahl (31.12.2023)
1	Haimendorf	416
2	Moritzberg	5
3	Grüne Au	24
4	Rockenbrunn	18
5	Renzenhof	279
6	Himmelgarten	93
7	Röthenbachtal	0

2.1.3 Einteilungskriterien

Wie in Kapitel 2.1.1 bereits erwähnt, gibt das Wärmeplanungsgesetz Kriterien zur Eignungsprüfung vor. Im Folgenden werden die Kriterien zur Bewertung einer Wärmeversorgung mittels **Wärmenetz** aufgezählt:

- Art der Siedlungsstruktur
- Wärmenetz vorhanden bzw. Entfernung zum nächsten Wärmenetz
- Konkretes Abwärmepotenzial vorhanden
- Konkretes Potenzial Wärme aus Erneuerbaren Energien vorhanden
- Stromnetz Hoch- / Mittelspannung vorhanden
- Grobe Schätzung spezifischer Wärmebedarf in kWh/(a*m^2) (anhand der Daten des Energieatlas Bayern [3])

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

- Art der Siedlungsstruktur
- Stromnetz Hoch- / Mittelspannung vorhanden
- Gasnetz vorhanden bzw. Entfernung zum nächsten Gasnetz
- Konkrete Anhaltspunkte für eine dezentrale Erzeugung, Speicherung und Nutzung von Biomethan/Wasserstoff vorhanden
- Grobe Schätzung spezifischer Wärmebedarf in kWh/(a*m^2) (anhand der Daten des Energieatlas Bayern)

Zudem werden die Teilgebiete auf potenzielle städtebauliche Sanierungsmaßnahmen sowie auf einen hohen Anteil an Gebäuden mit hohem spezifischen Endenergieverbrauch für Raumwärme überprüft.

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

Alle einzelnen Kriterien der Wärmenetz- bzw. Biomethan-/Wasserstoffnetz-Bewertung werden gewichtet und erhalten am Ende eine Gesamtpunktzahl. Diese Gewichtung ist so ausgelegt, dass ein Gebiet höchstens 3 Punkte in einer Bewertung erlangen kann. Wenn z.B. ein Gebiet in der Kategorie Siedlungsstruktur 3 Punkte erhält und diese Kategorie mit einer Gewichtung von 10 Prozent in die Berechnung eingeht, bringt es dem Gebiet einen Wert von 0.3 in der Netz-Gesamtwertung.

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

2.2 Ergebnis Eignungsprüfung

Abbildung 1 zeigt das Ergebnis der Eignungsprüfung kartografisch auf. Alle rot dargestellten Gebiete werden einer verkürzten Wärmeplanung unterzogen. Für die grün gefärbten Teilgebiete wird, wie auch für die Kernstadt, eine erweiterte Wärmeplanung durchgeführt. Die Bezeichnungen der einzelnen Gebiete sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Außerhalb der Kernstadt besteht im Gemeindegebiet bisher kaum Netzinfrastruktur, die für eine spätere Versorgung genutzt werden kann. Es existieren dort keine Wärmenetze und bis auf den Ortsteil Röthenbachtal, bei dem es sich um einen reinen Industriestandort ohne Einwohner handelt, auch kein Gasnetz. Darüber hinaus gibt es in den Teilgebieten abgesehen von Röthenbachtal keine konkreten Abwärmepotenziale. Die Siedlungsstruktur besteht in großen Teilen aus Einfamilienhäusern niedriger Dichte mit geschätzten niedrigen relativen Wärmebedarfen.

Dies hat zur Folge, dass sich die Teilgebiete außerhalb der beiden Kernorte als mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht für eine Wärmeversorgung durch ein Wärme- oder Biomethan-/Wasserstoffnetz eignen. Städtebauliche Sanierungsmaßnahmen sind in keinem Teilgebiet vorgesehen, ein hoher Anteil an Gebäuden mit hohem spezifischen Endenergieverbrauch für Raumwärme liegt nicht vor.

Die Ortsteile Haimendorf und Rockenbrunn grenzen jedoch räumlich direkt an den Ort Diepersdorf in der Gemeinde Leinburg an, für den eine erweiterte Wärmeplanung durchgeführt wird. Aus diesem Grund wurde entschieden die beiden Gebiete weiter zu betrachten, um mögliche Synergien z.B. in Form eines interkommunalen Wärmenetzes zu nutzen.

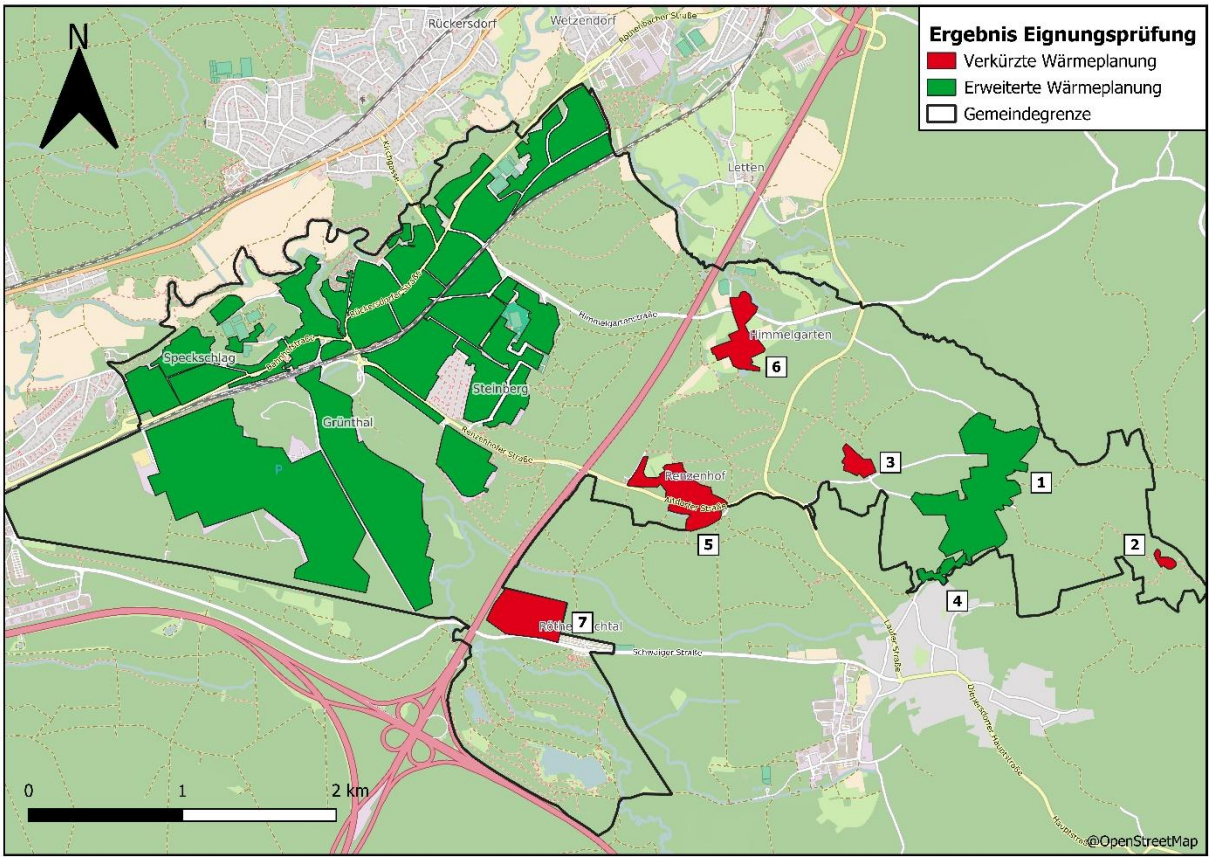


Abbildung 1: Ergebnis der Eignungsprüfung für Röthenbach a. d. Pegnitz

2.3 Weiteres Vorgehen

2.3.1 Erweiterte Wärmeplanung

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

2.3.2 Verkürzte Wärmeplanung

Eine verkürzte Wärmeplanung beinhaltet keine detaillierte Bestands- und Potenzialanalyse. Das Teilgebiet wird als voraussichtliches Gebiet für eine dezentrale Wärmeversorgung eingeordnet. Lediglich sind Potenziale zu ermitteln, die für eine dezentrale Wärmeversorgung in Betracht kommen. Bei der nächsten Fortschreibung des Wärmeplans wird erneut jedes Teilgebiet auf eine zentrale Wärmeversorgung untersucht. Gegebenenfalls haben sich ein oder mehrere Kriterien geändert, was dann auf ein anderes Ergebnis schließen lässt. Für Bürgerinnen und Bürger ist jedoch derweil davon auszugehen, dass sich in Teilgebieten einer verkürzten Wärmeplanung eigenständig um die Einhaltung der 65-Prozent-Regelung nach dem

Gebäudeenergiegesetz gekümmert werden muss. Im nachfolgenden Kapitel werden die Möglichkeiten der zukünftigen dezentralen Wärmeversorgung sowie die Potenziale erneuerbarer Energien auf dem Gemeindegebiet aufgezeigt.

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

2.4 Zukünftige Möglichkeiten dezentraler Wärmeversorgung

Jedes Gebäude ist individuell und bedarf daher einer Einzelbetrachtung. Im Folgenden werden Möglichkeiten dezentraler Wärmeversorgung aufgezeigt, es handelt sich jedoch um eine generelle Nennung von Potenzialen und dient nur der ersten Einschätzung. Für tiefergehende Empfehlungen ist eine Energieberatung notwendig.

2.4.1 Energetische Sanierung

Grundsätzlich ist zu empfehlen, vor dem Heizungstausch eine Energieberatung durchführen zu lassen. Diese wird staatlich bezuschusst (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle [4]). Eine Energieberatung für ein Einfamilienhaus wird derzeit (Oktober 2024) mit 50 Prozent (max. 650 €) gefördert (da Änderungen möglich sind, sollten die aktuell geltenden Förderbedingungen vor Beantragung geprüft werden). In den meisten Fällen wird eine (Teil-) Sanierung vor dem Austausch der Heizung vorgeschlagen.

2.4.2 Erfüllungsoptionen der 65- Prozent-Regelung nach GEG

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

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

Technologie	Anmerkung
Wärmepumpe	Bei vollständiger Deckung des Wärmebedarfs. Sole-Wasser, Wasser-Wasser, Luft-Wasser, Luft-Luft.
Stromdirektheizung	Sehr hohe Anforderung an baulichen Wärmeschutz.
Solarthermische Anlage	Deckungsanteil von 65 Prozent in der Regel nicht möglich. Ergänzung von weiteren erneuerbaren Energien nötig.
Feste Biomasse	Aufgrund begrenzter Verfügbarkeit nur für bestimmte Anwendungsfälle zu empfehlen (siehe Kapitel 2.4.3).
Wärmepumpen-Hybridheizung	Wärmepumpe im Vorrangbetrieb. Fossile Spitzenlasterzeuger müssen Brennwertkessel sein.
Solarthermie-Hybridheizung	Mindestaperturfläche beachten. Anteil ergänzender Brennstoff mind. 60 Prozent Biomasse oder grüner oder blauer Wasserstoff.

Gas- und Ölheizung	Vor 01.07.2028 Einbau neuer Anlagen weiterhin erlaubt. Ab 2029 steigender Anteil an bereitgestellter Wärme aus Biomasse oder grünem oder blauem Wasserstoff notwendig. Beratungspflicht vor Einbau.

Die oben stehenden Technologien erfüllen die Anforderungen der 65-Prozent-Regelung des GEG automatisch (vereinfachtes Verfahren im Bestand). Kommt eine anderweitige Konstellation an Wärmeerzeugern zum Einsatz, ist der voraussichtliche Anteil erneuerbarer Energien zur Wärmebereitstellung durch Berechnung zu bestimmen. Hierbei wird softwarebasiert ein Modell des zu betrachtenden Gebäudes erstellt sowie ein Profil des Wärmebedarfs ermittelt. Dies ist von einer Fachkraft durchzuführen. Weitere erste Informationen enthält die Broschüre „Novelle des GEG auf einen Blick“ der Bundesregierung [5].

2.4.3 Potenziale für dezentrale Wärmeversorgung

Geothermie:

Erdwärme stellt ein großes Potenzial der zukünftigen Wärmeversorgung dar. Mittels einer Wärmepumpe können die Bodentemperaturen auf Raumheizungsniveau gebracht werden. Die höheren Temperaturen des Erdreiches gegenüber der Außenluft im Winter reduzieren die nötige Strommenge einer erdwärmebetriebenen Wärmepumpe gegenüber einer Luft-Wärmepumpe. Oberflächennahe Geothermie (bis 400 m Tiefe) kann auf drei verschiedene Arten genutzt werden. Erdwärmekollektoren werden flächendeckend direkt unter der Oberfläche eingebracht. Für Erdwärmesonden werden vertikale Bohrungen durchgeführt (50 – 300 m Tiefe). Bei Grundwasserwärmepumpen wird Grundwasser gefördert und ausgekühlt. Im Umwelt-Atlas des Bayerischen Landesamt für Umwelt *[6]* können für jedes Grundstück in der tadt Röthenbach a. d. Pegnitz erste Informationen zur möglichen Nutzung von Geothermie gefunden werden (siehe Abbildung 2).

Abbildung 2: Erste Informationen zur potenziellen Nutzung von Geothermie in Röthenbach [6]

Abbildung 3 zeigt welche Arten von oberflächennaher Geothermie in den jeweiligen Prüfgebieten mit dezentraler Wärmeversorgung möglich sind. In manchen Fällen muss eine Einzelfallprüfung durch die zuständige Behörde oder einen privaten Fachgutachter durchgeführt werden.

Prüfgebiete		Nutzungsmöglichkeiten oberflächennahe Geothermie		
Nummer	Bezeichnung	Erdwärmekollektoren	Erdwärmesonden	Grundwasserwärmepumpen
1	Haimendorf	Ja	Ja	Ja, mit Einzelfallprüfung
2	Moritzberg	Nein, Wasserschutzgebiet	Nein, Wasserschutzgebiet	Nein, Wasserschutzgebiet
3	Grüne Au	Ja	Ja	Ja, mit Einzelfallprüfung
4	Rockenbrunn	Ja	Ja	Ja, mit Einzelfallprüfung
5	Renzenhof	Ja	Nein, nicht möglich (hydrogeologisch und geologisch oder wasserwirtschaftlich kritisch)	Ja, mit Einzelfallprüfung
6	Himmelgarten	Ja	Nein, nicht möglich (hydrogeologisch und geologisch oder wasserwirtschaftlich kritisch)	Ja, mit Einzelfallprüfung
7	Röthenbachtal	Ja	Ja	Ja, mit Einzelfallprüfung

Abbildung 3: Nutzungsmöglichkeiten oberflächennaher Geothermie in den einzelnen Prüfgebieten

Solarenergie:

Photovoltaik und Solarthermie können eine finanziell rentable Ergänzung zur Strom- und Wärmeversorgung sein. Mit Hilfe des Solarpotenzialkatasters des Landkreises Nürnberger Land [7] erste Abschätzungen zur Wirtschaftlichkeit einer PV- oder Solarthermie-Anlage auf jedem Hausdach gemacht werden (siehe Abbildung 4).

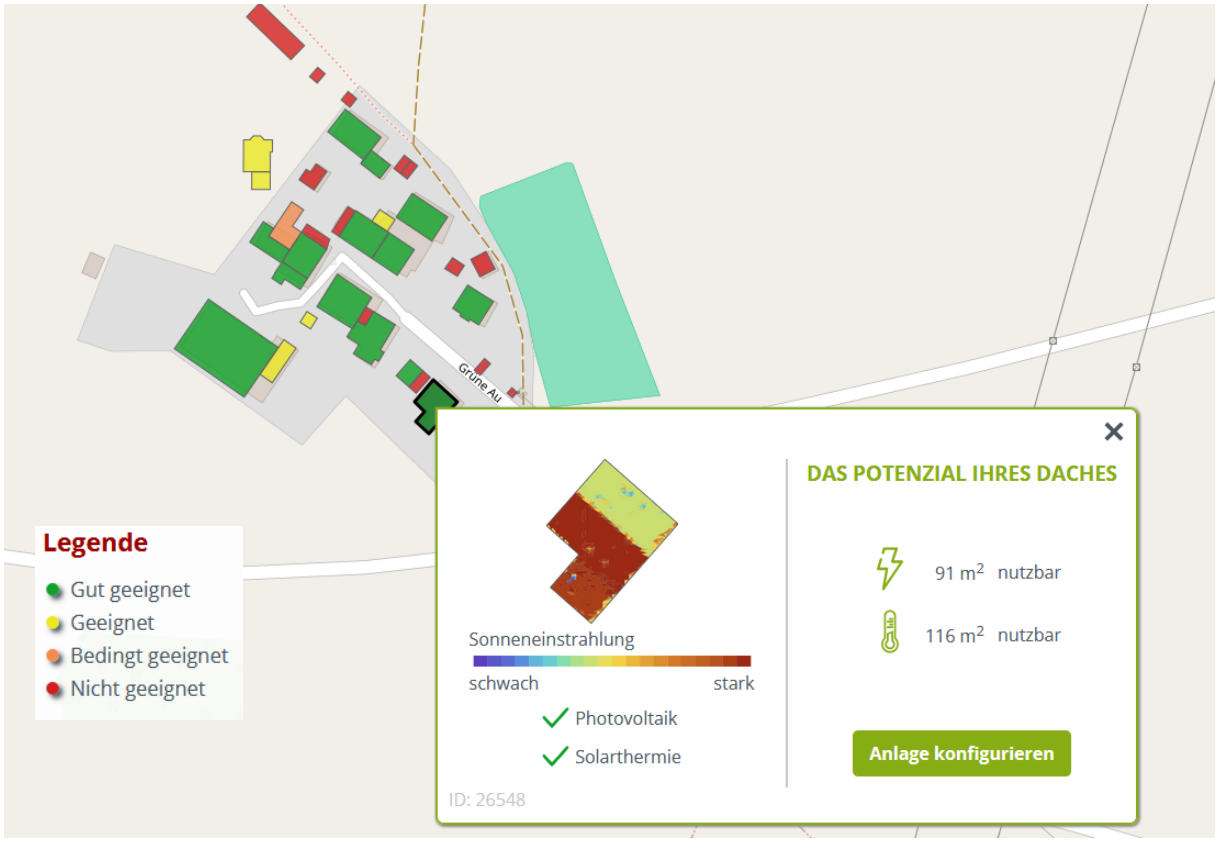


Abbildung 4: Auszug aus dem Solarkataster des Landkreises Nürnberger Land [7] am Beispiel eines Hauses in Grüne Au.

Feste Biomasse:

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

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

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

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

Abbildung 5 zeigt den absoluten Flächenbedarf von Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen (grünes Rechteck) für das Gemeindegebiet von Röthenbach a. d. Pegnitz (rote Fläche). Mit Biomasse ist hier ausschließlich Holz gemeint (Waldholz, Industrie(rest)holz, Sägenebenprodukte, Holz aus Kurzumtriebsplantagen, Flur- und Siedlungsholz). Diese Graphik entstammt dem Energie-Atlas-Bayern [3] und basiert auf statistischen Berechnungen der aktuellen Wärmeversorgung. Das gepunktete grüne Rechteck zeigt die Potenzialfläche der Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen in dem Gemeindegebiet auf. Es ist zu erkennen, dass bereits jetzt die Bedarfsfläche für Biomasse die Größe der Potenzialfläche überschritten hat. Wenn in Zukunft Gas und Öl in großem Maße von Biomasse als Energieträger zum Heizen ersetzt werden, wird der Bedarf das Potential noch weiter übersteigen. Dadurch wird deutlich, dass die Verbrennung von Biomasse im Gemeindegebiet nur unter Sicherstellung der genannten Kriterien erweitert werden sollte.

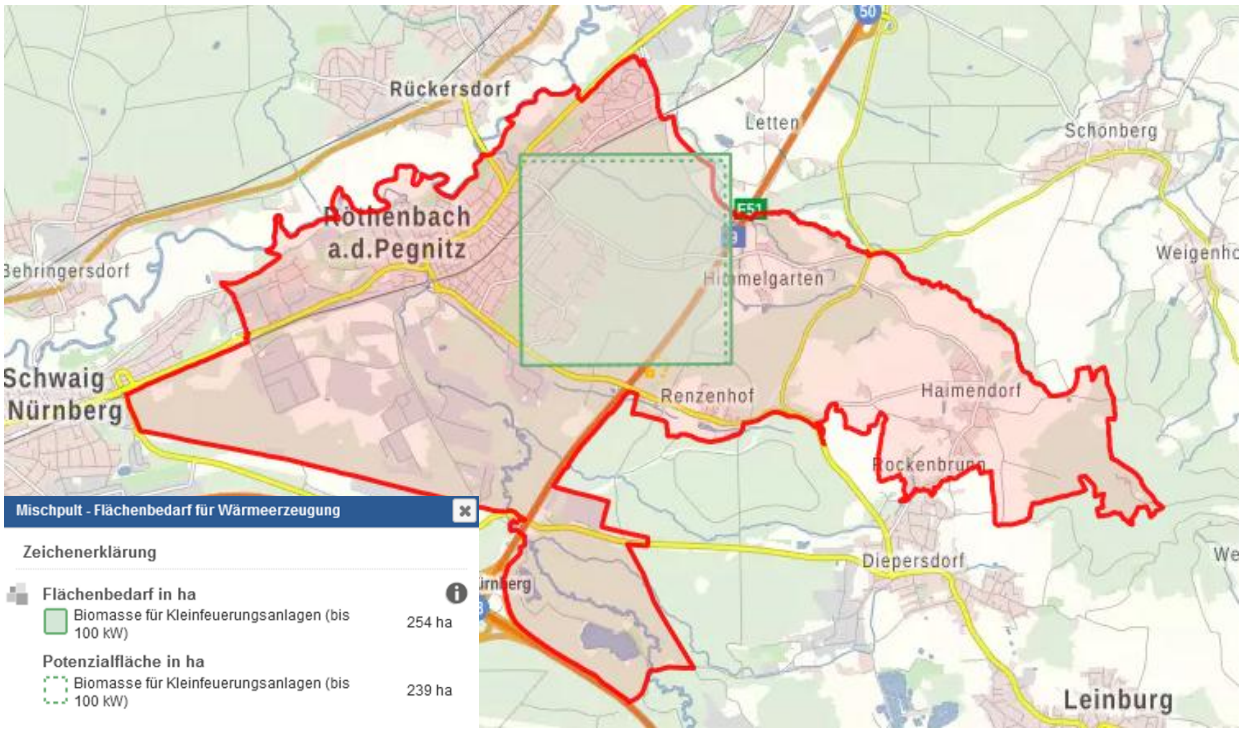


Abbildung 5: Absoluter Flächenbedarf und Potenzialfläche für die Bereitstellung fester Biomasse für Kleinfeuerungsanlagen im Gemeindegebiet Röthenbach a. d. Pegnitz. [3]

3 Bestandsanalyse

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

3.1 Datengrundlagen und Verbrauchergruppen

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

3.1.1 Datengrundlagen

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

Tabelle 3: Datengrundlagen der Bestandsanalyse

Kapitel	Datengrundlage
Gebäude- und Siedlungsstruktur	ALKIS, Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz
Energieerzeugungsanlagen und Versorgungsnetze	Energie-Atlas Bayern, Marktstammdatenregister, N-ERGIE AG, N-ERGIE Netz GmbH, Stadtwerke Röthenbach a. d. Pegnitz GmbH, lokale Akteure
Wärmeerzeugung	Kehrbuchdaten Röthenbach, Stadtwerke Röthenbach a. d. Pegnitz GmbH, N-ERGIE Netz GmbH, Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz
Energiebilanz Wärme	Energie-Atlas Bayern, Kehrbuchdaten Röthenbach, Fragebogen Industrie & Großgewerbe, Stadtwerke Röthenbach a. d. Pegnitz GmbH, Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz, N-ERGIE Netz GmbH
Energiebilanz Strombezug	Stadtwerke Röthenbach a. d. Pegnitz GmbH, N-ERGIE Netz GmbH, Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz
Treibhausgasbilanz Wärme und Strom	Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH u.a.
Raumwärme- und Warmwasserbedarf auf Baublockebene	Wärmekataster des digitalen Energienutzungsplans des Landkreises Nürnberger Land, Fragebogen Industrie & Großgewerbe, Fragebogen an die Bürgerinnen und Bürger

3.1.2 Verbrauchergruppen

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

- Wohnen & Kleinverbraucher
- Industrie & Großgewerbe
- Öffentliche Einrichtungen

Diese Unterteilung geht auf die von den Energieversorgungsunternehmen zur Verfügung gestellten Daten zurück. Die tatsächlichen Verbrauchswerte für Strom und Gas werden in Großkunden und Jahreskunden aufgeteilt. Somit sind Industrie & Großgewerbe separat aufgelistet und lassen sich von privaten Haushalten und kleineren Gewerbebetrieben unterscheiden. Die

möglichen Maßnahmen zur Dekarbonisierung des Wärmesektors sind bei Kleingewerbe und privaten Haushalten miteinander vergleichbar, da hier die Wärmeverbräuche in einer ähnlichen Größenordnung liegen. Die Daten der Verbrauchergruppe Öffentliche Einrichtungen basieren auf tatsächlichen Verbräuchen und lassen sich somit von den anderen beiden Verbrauchergruppen differenzieren. Die Abgrenzung dieser Verbrauchergruppe ist außerdem sinnvoll, da der Kommune bei eigenen Gebäuden und öffentlichen Verbrauchern andere Handlungsmöglichkeiten als den privaten Verbrauchern zur Verfügung stehen.

Unter Öffentlichen Einrichtungen werden grundsätzlich alle Gebäude und Infrastruktur zusammengefasst, die sich im Eigentum der Kommune, des Landes oder des Bundes befinden. In Röthenbach a. d. Pegnitz werden neben den kommunalen Liegenschaften auch das staatliche Gymnasium und die Realschule untersucht.

Die Kategorie Wohnen & Kleinverbraucher umfasst neben privaten Haushalten und Kleingewerbe auch Wohn- und Pflegeheime, private Schulen und kirchliche Einrichtungen.

3.2 Flächennutzung und Siedlungsstruktur

Im Zuge der kommunalen Wärmeplanung wird die Flächennutzung und die Siedlungsstruktur auf dem Stadtgebiet Röthenbach untersucht. Diese Daten sind für die Abschätzung des Wärmebedarfs sowie für die Potenzialanalyse von Bedeutung.

3.2.1 Flächennutzung

Durch Auswertung der von der Kommune zur Verfügung gestellten ALKIS-Daten wird ein Überblick über die Flächennutzung auf dem Stadtgebiet geschaffen. Abbildung 6 zeigt kartografisch die Flächennutzung im Stadtgebiet.

Wald und Landwirtschaft nehmen zusammen etwas mehr als die Hälfte der Fläche ein. Der Rest der Fläche wird überwiegend für Siedlung und Verkehr genutzt. In Tabelle 4 sind die Flächen nach Nutzungsart in Hektar und prozentual zum gesamten Stadtgebiet aufgelistet.

Tabelle 4: Flächen nach Nutzungsart auf dem Stadtgebiet der Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz [8]

Nutzungsart	Fläche [ha]	Fläche [%]
Wald	637	44,6
Landwirtschaft	195	13,6
Siedlungs- und Verkehrsfläche	509	35,6
Sonstiges Gebiet	88	6,2
Gesamtes Gebiet	1.429	100

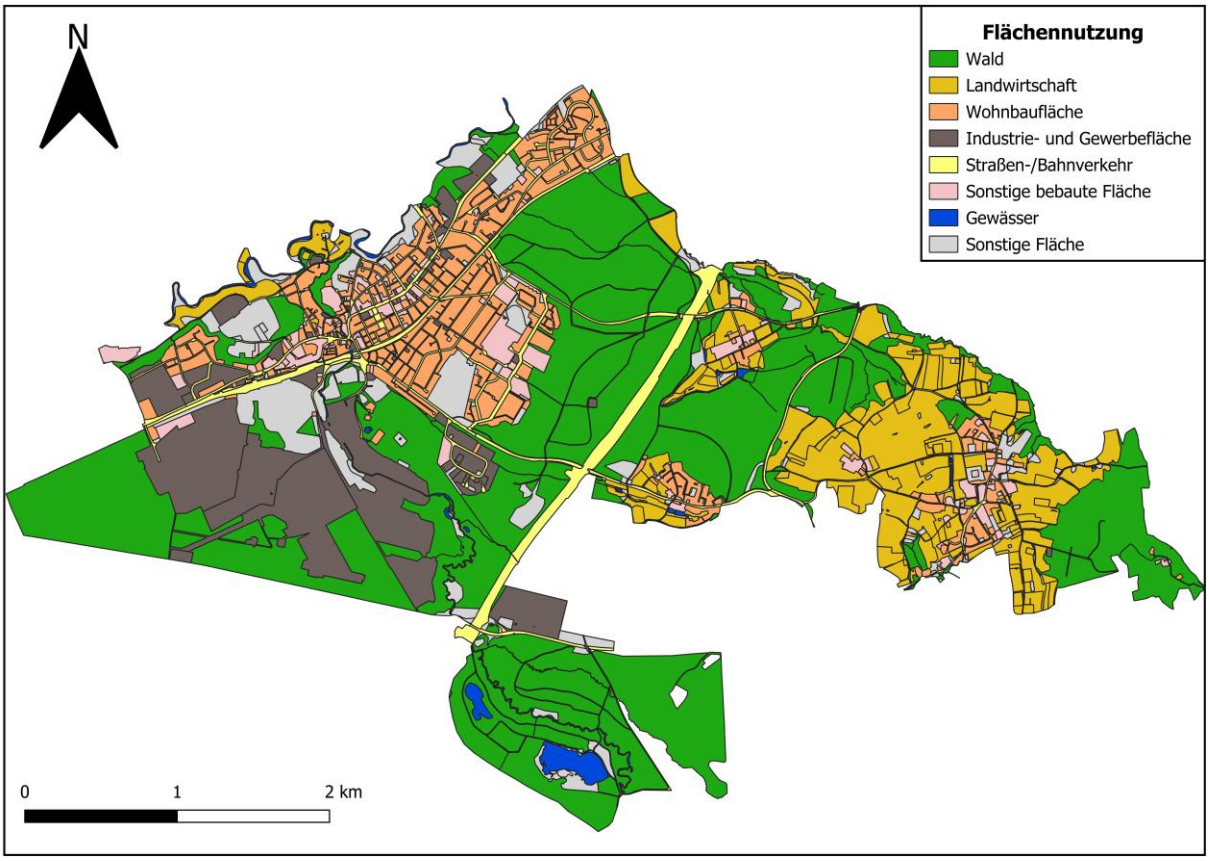


Abbildung 6: Flächennutzung auf dem Stadtgebiet Röthenbach a. d. Pegnitz

3.2.2 Siedlungsstruktur

In Abbildung 7 ist die Siedlungsentwicklung für die Kernstadt und die Ortsteile Haimendorf und Rockenbrunn aufgezeigt. Diese wurde anhand von städtischen Plänen und des Zeitreise-Tools des BayernAtlas erstellt [9] [10]. Der Ortskern stammt zum Teil aus dem frühen 20. Jahrhundert. Die Mehrheit der Baublöcke, darunter auch weite Teile der Industrie, sind in den Jahren von 1949 bis 1978 entstanden, ebenfalls gibt es einige Gebiete aus den 1980er- und 1990er-Jahren. Im Südwesten der Kernstadt gibt es Neubaugebiete aus den 2000ern.

Zum Zwecke des Datenschutzes und der besseren Veranschaulichung wird das bebaute Gebiet in kleinere Baublöcke eingeteilt. Die Einteilung verläuft größtenteils entlang von Straßen und Schienen oder natürlichen Grenzen, wie zum Beispiel Flüssen (wie die Pegnitz oder der Röthenbach). Es wird versucht, möglichst Gebiete mit gleicher Größe zu definieren. Bei Industrie und verwinkelten Bebauungsgebieten kann dies abweichen.

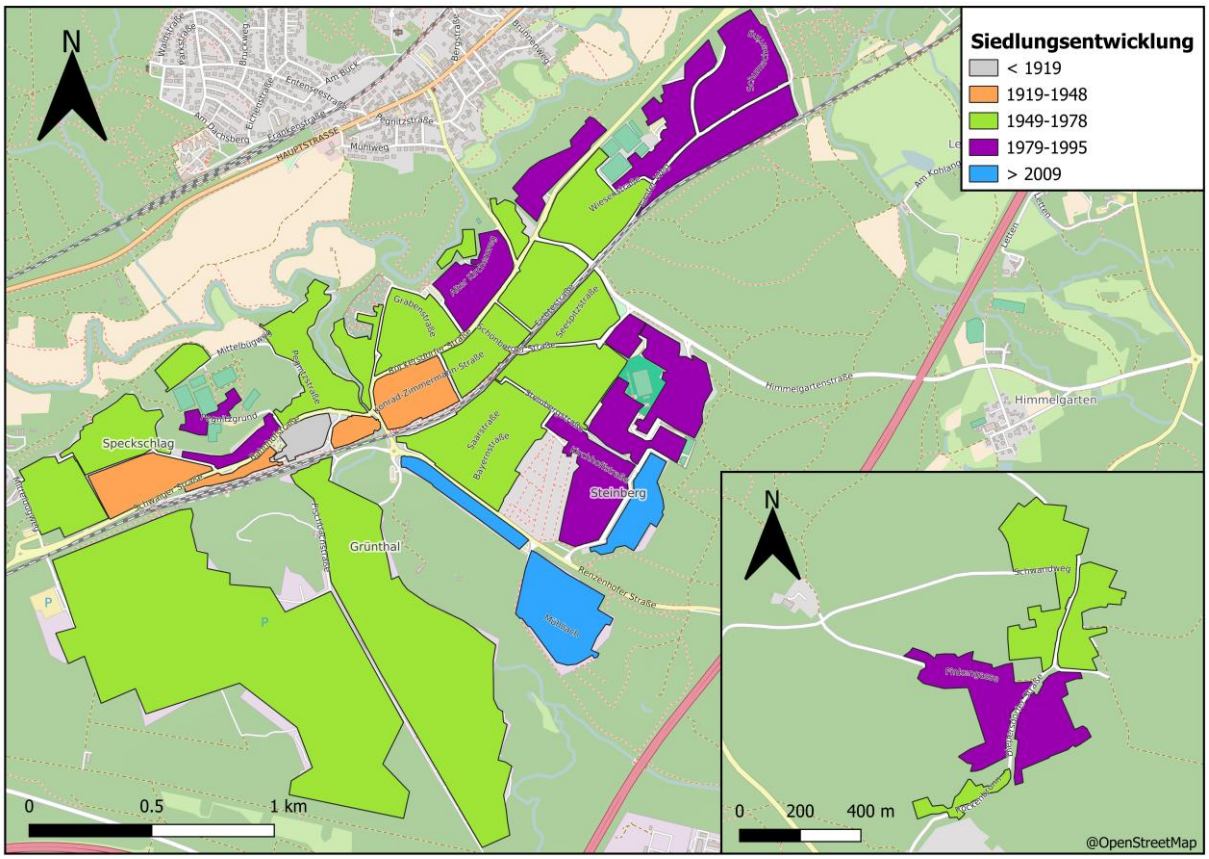


Abbildung 7: Siedlungsentwicklung der Stadt Röthenbach

In Abbildung 8 sind die Nutzungsarten der Gebäude nach den drei Verbrauchergruppen Wohnen & Kleinverbraucher, Industrie & Großgewerbe sowie Öffentliche Einrichtungen dargestellt. In einigen Gebieten überlagern sich die Nutzergruppen. Die Industrie konzentriert sich mehrheitlich auf den Südwesten der Kernstadt. Ansonsten bestehen die Stadt vor allem aus Wohngebieten durchzogen von Gewerbe und öffentlichen Einrichtungen.

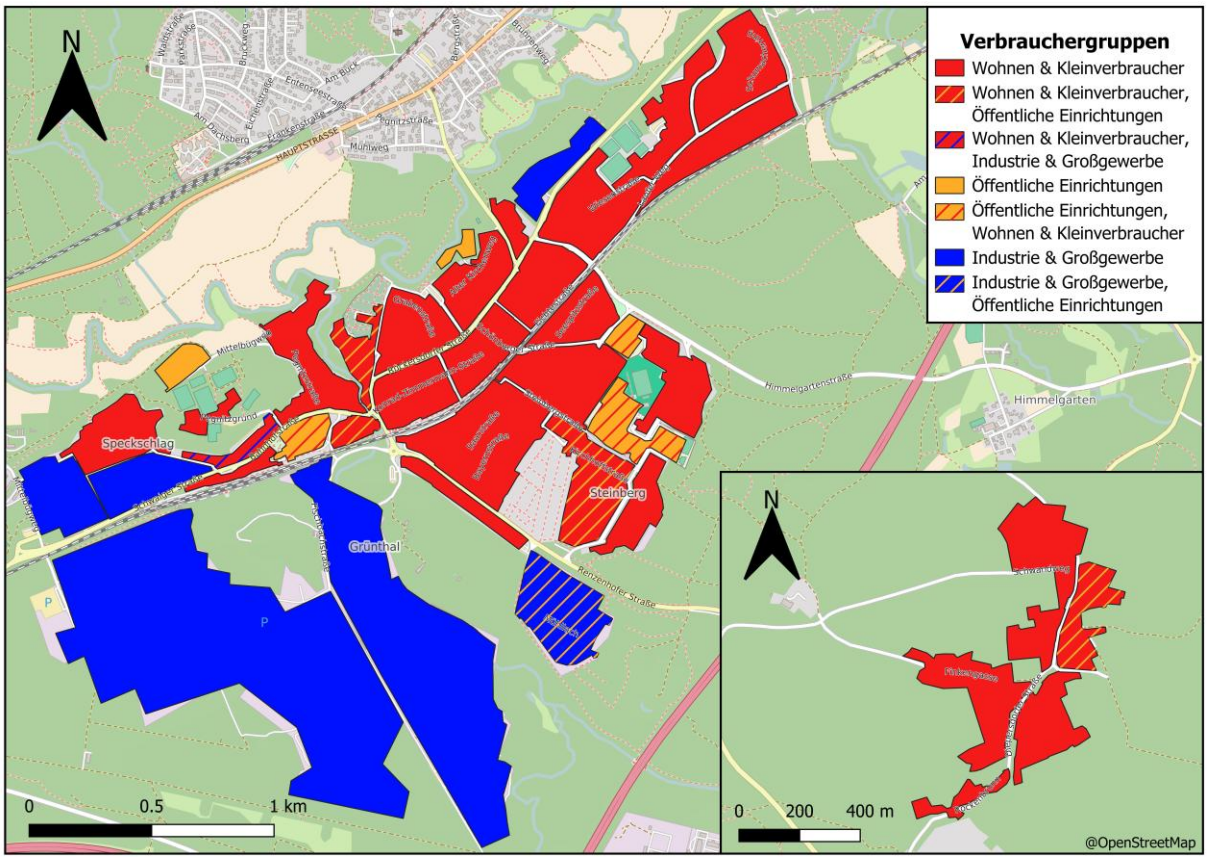


Abbildung 8: Baublöcke unterschieden nach Nutzungsarten

3.3 Energieerzeugungsanlagen und Versorgungsnetze

Für die Potenzialanalyse sowie die Planung der zukünftigen Energieversorgung ist die Beschreibung der Ist-Situation der erste Schritt. Daher werden im folgenden Kapitel die auf dem Stadtgebiet bestehenden Energieerzeugungsanlagen sowie die Energieinfrastruktur untersucht.

3.3.1 Energieerzeugungsanlagen

Die Bestandsanalyse zu Energieerzeugungsanlagen basiert auf den Daten des Marktstammdatenregisters [11] für den Sektor Strom sowie des Energie-Atlas-Bayern [3]. Es gibt ein BHKW, welches in ein Wärmenetz einspeist. Die größten Stromerzeugungsanlagen mit einer Leistung von größer als 30 kW sind in Abbildung 9 eingezeichnet.

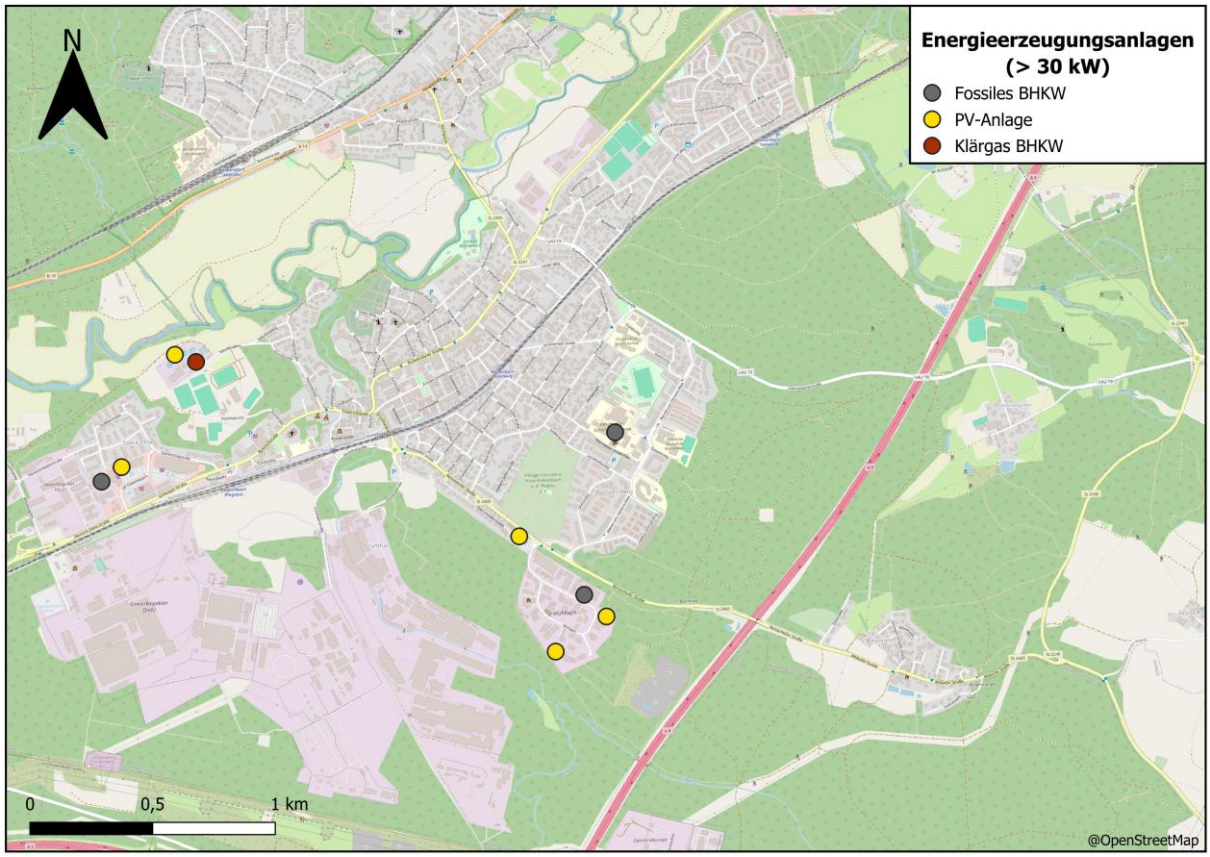


Abbildung 9: Standorte größerer Energieerzeugungsanlagen

Auf dem Stadtgebiet sind ca. 380 PV-Anlagen mit einer Gesamtleistung von 3,27 MW installiert. Dabei handelt es sich abgesehen von einer Freifläche auf dem Gelände der Kläranlage um Aufdachanlagen auf Wohn- und Industriegebäuden oder Balkonsolaranlagen. Bis auf wenige Ausnahmen beträgt die installierte Leistung pro Anlage weniger als 30 kWp. Biomasse wird nicht zur Stromerzeugung verwendet. Es gibt insgesamt 9 Blockheizkraftwerke, teils in Verbindung mit Kraft-Wärmekopplung mit einer gesamten elektrischen Leistung von 0,54 MW und einer thermischen Leistung von 0,85 MW. Für die Anlagen auf Industriegelände und das BHKW zur Erzeugung der Fernwärme wird eine Volllaststundenzahl von 5.400 Stunden pro Jahr angenommen [12]. Bei den kleineren Anlagen wird davonausgegangen, dass sie überwiegend zu Heizzwecken genutzt werden und daher 1.500 Vollbenutzungsstunden aufweisen. Die Anlage in der Kläranlage wird mit Klärgas betrieben, für diese liegen die erzeugten Wärmemengen vor.

Tabelle 5 listet die elektrische Leistung und die jährlich erzeugte Strommenge aller Energieerzeugungsanlagen nach Marktstammdatenregister auf. Aufgrund der höheren Volllaststundenzahl erzeugen die kleinen fossilen Blockheizkraftwerke trotz der geringeren installierten Leistung eine relativ hohe Strommenge.

Tabelle 5: Therm. und elektr. Leistungen bzw. Energiemengen der Wärmenetze und Stromerzeugungsanlagen nach Marktstammdatenregister

Erzeugungs-art	Thermische Leistung [MW]	Erzeugte Wärme-menge [MWh/a]	Elektrische Leistung [MW]	Erzeugte Strom-menge [MWh/a]
Photovoltaik	-	-	3,27	3.110
Biomasse (Klärgas)	0,19	580	0,13	320
Wasserkraft	-	-	-	-
Fossile Energieträger	0,80	3.100	0,47	1.950
Strom-speicher	-	-	1,01	-

Abbildung 10 zeigt graphisch die installierte elektrische Leistung und den anhand von exemplarischen Vollaststunden berechneten elektrischen Ertrag auf dem Gebiet der Stadt Röthenbach.

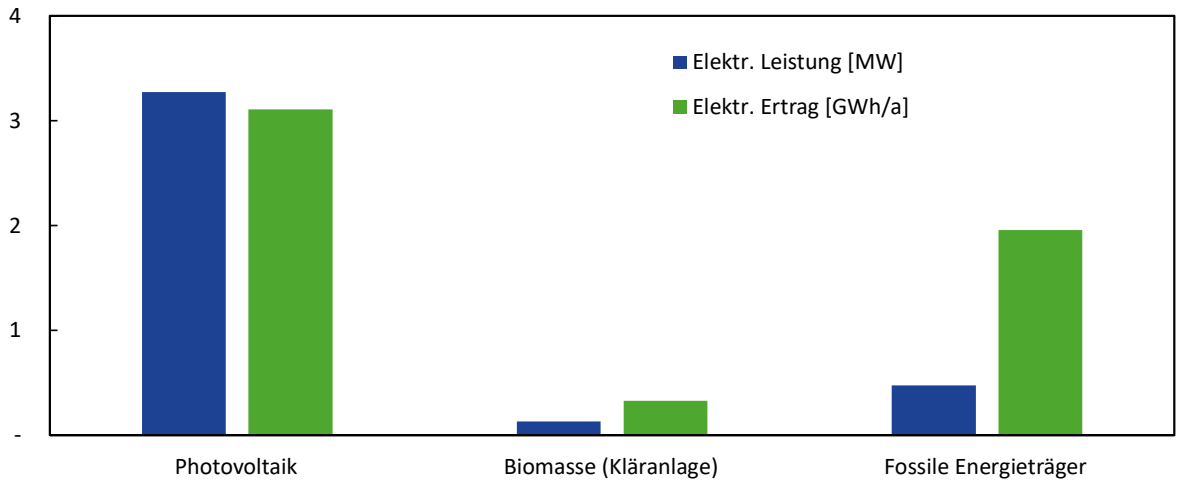


Abbildung 10: Elektrische Leistungen und Erträge nach Marktstammdatenregister

3.3.2 Versorgungsnetze der Wärmeversorgung

Die Wärmeversorgung eines Gebäudes kann laut Wärmeplanungsgesetz zentral oder dezentral erfolgen. Eine zentrale Wärmeversorgung liegt vor, wenn ein Gebäude entweder an einem Wärme- oder einem Gasnetz angeschlossen ist. Falls keine leitungsgebundene Energieversorgung vorhanden ist, handelt es sich um eine dezentrale Wärmeversorgung. In der Kernstadt von Röthenbach gibt es ein alle Baublöcke in der Kernstadt umfassendes Gasnetz und ein erdgasbasiertes Wärmenetz im Gebiet Steinberg (beide betrieben von den Stadtwerken Röthenbach a. d. Pegnitz GmbH), wie in Abbildung 11 dargestellt. Jedoch sind in den Baublöcken nicht alle Gebäude auch an die existierenden Netze angeschlossen. In den außenliegenden Ortsteilen gibt es mit Ausnahme von Röthenbachtal kein Gasnetz.

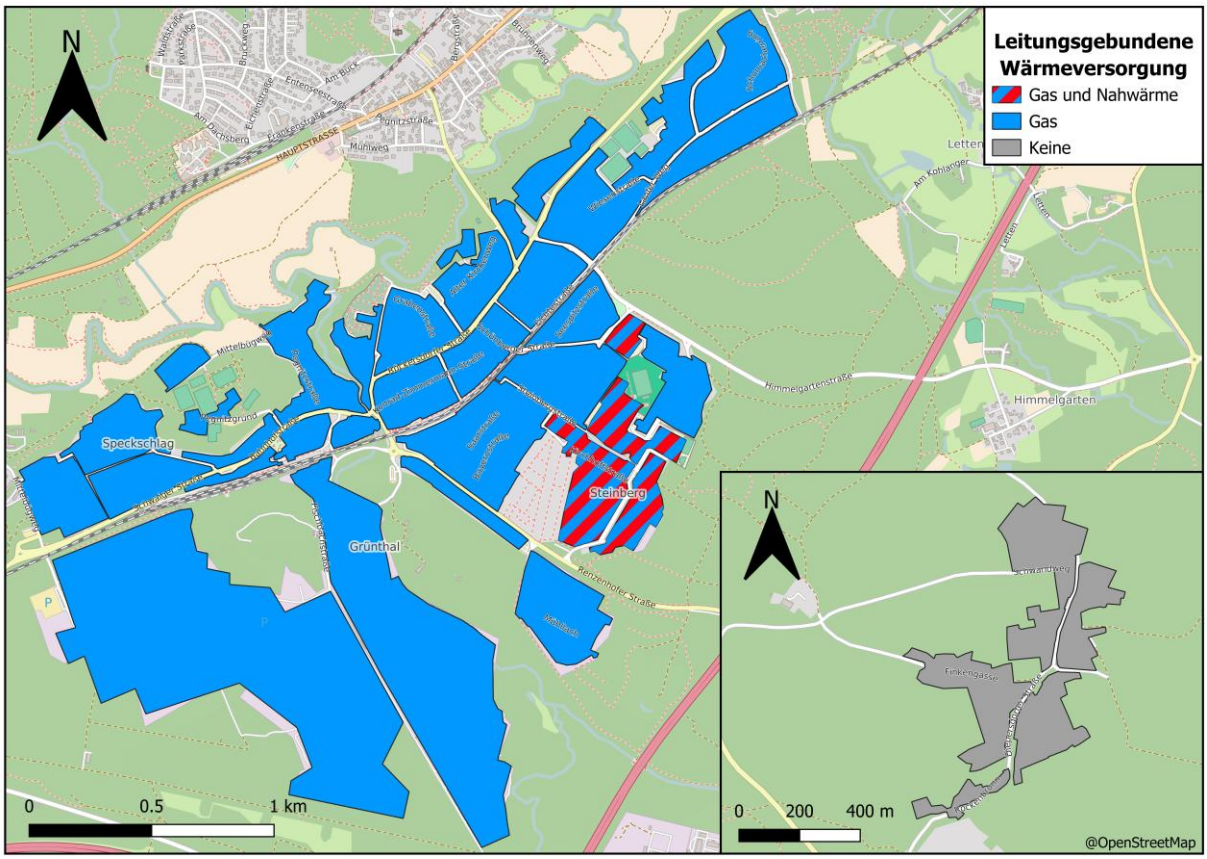


Abbildung 11: Leitungsgebundene Wärmeversorgung in den Baublöcken

3.3.3 Stromversorgungsnetze

Es ist wichtig, den Sektor Wärme nicht einzeln zu betrachten. Die Idee der Sektorenkopplung sollte bei jedem Energiekonzept mitbedacht werden. Da voraussichtlich in naher Zukunft die Nutzung von Strom zur Wärmegewinnung stärker in Anspruch genommen wird (primär durch den Einsatz von Wärmepumpen), ist in Abbildung 12 das Stromnetz im Betrachtungsgebiet dargestellt, welches von den Stadtwerken Röthenbach a. d. Pegnitz GmbH, betrieben wird. Dargestellt sind der Verlauf der Mittelspannungsfreileitungen und -kabel (MS = Mittelspannung) sowie der Hochspannungsfreileitung (HS = Hochspannung). Im Südwesten der Kernstadt befindet sich ein Umspannwerk.

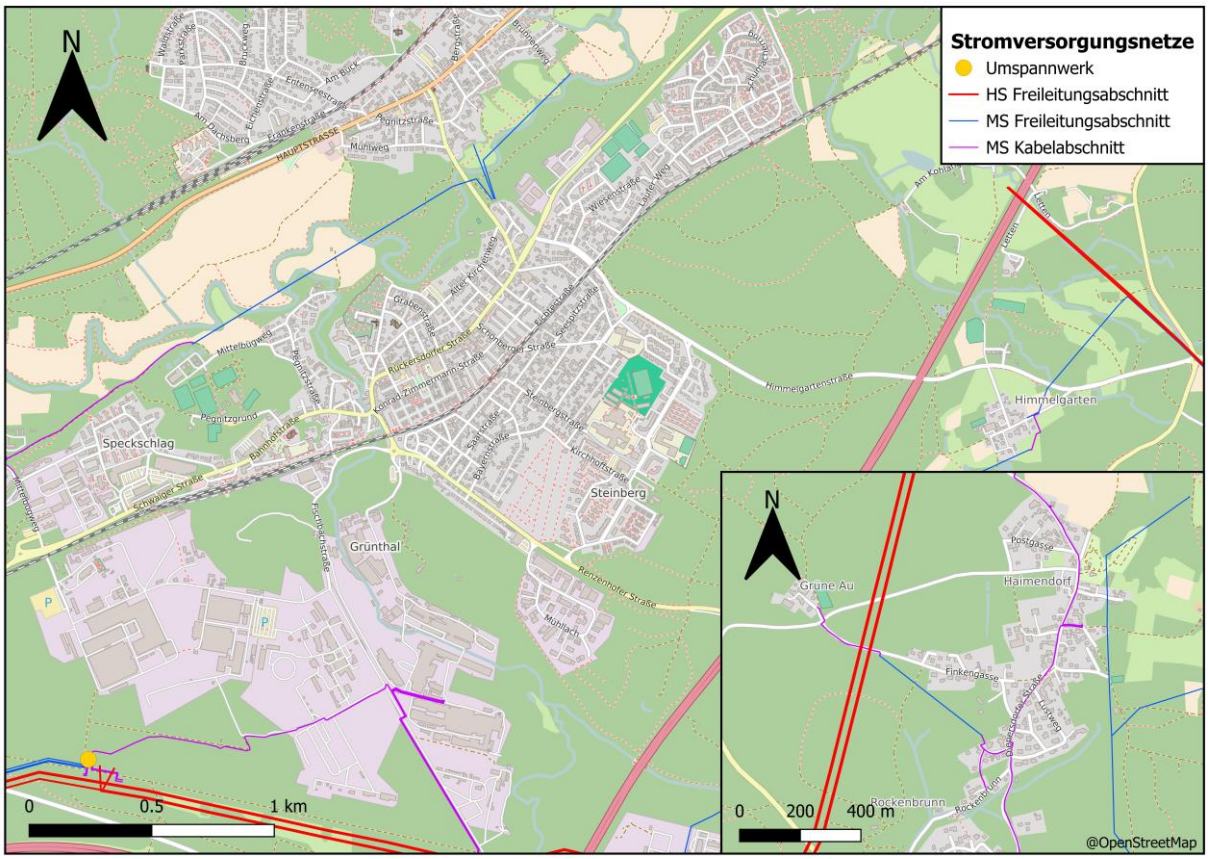


Abbildung 12: Stromversorgungsnetze auf dem Stadtgebiet

1.1.1. Abwasserkanalnetz

Abwärme aus Abwasser stellt ein großes Potenzial dar. Allerdings muss dafür ein bestimmter Volumenstrom gegeben sein. Daher wird in Abbildung 13 nur das Kanalnetz mit einem Durchmesser von größer als 800 mm angezeigt. Zudem sind Sammel-, Rückhalte- und Überlaufbecken sowie der Standort der Kläranlage zu sehen.

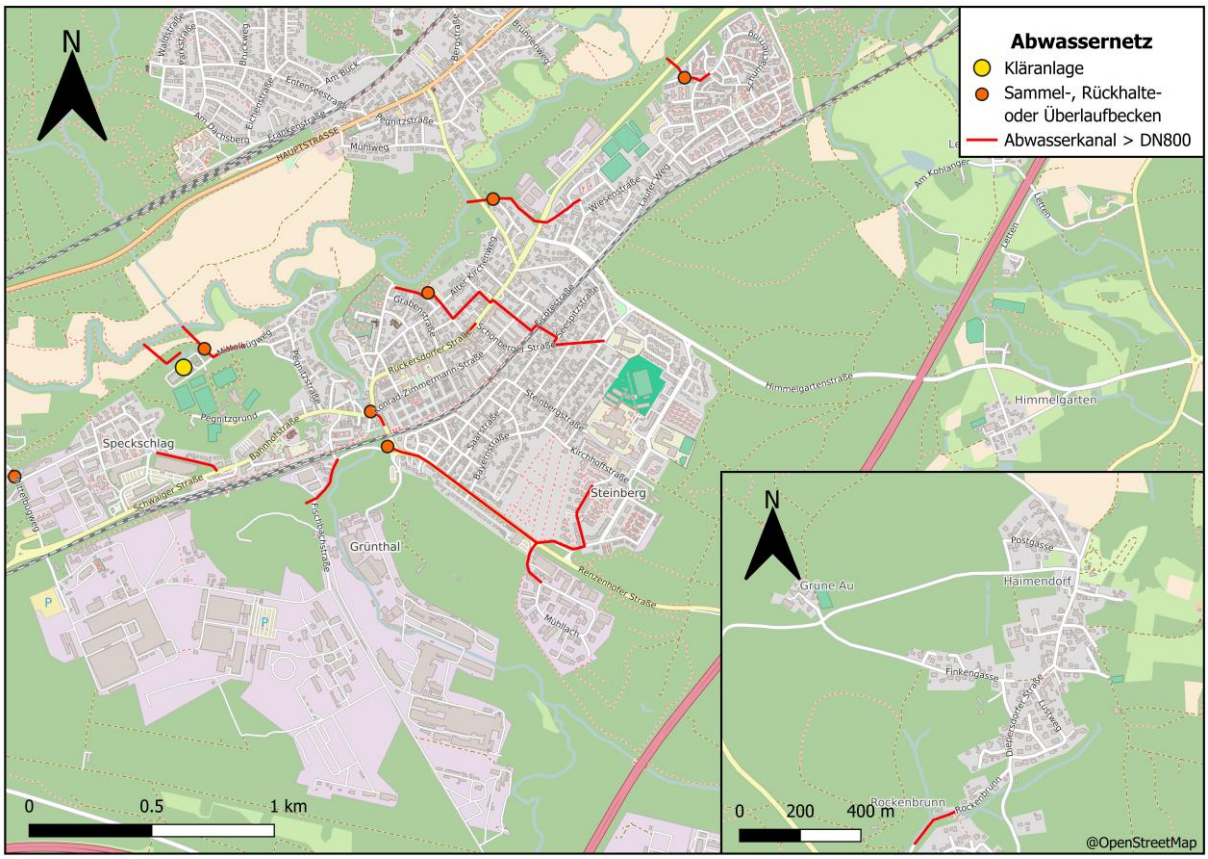


Abbildung 13: Kanalnetz mit Durchmesser größer 800 mm, Sammel-, Rückhalte- und Überlaufbecken und Kläranlage

3.4 Wärmeerzeugung: Methodik zur Ermittlung des IST-Zustands

Für die Analyse der bestehenden Wärmeerzeugungsstruktur und der jährlichen Wärmeverbräuche werden sowohl die Daten der Kaminkehrer, übermittelt durch das Landesamt für Statistik, sowie die durch den Netzbetreiber Stadtwerke Röthenbach a. d. Pegnitz GmbH übergebenen Erdgasverbräuche (straßenzugsscharf und datenschutzkonform) ausgewertet.

Da es sich bei den Jahren 2022 und 2023 um energetische Krisenjahre mit abweichendem Verbrauchsverhalten handelt und 2023 darüber hinaus ein überdurchschnittlich warmes Jahr war [13], wurde bei allen Verbrauchsdaten auf die Mittelwerte der Jahre 2019 bis 2021 zurückgegriffen.

Bei den Kehrbuchdaten werden für jede Straße folgende Angaben aufgeführt:

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

Ebenfalls aufgeführt aber nicht mitbetrachtet sind die Anlagen in folgenden beiden Energieträgerkategorien: Sonstige Erneuerbare Energien, für die eine Gesamtanzahl von 0 angegeben ist, und „Sonstige (Keine Zuordnung nach 1. BImSchV, Keine Angaben etc.)“, die nur einen sehr geringen Anteil der Heizungen ausmachen und eine zu heterogene Gruppe darstellen, um sie in die Betrachtung mit einzubeziehen.

Aus Datenschutzgründen werden Straßen, in denen nur eine oder zwei Anlagen eines Energieträgers vorkommen, teilweise verschlüsselt. Das bedeutet, dass neben dem betroffenen Energieträger auch andere Werte der Straße wie z.B. die Gesamtanzahl der Heizungen und die Anzahl der Zentralheizungen verschlüsselt werden, so dass nicht auf den zu schützenden Wert zurückgeschlossen werden kann. Um die Daten dennoch auswerten zu können, müssen Annahmen für das verschlüsselte Energieträgerfeld getroffen werden und damit dann die anderen Felder berechnet werden, was zwangsläufig zu Ungenauigkeiten führt.

Aus den Kehrbuchdaten geht nicht hervor, wie sich die Anlagen pro Energieträger jeweils auf Zentral- und Einzelraumheizungen aufteilen. Unter anderem nicht angeben sind die jeweilige mittlere Leistung jedes Energieträgers, da es lediglich einen Gesamtwert pro Straße für alle Energieträger zusammen gibt. Daher wurden folgende Annahmen für die mittlere Leistung der Energieträger über alle Straßen gemittelt getroffen:

Tabelle 6: Angenommene Leistung der einzelnen Energieträger

Haushalte und Kleingewerbe	Energieträger	Leistung
Zentralheizung	Feste Biomasse [14]	18
	Gas	19
	Öl	25
	Sonstige fossile	30
Einzelraumheizung	Feste Biomasse	8
	Gas	19
	Öl	10
	Sonstige fossile	15

Hierbei wurde für zentrale Biomasseanlagen auf den im Biomasseatlas angegebenen Mittelwert der seit 2001 durch das Marktanreizprogramm geförderter Biomasseheizungen in der Kommune zurückgegriffen [14]. Die Werte für Öl, Sonstige Fossile und Einzelraumheizung Biomasse basieren auf Erfahrungswerten.

Die Werte für Gasheizungen sind für beide Heizungstypen gleich, da eine Unterscheidung aufgrund der Kehrbuchdaten nicht möglich ist und dieser Leistungswert als Stellschraube verwendet wird, um insgesamt eine ähnliche mittlere Leistung zu erhalten wie in den Kehrbuchdaten. Dafür wird zuerst für jede Straße ein Leistungswert für Gas ausgerechnet, indem die tatsächlichen Gasverbräuche der einzelnen Straßen (industriell genutzte Straßen werden ausgenommen) durch die Anlagenanzahl in der Kategorie Wohnen & Kleinverbraucher sowie die hier im Allgemeinen verwendete Vollbenutzungsstundenzahl von 1200 h/a geteilt wird. Im Anschluss wird durch Wichtung ein Gesamtwert für den ganzen Ort erstellt. Dieser Wert wird mit dem mittleren Wert aus den Kehrbuchdaten verglichen (auch hier werden industrielle Straßen ausgenommen). Danach kann der berechnete Wert noch minimal nach oben oder unten korrigiert werden, um die reale Situation vor Ort abzubilden. Die Volllaststundenzahl wurde so angesetzt, dass multivalente Systeme wie z.B. eine Zentralheizung in Verbindung mit Kaminen, Solarthermie, Brauchwasserwärmepumpe etc. berücksichtigt sind.

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

Zunächst werden die Straßen mit industriellen Verbrauchern untersucht. Dafür wird im Falle von Mischnutzung abgeschätzt, wie viele Gebäude und damit Heizungsanlagen den jeweiligen Verbrauchergruppen zugeordnet werden können. Bezüglich der Aufteilung der eingesetzten Energieträger müssen ebenfalls Annahmen getroffen werden. So werden zum Beispiel Zentral- und Einzelfeuerungsanlagen Biomasse in der Regel dem Bereich Wohnen & Kleinverbraucher zugeordnet (z.B. Pelletheizungen und Kamine), während der Energieträger Sonstige Fossile überwiegend der Industrie zugewiesen wird. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass Prozesswärme mehrheitlich mit Erdgas erzeugt wird.

Die installierte Leistung von Biomasse, Heizöl und Sonstige Fossile aufgeteilt in Zentral- und Einzelraumheizung werden errechnet, indem die jeweilige Anlagenzahl mit der entsprechenden Leistung aus Tabelle 6 multipliziert wird.

Im Bereich Wohnen & Kleingewerbe wird nach derselben Vorgehensweise verfahren. Anlagen der Industrie und öffentlicher Einrichtungen müssen abgezogen werden.

Aus der errechneten Leistung wird der Verbrauch dann anhand eines angenommenen Kesselwirkungsgrades von 90 Prozent (Erfahrungsmittelwert Wirkungsgrad Verbrennungsheizung zur Berücksichtigung der auftretenden Bereitstellungsverluste) und einer Volllaststundenzahl

von 1200 h/a bestimmt. Da industrielle Prozesse sehr heterogen sind und der Einsatz von Energieträgern von Prozess zu Prozess stark schwanken kann, ist eine pauschale Annahme von Volllaststunden für die Industrie schwierig. Allerdings wird davon ausgegangen, dass die Prozesswärme überwiegend mit Erdgas erzeugt wird. Also wird angenommen, dass die restlichen Energieträger (sofern im Fragebogen durch die Unternehmen nicht anders angegeben) mehrheitlich zur Erzeugung von Raumwärme eingesetzt werden und damit eine einheitliche Volllaststundenzahl mit den anderen Verbrauchergruppen von 1200 h/a angesetzt werden kann. Die einzige Ausnahme stellen die Einzelraumheizungen Biomasse dar, die mit einer niedrigeren Volllaststundenzahl betrieben werden, es wird der Wert von 570 h/a verwendet [15]. Die Volllaststundenzahl wurde so angenommen, dass multivalente Systeme wie z.B. eine Zentralheizung in Verbindung mit Kaminen, Solarthermie, Brauchwasserwärmepumpe etc. berücksichtigt sind.

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

Die Wärmeverbräuche aus dem Energieträger Gas werden jeweils anhand der von den Stadtwerken Röthenbach a. d. Pegnitz GmbH übermittelten Gasverbräuche und Ergebnissen aus der Befragung der Industrieunternehmen berechnet. Die Aufteilung der Verbrauchergruppen findet zumeist anhand der überwiegenden Nutzung der Straße statt.

Zur Validierung der Volllaststundenzahl wurde ein Vergleichswert der Verbrauchergruppe Wohnen & Kleingewerbe mittels der Leistungen aus den Kehrbuchdaten für Erdgasheizungen berechnet. Da die Anlagenleistung für Gas bereits aus den tatsächlichen Verbräuchen stammt, ist hier eine Berücksichtigung des Verbrennungswirkungsgrades nicht notwendig. Da die Nahwärme ebenfalls mit Erdgas betrieben wird aber in der Energiebilanz eine eigene Kategorie darstellt, muss diese Energiemenge für den Vergleich herausgerechnet werden. Die Abweichung beträgt lediglich 1,1 Prozent, was die Richtigkeit der Annahmen unterstreicht und eine ausreichende Genauigkeit für die Betrachtungsebene der Kommunalen Wärmeplanung darstellt.

Zur Berechnung der durch Wärmepumpen bereitgestellte Energie wird auf Zahlen des Zensus 2022 zurückgegriffen [16]. Darin sind die in Röthenbach a. d. Pegnitz zum Heizen verwendete Energieträger verzeichnet, wobei immer der überwiegend genutzte Energieträger pro Gebäude aufgezeigt wird. Daraus wird die Anzahl von „Solar-/ Geothermie, Wärmepumpen“ vollständig übernommen, da davon ausgegangen wird, dass Solarthermie in den seltensten Fällen der überwiegende zum Beheizen eines Gebäudes eingesetzt wird. Außerdem aufgeführt ist die Anzahl der Stromheizungen (ohne Wärmepumpe). Die Energiemenge wird berechnet, indem beide Zahlen mit einer durchschnittlichen thermischen Leistung von 12 kW und der Volllaststundenzahl von 1500 Stunden multipliziert werden. In der Treibhausgasbilanz muss dann mittels einem COP von 3,1 für die Wärmepumpe die unterschiedliche eingesetzte Strommenge berücksichtigt werden.

Die jährlich durch Solarthermie erzeugte Wärmemenge wird errechnet mittels einer im Solaratlas [17] angegebenen Kollektorfläche multipliziert mit einem im Energie-Atlas Bayern [3] verzeichneten repräsentativen Wert für die jährliche Wärmeerzeugung pro Fläche.

Somit liegen die Wärmeverbräuche aufgeteilt nach Energieträgern und Verbrauchergruppen für das ganze Stadtgebiet vor. Diese werden in den folgenden Unterkapiteln aufgelistet.

3.5 Energiebilanz Wärme

Im Folgenden werden die errechneten Wärmeverbräuche für die verschiedenen Verbrauchergruppen analysiert.

3.5.1 Wohnen & Kleinverbraucher

Tabelle 7 listet den thermischen Endenergieverbrauch aufgeteilt nach Energieträgern von der Verbrauchergruppe Wohnen & Kleinverbraucher auf. In Abbildung 14 ist die prozentuale Verteilung dargestellt.

Tabelle 7: Thermischer Endenergieverbrauch des Bereichs Wohnen & Kleinverbraucher. Aufgeteilt auf Energieträger

Energieträger	Thermischer Endenergieverbrauch [MWh/a]
Erdgas	50.600
Heizöl	24.100
Sonstige Fossile	2.400
Biomasse	7.800
Wärmepumpen und Stromheizung	3.100
Nahwärme	900
Solarthermie	600
Gesamt	**89.500**

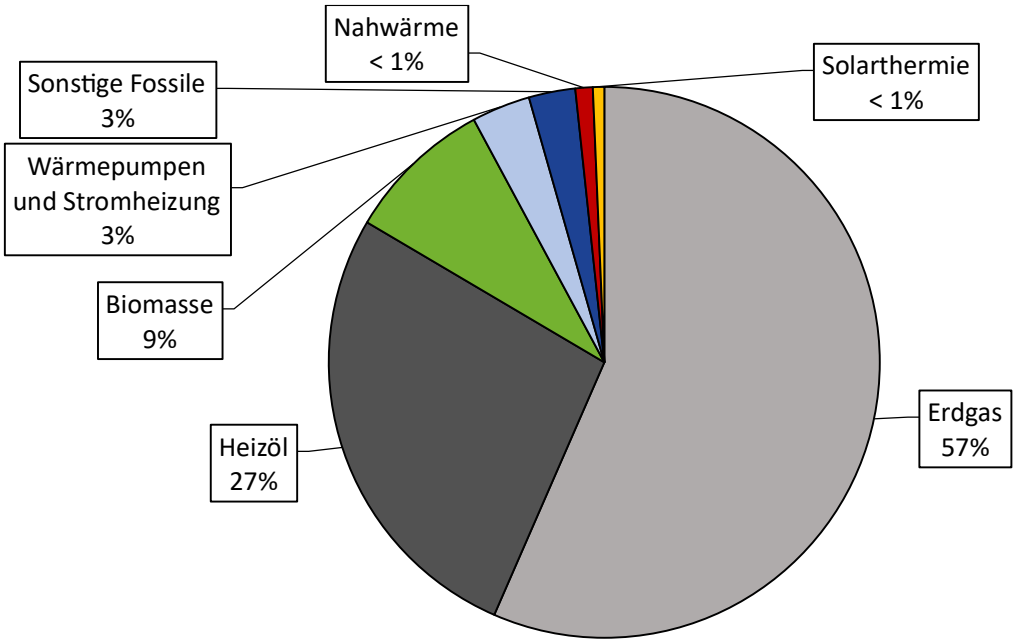


Abbildung 14: Verteilung thermischer Endenergieverbrauch Wohnen & Kleinverbraucher

Zu erkennen ist, dass Erdgas und Heizöl zusammen 84 Prozent der bereitgestellten Energie für Raumwärme und Warmwasser in dieser Verbrauchergruppe darstellt. Biomasse hat einen Anteil von 9 Prozent am Energieverbrauch. Wärmepumpen und Speicherheizungen, Sonstige Fossile, Solarthermie und Nahwärme stellen den übrigen Verbrauch dar.

3.5.2 Industrie & Großgewerbe

Tabelle 8 listet den thermischen Endenergieverbrauch aufgeteilt nach Energieträgern von Industrie & Großgewerbe auf. In Abbildung 15 ist die prozentuale Verteilung dargestellt.

Tabelle 8: Thermischer Endenergieverbrauch von Industrie & Großgewerbe. Aufgeteilt auf Energieträger

Energieträger	Thermischer Endenergieverbrauch [MWh/a]
Erdgas	75.100
Heizöl	400
Sonstige Fossile	900
Biomasse	300
Gesamt	**76.700**

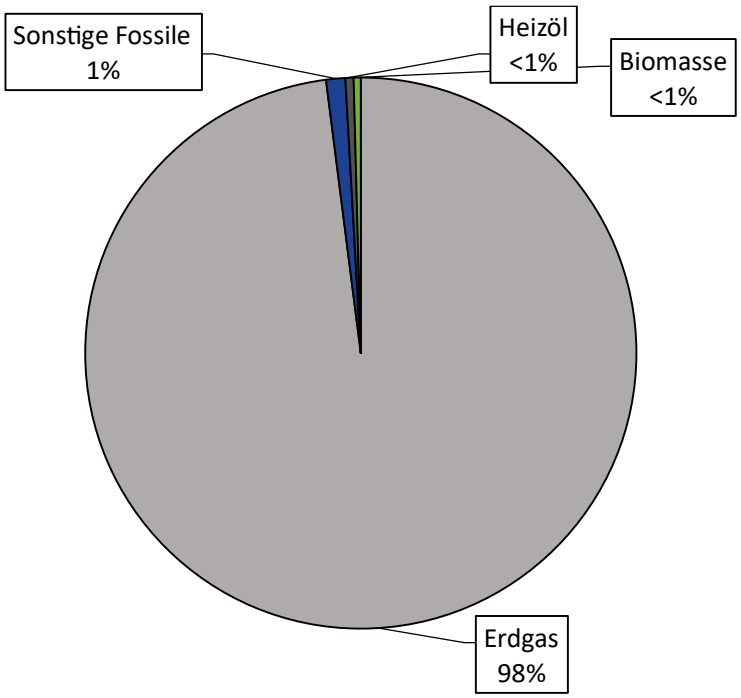


Abbildung 15: Verteilung thermischer Endenergieverbrauch Industrie & Großgewerbe

Mit 98 Prozent stellt Erdgas den mit Abstand größten Anteil am Endenergieverbrauch von Industrie & Großgewerbe dar. Dies liegt daran, dass in der Industrie ein hoher Anteil der Wärmeerzeugung auf Prozesswärme zurückzuführen ist. Weitere 2 Prozent der Wärme werden mit Heizöl, Sonstigen Fossilen und Biomasse bereitgestellt.

3.5.3 Öffentliche Einrichtungen

Tabelle 9 listet den thermischen Endenergieverbrauch aufgeteilt nach Energieträgern der Öffentlichen Einrichtungen auf. In Abbildung 16 ist die prozentuale Verteilung dargestellt.

Tabelle 9: Thermischer Endenergieverbrauch der öffentlichen Einrichtungen. Aufgeteilt auf Energieträger

Energieträger	Thermischer Endenergieverbrauch [MWh/a]
Erdgas	2.500
Heizöl	< 100
Nahwärme	2.200
Gesamt	4.800

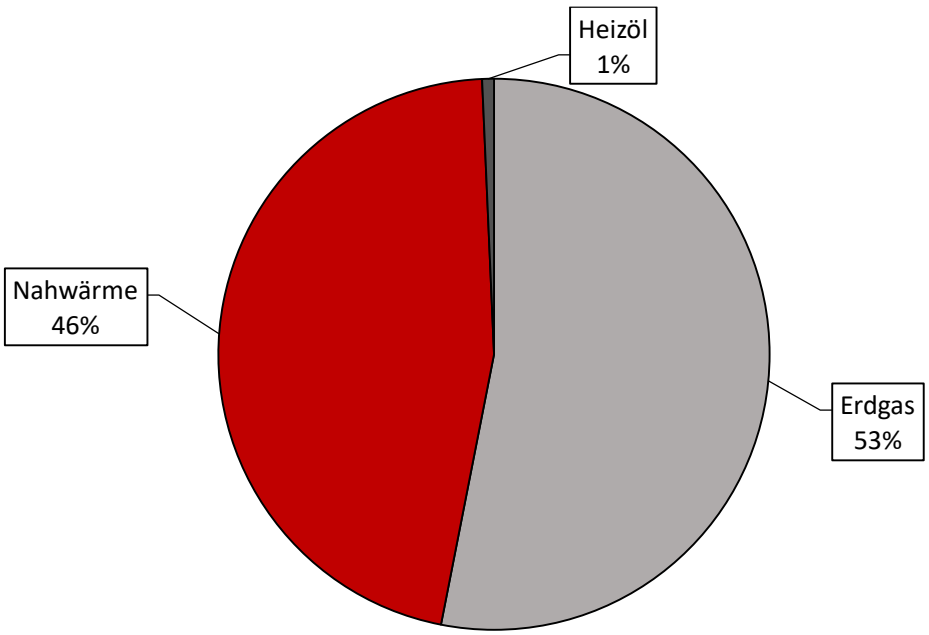


Abbildung 16: Verteilung thermischer Endenergieverbrauch der Öffentlichen Einrichtungen

Erdgas stellt mit 53 Prozent den größten Anteil am Verbrauch der öffentlichen Einrichtungen dar, gefolgt von Nahwärme mit 46 Prozent. Heizöl liegt bei 1 Prozent. Weitere Energieträger werden nach derzeitigem Wissensstand nicht eingesetzt.

3.5.4 Zusammenfassung Energiebilanz Wärme

In Abbildung 17 ist die prozentuale Verteilung des Energiebedarfs von Raumwärme, Warmwasserbereitstellung und Prozesswärme aufgeteilt auf die drei Verbrauchergruppen zu sehen. Wohnen & Kleinverbraucher ist mit 52 Prozent des Gesamtwärmebedarfs die größte Verbrauchsgruppe. Es folgt Industrie & Großgewerbe mit 45 Prozent, öffentliche Einrichtungen liegen bei 3 Prozent.

Abbildung 18 zeigt die bereitgestellten Energiemengen je Energieträger für Heiz- und Prozesswärme aller Verbrauchergruppen auf. Mit zusammen 89 Prozent stellen Erdgas und Heizöl den Großteil des Verbrauches dar. Biomasse hat einen Anteil von 5 Prozent, die anderen Energieträger machen zusammen 6 Prozent aus.

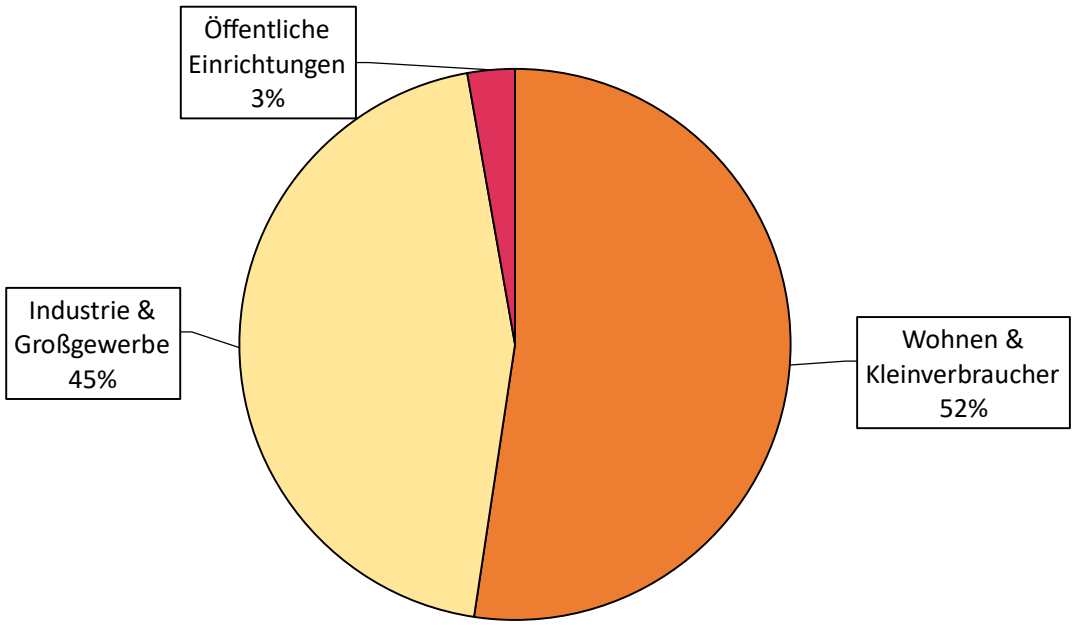


Abbildung 17: Prozentualer Energieverbrauch für Heiz- und Prozesswärme aufgeteilt auf Verbrauchergruppen

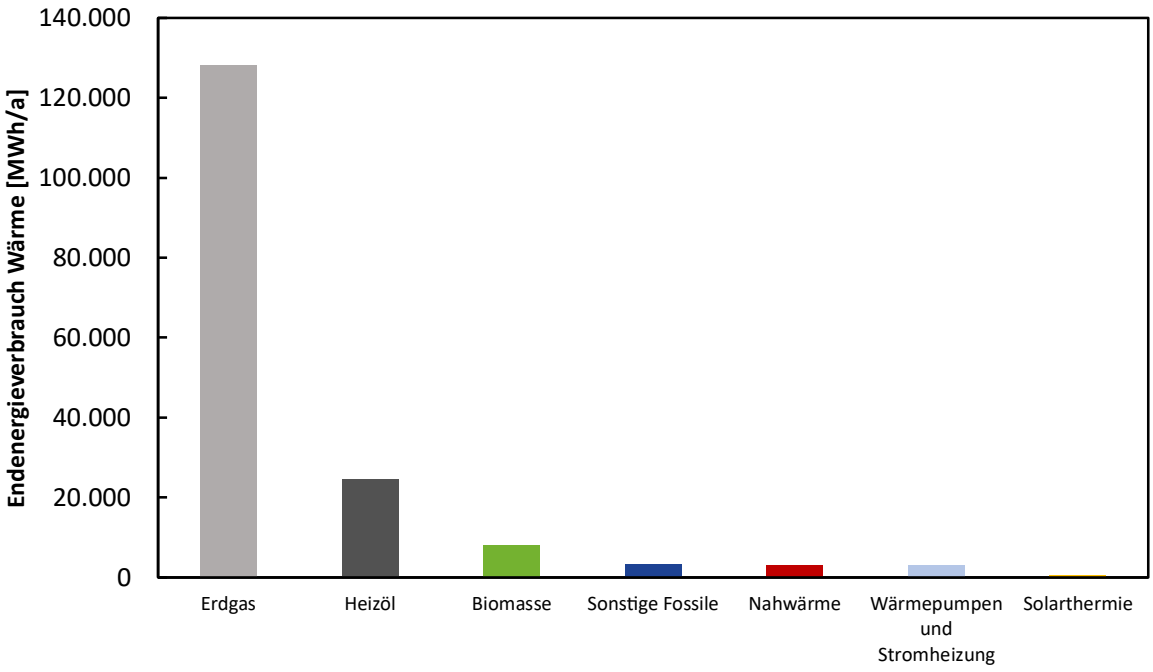


Abbildung 18: Energieträgerverteilung für Heiz- und Prozesswärme aller Verbrauchergruppen

Tabelle 10 listet die Kennwerte der Energiebilanz Wärme auf. Wie auch die Energiebilanz des Strombezugs und die Treibhausgasbilanz sollen diese einheitlichen Kennwerte einen Vergleichswert für die nächste Fortschreibung der Wärmeplanung darstellen. Somit kann die Ist-Situation und der Fortschritt in der Wärmewende auf dem Stadtgebiet überprüft und beurteilt werden. Außerdem können Trends bei der Nutzung von KWK-Anlagen und dem Ausbau von Wärmenetzen festgestellt werden. [18]

Tabelle 10: Kennwerte der Energiebilanz Wärme

Kennzahl	Wert	Einheit
Endenergieverbrauch Wärme Wohnen & Kleinverbraucher pro Einwohner	6.980	kWh/(a*Einwohner)
Endenergieverbrauch Wärme Öffentliche Einrichtungen pro Einwohner	370	kWh/(a*Einwohner)
Endenergieverbrauch Wärme Wohnen & Kleinverbraucher pro m2 Wohnfläche	140	kWh/(a*Einwohner*m2)
Endenergieverbrauch Wärme Industrie & Großgewerbe pro Einwohner	6.000	kWh/(a*Einwohner)
Einsatz erneuerbarer Energien (im Bereich Wärme) Wohnen & Kleinverbraucher pro Kopf	890	kWh/(a*Einwohner)
Anteil erneuerbarer Energien Wohnen & Kleinverbraucher an lokaler Wärmeerzeugung	13	%
Installierte thermische KWK-Leistung pro Kopf	0,07	kW/Einwohner
Anzahl Hausanschlüsse Wärmenetz	90	-
Anzahl Hausanschlüsse Gasnetz	1.700	-
Länge Wärmenetzleitung	1.300	m
Länge Gasnetzleitung	65.500	m

Die Kennzahl für den flächenbezogenen Endenergieverbrauch Wärme wird anhand der Einwohnerzahl der Stadt und der durchschnittlichen Wohnfläche in Bayern pro Person von 48,8 m^2 berechnet [19]. Da hier auch der Energieverbrauch der Kleinverbraucher miteinbezogen ist, ist der Wert höher als bei einer ausschließlichen Betrachtung der Wohngebäude.

3.6 Raumwärme- und Warmwasserbedarf auf Baublockebene

Da aus den Wärmeerzeugerleistungen der Kaminkehrer-Daten, welche straßenzugsweise vorliegen, nicht auf den Wärmebedarf eines einzelnen Gebäudes geschlossen werden kann, wird auf das gebäudescharfe Wärmekataster, das im Rahmen des Energienutzungsplans erstellt wurde, zurückgegriffen. Die vorhandenen tatsächlichen Verbrauchsdaten aus der Befragung von Bürgerinnen und Bürgern, der Industrie und der Öffentlichen Einrichtungen werden zusätzlich eingepflegt.

Wie bereits erwähnt wird die Stadt aus Datenschutzgründen und zur besseren Veranschaulichung in Baublöcke aufgeteilt. Die Bedarfe der einzelnen Gebäude in einem Baublock werden aufsummiert. Für Großabnehmer in öffentlicher Hand wie z.B. Schulen und Freibäder wird mit den tatsächlichen Verbräuchen gerechnet. Industriegebiete werden mit tatsächlichen Verbräuchen aus den Fragebögen hinterlegt. Allerdings werden die Baublöcke in den nachfolgenden Grafiken ausgegraut, wenn sich zu wenige Abnehmer in dem Gebiet befinden, so dass auf einzelne Firmen zurückgeschlossen werden könnte. Größere Industriegebiete/ Gewerbe werden zudem in separate Blöcke eingeteilt, damit diese die Werte der Haushalte nicht verfälschen.

Die Energie- und Treibhausgasbilanz hat den Zweck die aktuelle Ist-Situation darzustellen. Dafür ist der tatsächliche Verbrauch ein geeigneter Parameter. Die folgenden Karten dienen dazu, die Stadt in Gebiete für eine zukünftige Wärmeversorgung einzuteilen. Dafür ist der Wärmebedarf eine geeignete Größe, da er unabhängig von der eingesetzten Technologie und dem verwendeten Energieträger ist.

3.6.1 Absoluter Heizwärme- und Warmwasserbedarf

Abbildung 19 zeigt in Baublöcken aufgeteilt den absoluten jährlichen Heizwärme- und Warmwasserbedarf auf.

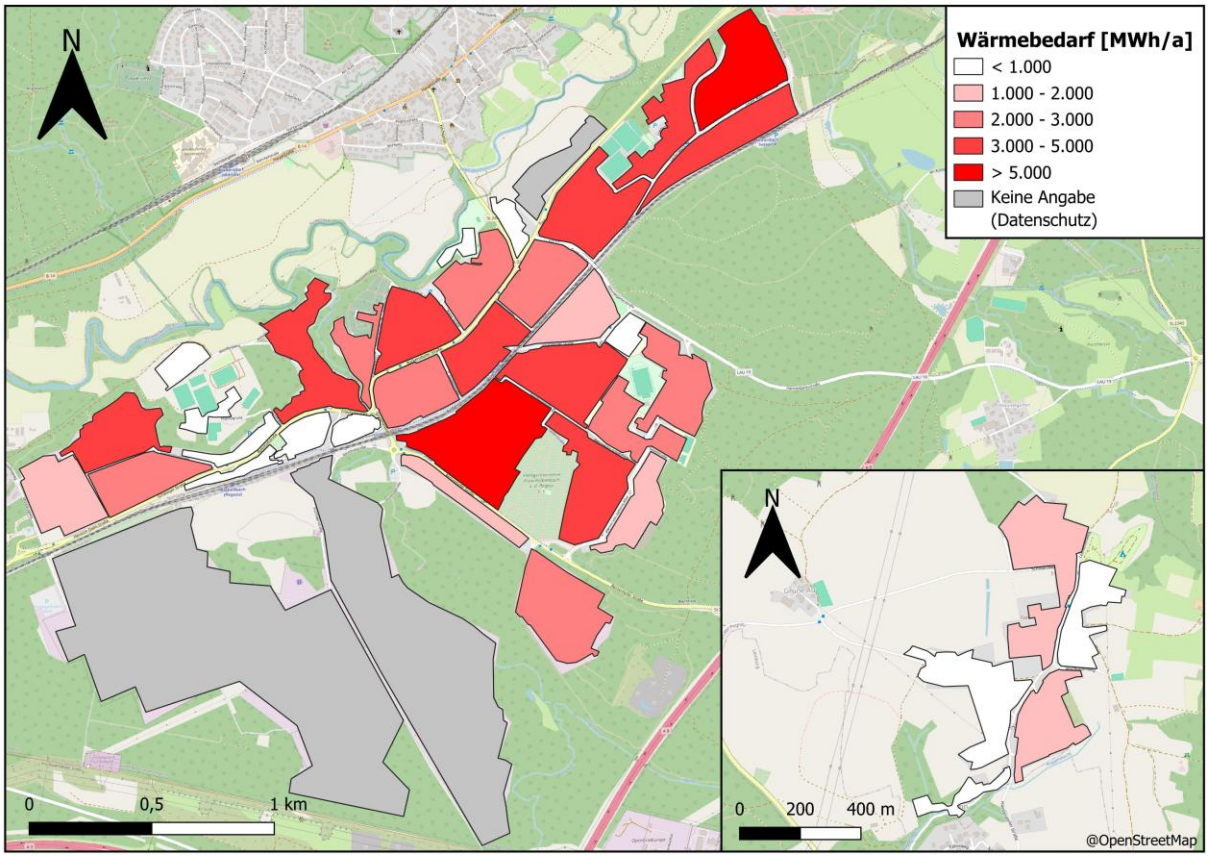


Abbildung 19: Absoluter jährlicher Heizwärme- und Warmwasserbedarf pro Baublock

Je dunkler das Rot der Fläche, desto größer ist der absolute Wärmebedarf. Es ist zu erkennen, dass die absoluten Wärmebedarfe in der Kernstadt großteils höher sind als in Haimendorf und Rockenbrunn. Da die Werte nicht relativiert sind, hängt die Größe des Wärmebedarf jedoch auch stark von der Größe des Baublockes ab, was auch daran zu sehen ist, dass die kleineren Baublöcke tendenziell die niedrigsten Wärmebedarfe haben. Dennoch ist es möglich mit dieser Karte schnell und einfach Gebiete mit einem hohen Wärmebedarf zu identifizieren.

3.6.2 Heizwärme- und Warmwasserbedarf pro Baublockfläche

In Abbildung 20 ist der jährliche Heizwärme- und Warmwasserbedarf pro Baublockfläche zu sehen.

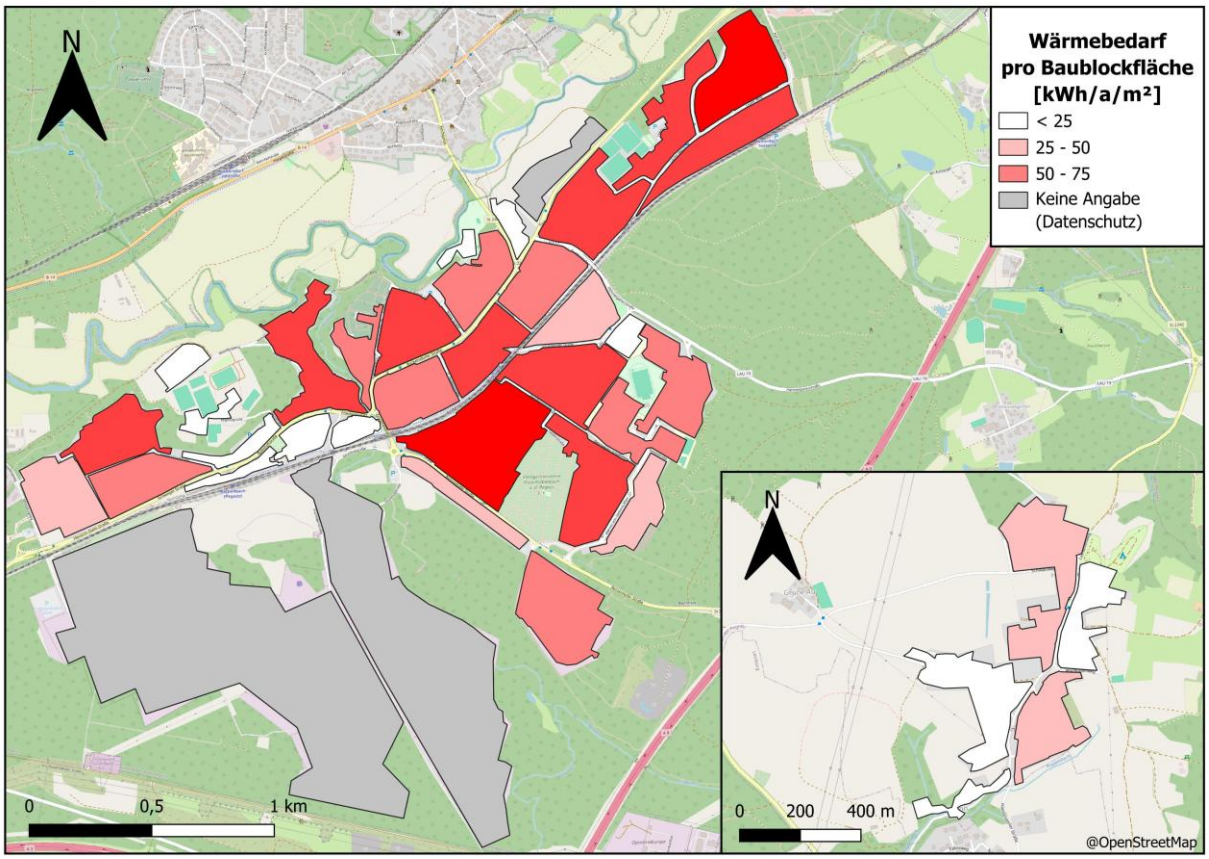


Abbildung 20: Jährlicher Heizwärme- und Warmwasserbedarf pro Baublockfläche

Hier wird der Wärmebedarf auf die Fläche des Baublockes bezogen, wodurch sich je Baublock ein Wert in kWh pro Jahr und m^2 ergibt. Bei den Intervallen wurde sich an die Richtwerte für Wärmenetze angelehnt [18] [20]. Es ist erkennen, dass auch hier die außen gelegenen Ortsteile einen niedrigeren spezifischen Wärmebedarf aufweisen. In der Kernstadt haben die meisten Baublöcke einen ähnlichen Wert. Eine Ausnahme bildet der südöstliche Teil der Seespitze und einzelne Baublöcke nahe dem Stadtzentrum, die etwas höhere Wärmebedarfe aufweisen.

3.6.3 Wärmeliniendichte

Ein wichtiges Kriterium hinsichtlich der Eignung für die Versorgung durch ein konventionelles Wärmenetz stellt die Wärmeliniendichte mit der Einheit kWh pro Jahr und Meter dar. Hiermit lassen sich grob die Wärmemengen für einen Straßenabschnitt abschätzen, welche durch ein Wärmenetz zur Verfügung gestellt werden müssten. Je höher dieser Wert ist, umso geringer sind die anteiligen Wärmeverluste während des laufenden Betriebs eines Wärmenetzes. Abbildung 21 zeigt exemplarisch den Stadtteil Steinberg.

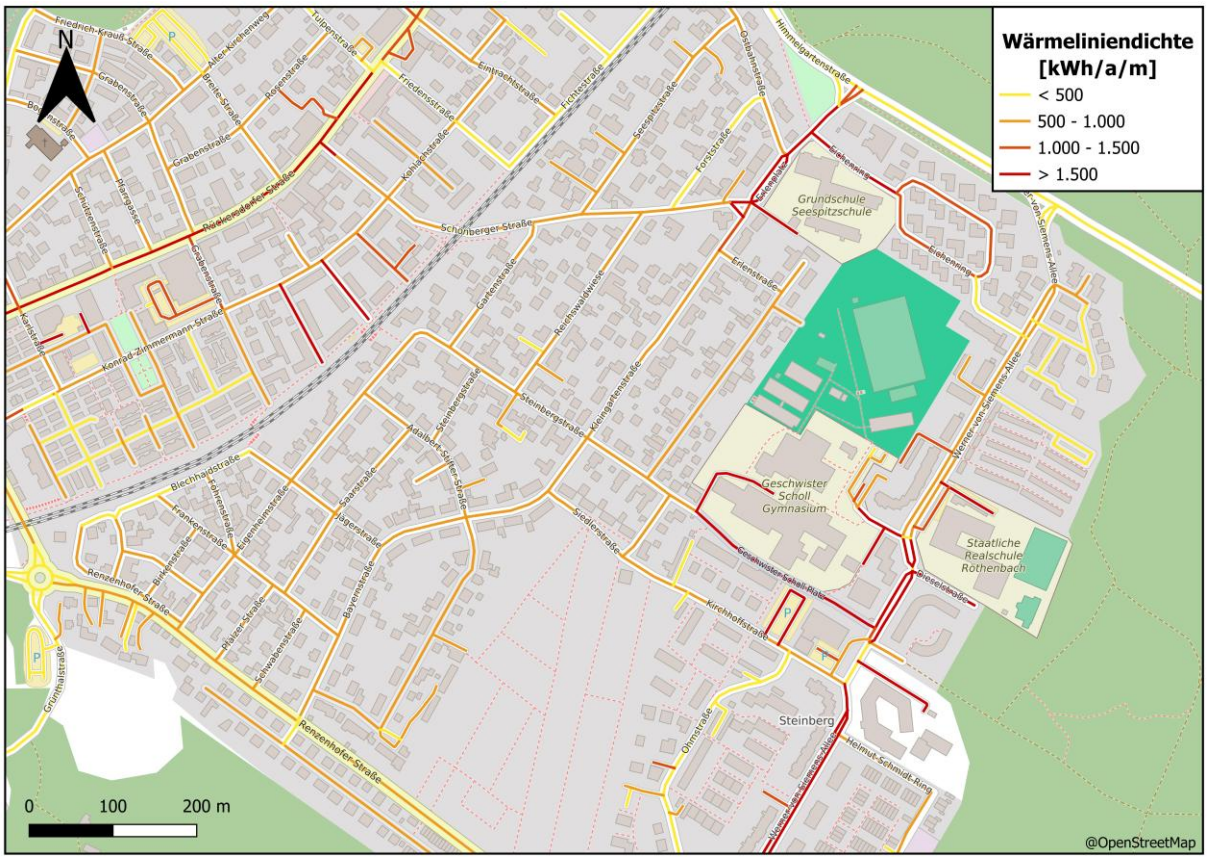


Abbildung 21: Wärmeliniendichten am Beispiel des Stadtteils Steinberg

Straßenabschnitte mit kleineren Häusern und geringer Dichte weisen einen geringeren Wert der Wärmeliniendichte auf. In Straßenzügen mit Großverbrauchern und dichter Mehrfamilienhausbebauung ist ein höherer Wert vorhanden.

3.7 Energiebilanz Strombezug

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

3.7.1 Methodik

Wie auch bei den Gaswerten weichen die Jahre 2022 und 2023 ab und werden daher nicht berücksichtigt. Die Strombezugswerte für die Jahre 2019-2021 werden gemittelt. Stromerzeugung mit Eigenverbrauch, z.B. durch PV-Aufdachanlagen oder PPA-Freiflächen, sind in der Energiebilanz nicht enthalten. Die Stromverbräuche wurden übermittelt durch die Stadtwerke Röthenbach a. d. Pegnitz GmbH (soweit datenschutzkonform straßenscharf) und der N-ERGIE Netz GmbH (Belieferung einzelner großer Verbraucher). Die tatsächlichen Strombezugswerte werden wie bei den Gasverbräuchen anhand der überwiegenden Nutzung der Straßen auf die Verbrauchergruppen aufgeteilt. Zu den Öffentlichen Einrichtungen, für die die tatsächlichen Verbräuche vorliegen, wird der Stromverbrauch der Straßenbeleuchtung addiert. Der Stromverbrauch für Wärmepumpen und Nachtspeicherheizungen wird nicht mitberücksichtigt, da dieser schon in der Energiebilanz verrechnet ist.

3.7.2 Zusammenfassung Energiebilanz Strombezug

In Tabelle 11 sind die Strombezugsdaten des Energieversorgers für die ganze Stadt Röthenbach aufgeteilt auf die Verbrauchergruppen aufgelistet. Abbildung 22 zeigt den prozentualen Strombezug aufgeteilt auf die Verbrauchergruppen.

Tabelle 11: Strombezug aufgeteilt auf Verbrauchergruppen

Verbrauchergruppe	Strombezug [MWh/a]
Industrie & Großgewerbe	245.100
Wohnen & Kleinverbraucher	20.300
Öffentliche Einrichtungen	1.200
Gesamt	266.600

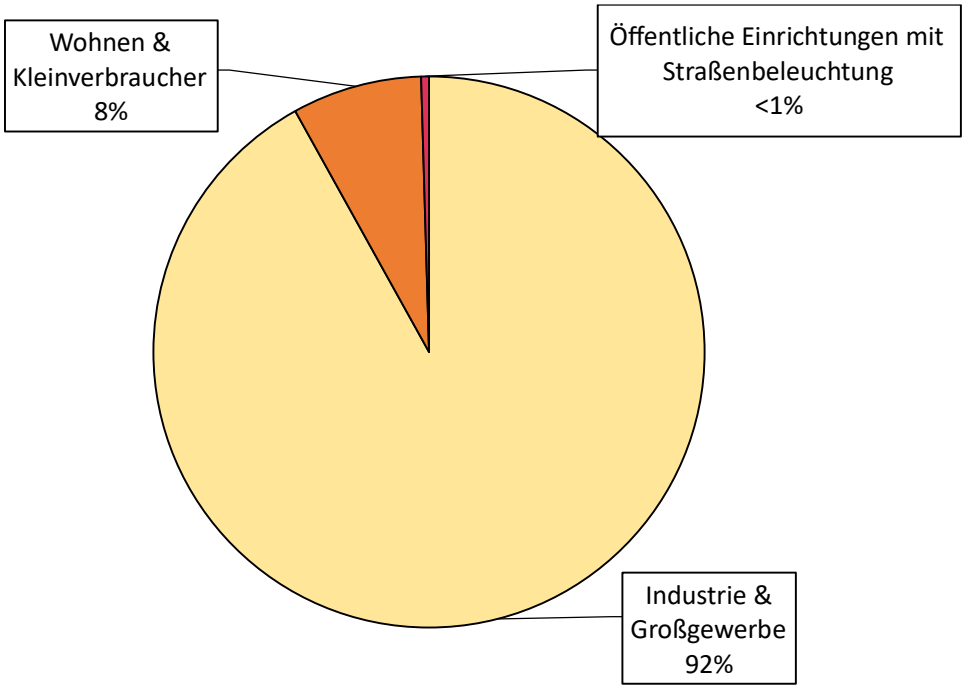


Abbildung 22: Prozentualer Strombezug aufgeteilt auf die Verbrauchergruppen

Industrie & Großgewerbe macht 92 Prozent des Stromverbrauchs in Röthenbach aus, Wohnen & Kleinverbraucher 8 Prozent und die Öffentlichen Einrichtungen inklusive Straßenbeleuchtung weniger als 1 Prozent.

In Tabelle 12 sind die Kennwerte der Energiebilanz des Strombezugs aufgelistet. Der bilanzielle Anteil erneuerbarer Energien an der lokalen Stromerzeugung liegt bei circa 57 Prozent. Etwas mehr als die Hälfte des Stroms aus Photovoltaik und Klärgas (siehe Abbildung 10) erzeugt, der Rest aus fossiler KWK.

Tabelle 12: Kennwerte der Energiebilanz Strombezug

Kennwert	Wert	Einheit
Endenergieverbrauch Strom Wohnen & Kleinverbraucher pro Einwohner	1.580	kWh/(a*Einwohner)
Endenergieverbrauch Strom Öffentliche Einrichtungen pro Einwohner	100	kWh/(a*Einwohner)
Anteil erneuerbarer Energien an lokaler Stromerzeugung	0,57	-
Installierte elektrische KWK-Leistung pro Kopf	0,04	kW/Einwohner

3.8 Treibhausgasbilanz Wärme und Strom

Für die Treibhausgasbilanz werden die aktuellen Verbräuche für Wärme und Strom mit spezifischen Kennzahlen der CO_2-Äquivalente versehen. Für einen besseren Vergleich zukünftiger Treibhausgasemissionen sind in Tabelle 13 die spezifischen CO_2-Äquivalente aufgelistet.

Tabelle 13: CO_2-Äquivalente der Energieträger

Energieträger	CO_2-Äquivalente [$g/kWh_{Endenergie}$]	Literatur
Heizöl	311	[21]
Erdgas	233	ebd.
Flüssiggas	313	[22]
Kohle	452	[21]
Biomasse (vgl. Naturbel. stückiges Holz)	24	[23]
Solarthermie	13	[21]
Strom-Mix	381	[24]
Strom-Mix Wärmepumpe (Berücksichtigung COP)	131	[23]
Sonstige Fossile	400	Eigene Annahme

Da in den Kehrbuchdaten nicht zwischen verschiedenen Biomasse-Energieträgern wie Pellets, Stückholz, Hackschnitzel etc. unterschieden wird, wird für die Biomasse ein einheitlicher Wert angenommen. Dieser entspricht dem von naturbelassenen stückigem Holz. Die in den Kaminkehrerdaten aufgeführte Kategorie Sonstige Fossile umfasst verschiedene fossile Energieträger, wie z.B. Kohle und Flüssiggas. Es wurde ein einheitlicher Wert von 400 g/kWh angenommen, der sich zwischen Kohle und Heizöl bewegt.

In Abbildung 23 sind die Endenergieverbräuche pro Verbrauchergruppe von Wärme und Strom aufsummiert dargestellt. Ausgehend von den Verbräuchen werden die CO_2-Äquivalente berechnet.

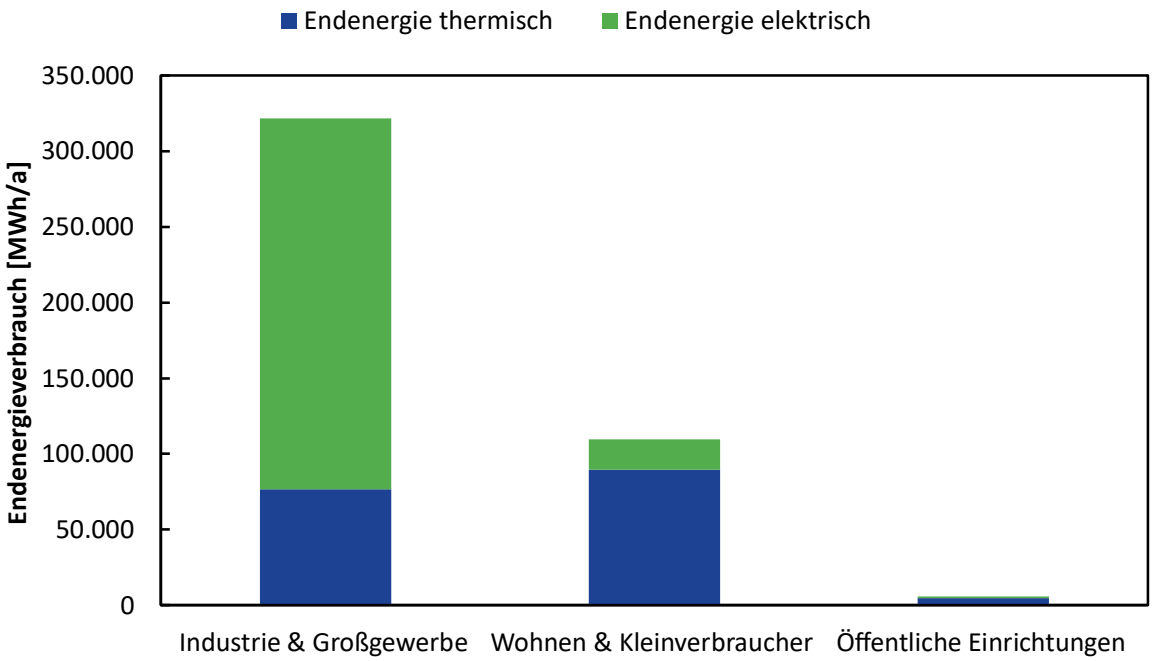


Abbildung 23: Endenergieverbrauch thermisch und elektrisch des ganzen Stadtgebiets aufgeteilt auf die Verbrauchergruppen

Abbildung 24 zeigt die Treibhausgasbilanz für das ganze Stadtgebiet aufgeteilt auf Verbrauchergruppen für den Wärme- und Stromverbrauch. Aufgrund des sehr hohen Strombedarfs hat der Bereich Industrie & Großgewerbe auch den höchsten Treibhausgaswert der Verbrauchergruppen, auch wenn die Emissionen im Wärmebereich im Sektor Wohnen & Kleinverbraucher höher sind. Insgesamt werden auf dem Stadtgebiet jährlich 141.900 t CO_2-äq. in den Sektoren Wärme und Strom emittiert.

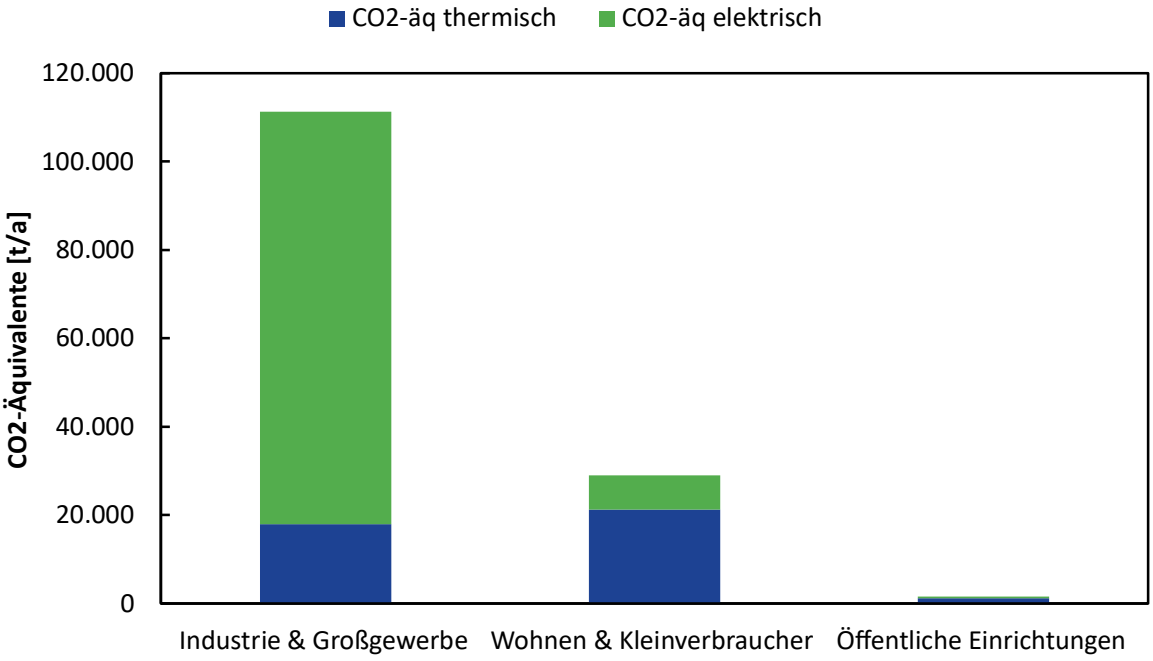


Abbildung 24: CO_2-Äquivalente resultierend aus dem Endenergieverbrauch. Für das ganze Stadtgebiet aufgeteilt auf die Verbrauchergruppen

Tabelle 14 listet die Kennwerte der Treibhausgasbilanz auf. Somit können Fortschreibungen des Wärmeplans mit der aktuellen Situation verglichen werden.

Tabelle 14: Kennwerte der Treibhausgasbilanz

Kennwert	Wert	Einheit
THG-Emissionen Wärme Wohnen & Kleinverbraucher pro Einwohner	1,66	$t_{CO2\text{-äq.}}$/(a*Einwohner)
THG-Emissionen Wärme Öffentliche Einrichtungen pro Einwohner	0,09	$t_{CO2\text{-äq.}}$/(a*Einwohner)
THG-Emissionen Wärme Industrie & Großgewerbe pro Einwohner	1,40	$t_{CO2\text{-äq.}}$/(a*Einwohner)
THG-Emissionen Strom Wohnen & Kleinverbraucher pro Einwohner	0,60	$t_{CO2\text{-äq.}}$/(a*Einwohner)
THG-Emissionen Strom Öffentliche Einrichtungen pro Einwohner	0,04	$t_{CO2\text{-äq.}}$/(a*Einwohner)
THG-Emissionen Strom Industrie & Großgewerbe pro Einwohner	7,28	$t_{CO2\text{-äqu.}}$/(a*Einwohner)

4 Potenzialanalyse

Das Ziel der Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz, so wie das des Freistaates Bayern, ist es bis 2040 klimaneutral zu werden. Dafür müssen fossile Energieträger durch erneuerbare Energien ausgetauscht werden. Um mögliche Erfüllungsoptionen aufzuzeigen, wird in diesem Kapitel eine Potenzialanalyse für erneuerbare Wärme sowie Strom auf dem Stadtgebiet durchgeführt.

4.1 Datengrundlage

In Tabelle 15 sind die Datengrundlagen der einzelnen Abschnitte für die Potenzialanalyse aufgelistet.

Tabelle 15: Datengrundlagen der Potenzialanalyse

Kapitel	Datengrundlage
Schutzgebiete und Denkmalschutz	Bayerisches Landesamt für Umwelt, Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz, Bayern-Atlas
Energieeinsparpotenziale durch Sanierung	Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH
Potenzial erneuerbarer Wärme	ALKIS, Energie-Atlas-Bayern, Umweltatlas-Bayern, Fragebogen Industrie & Großgewerbe
Potenzial erneuerbarer Strom	Energie-Atlas Bayern
Anschlussinteresse an einem Wärmenetz	Fragebogen Bürgerinnen und Bürger

4.2 Schutzgebiete und Denkmalschutz

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

4.2.1 Schutzgebiete

Abbildung 25 zeigt die Schutzgebiete auf dem Stadtgebiet Röthenbach. Die Daten stammen aus dem Geodatendienst des Bayerischen Landesamt für Umwelt [25]. Unterteilt werden die Schutzgebiete in Trinkwasserschutz, Fauna-Flora-Habitat, Naturschutz, Landschaftsschutz, Vogelschutz, Biotope und Naturpark.

Im Westen des Stadtgebiets teils um die Ortsteile Moritzberg, Haimendorf, Rockenbrunn, Grüne Au und Himmelgarten herum gibt es ein Landschaftsschutzgebiet, im Süden bei Himmelgarten, Renzenhof und Röthenbachtal liegt ein Vogelschutzgebiet. Auch einige Biotope sind vorhanden. 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 [26]. Für Landschaftsschutzgebiete stellt die Genehmigung der Nutzung von Geothermie eine Herausforderung dar.

Eine Herausforderung stellt das Trinkwasserschutzgebiet dar, in dem die Kernstadt liegt, und das hauptsächlich die Schutzklasse III B aufweist. In Zone III B sind geothermische Anlagen wie Erdwärmesonden, laut Stellungnahme des Wasserwirtschaftsamtes, grundsätzlich möglich, allerdings müssen bestimmte Auflagen eingehalten werden. So kann es je nach Standort der Anlage eine Begrenzung der Bohrtiefe geben, ausreichende Abstände von min. 60 Metern zu Oberflächengewässern müssen eingehalten werden. Bei größeren Anlagen zur öffentlichen oder gewerblichen Nutzung ist im Vorfeld in der Regel ein Thermal-Response-Test erforderlich. Im Betrieb muss darauf geachtet werden, dass eine Wärmeregeneration im Bereich unterhalb der jahreszeitlichen Temperaturschwankungen erfolgen kann (durch kombinierten Heiz- und Kühlbetrieb). Bei Anlagen, deren Leistung größer als 100 kW ist, muss in der Regel ein Temperatur-Monitoring im Grundwasser durchgeführt werden.

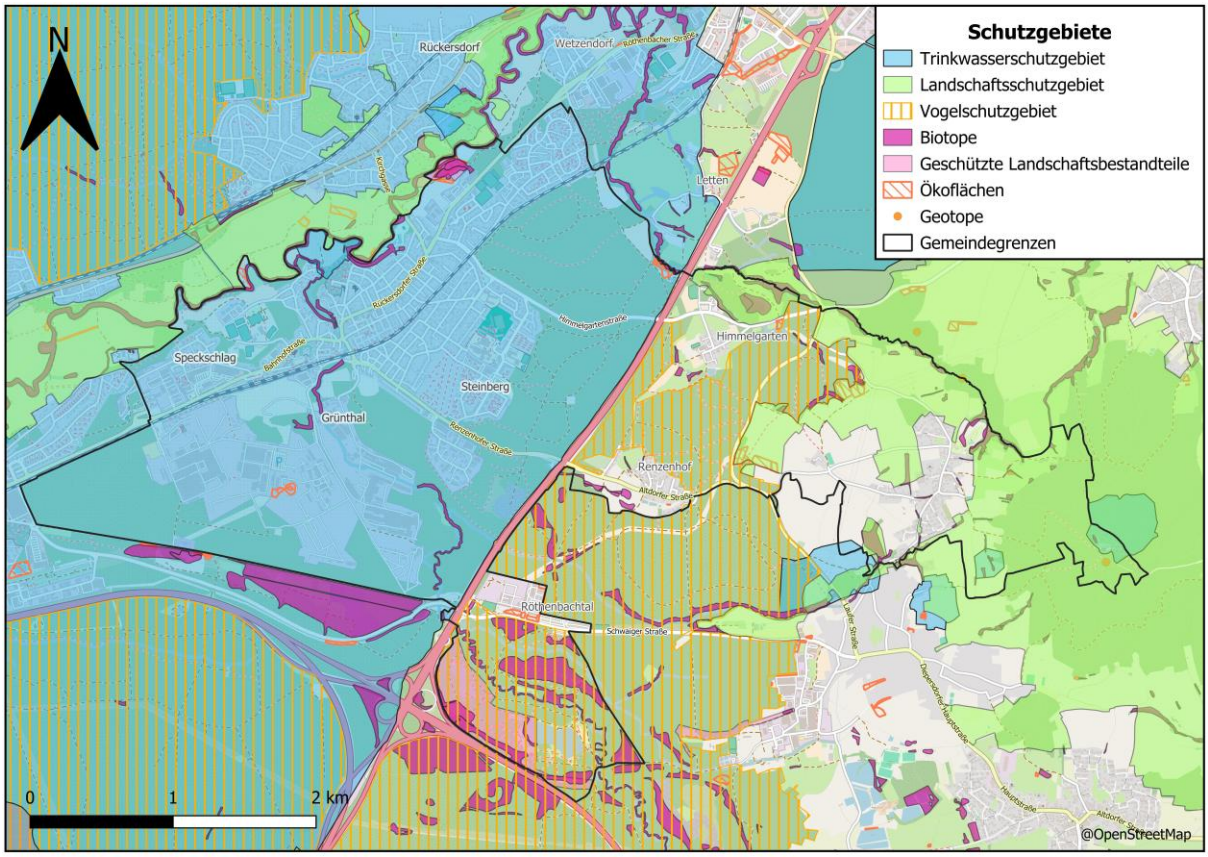


Abbildung 25: Schutzgebiete auf dem Stadtgebiet

4.2.2 Denkmalschutz

Bei denkmalgeschützten Bauwerken kann es zu Einschränkungen in Bezug auf Sanierungen und Aufbau von Solar- oder Photovoltaikanlagen kommen. In Abbildung 26 sind die denkmalgeschützten Gebäude im Stadtgebiet zu sehen.

Insgesamt gibt 27 Bau- und 18 Bodendenkmäler, wobei sich die Baudenkmäler vor allem auf die Kernstadt konzentrieren. Die beiden Teile der Conradty-Siedlung stellen ein Ensemble-Denkmal dar.

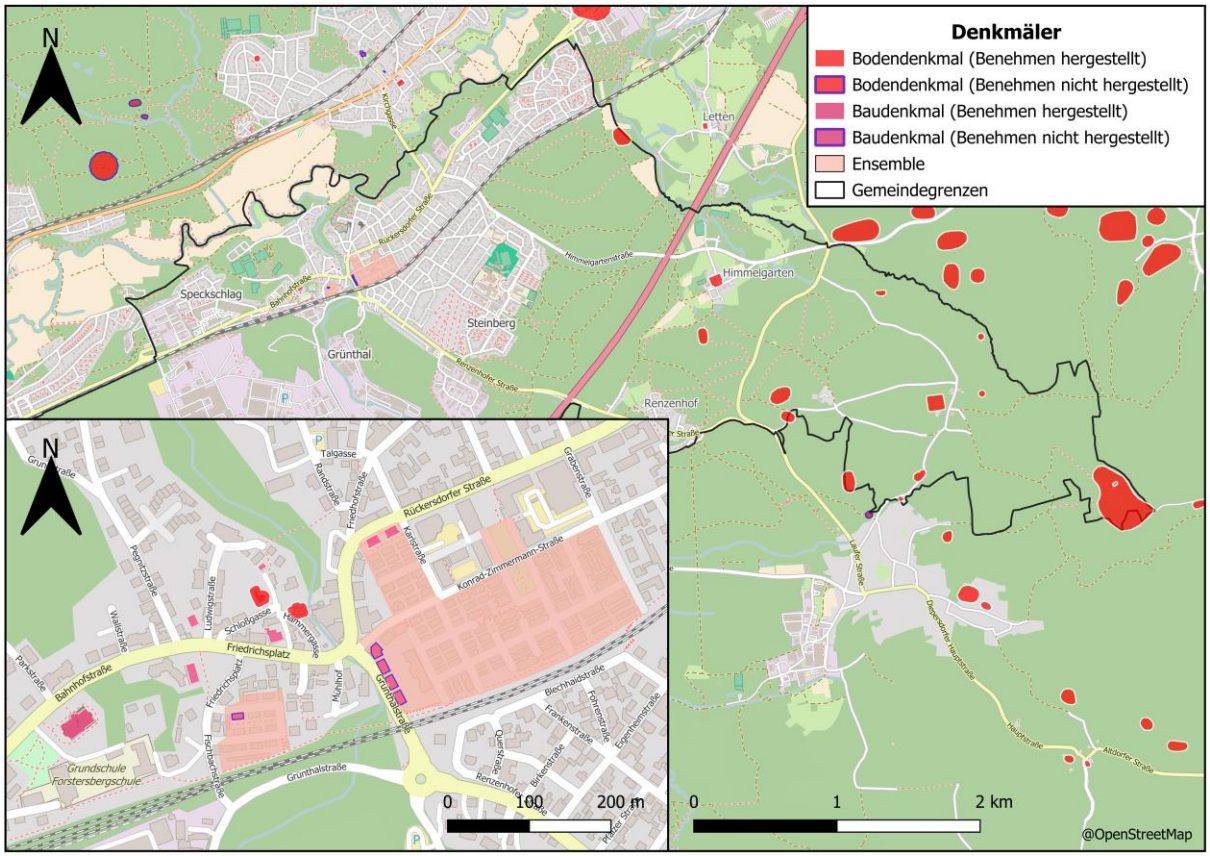


Abbildung 26: Boden- und Baudenkmäler in Röthenbach

4.3 Energieeinsparpotenzial durch Sanierung

Das Ersetzen von fossilen Energieträgern durch erneuerbare Technologien ist ein Baustein zum Gelingen der Energiewende. Ein weiterer wesentlicher Beitrag kann durch die Reduktion des Energiebedarfs geleistet werden. 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 hätten.

Das Energieeinsparpotenzial kann mittels der Kennwerte Technikkatalog der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH (KEA) [21] berechnet werden, indem anhand der Siedlungsentwicklung [10] 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 vollsaniert wird. In Abhängigkeit des Baujahres werden Einsparpotenziale zwischen 0 und 65 Prozent angenommen. Das höchste Potenzial haben Gebäude aus der Nachkriegszeit (1950 – 1975). Neuere Gebäude haben nahezu kein Einsparpotenzial. Dementsprechend fallen die Einsparpotenziale geringer aus. Abbildung 27 zeigt die Ergebnisse dieser Berechnung.

Es ist zu erkennen, dass bei der Mehrheit der Baublöcke ein hohes Energieeinsparpotenzial von über 50 Prozent vorliegt. Das geringste Potenzial besteht in den Gebieten, die vor 1948 oder in den 2000ern gebaut wurden. Bei Gebäuden, die unter Denkmalschutz stehen, ist eine energetische Sanierung zudem schwierig. Wie viel Energieeinsatz tatsächlich vermieden

werden kann, hängt vom Grad der Sanierung ab und kann in dieser Detailebene nur grob abgeschätzt werden.

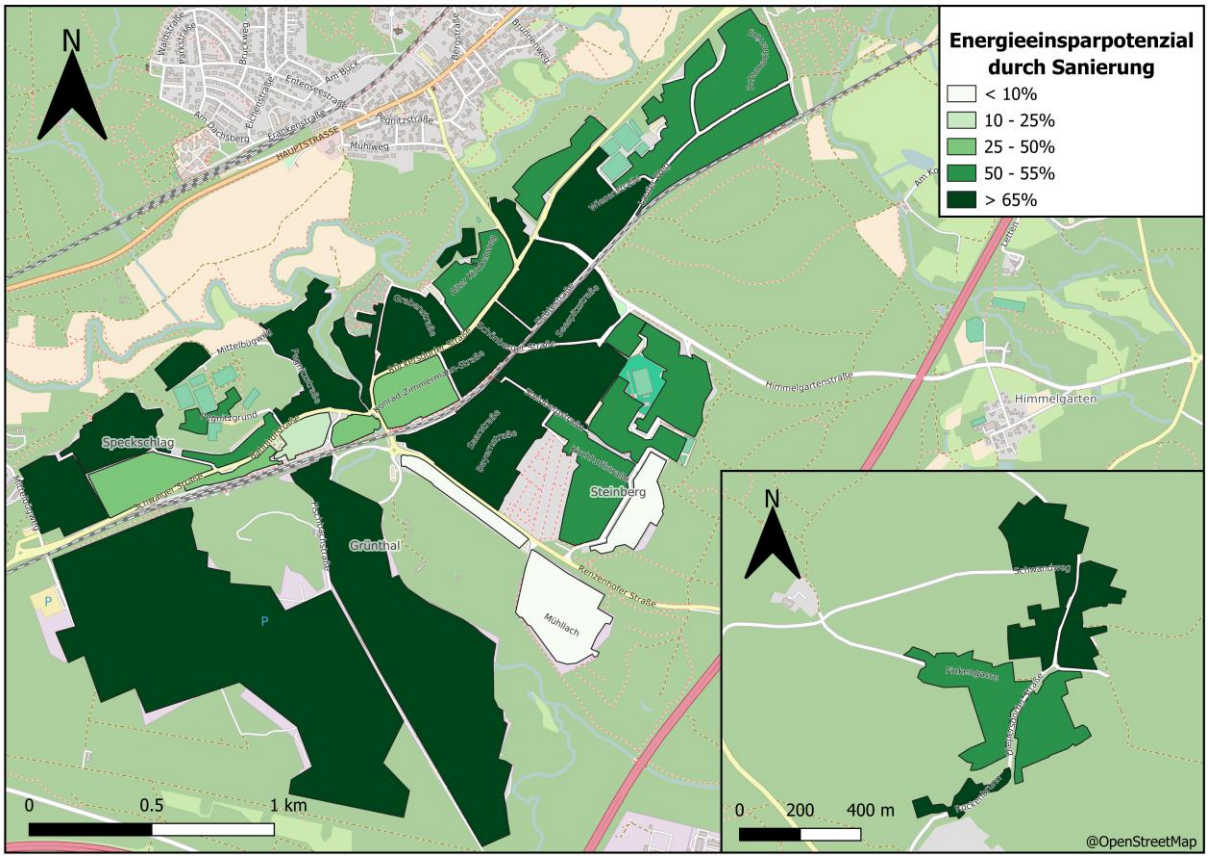


Abbildung 27: Energieeinsparpotenzial durch Sanierung berechnet mittels Technikkatalog der KEA Baden-Württemberg [21]

4.4 Potenziale erneuerbarer Wärme

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

4.4.1 Oberflächennahe Geothermie

Zur Abschätzung des Potenzials erneuerbarer Wärme durch oberflächennahe Geothermie für eine dezentrale Wärmeversorgung wird die mögliche Nutzung und der mögliche Ertrag von Erdwärmekollektoren und Erdwärmesonden auf bebautem Grund innerhalb des Stadtgebietes untersucht. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit sind Grundwasserwärmepumpen. Für diese ist das Potenzial jedoch nicht quantifizierbar, da hierfür an jedem Ort individuell die hydrothermalen Gegebenheiten im Untergrund betrachtet werden müssen. Aus diesem Grund werden diese hier nicht weiter untersucht.

Um das Potenzial für Erdwärmekollektoren und -sonden auf bebautem Gebiet zu errechnen, wird mit Hilfe der ALKIS-Daten die bebaute Fläche ermittelt und davon die Grundfläche der Gebäude abgezogen. Somit erhält man alle unbebauten Flächen, wie z.B. Gärten, innerhalb von Bebauungsgebieten. Hierbei unterscheiden sich Flächen der Verbraucher Wohnen & Kleinverbraucher sowie der Öffentlichen Liegenschaften von industriell genutzten Flächen. Für

die ersten beiden Verbrauchergruppen wird die potenzielle unbebaute Fläche mit einem Faktor von 0,5 versehen, um Einflüsse wie Bäume, Terrassen, verwinkelte Flächen und Abstände zu Nachbargebieten mitzuberücksichtigen. Danach wird die durchschnittliche Wärmeerzeugung pro Gebäude bzw. Grundstück errechnet und dem durchschnittlichen Bedarf gegenübergestellt. Das Potenzial wird anhand des maximalen Bedarfs begrenzt. Bei der Industrie muss der Faktor zur Bestimmung der unbebauten Fläche für jeden Ort individuell mittels Luftbilder ermittelt werden. Dieser liegt in Röthenbach bei 0,35. Für die Industrie wird das Potenzial anhand des geschätzten Bedarfs an Raumwärme begrenzt, da zur Erzeugung von Prozesswärme in der Regel höhere Temperaturen erforderlich sind und dies jeweils individuell und prozessabhängig betrachtet werden muss.

Es wird noch einmal darauf hingewiesen, dass die Genehmigung von geothermischen Projekten bei der Unteren Wasserbehörde beantragt werden muss.

Erdwärmekollektoren:

Für die Abschätzung der potenziellen Energiemenge durch Erdwärmekollektoren spielt die Bodenbeschaffenheit eine wichtige Rolle. Diese erhält man aus dem Umweltatlas-Bayern [6]. Darauf aufbauend kann mittels der VDI-Norm 4640 die spezifische Entzugsenergie bestimmt werden [27]. Aus diesem Vorgehen ergibt sich für die grobe Potenzialabschätzung ein Mittelwert von 28 kWh pro Jahr und Quadratmeter für Erdwärmekollektoren. Für die Wärmepumpe wird eine Jahresarbeitszahl von 4 angenommen.

Erdwärmesonden:

Zur Abschätzung der potenziellen Energiemenge durch Erdwärmesonden wird die Anzahl der Sonden auf dem für oberflächennahe Geothermie möglichen Flächen berechnet. Es gilt ein Mindestabstand von Sonde zu Sonde von 6 m. Die Multiplikation der Sondenzahl mit einem aus Umweltatlas und VDI 4640 ermittelten spezifischen Entzugsleistung von 54,3 W/m, 1500 Vollbenutzungsstunden und einer durchschnittlichen Bohrtiefe von 120 m (Mittelwert der auf dem Stadtgebiet vorhandenen Bohrungen [3]) ergeben die potenzielle Energiemenge. Auch hier wird eine Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen von 4 angenommen.

Abbildung 28 und Tabelle 16 zeigen die Ergebnisse der Potenzialanalyse für Wärme aus oberflächennaher Geothermie graphisch und tabellarisch auf. Es ist zu sehen, dass das Potenzial für Erdwärmesonden generell höher ist als für Erdwärmekollektoren.

Tabelle 16: Potenzial Wärme oberflächennaher Geothermie

System	Potenzial Wohnen & Kleingewerbe und Öffentliche Einrichtungen [MWh/a]	Potenzial Industrie & Großgewerbe [MWh/a]
Erdwärmekollektor	21.400	8.600
Erdwärmesonden	89.500	26.800

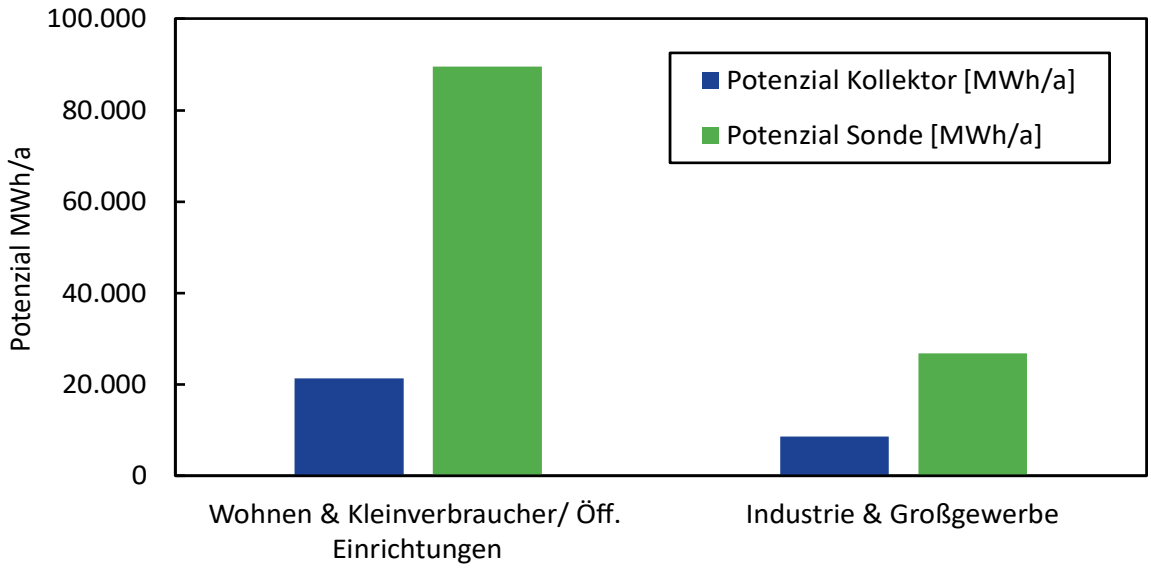


Abbildung 28: Potenzial Wärme aus oberflächennaher Geothermie auf bebautem Gebiet

Geothermie-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 zur Nutzung geothermischer Energie in Form von Flächenkollektoren abgeschätzt. Es werden alle landwirtschaftlich genutzten Flächen sowie Wiesen und Felder größer einem Hektar Fläche betrachtet und mit einem spezifischen Ertrag von 28 kWh pro m2 verrechnet. In Abbildung 29 sind alle betrachteten potenziellen Freiflächen zur Nutzung von oberflächennaher Geothermie dargestellt. Dabei wurde darauf geachtet, nur Flächen in der Nähe von bebautem Gebiet zu verwenden, das hinsichtlich des Baus von Wärmenetzen untersucht wird, so dass bei Wärmenetzen keine zu langen Leitungswege entstehen. Damit werden Ortsteile mit verkürzter Wärmeplanung nicht betrachtet. Außerdem wurde das Potenzial auf den Wärmebedarf der umliegenden Gebiete begrenzt. Zur Insgesamt ergibt sich ein Potenzial von circa 26.200 MWh/a für oberflächennahe Geothermie in Form von Kollektoren oder Sonden auf Freiflächen. Die potenziellen Flächen befinden sich alle um die Ortsteile Haimendorf und Rockenbrunn herum. Hierbei ist die Realisierung der Nutzung der Geothermie von vielen regulatorischen und anderen Faktoren abhängig. Daher sind detailliertere Prüfungen bei weiteren Untersuchungen erforderlich.

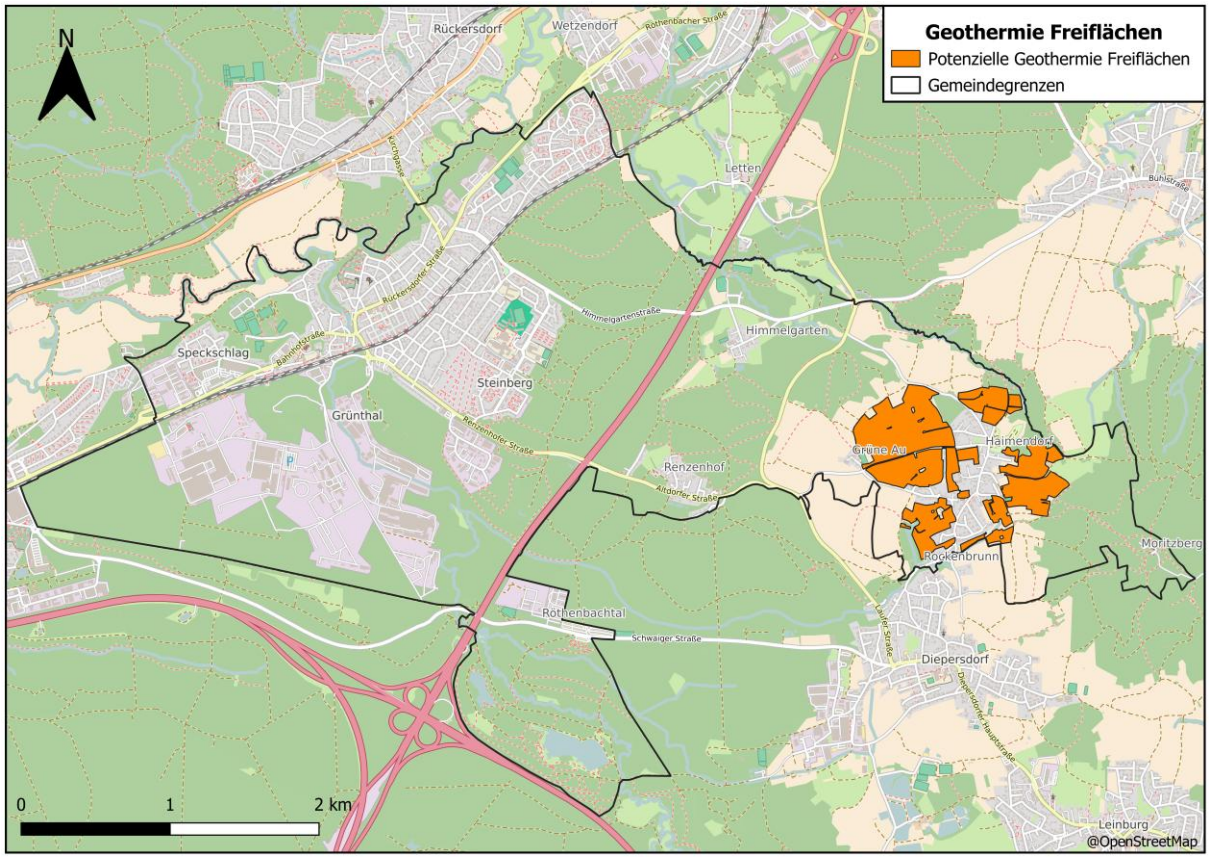


Abbildung 29: Potenzielle Geothermie Freiflächen

4.4.2 Solarthermie

Das theoretische Potenzial von Solarthermie ist sehr hoch. Um eine realistische Einschätzung des Potenzials von Solarthermie zu bekommen, werden folgende Schritte unternommen.

Solarthermie-Freiflächen:

In Abbildung 30 sind potenzielle Freiflächen für Solarthermie im Stadtgebiet dargestellt. Diese wurden anhand der als PV-Freiflächen geeignet eingestuften Flächen aus dem Energie-Atlas Bayern [3] 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. 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 bereits vorhanden sind, werden diese als Referenz verwendet [28]. Ein Mittelwert von 220 kWh pro Jahr und Quadratmeter Grundfläche konnte festgestellt werden. Das Potenzial wird mit dem Wärmebedarf der umliegenden Gebiete verglichen und gegebenenfalls auf den Anteil der solaren Deckungsrate von Solarthermie zur Heizungsunterstützung begrenzt. Hierfür wird ein Wert von 27,5 Prozent angesetzt [29]. Die Flächen befinden sich in der Nähe der außenliegenden Ortsteile Haimendorf und Rockenbrunn.

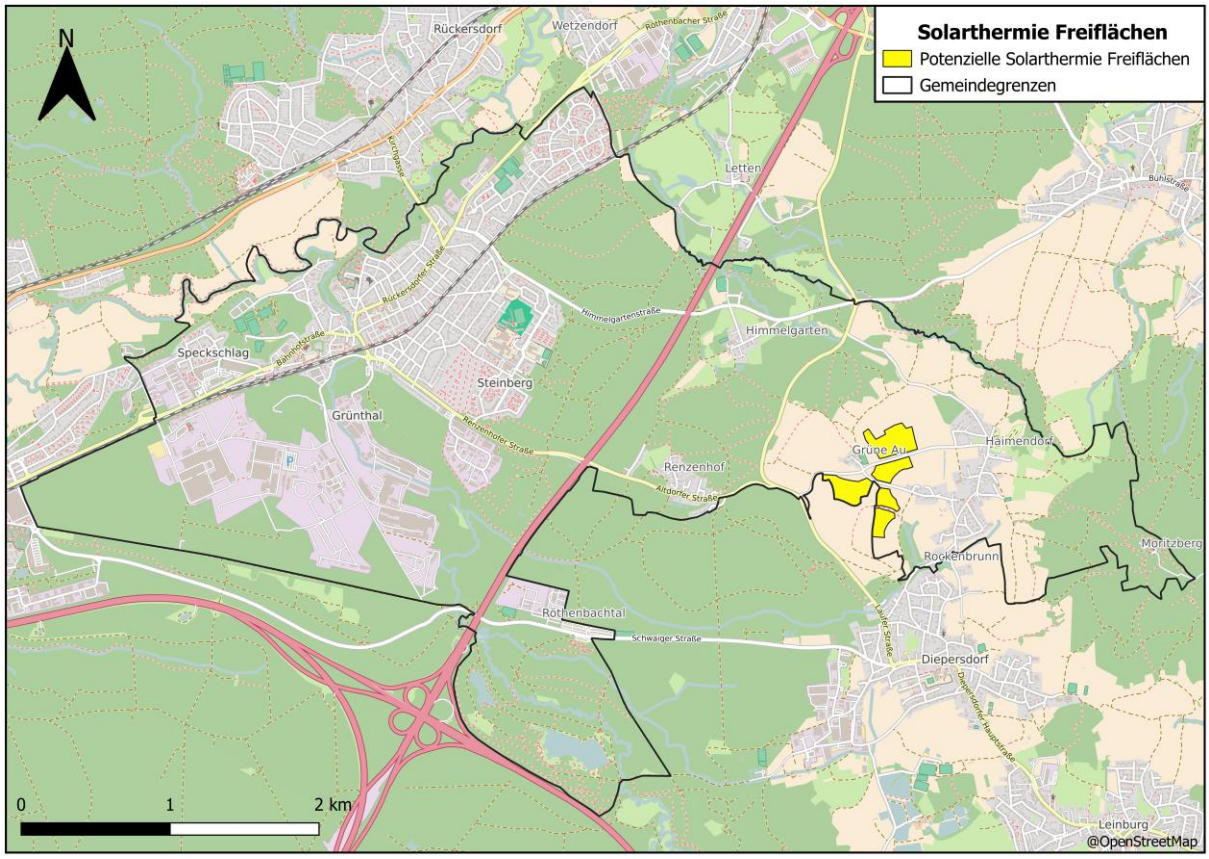


Abbildung 30: Potenzielle Solarthermie-Freiflächen in näherer Umgebung von bebauten Gebieten

Solarthermie-Dachflächen:

Das Potenzial der Solarthermie-Dachflächen wird mit Hilfe des Energie-Atlas Bayern berechnet [3], in dem jedoch nur das Potenzial der Warmwassererzeugung betrachtet wird. Grundsätzlich steht das Potenzial von Solarthermie und Photovoltaik immer in Konkurrenz zueinander. Neben den bereits jährlich erzeugten Wärmemengen von 600 MWh/a kann die Solarthermie auf Dachflächen noch weitere 5.900 MWh/a Wärme liefern, was zusammen ca. 7 Prozent der von den Verbrauchergruppen Wohnen & Kleinverbraucher sowie Öffentliche Einrichtungen benötigten Wärmemenge ausmacht.

Tabelle 17 listet die realistischen Potenziale für Solarthermie auf. In *Abbildung 31* sind diese graphisch dargestellt.

Tabelle 17: Potenzial Solarthermie Freiflächen und Dachflächen

System	Potenzial [MWh/a]
Freiflächen-Solarthermie	6.400
Dachflächen-Solarthermie	5.900
Gesamt	12.300

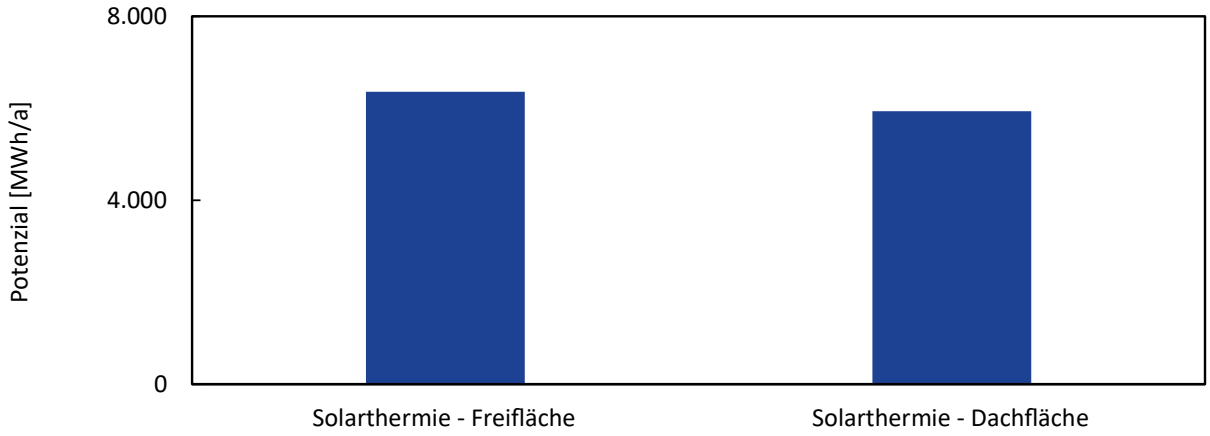


Abbildung 31: Potenzial Solarthermie Freiflächen und Dachflächen

4.4.3 Biomasse

Zur Abschätzung des Potenzials für Wärme aus Biomasse werden die Bereiche Biomasse aus Abfällen, Biomasse aus Landwirtschaft und Biomasse aus Waldbestand betrachtet.

Biomasse aus Abfällen:

Biomasse aus Abfällen setzt sich aus Altholz, Grüngut und biogenen Hausabfällen zusammen. Hierfür werden die statistischen Werte des Bayerischen Landesamt für Umwelt für die Mittelfranken aus dem Jahr 2022 verwendet [30]. Mit Hilfe der Brenn- und Heizwerte für Altholz [31] und Bioabfall [32] können die Potenziale abgeschätzt werden.

Biomasse aus Landwirtschaft:

Zur groben Abschätzung des energetischen Potenzials aus landwirtschaftlich genutzter Fläche wird ein Mittelwert des energetischen Ertrages von Silomais, Zuckerrüben, Sudangras und Grünland verwendet [33]. Der flächenspezifische Ertragswert mit der vorhandenen landwirtschaftlichen Fläche verrechnet ergibt das Potenzial. Auch hier werden die Werte der Flächen aus den ALKIS-Daten übernommen. Wegen der Konkurrenznutzung zum Futter- und Nahrungsmittelanbau wird davon ausgegangen, dass auf 16 Prozent der landwirtschaftlich genutzten Ackerfläche nachwachsende Rohstoffe angebaut werden [34]. Der Flächenbedarf für bestehende Biogasanalgen auf dem Stadtgebiet muss grundsätzlich vom möglichen Potenzial abgezogen, was jedoch auf Röthenbach nicht zutrifft.

Biomasse aus Waldbestand:

Das energetische Potenzial der Waldfläche wird anhand der Kennzahlen aus dem Energie-Atlas Bayern abgeschätzt [3]. Da Biomasse ein begrenzter Rohstoff ist, wird das Potenzial der Waldfläche mit dem aktuellen Verbrauch verglichen. Hierfür werden die Verbrauchswerte von

Biomasse aus der Energiebilanz Wärme für alle Verbrauchergruppen hergenommen. Hierbei ist zu beachten, dass die Herstellung der Pellets außerhalb der betrachteten Bilanzgrenzen liegt und das Holz zur Herstellung der Pellets sehr wahrscheinlich nicht aus der Stadt Röthenbach stammt. Trotzdem werden diese mitbetrachtet, indem davon ausgegangen wurde, dass die Sägenebenprodukte, die bei der Verarbeitung des im Gemeindegebiet gewonnenen Holzes anfallen, zu Pellets verarbeitet werden. Die betreffende Waldfläche auf dem Stadtgebiet Röthenbach wird aus den ALKIS-Daten entnommen.

Wie bereits im Bericht zur *Eignungsprüfung* erwähnt, ist für Biomasse ein regionaler Bezug in nachwachsendem Ausmaß essenziell. Um das Thema der Biomasse aus Waldbestand genauer zu diskutieren, werden übrige Potenzialflächen für Energieholz aus dem Mischpult-Wärme sowie des Kartenmaterials des Energie-Atlas Bayern betrachtet [3].

Tabelle 18 listet das gesamte Potenzial der Biomasse auf dem Stadtgebiet auf. Abbildung 32 zeigt das Ergebnis in graphischer Form.

Tabelle 18: Potenzial Biomasse

System	Potenzial [MWh/a]
Biomasse aus Abfällen	3.000
Biomasse aus Landwirtschaft	1.200
Biomasse aus Waldbestand	1.300
Gesamt	5.500

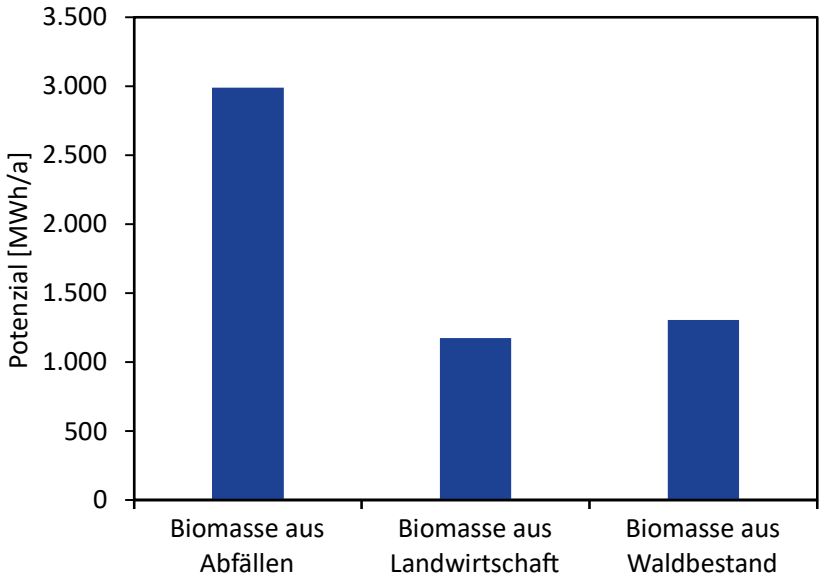


Abbildung 32: Potenzial aus Biomasse. Aufgeteilt in Biomasse aus Abfällen, Landwirtschaft, Waldbestand

Da bisher die Bilanzgrenzen um das Stadtgebiet Röthenbach gezogen wurden, aber es möglich ist Holz aus benachbarten Gebieten zu importieren, werden zusätzlich die Potenzialflächen für Energieholz für die umliegenden Gemeinden aufgezeigt. Abbildung 33 zeigt das übrige Flächenpotenzial für Energieholz der Städte und Gemeinden im Umkreis von Röthenbach. Eine negative Fläche bedeutet, dass mehr Holz genutzt wird als nachhaltig auf dem Gemeindegebiet vorhanden ist. Das Potenzial für Heizkraftwerke stellt die Nutzung von Energieholz für KWK-Anlagen und zur Fernwärme dar. Das Potenzial für Kachelöfen und Einzelraumfeuerungen wird durch die Kleinfeuerungsanlagen dargestellt.

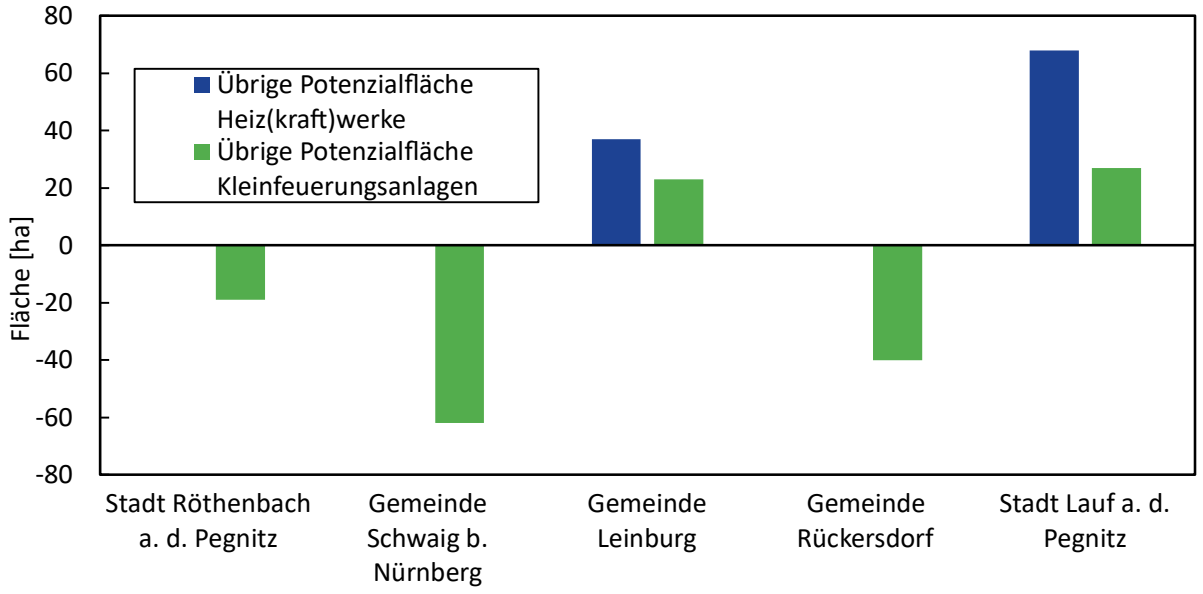


Abbildung 33: Übrige Potenzialfläche für Energieholz der Städte und Gemeinden im Umkreis von Röthenbach

Die Datengrundlage stammt ebenfalls aus dem Energie-Atlas Bayern [3]. Anders als in den oben dargestellten Berechnungen, bei dem noch ein Rest Potenzial zu verzeichnen war, ist das Potenzial von Röthenbach hier als negativ eingezeichnet, was bedeutet, dass mehr Biomasse verbraucht wird, als im Stadtgebiet nachwachsen kann. Die unterschiedlichen Ergebnisse trotz gleicher Datenbasis in Bezug auf Flächen und Energiekennwerten ist auf die unterschiedlichen Annahmen hinsichtlich der Wärmeerzeugung aus Biomasse (unterschiedliche Volllaststundenzahl, installierte Leistung, Wärmebedarf, Brennstoffanteil, Berücksichtigung der Pellet-Produktion aus regionalem Holz) zurückzuführen. Es geht also in jedem Fall deutlich hervor, dass die Wärmeerzeugung aus regionaler Biomasse nicht mehr stark ausgebaut werden kann. Die umliegenden Gemeinden weisen großteils ein negatives Potenzial auf, was bedeutet, dass mehr Energieholz verwendet wird, als nachhaltig auf dem Gemeindegebiet nachwachsen kann.

Abbildung 34 zeigt, dass auch auf Landkreisebene noch Potenzialflächen vorhanden sind. Betrachtet man dagegen den ganzen Regierungsbezirk Mittelfranken, wird bereits erheblich mehr Energieholz eingesetzt als nachwachsen kann. Je nach Technologie zur Wärmebereitstellung wird im Energie-Atlas Bayern von einem spezifischen Flächenbedarf an Energieholz von 0,045 – 0,053 ha/MWh_{th} ausgegangen. Das Energiepotenzial aus Waldholz wurde durch die bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft errechnet [3].

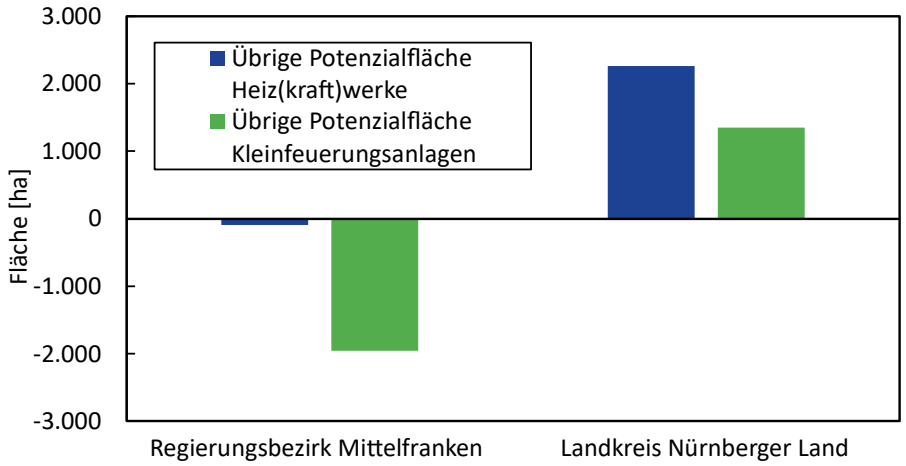


Abbildung 34: Übrige Potenzialfläche für Energieholz der im Landkreis Nürnberger Land und im Regierungsbezirk Mittelfranken

Das Biomassepotenzial auf dem Gemeindegebiet ist also, unabhängig von der Betrachtungsweise bereits stark beansprucht, was auf die starke Nutzung von Energieholz zurückzuführen ist. Entsprechend sollte eine Nutzung in neu errichteten Anlagen nur sehr gezielt vorgenommen werden, zum Beispiel für die Spitzenlasterzeugung in Wärmenetzen. Auch wenn es in manchen umliegenden Gemeinden und im Landkreis noch ungenutzte Potenziale gibt, ist das Potenzial im Regierungsbezirk betrachtet stark negativ.

4.4.4 Abwärme

Das Potenzial der 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 nicht vollständig und lediglich die bekannten Energiemengen werden aufgelistet.

Unvermeidbare Abwärme aus Industrie:

Insgesamt nahmen 6 Firmen in Röthenbach an der Befragung für Industrieunternehmen teil. Allerdings wurden entweder unzureichende Angaben zur Abschätzung des Potenzials getroffen oder die Einspeisung in ein potenzielles Wärmenetz ist nicht möglich bzw. gewünscht. Aus diesem Grund wird das Potenzial als nicht vorhanden eingestuft.

Kraft-Wärme-Kopplung:

Das größte BHKW auf dem Stadtgebiet wird bereits für die Einspeisung ins bestehende Wärmenetz genutzt. Die übrigen Anlagen sind voraussichtlich nicht groß genug, um nach einer potenziellen Vorortnutzung der Wärme, ein Netz zu betreiben. Daher ist im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung kein Abwärmepotenzial vorhanden.

Abwasser:

Im Nordwesten der Kernstadt gibt es eine Kläranlage, deren Potenzial genutzt werden kann. 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, einem exemplarischen Abflussverlauf über den Tag und einer potenziellen Abkühlung des

Wassers bis auf 4 °C kann das Potenzial der Abwärme aus Abwasser berechnet werden. Es wird angenommen, dass das Wasser nach der Kläranlage zentral entnommen wird.

Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, Abwärme direkt aus den Kanälen zu gewinnen, für eine Quantifizierung des Potenzials liegen jedoch nicht genügend Daten vor.

Tabelle 19 und Abbildung 35 zeigen die Ergebnisse der Potenzialanalyse zur Gewinnung von Wärme aus unvermeidbarer Abwärme und Abwasser.

Tabelle 19: Potenzialanalyse Abwärme

System	Potenzial [MWh/a]
Industrie	0
KWK-Anlagen	0
Abwasser Kläranlage	7.200
Gesamt	7.200

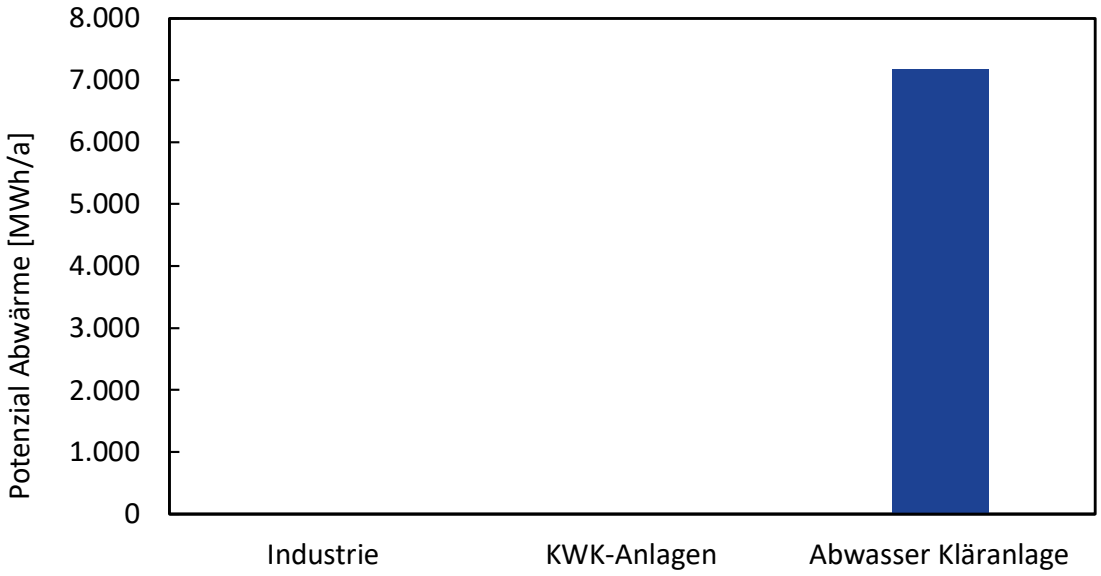


Abbildung 35: Potenzialanalyse Abwärme

4.4.5 Sonstige

Weitere mögliche Potenziale für erneuerbare Energien sind Umweltwärme, Tiefengeothermie und Kraft-Wärme-Kopplung. Die Quantifizierung des Potenzials von Umweltwärme, welche z.B. bei Luft-Wasser-Wärmepumpen verwendet wird, ist nicht sinnvoll. Gleichwohl werden diese Potenziale im weiteren Vorgehen betrachtet. Das Potenzial von Umweltwärme ist, in Bezug zu den betrachteten Energiemengen, quasi unbegrenzt. Da Röthenbach in keinem der drei deutschen für hydrothermalen Tiefengeothermie geeigneten Gebiete (Norddeutsches Becken, Süddeutsches Molassebecken, Oberrheingraben) liegt, wird dieses Potenzial als nicht vorhanden eingestuft. Neue Entwicklungen im Bereich der nicht-hydrothermalen Technologien der Tiefengeothermie könnten jedoch zukünftig neue Potenziale erschließbar machen. Das Potenzial an Biomasse aus Waldgebieten ist weitestgehend erschöpft. Da seitens des Gasverteilnetzbetreiber noch kein Transformationsplan für Wasserstoff vorliegt, wird diese Option nicht betrachtet. Aus diesen zwei Gründen wird das Potenzial von Kraft-Wärme-Kopplung als ausgeschöpft betrachtet. Zudem sind keine Anlagen zur thermischen Müllbehandlung auf dem

Stadtgebiet vorhanden. Perspektivisch könnte Wasserstoff im Stadtgebiet eine Rolle spielen. 2032 soll das zukünftige Wasserstoff-Kernnetz laut dem Antragsentwurf zu einem Wasserstoff-Kernnetz der Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas e.V. durch den Landkreis Nürnberger Land verlaufen [1]. Für die Deckung von Spitzenlasten in Heizzentralen könnte Wasserstoff also prinzipiell in Betracht gezogen werden. Primär liegt der Einsatzbereich von Wasserstoff im Stadtgebiet allerdings bei der Industrie.

4.4.6 Zusammenfassung Potenzial erneuerbare Wärme

In Abbildung 36 sind die abgeschätzten technisch-realistischen Potenziale für erneuerbare Wärme auf dem Stadtgebiet aufgezeigt, nicht eingerechnet sind die Energiemengen, die schon genutzt werden. Umgebungswärme kann in Verbindung mit z.B. einer Wärmepumpe nutzbar gemacht werden. Da das Potenzial nicht sinnvoll abzuschätzen ist, wird dieses in der Graphik in grau exemplarisch dargestellt. Insgesamt ergibt das ein Potenzial von ca. 167.500 MWh pro Jahr plus die Energiemenge der Umweltwärme. Das Potenzial oberflächennaher Geothermie-Bebauung wird auf das Potenzial der Erdwärmesonden beschränkt, da eine gleichzeitige Nutzung von Sonden und Kollektoren als unwahrscheinlich gilt. 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 sind noch nicht 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.

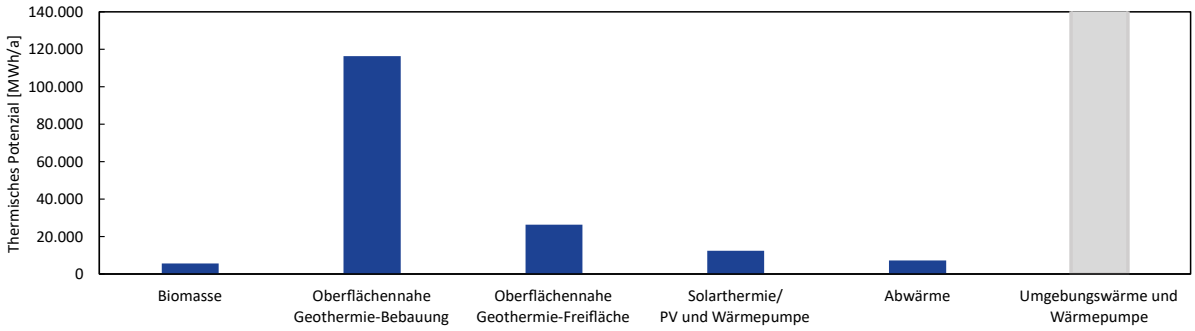


Abbildung 36: Zusammenfassung Potenziale erneuerbarer Wärme

4.5 Potenziale erneuerbarer Strom

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

4.5.1 Photovoltaik

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

Photovoltaik-Freiflächen:

Für die Ermittlung der potenziellen PV-Freiflächen wurden die als geeignet eingestuften Flächen aus dem Energie-Atlas Bayern [3] herangezogen. Mit einem festgelegten Abstand zu Wohnhäusern und Wald (Schattenwurf) sowie der Aussparung von Bodendenkmälern und der Berücksichtigung von Flurstückgrenzen wurden mögliche Gebiete ermittelt. Um die Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten, wurden nur Flächen von einer Größe ab ca. 2,5 ha berücksichtigt. Mit einem durchschnittlichen Erfahrungswert von 0,1 kWp pro Quadratmeter und einem durchschnittlichen Ertragswert von 1050 kWh pro kWp und Jahr kann das Potenzial an Leistung und Energiemenge abgeschätzt werden. Abbildung 37 zeigt die im Stadtgebiet für Freiflächen-PV voraussichtlich geeigneten Fläche basierend auf dem Kriterienkatalog auf. Die Flächen befinden sich alle um die außenliegenden Ortsteile Grüne Au, Haimendorf und Rockenbrunn herum.

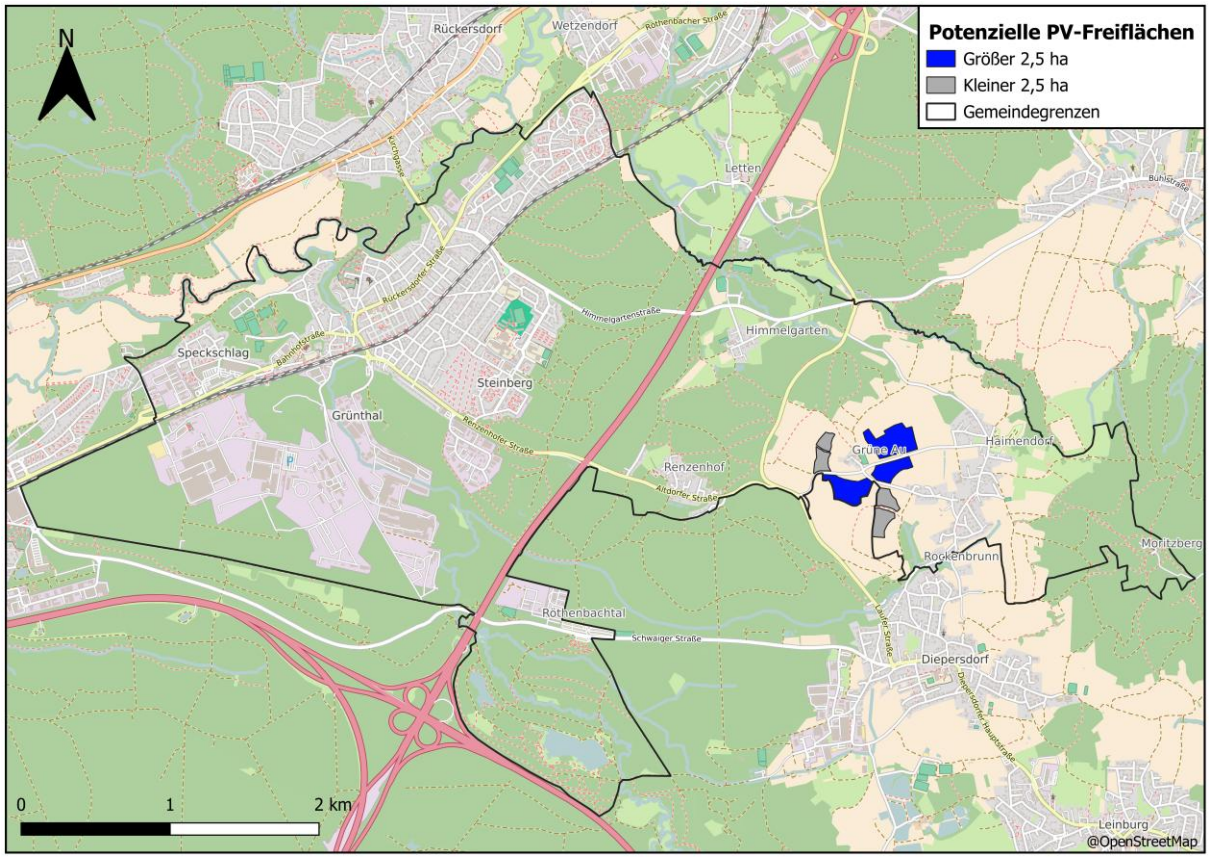


Abbildung 37: PV-Potenzialflächen im Stadtgebiet

Photovoltaik-Dachflächen:

Das Dachflächenpotenzial für Photovoltaik wird aus dem Energie-Atlas Bayern entnommen [3]. Bereits für PV genutzte Dachfläche wird gegengerechnet.

Tabelle 20 und Abbildung 38 zeigen die Ergebnisse der Potenzialanalyse für Photovoltaik im Stadtgebiet Röthenbach. Angegeben wird hier das noch nicht genutzte Potenzial.

Tabelle 20: Potenzial elektrischer Ertrag Photovoltaik

System	Potenzial [MWh_{el}/a]
Freiflächen-Photovoltaik	9.700
Dachflächen-Photovoltaik	43.500
Gesamt	53.200

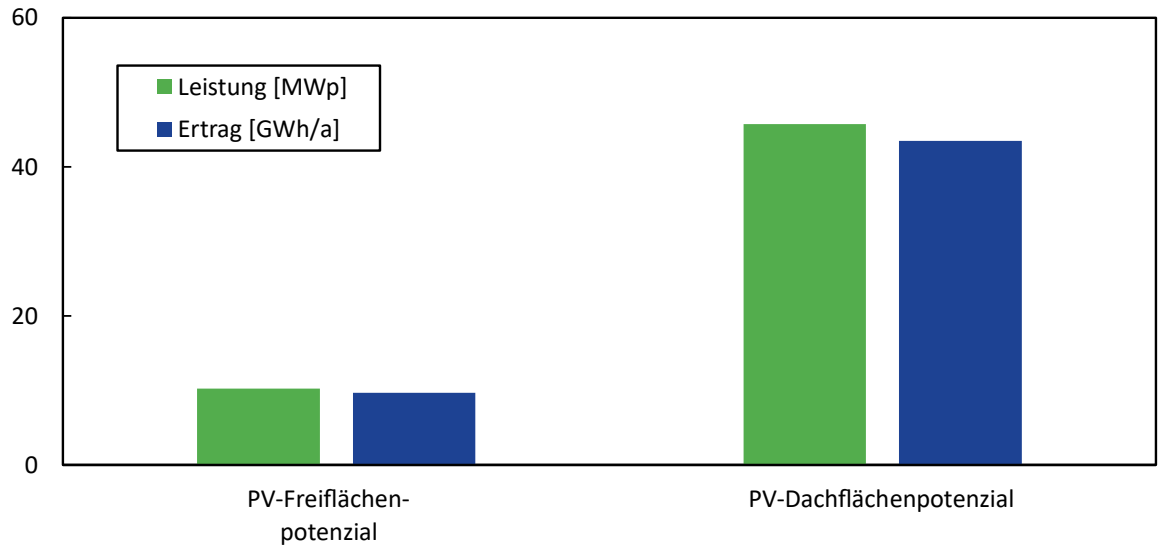


Abbildung 38: Potenzial Leistung und Ertrag Photovoltaik

Verglichen mit den Daten aus dem Marktstammdatenregister werden aktuell 6 Prozent des Potenzials an Photovoltaik im Stadtgebiet genutzt.

4.5.2 Windenergie

Wie in Tabelle 21 dargestellt, gibt es im Stadtgebiet Röthenbach keine Potenzialflächen für Windenergie.

Tabelle 21: Elektrisches Potenzial Windenergieanlagen

Betrachtung	Potenzial [MWh_{el}/a]
Windenergieanlagen	0

4.5.3 Sonstige

In Bayern ist der Neubau von Wasserkraftanalagen vor allem an bereits vorhandenen und noch nicht energetisch genutzten Querbauwerken vorgesehen [3]. Darüber hinaus sind hierbei Anforderungen hinsichtlich Mindestwasserführung, Durchgängigkeit und Fischschutz zu erfüllen [35]. Aus diesem Grund wird das Potenzial von Wasserkraftwerken zur Stromerzeugung

in Röthenbach als nicht vorhanden eingestuft. Laut Energie-Atlas Bayern ist das Potenzial für Biomasse zur Stromerzeugung bereits ausgenutzt [3]. Da seitens des Gasverteilnetzbetreiber noch kein Transformationsplan für Wasserstoff vorliegt, wird diese Option nicht betrachtet. Aus diesen zwei genannten Gründen wird das Potenzial von Kraft-Wärme-Kopplung als ausgeschöpft betrachtet.

4.5.4 Zusammenfassung Potenzial Strom

Das Potenzial zur Erzeugung von elektrischer Energie besteht im Stadtgebiet Röthenbach aus Photovoltaik und Windenergie mit einer möglichen jährlichen Strommenge von circa 53.200 MWh_{el} pro Jahr.

4.6 Anschlussinteresse an einem 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 aktuellem Stand 231 Rückläufer. Bei 2977 Adressen ergibt das eine Antwortquote von circa 7,8 Prozent. Da die Adressen auch industrielle Gebäude und Öffentliche Einrichtungen umfassen, die nicht in diese Befragung mit aufgenommen wurden, ist die Rücklaufquote der Verbrauchsgruppe Wohnen & Kleinverbraucher noch einmal höher. Tabelle 22 listet die Antworten der Bürgerinnen und Bürger auf die Frage, ob ein Interesse am Anschluss Ihres Hauses an ein Wärmenetz besteht, auf. Abbildung 39 stellt das Ergebnis graphisch prozentual dar.

Tabelle 22: Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz. Auswertung der Rückläufer der Fragebögen an die Bürgerinnen und Bürger

Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz	Anzahl Gebäude
Ja	181
Nein	41
Keine Angabe	9
Gesamt	231

Bei circa 78 Prozent der Antworten besteht Interesse am Anschluss des Gebäudes an ein Wärmenetz der Bürgerinnen und Bürger. Da weniger als 8 Prozent der Hauseigentümer den Fragebogen ausgefüllt haben, lässt sich dieses Ergebnis nicht auf die ganze Gemeinde übertragen. Es liegt außerdem nahe, dass Personen, die ein Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz haben, mehr gewilligt sind, einen Fragebogen auszufüllen. Dennoch kann anhand dieser Rückmeldungen darauf geschlossen werden, dass der Aus- und Neubau von Wärmenetzen in dem Gemeindegebiet auf das Interesse der Bürgerinnen und Bürger stößt. Außerdem können Gebiete mit besonders vielen Interessenten identifiziert werden. Abbildung 40 zeigt kartografisch das Interesse von Gebäuden am Anschluss an ein Wärmenetz auf.

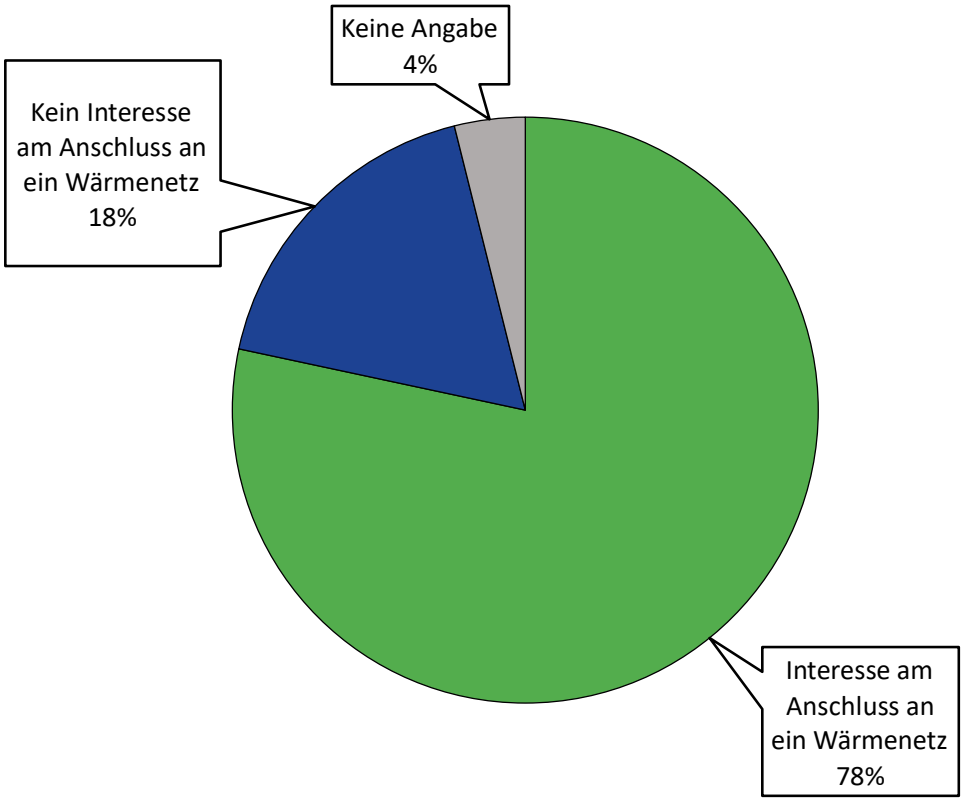


Abbildung 39: Prozentuales Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz. Auswertung der Rückläufer der Fragebögen an die Bürgerinnen und Bürger

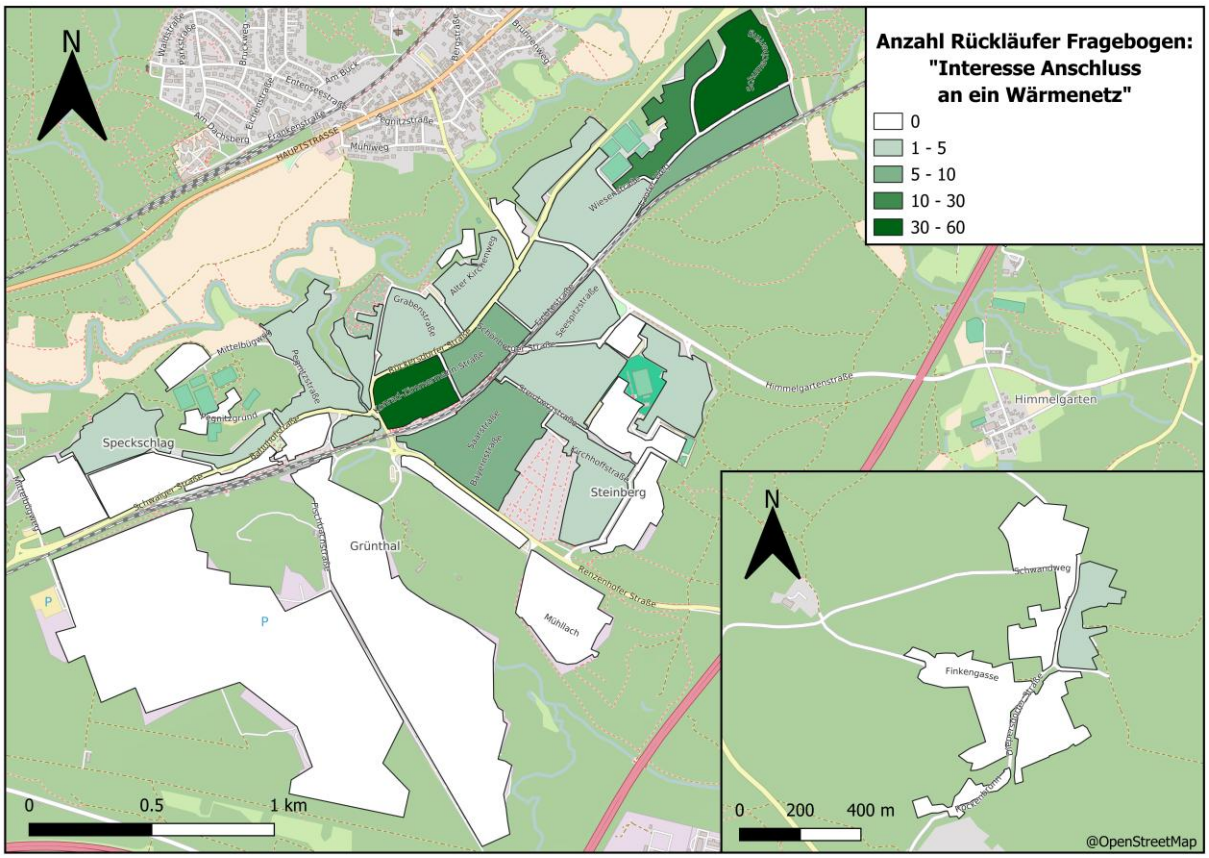


Abbildung 40: Örtliche Übersicht an Gebäuden mit Interesse am Anschluss an ein Wärmenetz

5 Gegenüberstellung von Bestands- und Potenzialanalyse

In Abbildung 41 sind die Verbräuche und Potenziale der Sektoren Wärme und Strom gegenübergestellt. Die Verbräuche sind zudem auf die einzelnen Verbrauchergruppen aufgeteilt. In Grau ist wieder das nicht zu quantifizierende Potenzial von Umweltwärme dargestellt. Es ist zu sehen, dass im Wärmebereich bilanziell das Potenzial an erneuerbarer Energie den aktuellen Verbrauch überragt, wobei das genaue Potenzial für die Wärmeerzeugung aufgrund er theoretisch unbegrenzt zur Verfügung stehenden Umgebungswärme schwer quantifizierbar ist. Dabei ist zu beachten, dass sowohl das Temperaturniveau als auch die Verfügbarkeit des Potenzials eine entscheidende Rolle spielen. So kann das Potenzial von oberflächennaher Geothermie zum Teil nur schwer für Hochtemperatur-Prozesswärme der Industrie genutzt werden. Im Strombereich ist der Verbrauch fast um das 5-fache höher als das Potenzial, was maßgeblich auf die energieintensiven Unternehmen im Stadtgebiet zurückzuführen ist. Selbst bei starken Einsparmaßnahmen wird die Stadt diesbezüglich voraussichtlich auch in Zukunft auf Stromimporte angewiesen sein. Hinzu kommt, dass das vorhandene Potenzial zur Stromerzeugung durch PV auch häufig nicht zur richtigen Zeit zur Verfügung steht. Daher spielen ein schlaues Energiemanagement und Speicher eine wichtige Rolle. Ebenso stellt der Austausch von Erdgas hin zu umweltfreundlichen Energieträgern für Prozesswärme in der Industrie eine große Herausforderung dar. Ebenfalls muss berücksichtigt werden, dass ein Teil des Potenzials der Wärme mit dem elektrischen Potenzial verschnitten ist (Anteil Strom der Wärmepumpe).

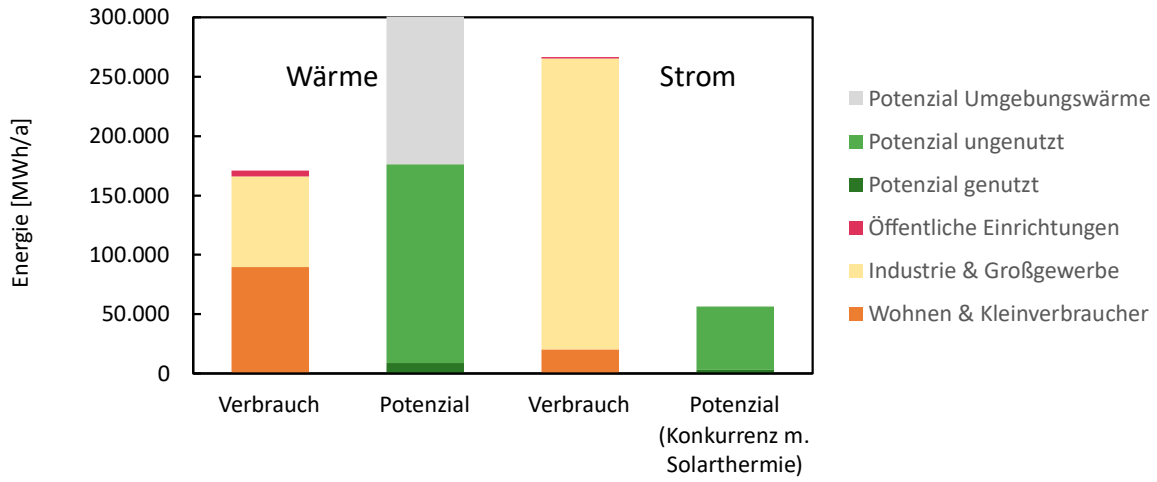


Abbildung 41: Gegenüberstellung Verbrauch und Potenzial von Wärme und Strom

6 Wärmeversorgungsgebiete

Auf Grundlage der Bestands- und Potenzialanalyse wird die Gemeinde auf Baublockebene auf das Potenzial einer zentralen Wärmeversorgung mittels Wärmenetz untersucht. In allen als Wärmenetzeignungsgebiet deklarierten Bereichen ist eine weitere Untersuchung zur möglichen Realisierung eines Wärmenetzes sinnvoll. Diese Einordung ist eine Empfehlung an die Kommune, entsprechende Gebiete eingehender zu betrachten und weitere Studien durchzuführen. In einem Gebiet, welchem eine Wärmenetzeignung zugesprochen wurde, ist der Bau eines Netzes jedoch nicht garantiert. Dafür sind zuerst weitere Studien und Bemühungen notwendig. In allen anderen Gebieten wird eine dezentrale Wärmeversorgung empfohlen.

6.1 Einteilungskriterien

Im Zuge der Einteilung der Stadt in Wärmeversorgungsgebiete wird jeder Baublock nach dessen Wärmenetzeignung anhand des vorhandenen Wärmebedarfs als auch des Potenzials erneuerbarer Wärmequellen vor Ort betrachtet. Diese Parameter werden auf Basis der folgenden Kriterien bewertet:

- **Wärmebedarf:**
  - Wärmebedarfsdichte (bezogen auf die Baublockfläche)
  - Wärmeliniendichte
  - Sanierungspotenzial auf Basis der Bausubstanz (nur halbe Gewichtung)
- **Vorhandenes Potenzial:** Bewertung der vorhandenen Wärmequellen nach ihrer Eignung für die Einspeisung in ein Wärmenetz (Gewichtung der Quellen zwischen 0,5 und 3 Punkten)
- **Andere Faktoren:**
  - Vorhandenes oder in unmittelbarer Umgebung befindliches Wärmenetz
  - Vorhandene Ankerkunden/ Großabnehmer (Gemeinde oder Firma/ Wohnungsgesellschaft mit bekanntem Anschlussinteresse)
  - Hohes Anschlussinteresse (auf Basis der Befragung der Bürgerinnen und Bürger)

Zudem werden die Anmerkungen und Vorhaben der relevanten Akteure (v.a. Energieversorger) in die Einteilung miteinbezogen. Die Auswertung erfolgt mit Hilfe der Bewertungsmatrix dargestellt in Abbildung 42.

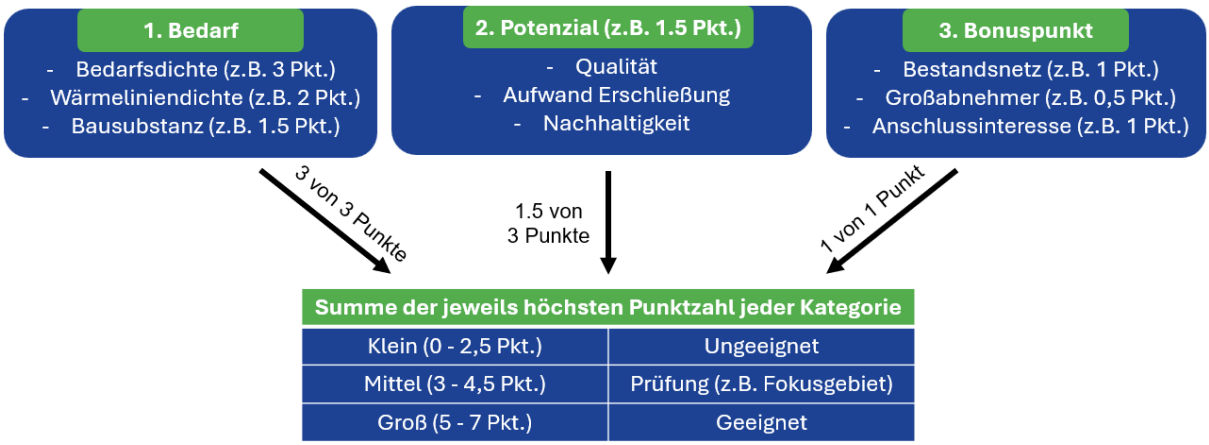


Abbildung 42: Bewertungsmatrix zur Bestimmung von Wärmenetzeignungsgebieten.

In den Bereichen Bedarf und Potenzial können jeweils maximal 3 Punkte erreicht werden. Die anderen Faktoren machen zusammen maximal einen Punkt aus. Ausschlaggebend für die Wertung ist jeweils die Teilkategorie, die die meisten Punkte erreicht. Erhält ein Baublock zum Beispiel in der Wärmebedarfsdichte 3, in der Wärmeliniendichte 2 und beim Sanierungspotenzial 1,5 Punkte, wird der Bereich Wärmebedarf insgesamt mit 3 Punkten gewertet. Dasselbe Vorgehen wird beim vorhandenen Potenzial und den vorhandenen Wärmequellen verfolgt. So kann jeder Baublock maximal 7 Punkte erreichen. Die Abstufung der erreichten Punktzahlen innerhalb der einzelnen Einteilungskriterien wird anhand von Erfahrungswerten und Richtwerten aus der Literatur bestimmt [18, 36, 37, 38].

Tabelle 23: Kategorien Einstufung Wärmenetzeignung

Erreichte Punkte aus Bewertung	Einstufung Wärmenetzeignung
Bis einschließlich 1,5 Punkte	Sehr wahrscheinlich ungeeignet
Bis einschließlich 3 Punkte	Wahrscheinlich ungeeignet
Bis einschließlich 4,5 Punkte	Wahrscheinlich geeignet
Alle über 4,5 Punkte	Sehr wahrscheinlich geeignet

6.2 Wärmenetzeignung

Abbildung 43 zeigt die Baublöcke der Kernstadt und der Ortsteile Haimendorf und Rockenbrunn mit der jeweils ermittelten Eignung für ein Wärmenetz. In Dunkelrot und Hellrot eingefärbt sind Gebiete, in welchen sowohl ein heißes als auch ein kaltes Nahwärmenetz als (sehr) wahrscheinlich geeignet erachtet wird. Die in Dunkelblau und Hellblau eingefärbten Gebieten sind für ein Wärmenetz als (sehr) wahrscheinlich ungeeignet eingestuft, was bedeutet, dass in diesen Baublöcken eine dezentrale Wärmeversorgung wahrscheinlich geeigneter ist. Aber auch hier können unter bestimmten Gegebenheiten Inselnetze (z.B. fünf Häuser mit gemeinsamer Wärmeversorgung) oder kalte Nahwärmenetze realisiert werden. Eine netzgebundene Wärmeversorgung sollte also nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden. Prüfgebiete, in Lila eingefärbt, weisen darauf hin, dass eine besondere Situation vorliegt.

Die Mehrheit der Baublöcke in Röthenbach sind als wahrscheinlich oder sehr wahrscheinlich ungeeignet für ein Wärmenetz eingestuft. Dies ist unter anderem auf die in der Potenzialanalyse beschriebenen Schutzgebiete und den Mangel an geeigneten Freiflächen in der Kernstadt zurückzuführen sowie auf teils eher geringe Wärmebedarfe. Vierzehn Baublöcke wurden als wahrscheinlich und sehr wahrscheinlich geeignet eingestuft. Es handelt sich dabei ausschließlich um Gebiete in der Kernstadt:

- Baublöcke Seespitze (4 Baublöcke): hohe Wärmeliniendichten und hohes Anschlussinteresse bzw. Ankerkunde
- Baublock „Freibad“: Kommunale Liegenschaft
- Baubock „Conradty Siedlung“: hoher Wärmebedarf und hohes Anschlussinteresse
- Baublock „Seespitzschule“: Sehr hohe Wärmeliniendichte, kommunales Gebäude, bestehendes Wärmenetz
- Baublock „Gymnasium und Realschule“: Sehr hohe Wärmeliniendichte, öffentliche Einrichtung, bestehendes Wärmenetz
- Baublock „Grundschule und Rathaus“: hohe Wärmeliniendichte und kommunale Gebäude
- Baublock Karl-Fischer-Straße: Nähe Kläranlage (Abwärme)

- Baublock „Ostpreußenstraße“ (Speckschlag): Nähe Kläranlage (Abwärme)
- Baublock „Kläranlage“: hohes Abwärmepotenzial der Kläranlage
- Baublock „Pegnitzgrund“: Nähe Kläranlage (Abwärme)
- Baublock „Am Gewerbepark“: sehr hohe Wärmeliniendichte, Nähe Kläranlage (Abwärme)

Die Baublöcke um die Firmen Bavaria Carbon Specialities GmbH und die verschiedenen Teilunternehmen der Diehl Stiftung & Co. KG wurde als Prüfgebiet deklariert, da für eine fundierte Aussage zur Wärmenetzeignung ausführliche Gespräche der Kommune mit den Unternehmen notwendig sind.

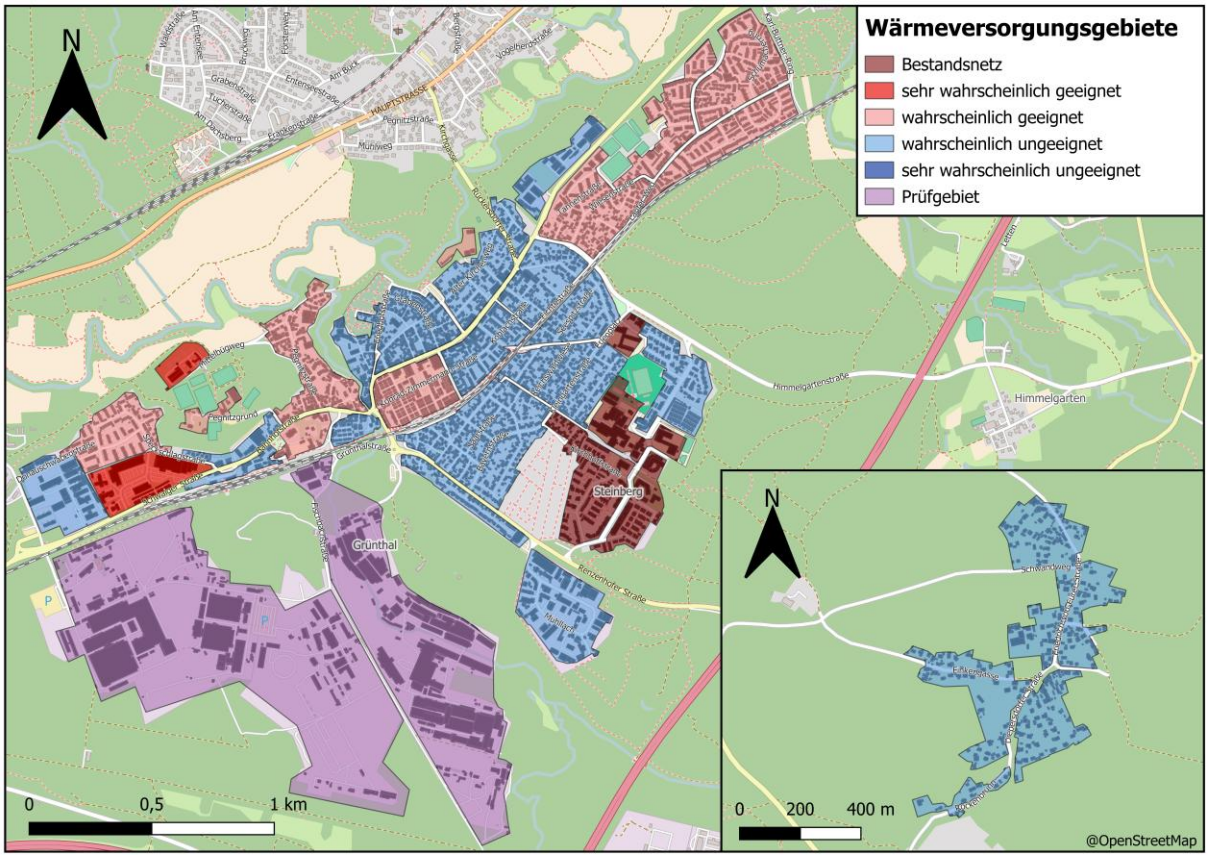


Abbildung 43: Einteilung der Stadt in Wärmenetzeignungsgebiete.

7 Fokusgebiet Conradty-Siedlung

Im Rahmen der Kommunalrichtlinie sind zwei Fokusgebiete im Zuge der kommunalen Wärmeplanung zu erstellen. Fokusgebiete sind Projekte, welche aufgrund ihrer signifikanten Auswirkung auf dem Weg zur Klimaneutralität mit Priorität zu behandeln sind. Hierbei sind zusätzlich konkretere und räumlich verortete Umsetzungspläne zu erarbeiten. Für die Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz werden zwei potenzielle Wärmenetze untersucht.

Als erstes Fokusgebiet wird die überwiegend als Wohngebiet genutzte Conradty-Siedlung detaillierter betrachtet, eine Arbeitersiedlung, die zwischen 1892 und 1914 entstand und in den 90er Jahren saniert wurde.

7.1 Ausgangssituation

Die Siedlung teilt sich auf zwei Bereiche auf, die durch den Röthenbach voneinander getrennt werden. In beiden Quartieren überwiegt die Wohnbebauung. Die historischen Gebäude sind überwiegend zwei weitestgehend baugleichen Typen zuzuordnen: kleinere Zweifamilienhäuser und größere Mehrfamilienhäuser. Die rechte Seite umfasst eine deutlich größere Fläche und beinhaltet auch mehrere gewerblich genutzt Gebäude entlang der Rückersdorfer Straße sowie ein Pflegeheim. In diesem Gebiet gibt es besonders viele Rückläufer beim Fragebogen an die Bürgerinnen und Bürger, in denen ein hohes Anschlussinteresse bekundet wird. Aktuell läuft die Gründung einer Genossenschaft zur gemeinsamen Errichtung eines Wärmenetzes. Im linken Gebiet befinden sich nur Gebäude des kleineren Typs sowie die Stadtwerke Röthenbach a. d. Pegnitz GmbH, das Stadtmuseum Conradtyhaus und ein Pflegeheim.

In Abbildung 44 ist das mögliche Wärmenetz mit allen angeschlossenen Gebäuden dargestellt. Aufgrund der Verfügbarkeit ausreichend großer Flächen sowie Auflagen des Lärmschutzes muss für die Netzzentrale auf ein noch zu definierendes Grundstück außerhalb der Siedlung und südlich der Bahngleise zurückgegriffen werden, das Zugriff auf den Röthenbach ermöglicht. Die Rohrleitungen sind eingefärbt nach der maximal in den einzelnen Abschnitten übertragbaren Leistung. Wohngebäude sind in Grau, Nicht-Wohngebäude in Rot dargestellt.

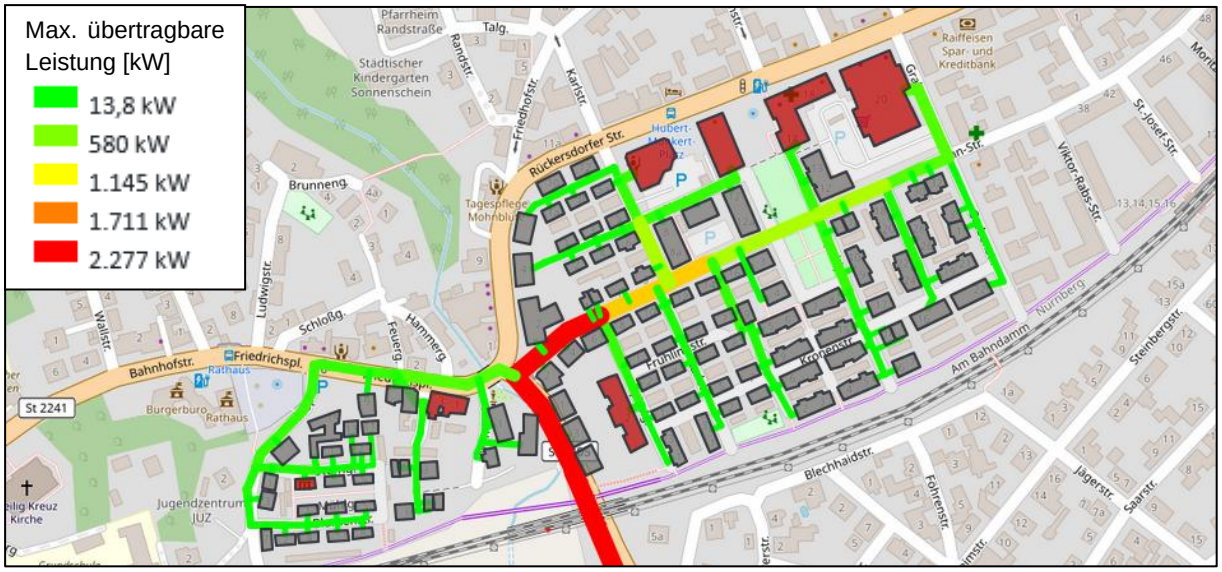


Abbildung 44: Mögliches Wärmenetz Conradty-Siedlung. Wohngebäude in Grau, Nicht-Wohngebäude in Rot.

Tabelle 24 listet die Wärmebedarfe und Anzahl der potenziellen Hausanschlüsse im Netzgebiet auf. Die Länge der Verteilleitungen des Netzes beträgt ungefähr 2,6 Kilometer, hinzu kommen die Hausanschlussleitungen mit ca. 0,8 Kilometer Länge. Der Gesamtwärmebedarf summiert sich auf ungefähr 4.500 MWh/a. Insgesamt sind circa 120 Häuser im Netzgebiet vorhanden. Es muss allerdings beachtet werden, dass aneinander liegende Gebäude (z.B. Reihenhäuser oder Wohnblöcke mit mehreren Hausnummern) teils als ein Gebäude erfasst werden. Die Wärmebedarfe basieren so weit möglich auf in den Fragebögen angegebenen realen Verbrauchswerten, darüber hinaus wird auf das Wärmekataster des verwendeten Simulationstools nPro [39] zurückgegriffen.

Tabelle 24: Wärmebedarf und Anzahl Gebäude

Abnehmergröße	Wärmebedarf [MWh/a]	Anzahl Gebäude
< 25 MWh/a	1.200	67
25 – 60 MWh/a	1.600	39
> 60 MWh/a	1.700	9
Gesamt	**4.500**	**115**

Es wird von einer Anschlussquote von 100 Prozent ausgegangen. In der Realität wird die tatsächliche Anschlussquote vermutlich geringer sein, was die spezifischen Wärmegestehungskosten erhöhen wird. Abbildung 45 zeigt die benötigte Wärmeleistung des Quartiers (hier einschließlich der Verluste in den Leitungen), ermittelt anhand von Standardprofilen. Wärme wird vor allem in den Wintermonaten zur Raumheizung benötigt. Die Spitzen stellen besonders kalte Tage dar. Dennoch ist auch in den Sommermonaten Wärme für Warmwasser erforderlich. Die Jahresdauerlinie gibt an, wie viele Stunden im Jahr eine bestimmte Leistung bereitgestellt werden muss.

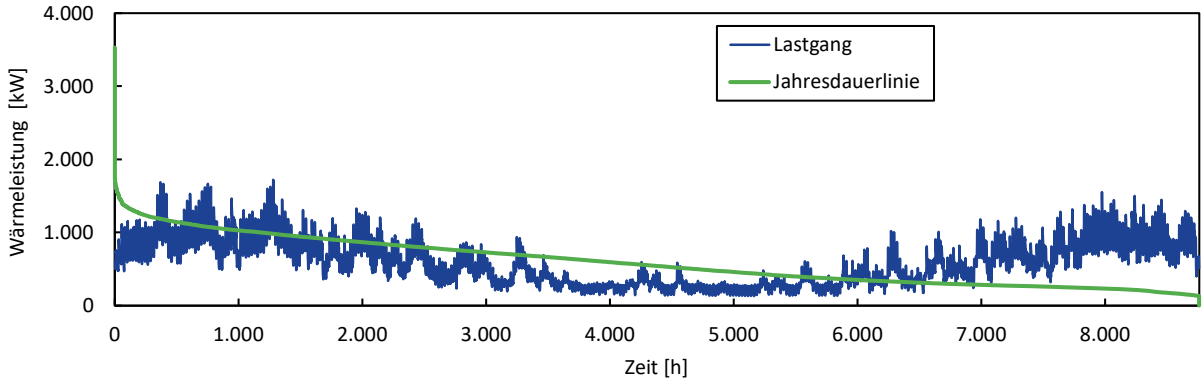


Abbildung 45: Benötigte Wärmeleistung (einschl. Verluste) des Quartiers in kW mit Jahresdauerlinie

7.2 Auslegung Wärmenetz

Zur Konzeptionierung der Wärmeversorgung des Fokusgebietes Conradty-Siedlung über ein Wärmenetz wird das Simulationsprogramm nPro [39] verwendet. Dieses Tool wurde speziell für die Planung und Simulation von Energieversorgungskonzepten entwickelt und bietet auf Grundlage vielfältiger Last- und Erzeugungsprofile eine ausführliche Systemsimulation mit verschiedenen Arten von Energieverbrauchern sowie -quellen. Betrachtet wurde eine Kombination folgender Wärmequellen:

- Gewässerwärme aus dem Röthenbach
- Luftwärme
- Biomethan zur Spitzenlastdeckung

Die optimale Kombination dieser Potenziale wird im Folgenden untersucht.

Da wie in der Potentialanalyse dargelegt das Biomassepotential auf dem Gemeindegebiet bereits weitestgehend ausgereizt ist, sollen Gewässer- und Luftwärme die Hauptquellen des Wärmenetzes darstellen. Biomethan als Verbrennungsprozess wird jeweils zur Spitzenlastdeckung und als Redundanz benötigt. Aus den möglichen Biomassequellen (Hackschnitzel und Biomethan) wird in diesem Fall von einem Biomethankessel ausgegangen, da im betrachteten Gebiet ein flächendeckendes Gasnetz vorhanden ist. Übergangsweise kann also auch Erdgas als Spitzenlastabdeckung verwendet werden, bis die Gasversorgung klimaneutral wird oder unter Umständen die Nutzung von Wasserstoff möglich ist. Außerdem ist laut Potenzialanalyse im Stadtgebiet noch ein ungenutztes Potenzial für Biogas aus Landwirtschaft, Grüngut und Abfällen aus der Biotonne von circa 3.100 MWh vorhanden, was teilweise in diesem Wärmenetz zum Einsatz kommen könnte.

In Kapitel 7.4 wird die mögliche Entzugsleistung und -energie aus dem Röthenbach mittels Wärmepumpe genauer untersucht.

In Abbildung 46 ist schematisch der Versorgungsfall dargestellt. Gleichzeitig zeigen die Linien bereits mit der jeweiligen Breite die Energiemengen im Jahresverlauf an, ähnlich wie in einem Sankey-Diagramm. In den folgenden Auslegungen wird ausschließlich Strom (für die Energiezentrale), Umweltwärme in Form von Luft- und Gewässerwärme sowie Biomethan zur Wärmebereitstellung betrachtet. Anfänglich kann, bis zur flächendeckenden Verfügbarkeit, Erdgas anstatt Biomethan zur Spitzelast genutzt werden. Zusätzlich wird ein Pufferwärmespeicher in das System integriert.

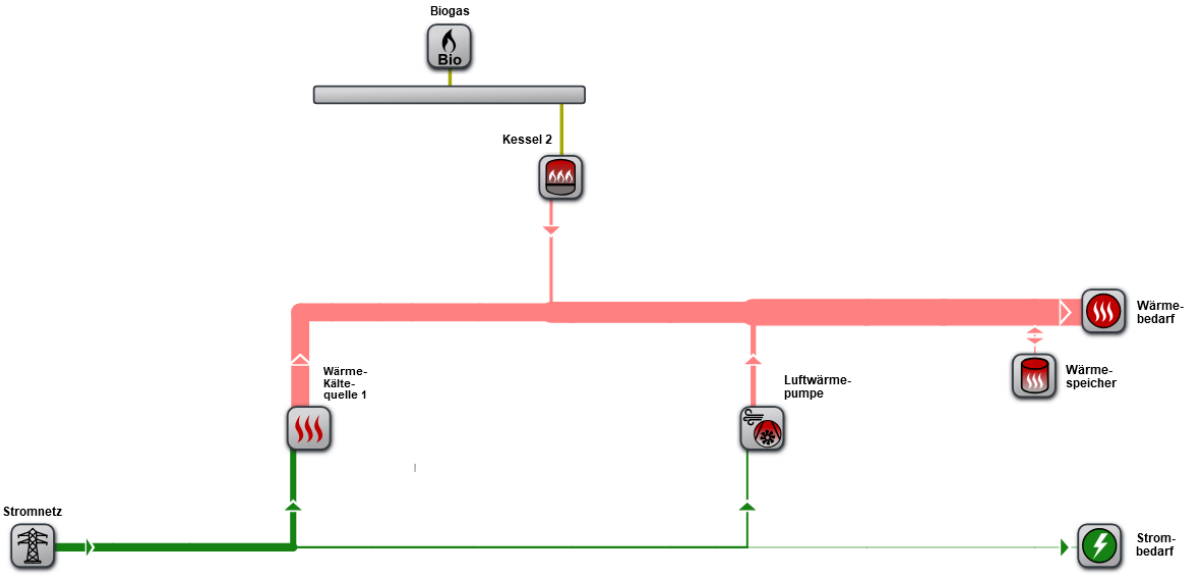


Abbildung 46: Schematische Darstellung der Energieflüsse mit dem Simulationstool nPro [39]

7.3 Annahmen Berechnung

In diesem Unterkapitel sind alle Annahmen zur Wärmenetzauslegung und Kostenrechnung aufgelistet. Alle folgenden Preisangaben sind netto-Werte. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der verschiedenen Varianten wird in Anlehnung an das Kurzverfahren nach VDI 2067 [40] durchgeführt. Tabelle 25 zeigt die Annahmen und Parameter für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen der Wärmekonzepte. Diese basieren auf aktuellen Marktpreisen und Entwicklungen der letzten Jahre sowie eigenen Annahmen. Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird angenommen, dass die BEW-Förderung mit einer Förderquote von 40 Prozent der förderfähigen Kosten zum Tragen kommt [41].

Tabelle 25: Zentrale Annahmen Wirtschaftlichkeitsberechnung

Parameter	Wert
Betrachtungshorizont	20 Jahre
Kalkulatorischer Zinssatz	3 %
Förderung auf Investitionen (BEW)	40 %
Lebensdauer Komponenten	20 – 40 Jahre (je nach Technologie)
Wartungskosten	1 – 2,5 % der Investitionskosten (je nach Technologie)

Für die Kostenermittlung sollte das gesamte Wärmenetz inklusive Wärmeerzeuger, Leitungen und Übergabestationen betrachtet werden. Tabelle 26 listet die spezifischen Kosten einzelner Komponenten zur Wärmeerzeugung und zum Netzbau auf. Für Planungskosten, Regeltechnik und unvorhergesehene Kosten werden Pauschalen angesetzt. Die Kosten der Wärmeerzeuger entstammen zum Großteil dem Technikkatalog des Bundes [42] und den in nPro hinterlegten Angaben [39]. Die Installationskosten sind bereits in den spezifischen Kosten enthalten. Die Preise der Energieträger beziehen sich auf aktuelle Marktpreise [43] [44]. Es wird davon ausgegangen, dass bei den eingesetzten Strommengen Industriestrompreise in Anspruch genommen werden können.

Tabelle 26: Preiskomponenten für Kostenschätzung

Preiskomponente	Angesetzte Kosten
Biogas-Kessel (Biomethan)	131 €/kW_{th}
Luft-Wärmepumpe	1.163 €/kW_{th}
Wärmequelle Flusswasser Erschließungskosten	100 €/kW_{th}
Wärmepumpe Flusswasser	1.243 €/kW_{th}
Wärmespeicher	550 €/m^3
Wärmenetz (Rohrleitung + Verlegekosten)	350 - 630 €/m (durchmesserabhängig)
Hausanschlüsse	10.000 € je Gebäude
Pauschale Planung	10 % der Gesamtkosten
Pauschale Mess- und Regelungstechnik	15 % der Gesamtkosten
Pauschale unvorhergesehene Kosten	5 % der Gesamtkosten
Strompreis	16,99 ct/kWh (keine Preisänderung)
Biogas-Preis (Biomethan)	12 ct/kWh (keine Preisänderung)
CO_2-Bepreisung	55 €/t

Die CO_2-Bepreisung wird hier als Fixwert (Stand 2025) angenommen, da die Prognosen für den zukünftigen Verlauf sehr hohe Unsicherheiten aufweisen. Sonstige Parameter zur Wärmenetzauslegung sind in Tabelle 27 aufgelistet. Die spezifischen CO_2-Emissionen der Energieträger stimmen mit den Werten aus der Potenzialanalyse überein. Die Verlustwerte entstammen dem Technikkatalog des Bundes [42].

Tabelle 27: Sonstige Parameter zur Wärmenetzauslegung

Parameter	Wert
CO_2-Emissionen Strombezug	381 g/kWh
CO_2-Emissionen Biogas (Biomethan)	90 g/kWh [21]
Wärmeverluste	15,8 % der bereitgestellten Wärme

Ergebnis der Betrachtungen sind die Investitionskosten für das Wärmenetz. Diese stellen die Kosten für die Errichtung des gesamten beschriebenen Energiesystems dar. Neben der Anschaffung der Komponenten wird auch der Aufwand für Planung, Genehmigungen, Installation und Inbetriebnahme berücksichtigt. Nicht berücksichtigt werden Kosten für Komponenten, die unabhängig vom jeweiligen Energiesystem ohnehin erforderlich wären, darunter etwaige Anpassungen und Sanierung in den Gebäuden. Die Gesamt-Investitionskosten werden per Annuitätenmethode auf Basis des zugrunde gelegten Kapitalzinses auf die Nutzungsdauer umgelegt, um die jährlichen kapitalgebundenen Kosten zu erhalten. Ein weiteres Ergebnis und wichtiger wirtschaftlicher Faktor sind die Wärmegestehungskosten. Unter diesen Kosten ist der Preis zu verstehen, der unter Berücksichtigung von Errichtung, Wartung, Betrieb und Verbrauch (Strom sowie Brennstoffe) für die Bereitstellung von einer kWh Nutzwärme entsteht. Angegeben werden die Wärmegestehungskosten als Preis pro Wärmemenge.

7.4 Detailprüfung Flusswärme

In einer Detailprüfung wird die genaue Entzugsleistung und -energie basierend auf Wassertemperaturen und Abflussmengen des Röthenbachs berechnet. Zudem werden Schutzgebiete und Denkmäler sowie rechtliche Vorgaben betrachtet.

7.4.1 Beschaffenheit des Röthenbachs

Um einschätzen zu können, wie viel Wärme dem Röthenbach entnommen werden kann, muss der jährliche Temperaturverlauf und die Abflussmenge geprüft werden. Dafür können die Daten des Gewässerkundlichen Dienstes Bayern [45] genutzt werden.

Für den Röthenbach sind viertelstündliche Messwerte für den Abfluss hinterlegt. Temperaturwerte werden an dieser Messstelle jedoch nicht erfasst, weshalb für diese Betrachtung die Messwerte der Aurach herangezogen werden, ein Fluss mit einem ähnlichen Abfluss wie der Röthenbach. Fehlende Werte oder offensichtliche Messfehler wurden händisch korrigiert.

Aus dem Produkt von Abfluss, Dichte des Wassers, spezifischer Wärmekapazität und der nutzbaren Temperaturdifferenz kann die von der Wärmepumpe maximal aufzubringende Entzugsleistung berechnet werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass das Wasser auf maximal 4 °C abgekühlt werden und damit die Wärmepumpe bei geringeren Wassertemperaturen nicht genutzt werden kann. Die Zeitreihen für Entzugsleistung und Temperatur wurden in nPro für die Simulation hinterlegt. Hierbei handelt es sich um das technische Potenzial. Aufgrund wasserrechtlicher Auflagen wird die ganzjährliche Nutzung der vollständigen Temperaturdifferenz auf 4 °C nicht umsetzbar sein. Sowohl bei der Entnahmemenge als auch der Gewässertemperatur nach Durchmischung an der Einleitstelle gibt es Auflagen [46] [47]. Eine entsprechende Prüfung und Modifizierung der Eingabeparameter und die daraus resultierende exakte Entzugsleistung sind also bei weitergehenden Untersuchungen nötig. Auf das Ergebnis dieser Berechnung sind die Auswirkungen jedoch stichprobenhafter Überprüfung zufolge eher gering.

7.4.2 Genehmigung Flussthermie

Da die Nutzung von Flussthermie einen Eingriff in die Natur darstellt, sind einige Vorgaben einzuhalten und zu beachten.

Wasserrecht [48]:

Um eine Wärmetauscheranlage in oberirdischen Gewässern zu errichten und zu betreiben, muss eine wasserrechtliche Erlaubnis gemäß §8 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) beantragt werden. Die Verwendung von Frostschutzmitteln unterliegt zusätzlichen Auflagen. Die Erlaubnis zur Errichtung kann nur erteilt werden, wenn die Gewässereigenschaften nicht nachteilig verändert werden (§12 WHG). Die Erfüllung der Voraussetzung unterliegt einer Einzelfallprüfung der Unteren Wasserhörde.

Folgende Aspekte werden auf eine nachteilige Beeinflussung geprüft:

- Gewässerstruktur
- Wasserabfluss
- Bestehende Nutzung (z.B. Schifffahrt, Fischerei, Hochwasserschutz)
- Gewässerschutz
- Temperaturänderung (1 K Abweichung werden in der Regel als unwesentlich betrachtet, es muss aber darauf geachtet werden, die zulässige Maximaltemperatur nicht zu überschreiten)
- Sicherheitseinrichtungen bei wassergefährdenden Stoffen
- Prüfung von bessergeeigneten Alternativen

Oben genannte Aspekte müssen bei einer Weiterführung der Planung nach Abschluss der Kommunalen Wärmeplanung im Detail geprüft werden.

Schutzgebiete und Denkmäler:

Der geplante Standort der Energiezentrale liegt wie die ganze Kernstadt von Röthenbach im Trinkwasserschutzgebiet. Eine Abstimmung mit der Unteren Wasserbehörde ist daher unumgänglich. Darüber hinaus ist das festgesetzte Überschwemmungsgebiet entlang des Röthenbachs zu beachten, was ebenfalls eine Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt sowie der Unteren Naturschutzbehörde erfordert.

7.5 Ergebnisse Simulation Wärmenetz

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse der Simulation des Wärmenetzes einschließlich der wichtigsten wirtschaftlichen Kennzahlen sowie der emittierten CO_2-Äquivalente dargestellt.

Tabelle 28 zeigt die wichtigsten Parameter des Netzes. Aus der Strommenge, welche zum Betreiben der Wärmepumpe benötigt wird, sowie dem Biomethanverbrauch lassen sich die Anteile der Wärmebereitstellung der einzelnen Energieträger errechnen. Zur optimierten Betriebsführung wird ein Wärmespeicher eingebaut, für den das laut Simulation benötigte, optimale Volumen angegeben ist. Ebenfalls dargestellt werden die beim Betrieb anfallenden Treibhausgasemissionen sowie die wirtschaftlichen Kennzahlen, allen voran der Endpreis für den Kunden. Der Verbraucherpreis wird anhand der Wärmegestehungskosten plus einer Pauschale für betriebswirtschaftliche Kosten des Betreibers (1 Prozent der Investitionskosten) sowie einer Gewinnmarge (25 Prozent) errechnet. Hierbei ist zu erwähnen, dass die Kosten lediglich eine Orientierung geben sollen und nach der tatsächlichen Realisierung dieses Netzes die Verbraucherpreise abweichen können.

Tabelle 28: Ergebnisse Simulation Wärmenetz Conradty-Siedlung

Wärmenetz Conradty-Siedlung	
Wärmeerzeugung in Energiezentrale [MWh/a]	5.250
Wärmebedarf der Abnehmer [MWh/a]	4.550
Spitzenlast [kW]	1.720
Stromverbrauch (Wärme) [MWh/a]	1.650
Biogasverbrauch (Biomethan) [MWh/a]	700
Leistung Wärmepumpe (Flusswasser) [kW_{th}]	670
Leistung Luftwärmepumpe [kW_{th}]	670
Leistung Biomethankessel [kW_{th}]	1.800
Wärmespeicher [m^3]	45
Anteil Wärmebereitstellung Flusswärme [%]	68,2
Anteil Wärmebereitstellung Luftwärme [%]	20
Anteil Wärmebereitstellung Biomethan [%]	11,8
CO_2- Äq. Emissionen spezifisch 2025 [g/kWh]	151
CO_2- Äq. Emissionen absolut 2025 [t/a]	689
Investitionskosten [Mio. €] (mit Förderung)	2,8
Wärmegestehungskosten (mit Förderung) [ct/kWh]	15,0
Verbraucherpreis (mit Förderung) [ct/kWh]	**20,0**

Der Anteil der bereitgestellten Wärme durch Flusswärme liegt ungefähr bei 68 Prozent, durch Luftwärme bei 20 Prozent und Biomethan bei 13 Prozent Abbildung 47 zeigt den monatlichen Einsatz bereitgestellter Wärme aufgeteilt nach Energieträgern. Von April bis Oktober wird die Wärme fast ausschließlich durch die Flusswasserwärmepumpe gedeckt. Biomethan kommt weitestgehend nur in den Monaten November bis Februar zum Einsatz. Soweit aufgrund der Temperaturen möglich, wird die Wärme des Gewässers genutzt. Bei tiefergehenden Untersuchungen muss im Detail geprüft werden, inwieweit der Einsatz der Luftwärmepumpe in den Sommermonaten vorteilhafter ist. Der Verbraucherpreis ist mit netto 20,0 bzw. brutto 23,8 ct pro kWh in einem wirtschaftlich konkurrenzfähigen Rahmen.

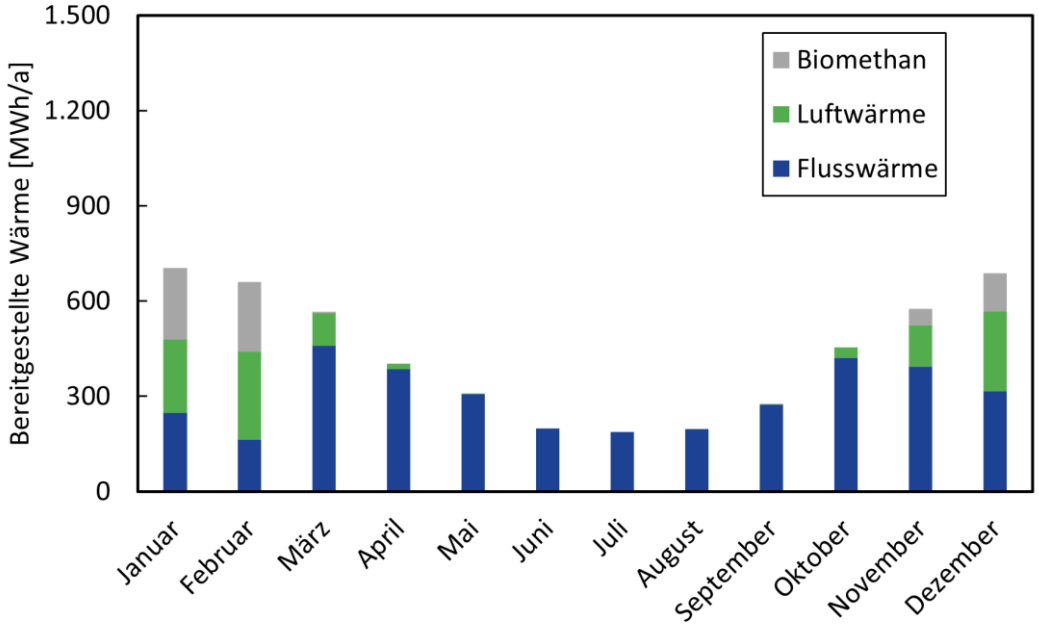


Abbildung 47: Bereitgestellte Wärme nach Energieträger

Die spezifischen CO_2-Äquivalente liegen bei ca. 151 g/ kWh. Im Vergleich zur aktuellen Wärmeversorgung der Conradty-Siedlung, großteils gedeckt durch Gas und Öl, mit spezifischen Emissionen von 238 g/kWh (mittlere Emissionen der Verbrauchergruppe Wohnen & Kleinverbraucher nach Treibhausgasbilanz) sind die spezifischen Emissionen des betrachteten Wärmenetzes geringer. Abbildung 48 zeigt den Verlauf der Treibhausgas-Emissionen der aktuellen Wärmeversorgung im Vergleich mit dem simulierten Wärmenetz. Zudem ist der gesamte Wärmebedarf der Gebäude dargestellt. Dieser reduziert sich um circa 14 Prozent aufgrund von Sanierungen (Annahme einer Sanierungsquote von 1 Prozent) und steigenden Temperaturen im Winter bedingt durch den Klimawandel um durchschnittlich 0,52 Prozent pro Jahr [49]. Dementsprechend nehmen die absoluten Emissionen der aktuellen Wärmeversorgung ab. Die CO_2-Äquivalente des Wärmenetzes nehmen hingegen deutlich mehr ab. Dies liegt an den sinkenden Emissionswerten des Energieträgers Strom. Der aktuelle Wert von 381 g/kWh [24] soll sich bis 2040 auf 32 g/kWh verringern [21]. Dahingegen bleiben die spezifischen Emissionen der Energieträger Öl, Gas und Biomethan konstant [21]. Aufgrund der grauen Emissionen, die auch bei Biomasse und unter Annahme eines regenerativen Strommixes 2040 noch anfallen, bleiben noch Restemissionen im Wärmenetz. Insgesamt könnten mit einem Wärmenetz bis 2040 im Vergleich zu aktuellen Wärmeversorgung 12.200 t eingespart werden.

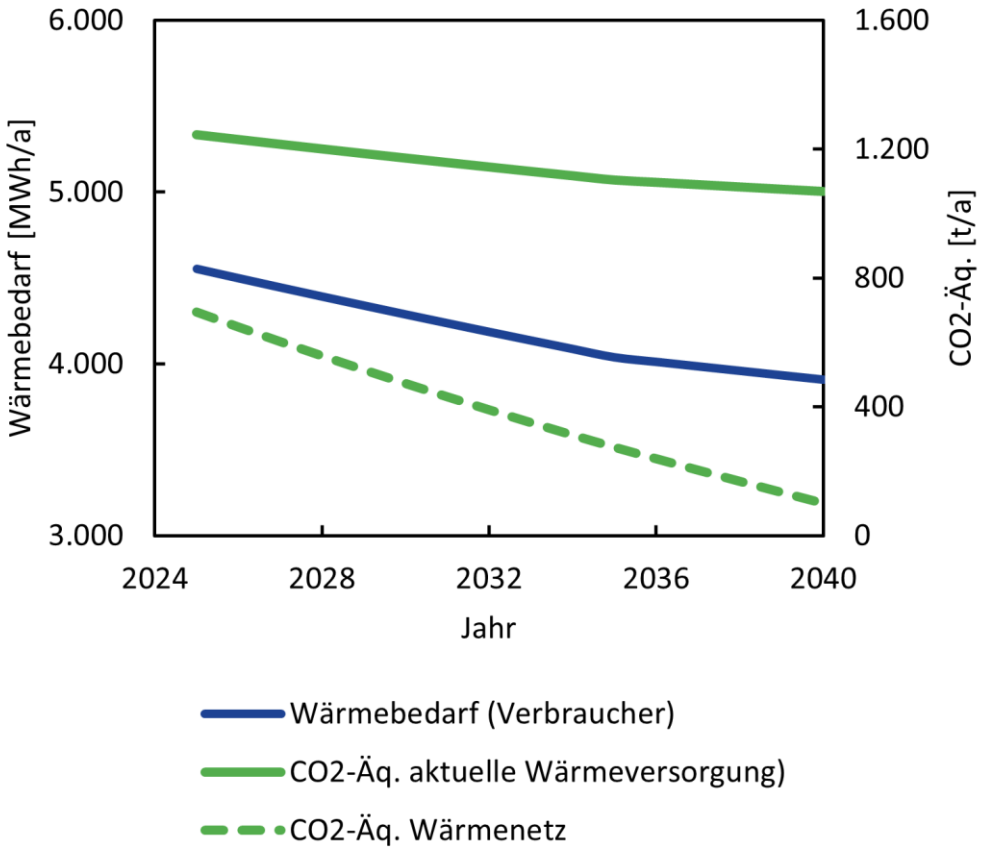


Abbildung 48: Wärmebedarf und CO_2-Äq. Emissionen für das Netzeignungsgebiet bis zum Zieljahr 2040

7.6 Alternative Wärmeversorgung

Neben der netzgebundenen Versorgung kann die Conradty-Siedlung auch dezentral versorgt werden. Gerade bei den nicht sanierten Wohnblöcken sollte jedoch das Heizsystem für eine Versorgung mittels Luftwärmepumpe optimiert werden (hydraulischer Abgleich, Heizkörpertausch). Auflagen des Denkmalschutzes müssen beachtet werden.

8 Fokusgebiet Speckschlag

Als zweites Fokusgebiet für die Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz wird der Stadtteil Speckschlag betrachtet, der im Norden aus Wohngebäuden und im Süden aus einem Gewerbegebiet besteht.

8.1 Ausgangssituation

Das betrachtete Gebiet teilt sich auf zwei Bereiche auf. Im Norden befindet sich fast ausschließlich Wohnbebauung. Dabei handelt es sich überwiegend um Geschoßwohnungsbau oder um Reihenhäuser aus den 1960er und 1970er Jahren. Im Süden befindet sich ein nach 2000 entstandenes Gewerbegebiet mit einem großen Baumarkt, einem Einkaufszentrum, einem Supermarkt, der Stadtmission und einer Tankstelle [9].

In Abbildung 49 ist das mögliche Wärmenetz mit allen angeschlossenen Gebäuden und Heizzentrale (rot umrandet) dargestellt. Dabei ist der endgültige Standort der Heizzentrale noch zu ermitteln und sich im Anschluss mit den Eigentümern abzustimmen. Die Rohrleitungen sind eingefärbt nach der maximal in den einzelnen Abschnitten übertragbaren Leistung. Wohngebäude sind in grau, Nicht-Wohngebäude in Rot dargestellt.

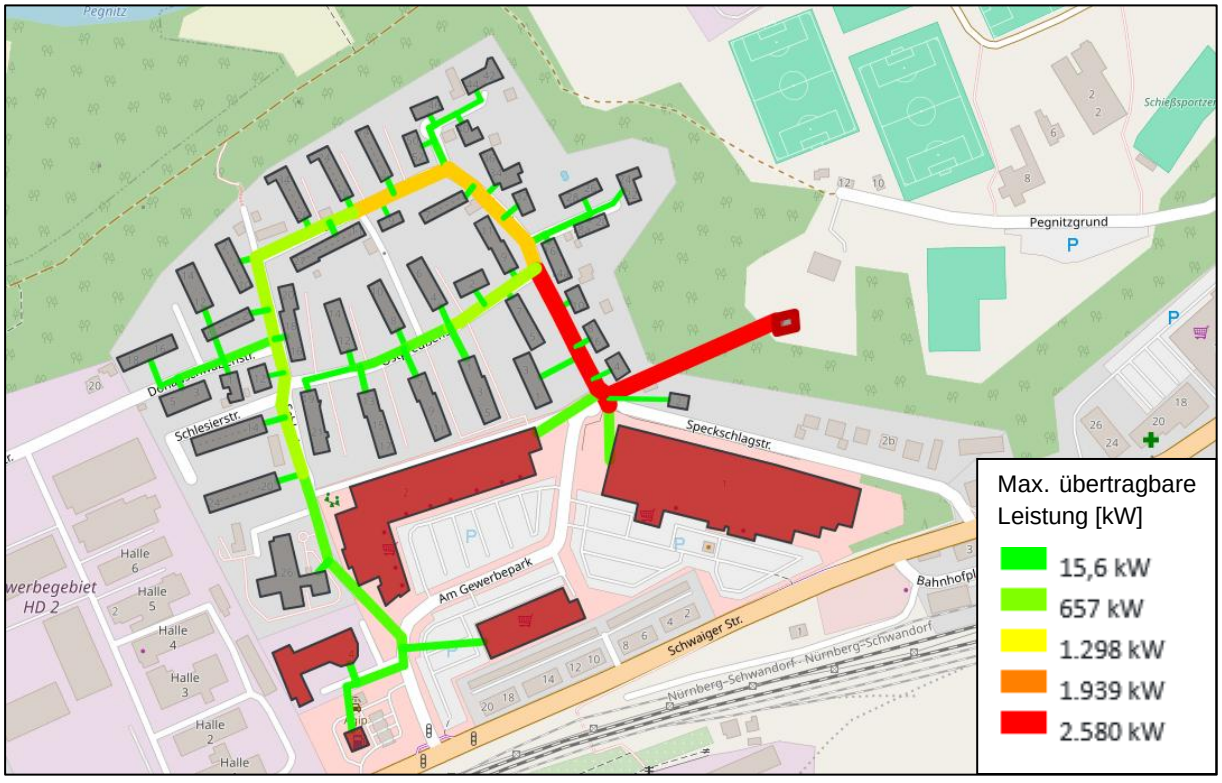


Abbildung 49: Mögliches Wärmenetz am Speckschlag. Wohngebäude in grau, Nicht-Wohngebäude in rot.

8.1.1 Wärmebedarfe

Tabelle 29 listet die Wärmebedarfe und Anzahl der potenziellen Hausanschlüsse im Netzgebiet auf. Die Länge der Verteilleitungen des Netzes beträgt ungefähr 1,1 Kilometer, hinzu kommen die Hausanschlussleitungen mit ca. 0,9 Kilometer Länge. Der Gesamtwärmebedarf summiert sich auf ungefähr 4.800 MWh/a. Insgesamt sind circa 48 Häuser im Netzgebiet vorhanden. Es muss allerdings beachtet werden, dass aneinander liegende Gebäude (z.B.

Reihenhäuser oder Wohnblöcke mit mehreren Hausnummern) häufig als ein Gebäude erfasst werden. Die Wärmebedarfe basieren so weit möglich auf in den Fragebögen angegebenen realen Verbrauchswerten sowie Errechnung aus den straßenzugsweise vorliegenden Gasverbräuchen. Darüber hinaus wird auf das Wärmekataster des verwendeten Simulationstools nPro zurückgegriffen. Es ist zu erkennen, dass fast die Hälfte des Wärmebedarfs auf die zehn größten Abnehmer entfällt.

Tabelle 29: Wärmebedarf und Anzahl Gebäude

Abnehmergröße	Wärmebedarf [MWh/a]	Anzahl Gebäude (Simulation)
< 50 MWh/a	600	16
50 - 150 MWh/a	1.900	22
> 150 MWh/a	2.300	10
Gesamt	**4.800**	**48**

Es wird von einer Anschlussquote von 100 Prozent ausgegangen. In der Realität wird die tatsächliche Anschlussquote vermutlich geringer sein, was die spezifischen Wärmegestehungskosten entsprechend erhöhen wird. Abbildung 50 zeigt die benötigte Wärmeleistung des Quartiers (einschließlich der Verluste in den Leitungen), ermittelt anhand von Standardprofilen. Wärme wird vor allem in den Wintermonaten zur Raumheizung benötigt. Die Spitzen stellen besonders kalte Tage dar. Dennoch ist auch in den Sommermonaten Wärme für Wärmwasser erforderlich. Die Jahresdauerlinie gibt an, wie viele Stunden im Jahr eine bestimmte Leistung bereitgestellt werden muss.

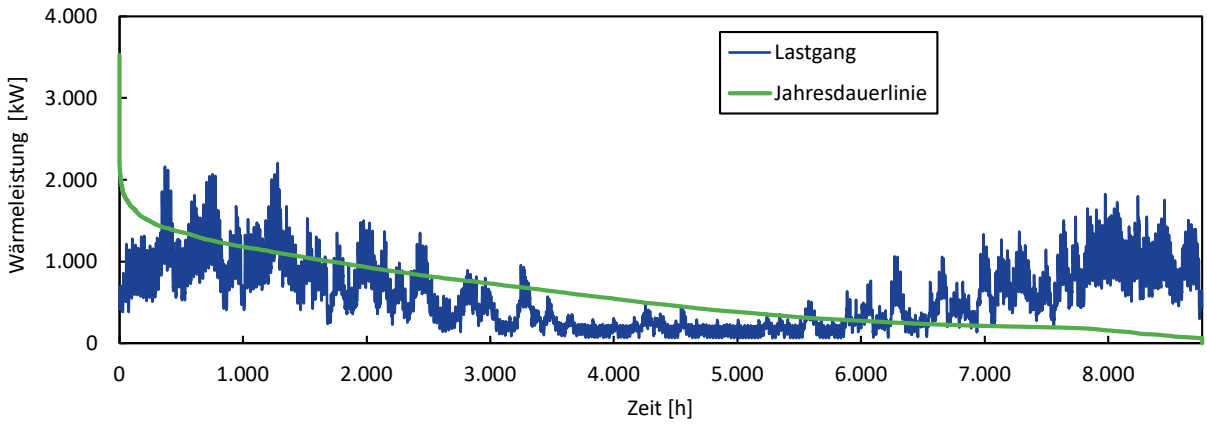


Abbildung 50: Benötigte Wärmeleistung (einschl. Verluste) des Quartiers in kW mit Jahresdauerlinie

8.1.2 Wärmequelle: Abwärme aus der Kläranlage

Aufgrund der im Vergleich zur Umgebung erhöhten Temperaturen in den Wintermonaten stellt Abwasser ein hohes Potenzial dar. Mittels eines Wärmetauschers im Auslauf der Kläranlage und einer Großwärmepumpe kann die Temperatur auf Raumheizungswärmeniveau angehoben werden. Wie in der Potenzialanalyse gezeigt, liegt die Kläranlage der Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz im Nordwesten des Stadtgebiets und nordöstlich des Fokusgebiets.

Zur Abschätzung der nutzbaren Leistung des Abwassers werden die von der Kläranlage Röthenbach bereitgestellten Lastgänge der Temperatur am Auslauf sowie die Auslaufmenge zugrunde gelegt und daraus die stündlich aus dem Abwasser entnehmbare Leistung

errechnet. Laut dem städtischen Klärwerk liegt die minimale Temperatur des Abwassers am Auslauf der Kläranlage im Winter bei 8,4 °C, der Mindesttrockenabfluss über das Jahr gesehen bei 32 l/s sowie der durchschnittliche Trockenwetterabfluss bei 39 l/s. Dabei liegt die minimale Entzugsleistung bei fast 500 kW. Die zum Heizen nutzbare Wärmemenge ist nochmals um den Stromanteil der Wärmepumpe höher.

8.2 Auslegung Wärmenetz

Zur Konzeptionierung der Wärmeversorgung des Fokusgebietes Speckschlag über ein Wärmenetz wird ebenfalls das Simulationsprogramm nPro [39] verwendet. Betrachtet wurde eine Kombination folgender Wärmequellen:

- Abwasserwärme aus dem Auslauf der Kläranlage Röthenbach a. d. Pegnitz
- Luftwärme
- Biomethan zur Spitzenlastdeckung

Die optimale Kombination dieser Potenziale wird im Folgenden untersucht.

Da wie in der Potentialanalyse dargelegt das Biomassepotential auf dem Gemeindegebiet bereits weitestgehend ausgereizt ist, soll die Abwasserwärme (und gegebenenfalls Luftwärme) die Hauptquelle des Wärmenetzes darstellen. Biomethan als Verbrennungsprozess wird zur Spitzenlastdeckung und als Redundanz benötigt. Aus den möglichen Biomassequellen (Hackschnitzel und Biomethan) wird in diesem Fall von einem Biomethankessel ausgegangen, da im betrachteten Gebiet ein flächendeckendes Gasnetz vorhanden ist. Übergangsweise kann also auch Erdgas als Spitzenlastabdeckung verwendet werden, bis die Gasversorgung klimaneutral wird oder unter Umständen die Nutzung von Wasserstoff möglich ist. Außerdem ist laut Potenzialanalyse im Stadtgebiet noch ein ungenutztes Potenzial für Biogas aus Landwirtschaft, Grüngut und Abfällen aus der Biotonne von circa 3.100 MWh vorhanden, was teilweise in diesem Wärmenetz zum Einsatz kommen könnte.

In Abbildung 51 ist schematisch der Versorgungsfall dargestellt. Gleichzeitig zeigen die Linien bereits mit der jeweiligen Breite die Energiemengen im Jahresverlauf an, ähnlich wie in einem Sankey-Diagramm. In den folgenden Auslegungen wird ausschließlich Strom (für die Energiezentrale), Abwärme sowie Biomethan zur Wärmebereitstellung betrachtet. Anfänglich kann, bis zur flächendeckenden Verfügbarkeit, Erdgas anstatt Biomethan zur Spitzelast genutzt werden. Zusätzlich wird ein Pufferwärmespeicher in das System integriert. Die Luftwärmepumpe wurde dem Simulationsprogramm zwar zur Verfügung gestellt, jedoch nicht ausgewählt.

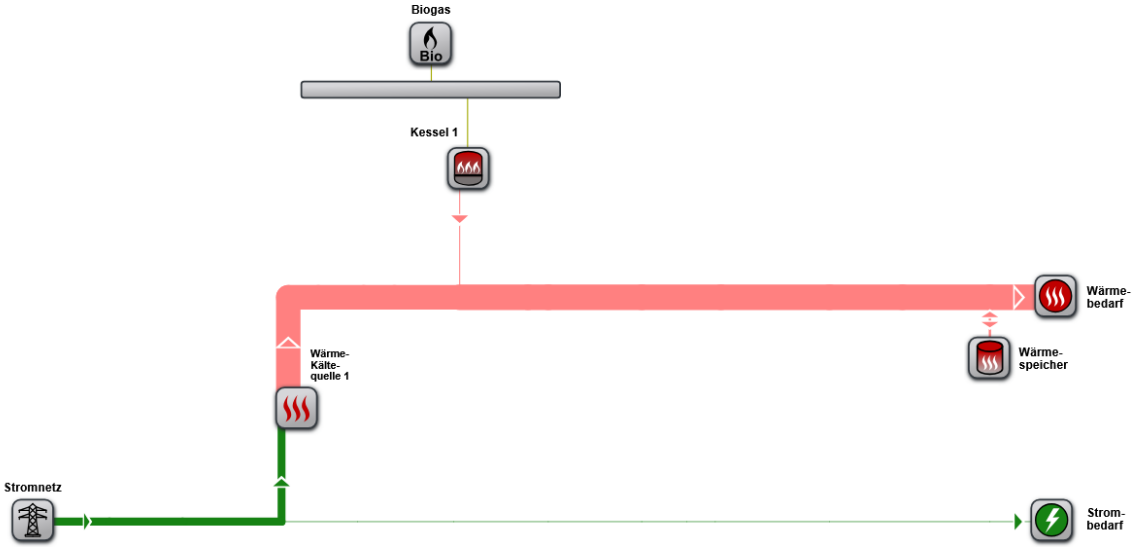


Abbildung 51: Schematische Darstellung der Energieflüsse mit dem Simulationstool nPro [39]

8.3 Annahmen Berechnung

In diesem Unterkapitel sind alle Annahmen zur Wärmenetzauslegung und Kostenrechnung aufgelistet. Alle folgenden Preisangaben sind netto-Werte. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der verschiedenen Varianten wird in Anlehnung an das Kurzverfahren nach VDI 2067 durchgeführt. Tabelle 30 zeigt die Annahmen und Parameter für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen der Wärmekonzepte. Diese basieren auf aktuellen Marktpreisen und Entwicklungen der letzten Jahre sowie eigenen Annahmen. Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird angenommen, dass die BEW-Förderung mit einer Förderquote von 40 Prozent der förderfähigen Kosten zum Tragen kommt.

Tabelle 30: Zentrale Annahmen Wirtschaftlichkeitsberechnung

Parameter	Wert
Betrachtungshorizont	20 Jahre
Kalkulatorischer Zinssatz	3 %
Förderung auf Investitionen (BEW)	40 %
Lebensdauer Komponenten	20 – 40 Jahre (je nach Technologie)
Wartungskosten	1 – 2,5 % der Investitionskosten (je nach Technologie)

Für die Kostenermittlung sollte das gesamte Wärmenetz inklusive Wärmeerzeuger, Leitungen und Übergabestationen betrachtet werden. Tabelle 31 listet die spezifischen Kosten einzelner Komponenten zur Wärmeerzeugung und zum Netzbau auf. Für Planungskosten, Regeltechnik und unvorhergesehene Kosten werden Pauschalen angesetzt. Die Kosten der Wärmeerzeuger entstammen zum Großteil dem Technikkatalog des Bundes [42] und den in nPro hinterlegten Angaben [39]. Die Installationskosten sind bereits in den spezifischen Kosten enthalten. Die Preise der Energieträger beziehen sich auf aktuelle Marktpreise [43] [44]. Es wird davon ausgegangen, dass bei den eingesetzten Strommengen Industriestrompreise in Anspruch genommen werden können.

Tabelle 31: Preiskomponenten für Kostenschätzung

Preiskomponente	Angesetzte Kosten
Biogas-Kessel (Biomethan)	131 €/kW_{th}
Wärmequelle Kläranlage Erschließungskosten	100 €/kW_{th}
Wärmepumpe Abwasser	1.243 €/kW_{th}
Wärmespeicher	550 €/m^3
Wärmenetz (Rohrleitung + Verlegekosten)	350 - 630 €/m (durchmesserabhängig)
Hausanschlüsse	10.000 € je Gebäude
Pauschale Planung	10 % der Gesamtkosten
Pauschale Mess- und Regelungstechnik	15 % der Gesamtkosten
Pauschale unvorhergesehene Kosten	5 % der Gesamtkosten
Strompreis	16,99 ct/kWh (keine Preisänderung)
Biogas-Preis (Biomethan)	12 ct/kWh (keine Preisänderung)
CO_2-Bepreisung	55 €/t

Die CO_2-Bepreisung wird hier als Fixwert (Stand 2025) angenommen, da die Prognosen für den zukünftigen Verlauf sehr hohe Unsicherheiten aufweisen. Sonstige Parameter zur Wärmenetzauslegung sind in Tabelle 32 aufgelistet. Die spezifischen CO_2-Emissionen der Energieträger stimmen mit den Werten aus der Potenzialanalyse überein. Die Verlustwerte entstammen dem Technikkatalog des Bundes [42].

Tabelle 32: Sonstige Parameter zur Wärmenetzauslegung

Parameter	Wert
CO_2-Emissionen Strombezug	381 g/kWh
CO_2-Emissionen Biogas (Biomethan)	90 g/kWh [21]
Wärmeverluste	15,8 % der bereitgestellten Wärme

Ergebnis der Betrachtungen sind die Investitionskosten für das Wärmenetz. Diese stellen die Kosten für die Errichtung des gesamten beschriebenen Energiesystems dar. Neben der Anschaffung der Komponenten wird auch der Aufwand für Planung, Genehmigungen, Installation und Inbetriebnahme berücksichtigt. Nicht berücksichtigt werden Kosten für Komponenten, die unabhängig vom jeweiligen Energiesystem ohnehin erforderlich wären, darunter etwaige Anpassungen und Sanierung in den Gebäuden. Die Gesamt-Investitionskosten werden per Annuitätenmethode auf Basis des zugrunde gelegten Kapitalzinses auf die Nutzungsdauer umgelegt, um die jährlichen kapitalgebundenen Kosten zu erhalten. Ein weiteres Ergebnis und wichtiger wirtschaftlicher Faktor sind die Wärmegestehungskosten. Unter diesen Kosten ist der Preis zu verstehen, der unter Berücksichtigung von Errichtung, Wartung, Betrieb und Verbrauch (Strom sowie Brennstoffe) für die Bereitstellung einer Kilowattstunde Nutzwärme entsteht. Angegeben werden die Wärmegestehungskosten als Preis pro Wärmemenge.

8.4 Ergebnisse Simulation Wärmenetz

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse der Simulation des Wärmenetzes einschließlich der wichtigsten wirtschaftlichen Kennzahlen sowie der emittierten CO_2-Äquivalente dargestellt.

Tabelle 33 zeigt die wichtigsten Parameter des Netzes. Aus der Strommenge, welche zum Betreiben der Wärmepumpe benötigt wird, sowie dem Biomethanverbrauch lassen sich die Anteile der Wärmebereitstellung der einzelnen Energieträger errechnen. Zur optimierten

Betriebsführung wird ein Wärmespeicher eingebaut, für den das laut Simulation benötigte, optimale Volumen angegeben ist. Ebenfalls dargestellt werden die beim Betrieb anfallenden Treibhausgasemissionen sowie die wirtschaftlichen Kennzahlen, allen voran der Endpreis für den Kunden. Der Verbraucherpreis wird anhand der Wärmegestehungskosten plus einer Pauschale für betriebswirtschaftliche Kosten des Betreibers (1 Prozent der Investitionskosten) sowie einer Gewinnmarge (25 Prozent) errechnet. Hierbei ist zu erwähnen, dass die Kosten lediglich eine Orientierung geben sollen und nach der tatsächlichen Realisierung dieses Netzes die Verbraucherpreise abweichen können.

Tabelle 33: Ergebnisse Simulation Wärmenetz Speckschlag

Wärmenetz Speckschlag	
Wärmeerzeugung in Energiezentrale [MWh/a]	5.250
Wärmebedarf der Abnehmer [MWh/a]	4.800
Spitzenlast [kW]	2.200
Stromverbrauch (Wärme) [MWh/a]	1.650
Biogasverbrauch (Biomethan) [MWh/a]	250
Leistung Wärmepumpe (Abwasser) [kW_{th}]	1.140
Leistung Biomethankessel [kW_{th}]	2.200
Wärmespeicher [m^3]	45
Anteil Wärmebereitstellung Abwasserwärme [%]	96,1
Anteil Wärmebereitstellung Biomethan [%]	3,9
CO_2- Äq. Emissionen spezifisch 2025 [g/kWh]	134
CO_2- Äq. Emissionen absolut 2025 [t/a]	644
Investitionskosten [Mio. €] (mit Förderung)	1,9
Wärmegestehungskosten (mit Förderung) [ct/kWh]	11,7
Verbraucherpreis (mit Förderung) [ct/kWh]	**15,5**

Der Anteil der bereitgestellten Wärme durch Abwärme liegt ungefähr bei 96 Prozent und Biomethan bei 4 Prozent. Abbildung 52 zeigt den monatlichen Einsatz bereitgestellter Wärme aufgeteilt nach Energieträgern. Von März bis Oktober wird die Wärme fast ausschließlich durch die Flusswasserwärmepumpe gedeckt. Biomethan kommt weitestgehend nur in den Monaten November bis Februar zum Einsatz. Der Verbraucherpreis ist mit netto 15,5 bzw. brutto 18,5 ct pro kWh in einem wirtschaftlich konkurrenzfähigen Rahmen.

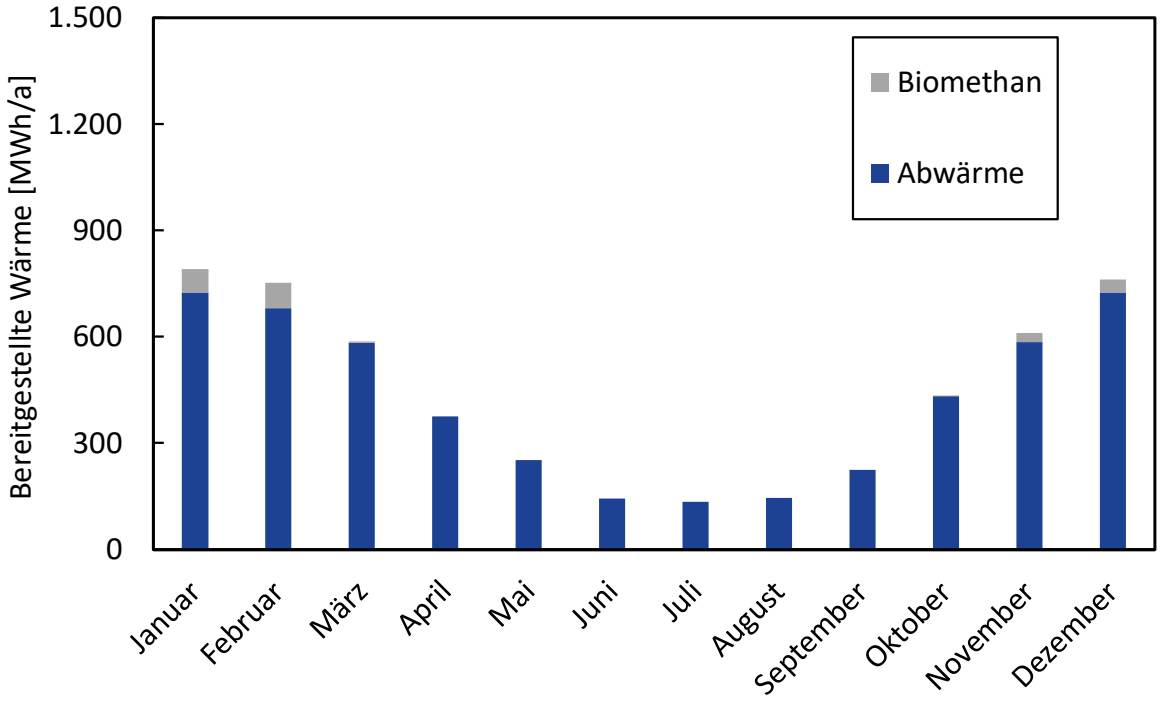


Abbildung 52: Bereitgestellte Wärme nach Energieträger

Die spezifischen CO_2-Äquivalente liegen bei ca. 134 g/ kWh. Im Vergleich zur aktuellen Wärmeversorgung im Gebiet, großteils gedeckt durch Gas und Öl, mit spezifischen Emissionen von 238 g/kWh (mittlere Emissionen der Verbrauchergruppe Wohnen und Kleingewerbe nach Treibhausgasbilanz) sind die spezifischen Emissionen des betrachteten Wärmenetzes geringer. Abbildung 53 zeigt den Verlauf der Treibhausgas-Emissionen der aktuellen Wärmeversorgung im Vergleich mit dem simulierten Wärmenetz. Zudem ist der gesamte Wärmebedarf der Gebäude dargestellt. Dieser reduziert sich um circa 15 Prozent aufgrund von Sanierungen (Annahme einer Sanierungsquote von 1 Prozent) und steigenden Temperaturen im Winter bedingt durch den Klimawandel um durchschnittlich 0,52 Prozent pro Jahr [49]. Dementsprechend nehmen die absoluten Emissionen der aktuellen Wärmeversorgung ab. Die CO_2-Äquivalente des Wärmenetzes nehmen hingegen deutlich mehr ab. Dies liegt an den sinkenden Emissionswerten des Energieträgers Strom. Der aktuelle Wert von 381 g/kWh [24] soll sich bis 2040 auf 32 g/kWh verringern [21]. Dahingegen bleiben die spezifischen Emissionen der Energieträger Öl, Gas und Biomethan konstant [21]. Aufgrund der grauen Emissionen, die auch bei Biomasse und unter Annahme eines regenerativen Strommixes 2040 noch anfallen, bleiben noch Restemissionen im Wärmenetz. Insgesamt könnten mit einem Wärmenetz bis 2040 im Vergleich zu aktuellen Wärmeversorgung 12.800 t eingespart werden.

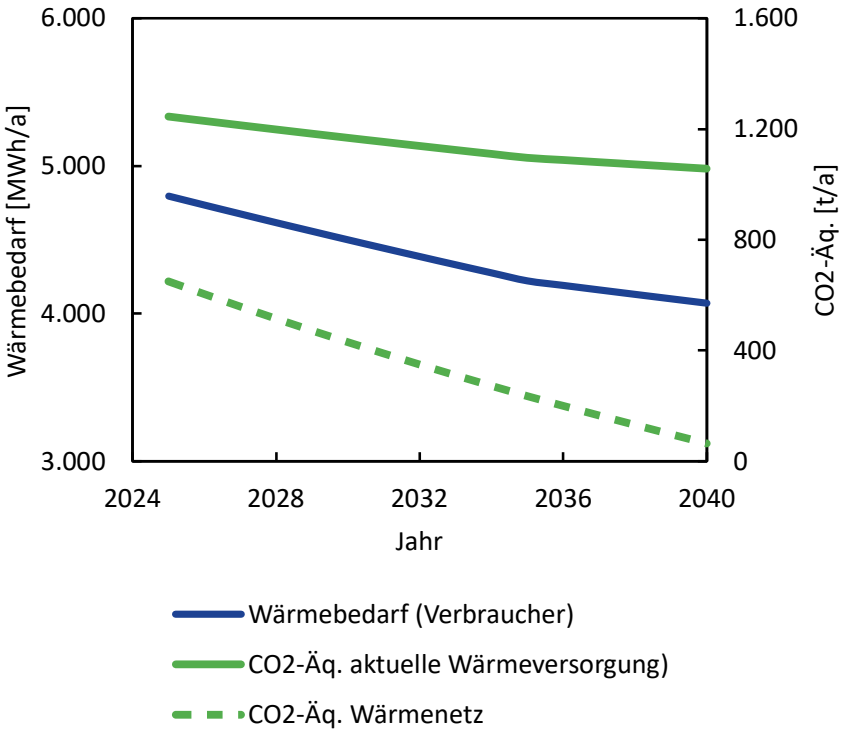


Abbildung 53: Wärmebedarf und CO_2-Äq. Emissionen für das Wärmenetz Speckschlag bis zum Zieljahr 2040.

8.5 Alternative Wärmeversorgung

Neben der netzgebundenen Versorgung kann der Speckschlag auch dezentral versorgt werden. Gerade bei den nicht sanierten Wohnblöcken sollte jedoch das Heizsystem für eine Versorgung mittels Luftwärmepumpe optimiert werden (hydraulischer Abgleich, Heizkörpertausch).

9 Zielszenario

Im Zielszenario wird die Entwicklung verschiedener Aspekte der Wärmeversorgung bis zum Zieljahr 2040 betrachtet. Ausgehend von der Bestands- und Potenzialanalyse sowie der Einteilung der Stadt in Wärmeversorgungsgebiete werden Szenarien aufgezeigt. Der Rückgang des Wärmebedarfs durch Sanierung und steigende Temperaturen aufgrund des Klimawandels wird abgeschätzt. Die Entwicklung der Wärmeerzeugung aufgeteilt auf Verbrauchergruppen und Energieträger wird aufgezeigt sowie eine Treibhausgasbilanz der einzelnen Jahre bis 2040 durchgeführt. Zudem wird ein Szenario der Entwicklung der Nahwärme beschrieben. Auch die Entwicklungen des Erdgasnetzes sowie des Sektors Strom werden diskutiert.

9.1 Entwicklung des Wärmeverbrauchs

Für die Erarbeitung des Zielszenarios muss zunächst der zukünftige Wärmeverbrauch ermittelt werden. Dabei spielen zwei Faktoren eine wichtige Rolle: die Einflüsse steigender Temperaturen aufgrund des Klimawandels und der Bedarfsrückgang in Folge von Sanierung.

Angelehnt an die Studie der TU Graz [49] wird in den Jahren 2025 bis 2035 ein Bedarfsrückgang von 0,69 Prozent und in den Jahren 2036 bis 2040 ein Bedarfsrückgang von 0,15 Prozent für Raumwärme und Warmwasser angenommen. Für den Einfluss der Sanierung müssen die Baublöcke einzeln betrachtet werden, um auf die individuellen Gegebenheiten vor Ort eingehen zu können. In der Potenzialanalyse wurde für jeden Baublock das Sanierungspotential ermittelt. Bei der wie bereits in den vorigen Kapiteln bereits angenommen Sanierungsquote von einem Prozent pro Jahr für die Verbrauchergruppe Wohnen & Kleinverbraucher kann damit die jährliche Energieeinsparung pro Baublock ausgerechnet werden. Zusammen betrachtet kann aus den beiden Einflussfaktoren der abnehmende jährliche Energiebedarf ermittelt werden.

Diese Betrachtung wird für die Verbrauchergruppen Wohnen & Kleinverbraucher, Öffentliche Einrichtungen sowie Industrie & Großgewerbe einzeln durchgeführt. Anders als bei den beiden zuerst genannten Verbrauchergruppen, muss bei der Industrie jedoch der große Anteil an Prozesswärme am Gesamtwärmebedarf berücksichtigt werden, der von den oben betrachteten Faktoren unabhängig ist. Das Optimierungs- und Einsparpotential muss in jedem Unternehmen grundsätzlich individuell betrachtet werden. Für diese Betrachtung wird eine gesamte jährliche Reduktion (Raum- und Prozesswärme) von 1,5 Prozent pro Jahr gemäß Energieeffizienzrichtlinie [50] angenommen. Bei den Öffentlichen Einrichtungen wird eine Einsparung von 2 Prozent angesetzt (gemäß Energieeffizienzgesetz [51]).

Die Veränderung des Wärmeverbrauchs der einzelnen Verbrauchergruppen ist in Abbildung 54 dargestellt. Im Bereich Wohnen & Kleinverbraucher, die Verbrauchergruppe mit dem höchsten Gesamtwärmebedarf ist auch der absolute Rückgang am größten. Der prozentuale Rückgang aller Verbrauchergruppen liegt insgesamt bei ca. 20 Prozent.

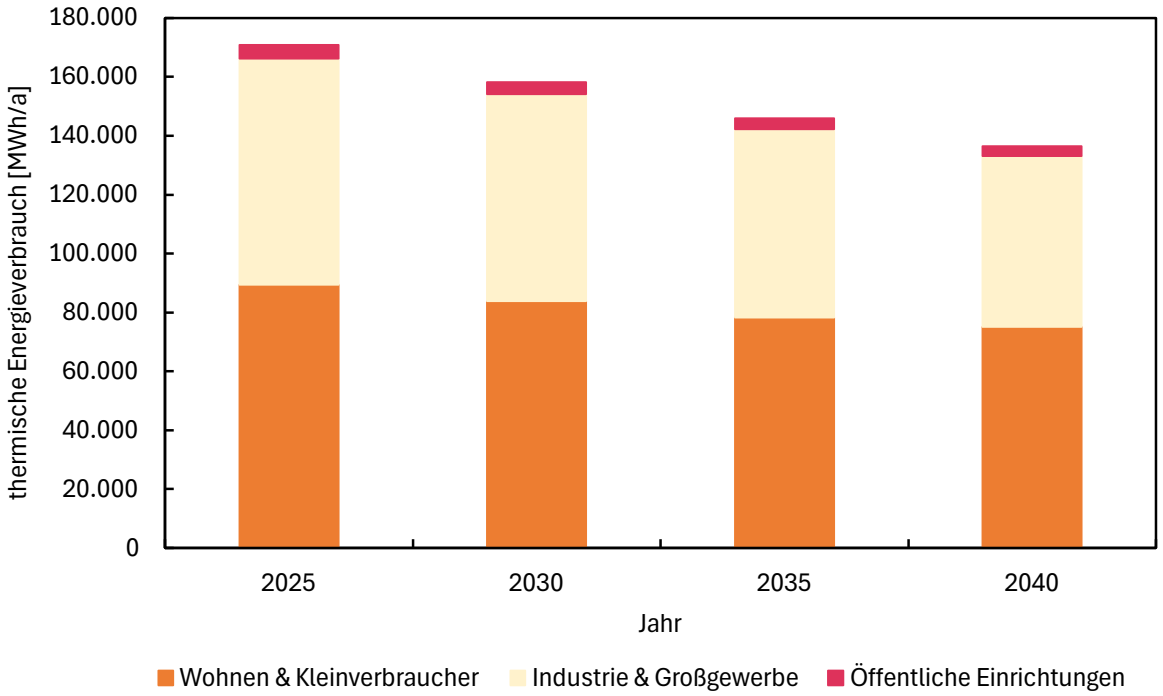


Abbildung 54: Thermischer Endenergieverbrauch der Verbrauchergruppen bis 2040

In Abbildung 55 und Abbildung 56 sind die Wärmebedarfe der Baublöcke in den Jahren 2030 und 2040 dargestellt.

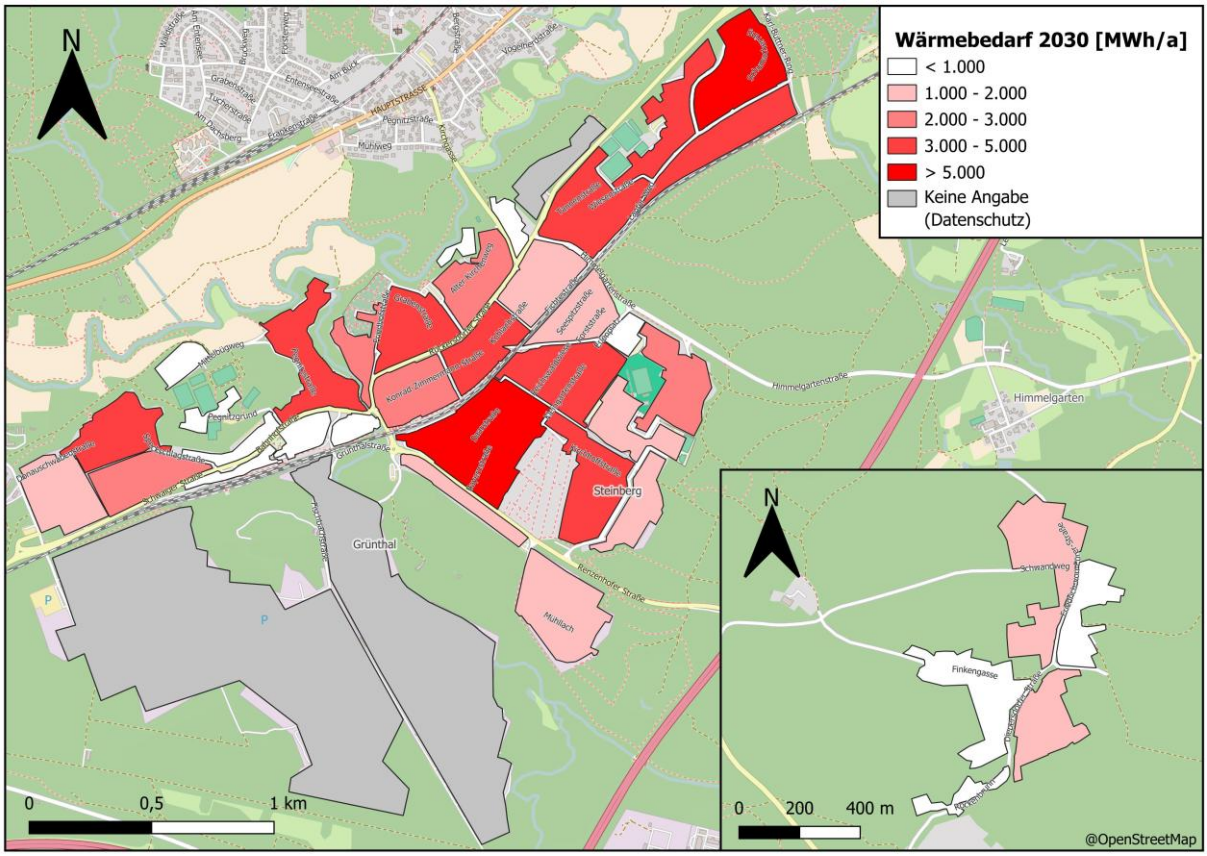


Abbildung 55: Absoluter jährlicher Heizwärme- und Warmwasserbedarf pro Baublock 2030

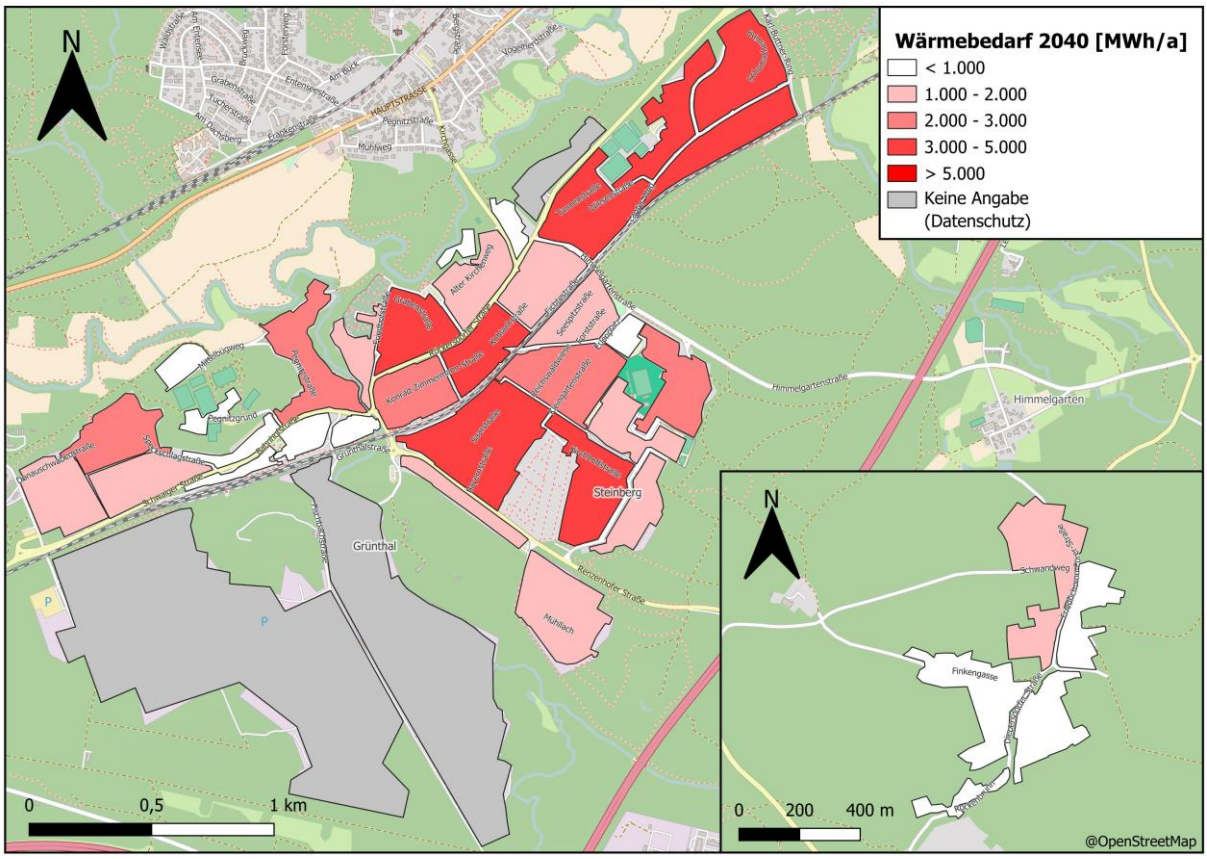


Abbildung 56:Absoluter jährlicher Heizwärme- und Warmwasserbedarf pro Baublock 2040

9.2 Entwicklung der Wärmeerzeugung

Im Folgenden wird eine mögliche Entwicklung der Wärmeerzeuger der einzelnen Verbrauchergruppen dargestellt. Hierbei handelt es sich um Prognosen. Da die Entwicklung der Wärmeerzeugung von unterschiedlichen Parametern (Kosten, politische Vorgaben, private und wirtschaftliche Interessen) abhängt, kann eine abweichende Entwicklung eintreten. Im Zuge der Fortschreibung der kommunalen Wärmeplanung ist dies zu überprüfen.

9.2.1 Methodik

Für die Entwicklung der Wärmeerzeugung werden die Daten aus der Bestandsanalyse als Ausgangspunkt verwendet und anhand der Ergebnisse der Potenzialanalyse weiterentwickelt. Es werden zudem die Stellungnahmen der in der Stadt aktiven Energieversorger berücksichtigt. Die Annahmen für den Fernwärmenetzausbau beruht auf den zukünftigen Wärmeverbrauchen der Wärmenetzeignungsgebiete. Dabei teilt sich die Versorgung auf Haushalte & Kleinverbraucher, Industrie & Großgewerbe und Öffentliche Einrichtungen auf.

Unter dem Überbegriff Grüne Gase sind Biomethan, grüner Wasserstoff und daraus erzeugtes synthetisches Methan zusammengefasst. Aufgrund der Preise und Verfügbarkeiten kommt es im Bereich der Raumwärme nur in geringem Maß zum Einsatz und wird vorwiegend für die Erzeugung von Prozesswärme verwendet. Weiterhin werden sie zur Spitzenlastdeckung in Wärmenetzen gebraucht. Wie bereits erwähnt gibt es laut Potenzial noch ein ungenutztes Potenzial für Biogas aus Landwirtschaft, Grüngut und Abfällen aus der Biotonne von circa 2,0

GWh in Röthenbach, was neben dem Einsatz in der Nahwärme auch ins Gasnetz eingespeist werden kann. Bei der Entwicklung des Energieträgers Gas werden die Anmerkungen des Gasverteilnetzbetreibers Stadtwerke Röthenbach a. d. Pegnitz GmbH und N-ERGIE Netz GmbH berücksichtigt.

Da das Potenzial der festen Biomasse im Stadtgebiet bereits vollständig genutzt wird, wird ein Zubau von Pellets oder Scheitholzkesseln nur in Ausnahmefällen angenommen. Durch die Sanierung und den Klimawandel sinkenden Wärmebedarfe kann insgesamt von einem Rückgang der erzeugten Wärmemengen ausgegangen werden. Es wird hier davon ausgegangen, dass die Verbrauchsabnahme durch den Einsatz effektiverer Heizungen, teilweise in Kombination mit einer Brauchwasserwärmepumpe, die vereinzelten Neuinstallationen kompensiert. Im Zielszenario wird das Biomassepotenzial durch die Verbrauchergruppe Wohnen & Kleinverbraucher aufgebraucht.

Da die Kosten der Energieträger eine entscheidende Rolle bei deren Einsatz spielen, muss der CO_2-Preis bei der Entwicklung der Wärmeerzeugung berücksichtigt werden. Für den CO_2-Preis wird der in Abbildung 57 dargestellte Verlauf (Non-ETS) zugrunde gelegt. Der europäische Emissionshandel (engl.: emission trading system; ets) richtet sich an Unternehmen, welche Emissionswerte einhalten müssen. Dies gilt nicht für den Gebäudesektor und daher werden hierfür die Prognosen des Non-ETS-CO_2-Preises betrachtet. Es kann also angenommen werden, dass die steigende Bepreisung zunehmend einen Einfluss nehmen wird auf die Entscheidung, welches Heizungssystem genutzt wird.

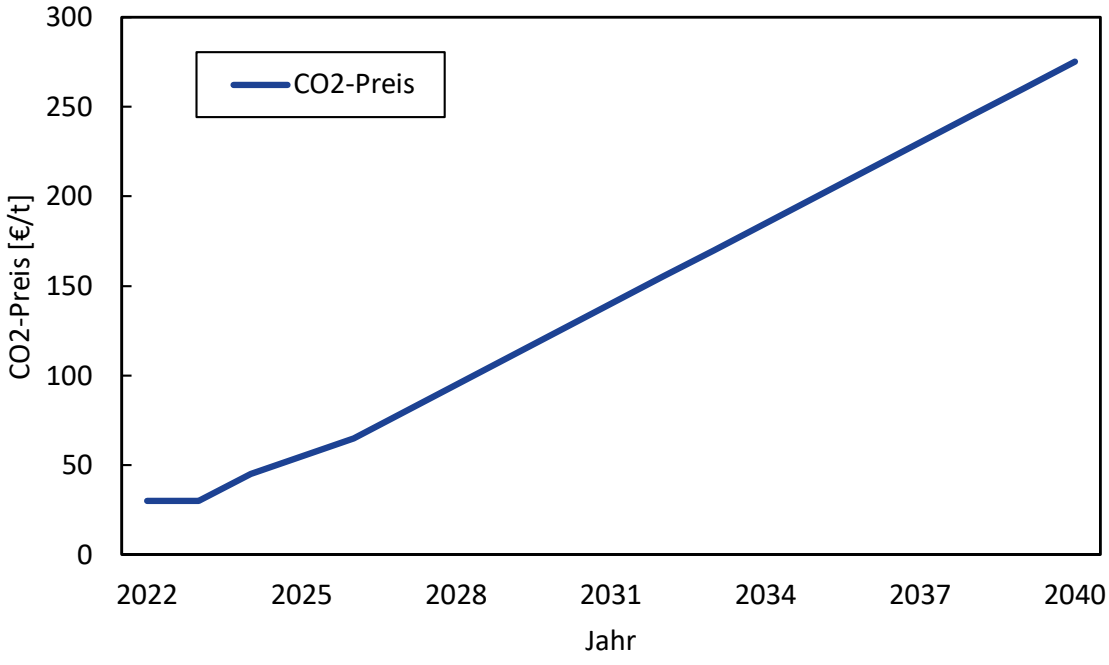
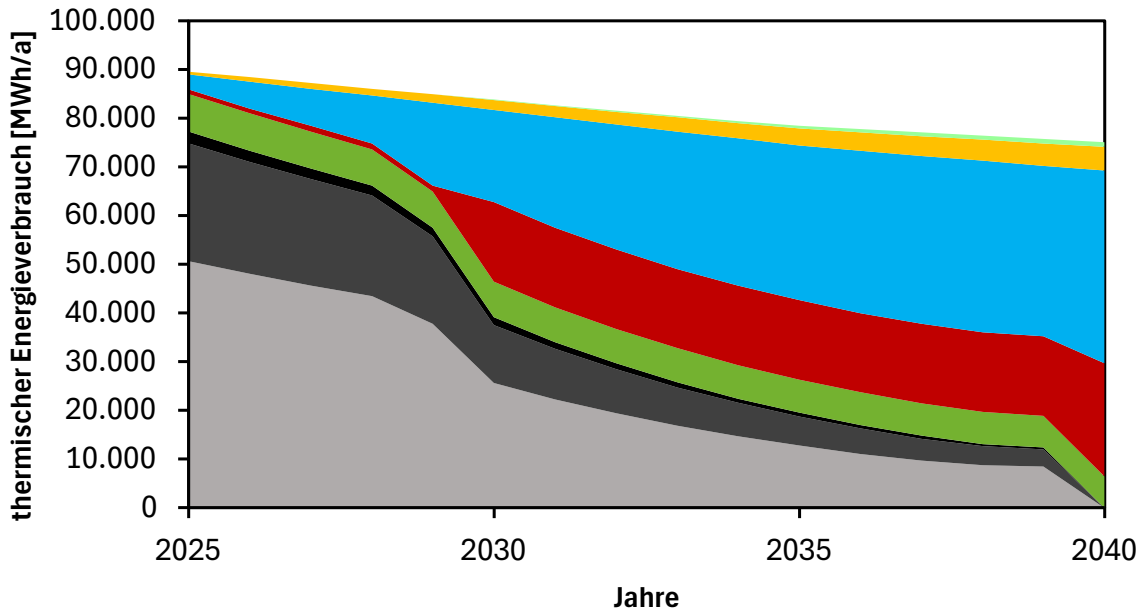


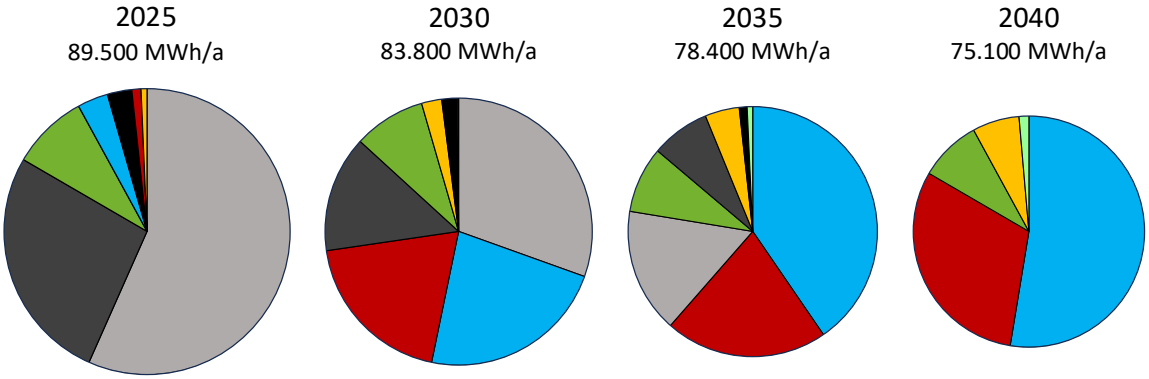
Abbildung 57: Entwicklung des CO_2-Preises (Non-ETS) [21]

Im Sektor Industrie & Großgewerbe muss grundsätzlich bei der Wärmeerzeugung zwischen Raumwärme und Prozesswärme unterschieden werden. Für die Prozesswärme konnten nur die im Rahmen der ausgefüllten Fragebögen vorliegenden Daten als Untersuchungsgrundlage genutzt werden und darüber hinaus über die Aufteilung und benötigten Temperaturen Annahmen getroffen werden.

9.2.2 Wohnen & Kleinverbraucher

In Abbildung 58 ist die Entwicklung der Wärmeerzeugung des Sektors Wohnen & Kleinverbraucher zu sehen. Die sinkenden Energieverbräuche sind anhand der Größe der Kreise verdeutlicht.





Energieträger \ Jahr	2025	2030	2035	2040
Erdgas	57%	31%	16%	-
Heizöl	27%	14%	8%	-
sonstige Fossile	3%	2%	<1%	-
Grüne Gase	-	<1%	<1%	1%
Biomasse	9%	9%	9%	9%
Wärmepumpen	3%	23%	41%	53%
Nahwärme	1%	19%	21%	31%
Solarthermie	<1%	2%	4%	6%

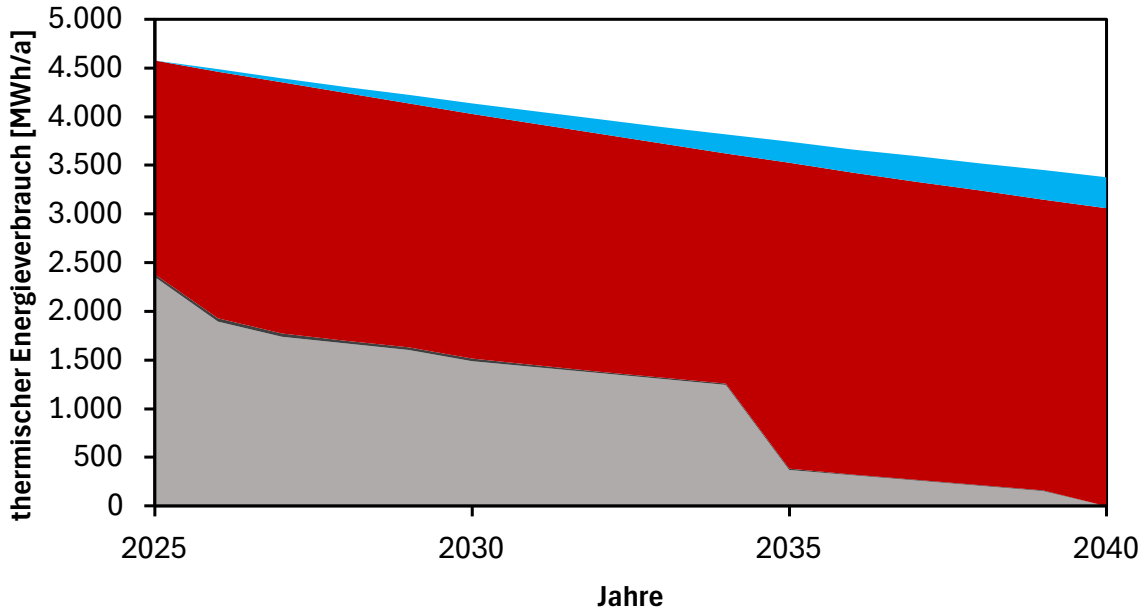
Abbildung 58: Zielszenario der Energieträgerverteilung Wohnen & Kleinverbraucher

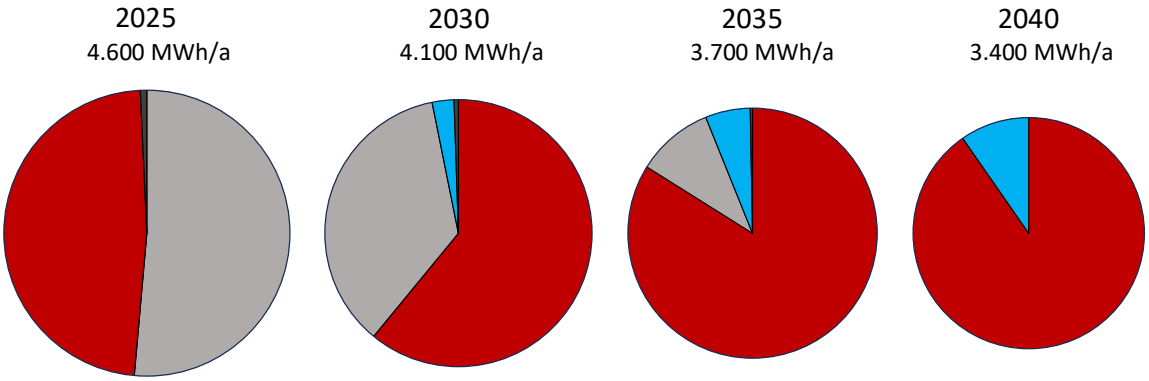
Im Jahr 2030 ist bereits ein starker Ausbau regenerativer Erzeugungstechnologien wie Wärmepumpen und Solarthermie zu erkennen. In diesem Jahr werden auch die Fernwärmenetze Condradty-Siedlung, Speckschlag und Seespitze West [52] , für das gerade eine Machbarkeitsstudie nach BEW durchgeführt wird, in Betrieb genommen. In den Jahren darauf beschleunigt sich die Entwicklung aufgrund des Inkrafttretens der 65-Prozent-Regel des

Gebäudeenergiegesetzes und der sukzessive steigenden CO_2-Preise. Die Nahwärme macht im Jahr 2040 31 Prozent der erzeugten Wärme aus. Die größte Erzeugungstechnologie bilden die Wärmepumpen mit 53 Prozent, wobei es sich hier um Luft- und Sole-Wärmepumpen handeln kann. Grüne Gase, feste Biomasse und Solarthermie liegen jeweils im einstelligen Prozentbereich. Bei fester Biomasse wird wie bereits beschrieben davon ausgegangen, dass aufgrund des bereits ausgeschöpften Potenzials kaum neue Anlagen mehr gebaut werden und sich die Gesamtmenge durch den sinkenden Verbrauch und ggf. der Nutzung von effektiveren Anlagen sowie hybriden Systemen um ca. 16 Prozent reduziert. Bei der Solarthermie wird auf das in der Potenzialanalyse ermittelte Potenzial zurückgegriffen, die maximale Wärmemenge aber auf maximal 6 Prozent des Gesamtverbrauchs der Verbrauchergruppe beschränkt. Grüne Gase stellen in der Verbrauchergruppe Wohnen & Kleinverbraucher die Ausnahme dar (2 Prozent des aktuellen Erdgasverbrauchs). Andere Energieträger wie Erdgas, Heizöl, Kohle und Flüssiggas verschwinden aus dem Energiemix.

9.2.3 Öffentliche Einrichtungen

Im Bereich der Öffentlichen Einrichtungen stellen aktuell noch Erdgasheizungen die dominante Erzeugungstechnologie dar. Mit der Realisierung der Wärmenetze 2030, 2035 und 2040 kommt ein signifikanter Anteil von Fernwärme hinzu. Die restliche Wärme wird durch Wärmepumpen bereitgestellt. Die Entwicklung wird in Abbildung 59 dargestellt.





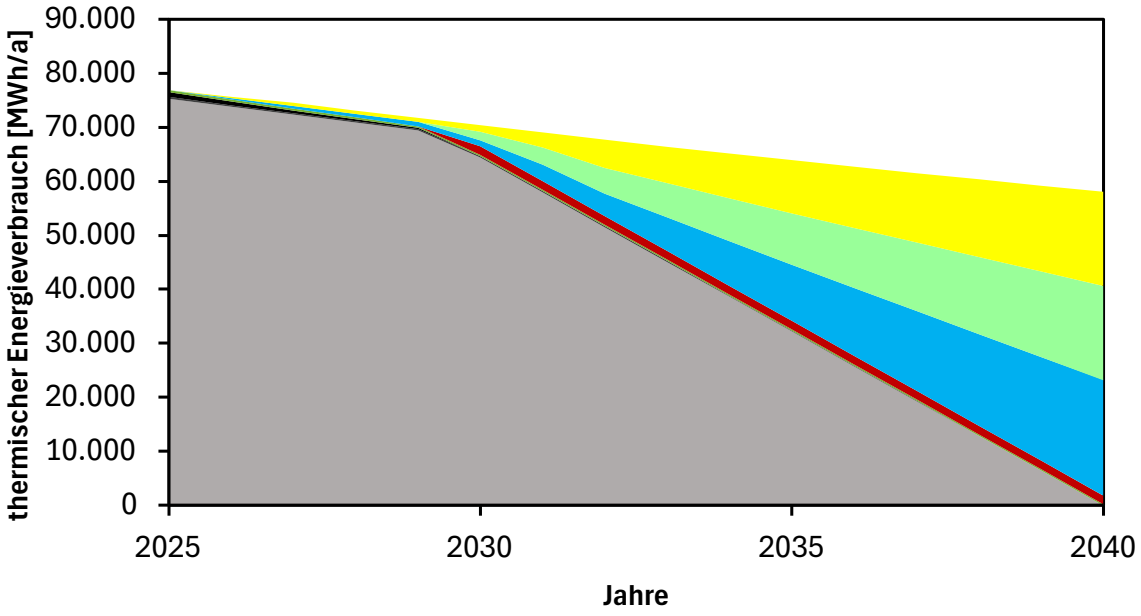
Energieträger \ Jahr	2025	2030	2035	2040
Erdgas	51%	36%	10%	-
Heizöl	1%	<1%	0%	-
Wärmepumpen	-	3%	6%	10%
Nahwärme	48%	61%	84%	90%

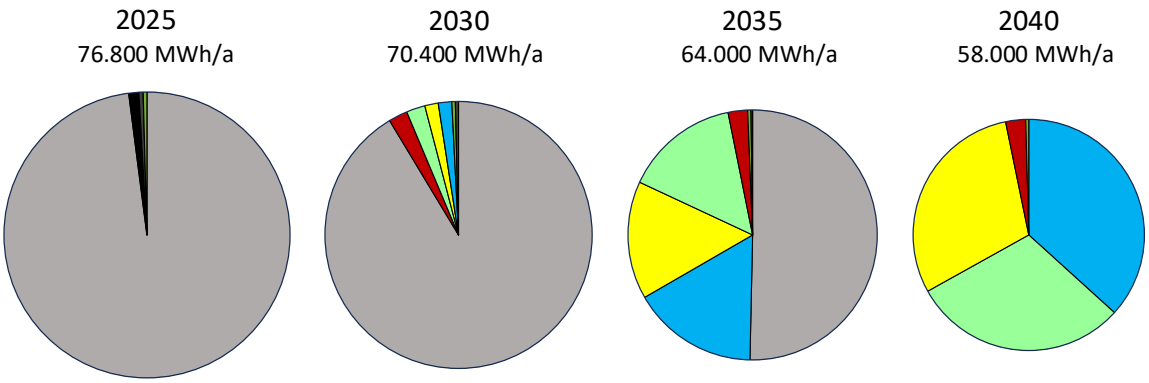
Abbildung 59: Zielszenario der Energieträgerverteilung Öffentliche Einrichtungen

9.2.4 Industrie & Großgewerbe

Bei Industrie & Großgewerbe muss aufgrund des Temperaturniveaus bei der Wahl der Energieträger zwischen Raum- und Prozesswärme unterschieden werden. Neben den Angaben aus dem Fragebogen müssen Annahmen auf Basis öffentlich verfügbarer Informationen getroffen werden.

In Abbildung 60 ist die Entwicklung der Raum- und Prozesswärme bis 2040 abgebildet.





Energieträger \ Jahr	2025	2030	2035	2040
Erdgas	98%	91%	50%	-
Heizöl	<1%	<1%	<1%	-
sonstige Fossile	1%	-	-	-
Grüne Gase	0%	2%	15%	30%
Biomasse	<1%	<1%	<1%	<1%
Wärmepumpen	-	2%	16%	36%
Nahwärme	-	2%	3%	3%
Direktstrom	-	2%	15%	30%

Abbildung 60: Zielszenario der Energieträgerverteilung für Raumwärme und Warmwasser Industrie & Großgewerbe

Im Moment dominiert Erdgas die gesamte industrielle Wärmeerzeugung, es wird davon ausgegangen, dass Prozesswärme mehr als die Hälfte der Wärmeerzeugung ausmacht. Die Raumwärme wird in Zukunft hauptsächlich mittels Wärmepumpen, Nahwärme und in Einzelfällen mittels Direktstrom (z.B. Infrarotheizung, Heizstrahler) erzeugt. Es wird davon ausgegangen, dass im Industriebereich die Dachflächen für PV-Anlagen verwendet werden, weshalb Solarthermie nicht zum Einsatz kommt. Unter der Annahme, dass die Verfügbarkeit grüner Gase erst nach 2030 sukzessive in größeren Umfang in Röthenbach möglich ist, und die Elektrifizierung von Prozessen einer aufwendigeren Planung bedürfen, erfolgt auch 2030 die Wärmeerzeugung abgesehen von der Fernwärme noch überwiegend fossil. Nur ein kleiner Anteil der Wärme wird mittels Wärmepumpen, Grünen Gasen und Direktstrom bereitgestellt. Im Jahr

2040 machen grüne Gase etwa 30 Prozent der Energieträger aus, da davon ausgegangen wird, dass bestimmte Prozesse in Bestandsanlagen, die hohe Temperaturniveaus benötigen nicht elektrifiziert werden können. Die übrige Wärme wird mittels Direktstrom (30 Prozent) und Wärmepumpen (36 Prozent) erzeugt. Inwieweit zukünftig interne Abwärmenutzung zur Raumheizung durchgeführt werden kann, erfordert einer individuellen Betrachtung in jedem Unternehmen. Aus diesem Grund wird dieser Aspekt in den Szenarien nicht berücksichtigt.

9.3 Energie- und Treibhausgasbilanz 2040

Für die Treibhausgasbilanz werden je Verbrauchergruppe die erzeugten Wärmemengen jedes Energieträgers mit den entsprechenden CO_2-Äquivalenten multipliziert und aufaddiert. Dabei ist zu beachten, dass sich der Fußabdruck des Stroms und der Nahwärme über den Betrachtungszeitraum verändert. Durch die Dekarbonisierung der Stromerzeugung sinken die vom Strommix verursachten Emissionen bis 2040 auf weniger als ein Zehntel des heutigen Wertes. Dies beeinflusst auch die Nahwärmeerzeugung durch den für die Wärmepumpen benötigten Strom. Synthetisches Methan und Wasserstoff, enthalten in der Kategorie Grüne Gase, haben, auch wenn sie mittels Stroms aus erneuerbaren Energien erzeugt werden, höhere Treibhausgasemissionen als der Strommix, da ein entsprechender Energieeinsatz für die Gewinnung erforderlich ist und Umwandlungsverluste eintreten. Es ist zu beachten, dass jeder betrachtete Energieträger aufgrund grauer Emissionen auch 2040 noch nicht vollständig treibhausgasneutral ist.

In Abbildung 61 ist die Entwicklung der Treibhausgasbilanz aus dem beschriebenen Zielszenario dargestellt. Dabei wird deutlich, dass zum heutigen Zeitpunkt die Bereiche Wohnen & Kleinverbraucher und Industrie & Großgewerbe die meisten Emissionen verursachen. Entsprechend bringen diese Verbrauchergruppen die größte absolute Reduktion an Emissionen mit sich.

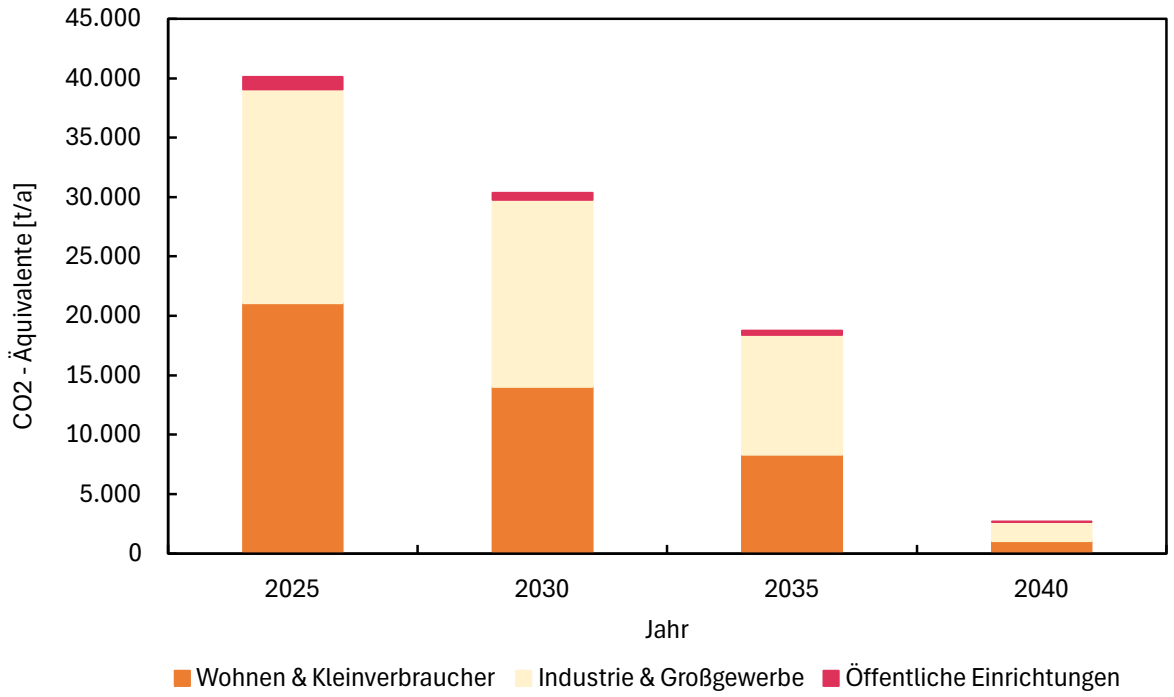


Abbildung 61: Treibhausgasbilanz der Sektoren bis zum Jahr 2040

Abbildung 62 zeigt die Energieträgerverteilung für Heiz- und Prozesswärme aller Verbrauchergruppen für das Jahr 2040 auf. Für dezentrale Gebiete werden Wärmepumpen in Zukunft die größte Rolle im Sektor Wärme darstellen. Dies stimmt mit dem Ziel der Sektorenkopplung überein. Aber auch in Wärmenetzen oder der Industrie sind Wärmepumpen eine Möglichkeit der Wärmebereitstellung. Zur Erzeugung von Prozesswärme werden weiterhin Grüne Gase sowie Direktstrom eingesetzt. Mehrere Nahwärmenetze werden aufgebaut, die fast ein Drittel der gesamten Wärmeerzeugung einnehmen. Die restliche Wärmemenge wird durch Solarthermie und fester Biomasse bereitgestellt. Dieses Szenario stimmt mit dem Ziel der Wärmewende überein. Alle Energiequellen können regenerativ betrieben werden. Insgesamt fallen in diesem Szenario 2040 noch ca. 2.700 t CO_2-Äquivalente an Emissionen an. Das sind 95 Prozent weniger im Vergleich zur aktuellen Situation. Für den Betrieb der dezentralen Wärmepumpen werden bei einer Jahresarbeitszahl von 3 circa 20.300 MWh pro Jahr an elektrischer Energie benötigt. Dies sind lediglich rund 47 Prozent des theoretischen PV-Potenzials in der Stadt. Bereits gebaute Anlagen sowie potenzielle Freiflächen sind in dieses Potenzial nicht eingerechnet und erhöhen die mögliche Gesamtstrommenge.

Es muss jedoch betont werden, dass die Energieträger Biomasse und Biomethan hier als nachhaltig erzeugt angenommen wurden. Ist diese Nachhaltigkeit nicht mehr gegeben, zum Beispiel, wenn mehr Holz den Wäldern entnommen wird als wieder nachwachsen kann, muss ein erheblich höheres Treibhausgasäquivalent angenommen werden. Dieser Wert liegt bei Holz um ein 15-faches höher als bei der nachhaltigen Variante (364 g/kWh versus 24 g/kWh). Biomasse kann also bei übermäßiger Nutzung höhere Emissionen erzeugen als Erdgas oder Heizöl [53] [21]. Aus diesem Grund ist die weitestmögliche Nutzung lokaler Ressourcen von entscheidender Bedeutung für eine nachhaltige Wärmeversorgung.

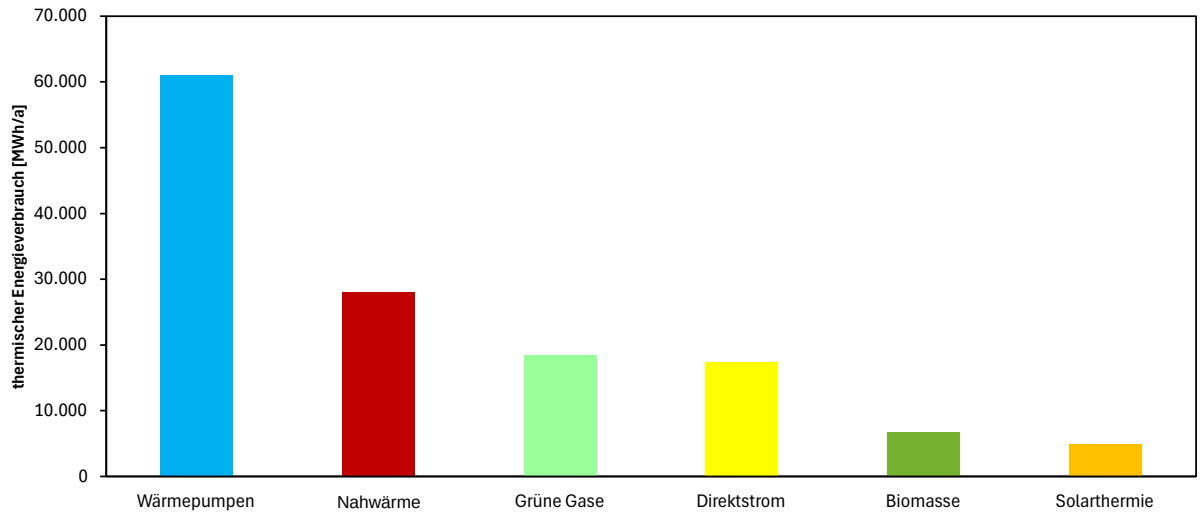
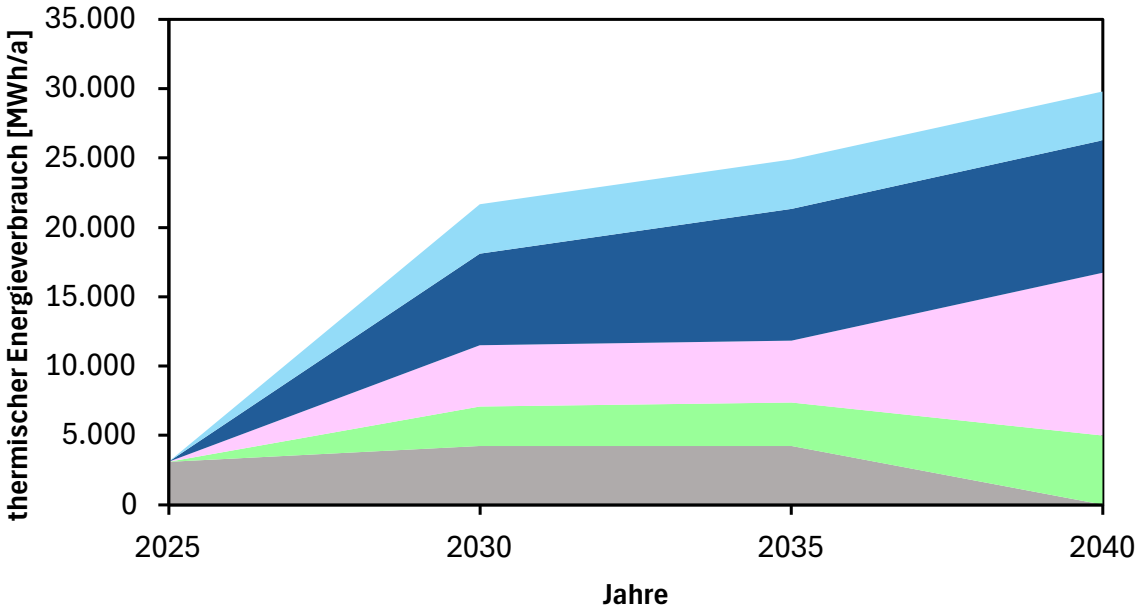


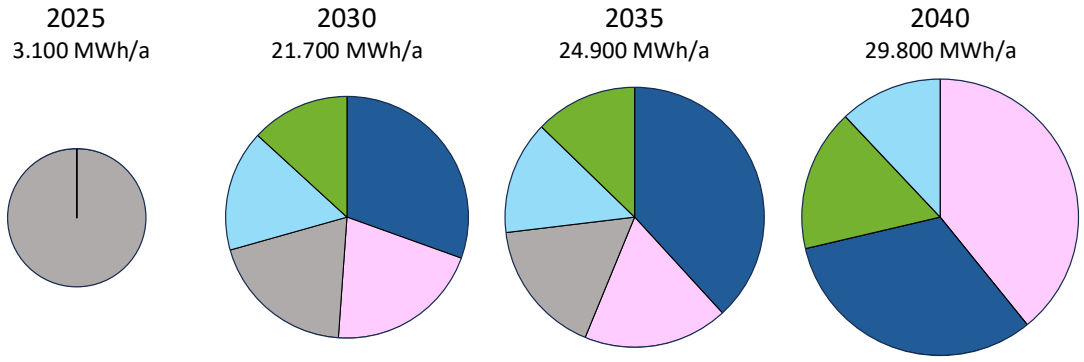
Abbildung 62: Energieträgerverteilung für Heiz- und Prozesswärme aller Verbrauchergruppen für das Jahr 2040

9.4 Entwicklung Nahwärme

Die Nahwärme wird von aktuell 0 GWh/a auf 29,8 GWh/a ausgebaut. Dieser Ausbau beruht zunächst auf der Annahme der Umsetzung der im Rahmen der Fokusgebiet beschriebenen Netze (Conradty-Siedlung und Speckschlag einschließlich Kläranlage) sowie des Netzes Seespitze West bis 2030 (Anschlussquote im Gebiet 80 Prozent). 2035 werden die Wärmenetzeignungsgebiete Karl-Fischer-Straße und Pegnitzgrund (Anschlussquote jeweils 80 Prozent) sowie der Baublock Grundschule & Rathaus (Anschlussquote 90 Prozent, da sich

hauptsächlich kommunale Gebäude im Gebiet befinden) erschlossen. 2040 wird das Netz am Freibad (vollständiger Anschluss des Baublocks) sowie das Netz Seespitze Ost [52] (80 Prozent Anschlussquote im Netzgebiet) in Betrieb genommen. In Abbildung 63 ist die Entwicklung der Nahwärme dargestellt. Die Größe der Kreise stellen die bereitgestellten Wärmemengen dar. Durch Sanierung und Auswirkung des Klimawandels nehmen die Wärmebedarfe der einzelnen Abnehmer bis 2040 ab. Es wird davon ausgegangen, dass freiwerdende Abnahmekapazitäten im Netz durch den Anschluss neuer Gebäude kompensiert werden und die erzeugte Wärmemenge somit konstant bleibt.





Energieträger \ Jahr	2025	2030	2035	2040
Erdgas	100%	19%	17%	0%
Biomasse	-	13%	13%	17%
Luft-Wärmepumpe	-	21%	18%	39%
Abwasser	-	31%	38%	32%
Flusswasser	-	16%	14%	12%

Abbildung 63: Entwicklung Nahwärme

Insgesamt wird in den Nahwärmenetzen 2040 39 Prozent der Wärme mittels Luftwärmepumpe, 32 Prozent mit Abwasser, 12 Prozent mit Flusswasser und 17 Prozent mit Biomethan (zur Spitzenlastdeckung) erzeugt.

9.5 Zukünftige Versorgungsstruktur

In Abbildung 64 ist die Entwicklung der Versorgungsstruktur für die Jahre 2030 und 2040 zu sehen. Nahwärme als Versorgungsoption kommt nur in der Kernstadt vor. In den außenliegenden Ortsteilen wird eine dezentrale Versorgung mit Wärme stattfinden. Insgesamt deckt Nahwärme 22 Prozent des Gesamtwärmeverbrauchs.

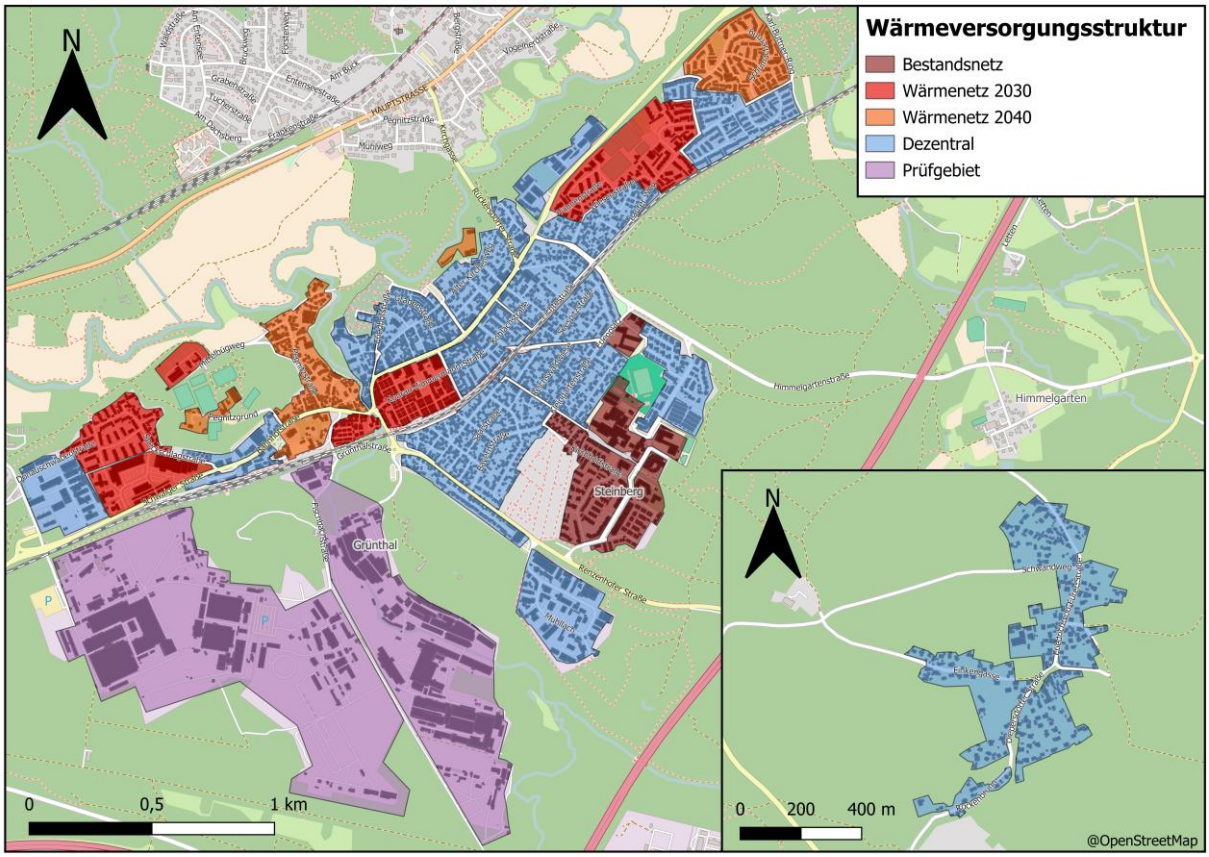


Abbildung 64: Versorgungsstruktur in Röthenbach a. d. Pegnitz in den Jahren 2030 und 2040

9.6 Entwicklung Erdgasnetz

Laut den Gasverteilnetzbetreibern in Röthenbach, der Stadtwerke Röthenbach a. d. Pegnitz Gmbh sowie der N-ERGIE Netz GmbH, kann die Entwicklung des Gasnetzes nur auf das Endziel der Klimaneutralität 2040 hin definiert werden, wo das Netz entweder auf klimaneutrale Brennstoffe umgestellt oder stillgelegt werden muss. Eine Kündigung von Gaskunden durch den Netzbetreiber ist nach aktueller Gesetzeslage noch nicht vorgesehen. Dies bedeutet, dass der Netzbetreiber selbst nicht über die Stilllegung von Netzabschnitten verfügen kann, an dem noch Kunden angeschlossen sind. Auch im Falle eines neu errichteten Wärmenetzes kann nur in Neubau- und Sanierungsgebieten ein Anschluss- und Benutzungszwang von der Kommune beschlossen werden. In allen anderen Fällen besteht im Moment keine Handhabe. Grundsätzlich müssen bei der Stilllegung von Gasnetzen technische Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Nachgelagerte Netzabschnitte müssen vor den vorgelagerten Abschnitten außer Betrieb genommen werden („Zwiebelschalenprinzip“). Auch der Zustand der Infrastruktur und deren potenzielle Eignung für eine Umstellung auf klimaneutrale Energieträger spielt eine Rolle. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass auch auf längere Sicht ein Rumpfnetz in Röthenbach

erhalten bleiben wird, um zukünftig gasbasierte klimafreundliche Versorgungsmöglichkeiten gewährleisten zu können.

Zwecks möglicher Umstellung auf Wasserstoff gibt es für die Netzbetreiber noch keine Regelung. Eine Leitung des geplanten Wasserstoffkernnetzes soll nördlich und östlich am N-ERGIE Netzgebiet vorbeilaufen. Dabei wird die Versorgung von Kraftwerken und der energieintensiven Industrie Priorität eingeräumt werden. Im Rahmen des Gasnetztransformationsplans der N-ERGIE Netz GmbH werden derzeit zusammen mit den Stadtwerken Röthenbach a. d. Pegnitz GmbH Ankerkunden bezüglich des Interesses an Wasserstoff befragt. Ob auch Endkunden wie private Haushalte mit Wasserstoff versorgt werden können, ist zum jetzigen Stand aus Sicht des Netzbetreibers nicht abzusehen. Daher sollte in der ersten Phase des Markthochlaufs zunächst nicht mit einer Wasserstoffversorgung für Haushaltskunden gerechnet werden.

Biomethan kann als klimaneutraler Brennstoff bereits zum jetzigen Zeitpunkt bilanziell aus dem Erdgasnetz bezogen werden und erfüllt die Voraussetzung zur Deckung des im Gebäudeenergiegesetz festgelegten Mindestanteile an Erneuerbaren Energien ab dem Jahr 2026 bzw. 2028. In welchem Umfang und zu welchem Preis Biomethan in Zukunft verfügbar sein wird, ist jedoch nicht abzusehen.

Generell ist aus Sicht der Infrastrukturbetreiber ein Parallelbetrieb von Gas- und Wärmenetz in einem Gebiet nicht vorteilhaft. Eine Transformation von einer Gas- zu einer Fernwärmeversorgung sollte daher in einem möglichst kurzen Zeitraum stattfinden.

9.7 Ausblick Strom

Laut den Stromnetzbetreibern Stadtwerke Röthenbach a. d. Pegnitz GmbH und N-ERGIE Netz GmbH wird derzeit eine Verstärkung der Stromnetzinfrastruktur vorangetrieben, so dass auch in Zukunft zusätzliche elektrische Verbraucher wie Wärmepumpen aufgenommen werden können. Allerdings bestehen auf Einspeiseseite mittlerweile deutliche Einschränkungen aufgrund von Kapazitätsengpässen, so dass bei der Integration neuer Erneuerbare-Energien-Anlagen eine frühzeitige Prüfung über den Netzanschlussmonitor empfohlen wird. Der entsprechende Netzausbau, um diesen Problemen zu begegnen, wird trotz hoher Investitionssummen seitens der N-ERGIE etliche Jahre dauern. Auch die Stadtwerke Röthenbach a. d. Pegnitz GmbH verfügen über einen Netzausbauplan, in dessen Rahmen bereits Maßnahmen zur Verstärkung und Optimierung des Netzes durchgeführt wurden und wozu in den nächsten Jahren weitere Planungen umgesetzt werden sollen.

Eine kontinuierliche Abstimmung zwischen Kommune und Netzbetreibern ist also bei geplanten Projekten sehr wichtig.

9.8 Vergleich der Kosten verschiedener Versorgungsfälle

In Röthenbach können drei verschiedene Versorgungsoptionen in Betracht gezogen werden:

- Dezentrale Versorgung (Verschiede Heizungskonfigurationen möglich)
- Versorgung über das bestehende Wärmenetz
- Versorgung durch ein neu zu errichtendes Wärmenetz

9.8.1 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Dezentrale Versorgung

Zur konkreten Betrachtung von Versorgungsfällen und zur differenzierteren Kostenentwicklung werden für den Heizungstausch in einem Referenzgebäude vier verschiedene Technologievarianten untersucht. Es wird von einem Einfamilienhaus mit Radiator-Heizkörpern und einer Leistung von 15 kW ausgegangen.

Als mögliche Heizungssysteme werden eine Luftwärmepumpe, eine Sole-Wasserwärmepumpe jeweils mit Erdwärmekollektor oder Erdwärmesonde und eine Pelletheizung betrachtet, für die jeweils eine Wirtschaftlichkeitsberechnung nach VDI 2067 [40] durchgeführt wird. Die Investition umfasst neben der Heizungsanlage auch die notwendige Peripherie (wie z.B. Pufferspeicher, Heizflächentausch und geringinvestive Maßnahmen zur Optimierung des Heizungssystems (z.B. hydraulischer Abgleich etc.)), Komponenten wie Pellet-Lager, Sonden bzw. Erdwärmekollektoren und Installation [42] [54]. Aufgrund der schwer zu prognostizierenden Preisentwicklung wird keine Preissteigerung/-senkung im Betrachtungszeitraum eingerechnet.

Für die Berechnung wird eine Laufzeit von 20 Jahren und ein Kapitalzinssatz von 3 Prozent hinterlegt. Die Betriebskosten stammen aus dem Technikkatalog des Bundes [42], für die Kosten für Strom und Pellets werden aktuelle Marktpreise (Neukunden) angesetzt [55] [56]. Für den Energieträger Strom wird wie bei den Investitionskosten ein konstanter Preis angenommen. Aufgrund des zukünftig erhöhten Angebots erneuerbarer Energien mit verringerten Gestehungskosten, soll hier nicht von zunehmenden Kosten ausgegangen werden. Bei den Pellets ist aufgrund der steigenden Nachfrage bei gleichbleibendem Potenzial eine Preissteigerung von 1 Prozent angesetzt. Für die Steigerung der Betriebskosten wird der Wert der Inflationsrate aus dem KEA-Technikkatalog [21] von einem Prozent angesetzt. Der jährliche Wärmeverbrauch wird aus dem Produkt der installierten Leistung und den jährlichen Vollbenutzungsstunden von 1.200 berechnet. Bei der Pelletheizung muss der Wert noch durch den Wirkungsgrad des Kessels dividiert werden, was zu einer größeren Wärmemenge führt als bei den anderen beiden Varianten. Der Strombedarf der Wärmepumpen wird mittels der im Technikkatalog [42] angegebenen oder aus Erfahrungswerten abgeleiteten Jahresarbeitszahl und auf Basis von Erfahrungswerten ermittelt. Hierbei wird im Technikkatalog auf den Wert von 2030 zurückgegriffen, da der Großteil der Heizungstausche zwischen 2030 und 2040 stattfinden werden. Es wird stets der mittlere Wert der angegebenen Wertspanne verwendet („Altbau saniert“). Damit ergibt sich für die Luft-Wärmepumpe eine Jahresarbeitszahl von 3,12 und für die Sole-Wärmepumpe Werte von 3,96 (Kollektor) und 4,5 (Sonde). Ebenfalls berücksichtigt werden muss die unterschiedliche Nutzungsdauer der einzelnen Komponenten (ebenfalls aus dem Technikkatalog des Bundes entnommen), die im Falle der Luft-Wärmepumpe 18 Jahre, der Sole-Wärmepumpe sowie des Pelletkessels 20 Jahre und des Kollektors und der Sonden 50 Jahre beträgt. Für das Pellet-Lager werden ebenfalls 20 Jahre angenommen.

Für den Austausch von Heizungsanlagen kann die Bundesförderung für effiziente Gebäude in Anspruch genommen werden [57]. Der Grundfördersatz für den Einbau neuer Heizungen in Bestandsgebäuden auf Basis erneuerbarer Energien beträgt 30 Prozent. Für die Erdwärmepumpenvarianten kann zusätzlich der Effizienzbonus von 5 Prozent in Anspruch genommen werden, der für Wärmepumpen gilt, die ihre Wärme aus dem Erdreich oder (Ab-)Wasser beziehen oder die ein natürliches Kältemittel verwenden. Bei Biomasseheizungen kann unter Einhaltung eines Emissionsgrenzwerts für Staub ein zusätzlicher pauschaler Zuschlag von 2.500 Euro erfolgen. Nicht alle auf dem Markt befindlichen Heizungen erfüllen diese

Bedingung, daher wird dieser Zuschuss im Folgenden nicht weiter berücksichtigt. Auch der Klimageschwindigkeitsbonus, der bis zu weitere 20 Prozent Förderung gewährleisten kann, wird nicht weiter betrachtet, da der Bonus nach 2028 jährlich abnimmt und hier kein konkretes Jahr für den Austausch festgelegt werden soll. Außerdem ist dieser Bonus nur für selbstnutzende Eigentümer anwendbar. Ebenso nicht eingerechnet wird der Einkommensbonus von 30 Prozent, der ebenfalls nur für selbstnutzende Eigentümer gilt und bei dem das zu versteuernde Haushaltseinkommen unter 40.000 Euro pro Jahr liegen muss. Die vorliegenden Fälle sollen eine möglichst breite Allgemeingültigkeit aufweisen, daher wird nur die Förderung betrachtet, die pauschal auf alle Häuser angewandt werden kann, unabhängig der konkreten Wohn- und Eigentumsverhältnisse. Es soll aber darauf hingewiesen werden, dass unter gegebenen Bedingungen erheblich höhere Fördersätze möglich sind. Insgesamt ist der Fördersatz auf 70 Prozent bei max. förderfähigen Ausgaben von 30.000 Euro pro Einfamilienhaus oder die erste Einheit in einem Mehrfamilienhaus begrenzt (ausgenommen davon ist der Emissionsminderungszuschlag). Bei Mehrfamilienhäusern erhöhen sich die maximal förderfähigen Kosten mit jeder weiteren Wohneinheit, erst um je 15.000 Euro und ab der 7. Einheit um je 8.000 Euro. Bei den förderfähigen Kosten handelt es sich um Bruttokosten.

Die Förderung wird in der Wirtschaftlichkeitsrechnung nach VDI 2067 berücksichtigt. Da es sich beim Referenzgebäude um ein Einfamilienhaus handelt, beträgt die maximal förderfähige Summe 30.000 Euro brutto. Bei den Erdwärmepumpenvarianten beträgt der Fördersatz maximal 35 Prozent, bei der Luftwärmepumpe und beim Pelletkessel 30 Prozent. Abschließend kann aus den jährlichen Gesamtkosten und dem jährlichen Wärmeverbrauch ein spezifischer Netto-Wärmepreis ermittelt werden, der in Abbildung 65 dargestellt ist. Die Luftwärmepumpe hat mit 15,9 ct/ kWh die niedrigsten Wärmegestehungskosten, darauf folgt der Pelletkessel mit 19,9 ct/ kWh. Die beiden Sole-Wärmepumpenvarianten mit Kollektor und Sonde liegen bei 20,1 und 21,3 ct/ kWh. Bei den Wärmepumpen könnten die Kosten durch den Einsatz einer PV-Anlage noch gesenkt werden. Da das Biomassepotential in Röthenbach bereits weitestgehend genutzt wird, ist auch im Sinne der Nachhaltigkeit eine Wärmepumpenlösung vorzuziehen.

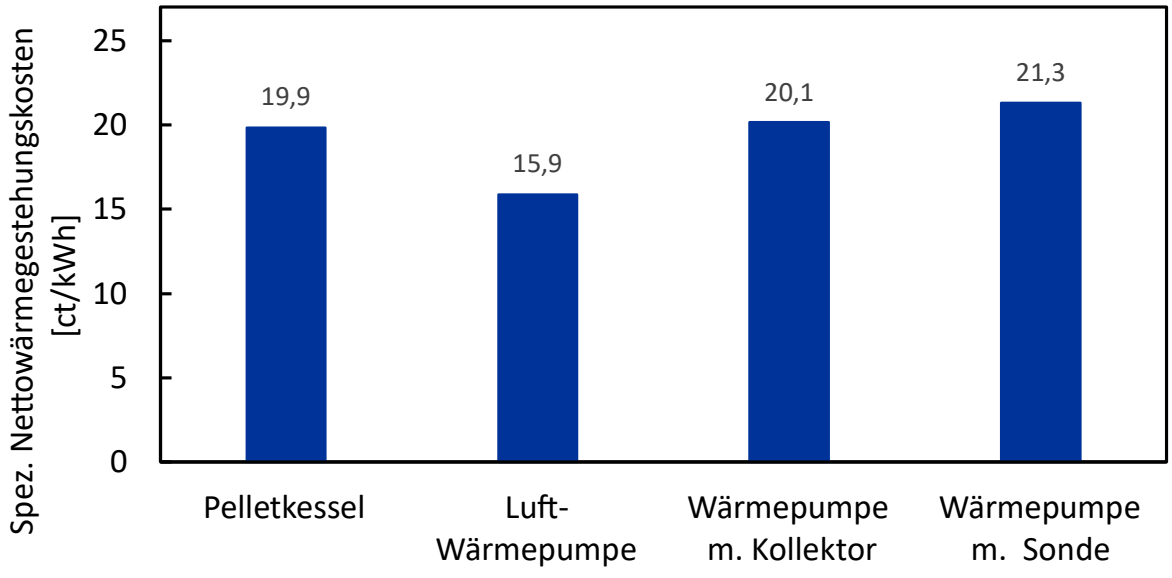


Abbildung 65: Spez. Nettowärmegestehungskosten (einschl. Förderung) der verschiedenen Heizungsvarianten

9.8.2 Ausbau bestehendes Nahwärmenetz

Laut dem Betreiber des Netzes, die Stadtwerke Röthenbach a. d. Pegnitz GmbH sind die Netzkapazitäten des Bestandsnetzes nach mehreren Neuanschlüssen 2025 und 2026 ausgeschöpft. Ein weiterer Ausbau ist also nicht möglich.

9.8.3 Bau von neuen Nahwärmenetzen

Neben den beiden im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung untersuchten Fokusgebieten wird derzeit eine durch die Bundesförderung für Effiziente Wärmenetze geförderte Machbarkeitsstudie für ein Wärmenetz im Stadtteil Seespitze durchgeführt, das mit einer Kombination aus Abwasserwärme, Luftwärme und Biomethan betrieben werden soll. Während beim Netz in der Seespitze noch keine Preiskalkulationen vorliegen, unterliegen die Wärmegestehungskosten der Fokusgebiete zu diesem frühen Stadium großen Unsicherheiten. Sie können jedoch eine erste Orientierung bieten. Die Netto-Verbraucherpreise betragen im Netz der Conradty Siedlung 20,0 ct/ kWh und im Speckschlag 15,5 ct/ kWh.

10 Umsetzungsstrategie und Maßnahmen

Um die beschriebenen Zielszenarien möglichst effizient und kostengünstig zu erreichen, müssen Maßnahmen in verschiedenen Bereichen ergriffen werden. Grundlage der Umsetzungsstrategie sind gemäß dem Leitfaden des Bundes [38] unter anderem folgende Kriterien:

Einordnung der Maßnahmen in thematische Strategiefelder:

1. Potenzialerschließung, Flächensicherung und Ausbau erneuerbarer Energien (P)
2. Wärmenetzausbau und -transformation (W)
3. Sanierung/Modernisierung und Effizienzsteigerung in Industrie und Gebäuden (M)
4. Heizungsumstellung und Transformation der Wärmeversorgung in Gebäuden und Quartieren (H)
5. Strom-/ Wasserstoffnetzausbau (N)
6. Verbrauchsverhalten und Suffizienz (V)

Kommunale Einflussmöglichkeiten benennen (folgende Rollen sind möglich):

1. **Verbraucherin** (weitere Akteure meist nicht nötig)
2. **Versorgerin** (Aufbau geeigneter Wärmeversorgungsarten, (künftige) Wärmenetzbetreiber sind mit einzubeziehen)
3. **Regulierin** (setzt Rahmenbedingungen; ermöglicht und verpflichtet durch Vorgaben)
4. **Motiviererin** (informiert und fördert andere Akteure)

Im Weiteren sind konkrete Maßnahmen ausgearbeitet, die zeitnah von der Kommune und den betroffenen Akteuren umgesetzt werden können und sollen. Für jede Maßnahme wird ein Projektsteckbrief erstellt.

Die Steckbriefe enthalten neben einer Kurzbeschreibung und dem Ziel der Maßnahme auch die betroffene Ziel- und Verbrauchergruppe. Die Maßnahmen werden außerdem nach ihrem Potential Energie und/ oder CO_2 einzusparen, nach ihrer Außenwirkung und ihrem finanziellen, zeitlichen und ressourcenmäßigen Aufwand bewertet. Ebenso wurde ein Zeitplan, Kriterien zur Erfolgskontrolle und nächste Schritte festgelegt. In Tabelle 34 sind die geplanten Maßnahmen aufgelistet.

Tabelle 34: Umsetzungsmaßnahmen Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz

Kürzel	Maßnahme	Zeithorizont
V1	Einrichtung einer gemeinsamen Energie- und Klimaschutzhomepage für die vier Kommunen	No regret
V2	Suffizienzstrategie für die Wärmewende im Wohnsektor	No regret
V3	Interessensabfrage in den Fokusgebieten zu Wärmenetzanschluss	No regret
V4	Information der Bürgerinnen und Bürger über Energiegenossenschaften	No regret
V5	Kommunale Förderprogramme für den Heizungstausch und Gebäudedämmung	Mittelfristig
W1	Prüfung der Abwärme der Firma Diehl Metall Stiftung & Co. KG	Kurzfristig
W2	Machbarkeitsstudie Wärmenetz Conradty-Siedlung	Kurzfristig
W3	Machbarkeitsstudie Wärmenetz Speckschlag	Kurzfristig
W4	Durchführung Transformationsplan BEW für Bestandswärmenetz	Kurzfristig
M1	Beratung zu energetischer Gebäudesanierung für Wohngebäude	Kurzfristig
M/(H) 2	Auftakt-Informationsveranstaltung zur energetischen Gebäudesanierung und zum Heizungstausch im dezentralen Gebiet Haimendorf	Kurzfristig
H1	Wärmepumpenspaziergang	No regret
H2	Prüfung eines Programmes zur Heizungsvermietung	Mittelfristig
H3	Schaffung neuer Kapazitäten zur fortlaufenden Betreuung der KWP	Mittelfristig
H4	Einführung kommunales Energiemanagement nach ISO 50001	Mittelfristig

Um die Bewertung zu systematisieren, wird in Tabelle 35 eine Legende erarbeitet, in der für jede Kategorie jeweils drei Abstufungen getroffen werden.

Dabei wird die Bedeutung des CO_2-Minderungspotentials und der Energieeinsparung auf die vollständige Durchführung des mit der Maßnahme verknüpften Projekts bezogen, auch wenn der erste in den Steckbriefen dargestellte Umsetzungsschritt selbst noch keinen oder nur wenig Effekt hat (z.B. Durchführung einer Machbarkeitsstudie). Energieeinsparung bezieht sich hier auf die tatsächliche Reduktion des Energieverbrauchs, eine Substitution des Brennstoffs wirkt sich also in dieser Darstellung nur in Form des CO_2-Minderungspotentials aus.

Beim finanziellen Aufwand, Dauer und Ressourcenaufwand wird nur der in der Maßnahme beschriebene konkrete Projektschritt und der Aufwand, der seitens der Kommune erfolgt, betrachtet. Dabei bezieht sich finanzieller Aufwand auf Ausgaben für externe Dienstleister, Material etc. Kosten, die durch internen Personaleinsatz entstehen, sind der Kategorie Ressourcenaufwand zugeordnet.

Zeitlich werden die Maßnahmen nach Vorbild des Leitfaden Wärmeplanung des Bundes in vier Zeitschritte eingeteilt: no regret, kurzfristig, mittelfristig, langfristig. Dabei sind no regret Maßnahmen bestenfalls sofort anzustoßen, kurzfristig innerhalb des nächsten Jahres und mittelfristig innerhalb der nächsten zwei bis drei Jahre.

Maßnahmen, die den Faktor „Öffentlichkeitsarbeit“ beinhalten, tragen zur Information der Öffentlichkeit zum Thema Energie- und Klimaschutz bei. Maßnahmen, die in die Kategorie „Beratung“ fallen, klären die Bürgerinnen und Bürger gezielt zu Themen der Energieeinsparung, alternative Erzeugungstechnologien etc. auf.

Tabelle 35: Legende für Maßnahmenkatalog in Anlehnung an [58] [38]

Symbol	Bedeutung	Quantitativ
↑	Wirkung: gering	< 100 t CO_2/ a
↑↑	Wirkung: mittel	< 500 t CO_2/ a und > 100 t CO2/ a
↑↑↑	Wirkung: hoch	> 500 t CO_2/ a

Symbol	Bedeutung	Quantitativ
↑	gering	< 50 MWh/ a
↑↑	mittel	< 1.000 MWh/ a und > 50 MWh/ a
↑↑↑	hoch	> 1.000 MWh/ a

Symbol	Bedeutung	Quantitativ
€	niedrig	< 50.000 €
€€	mittel	> 50.000 € und < 200.000 €
€€€	hoch	> 200.000 €

Symbol	Bedeutung	Quantitativ
🕒	kurz	< 1 Jahr
🕒🕒	mittel	> 1 Jahr und < 3 Jahre
🕒🕒🕒	Lang	> 3 Jahre

Symbol	Bedeutung	Quantitativ
🗐	gering	< 10 Personentage
🗐🗐	mittel	> 10 Personentage und < 50 Personentage
🗐🗐🗐	hoch	> 50 Personentage

Im Folgenden ist exemplarisch der Maßnahmensteckbrief V1 abgebildet.

V1	Einrichtung einer gemeinsamen Energie- und Klimaschutzhomepage für die vier Kommunen	
Projektdefinition	Kurzbeschreibung	Um die Thematik Wärme, Energie und Klimaschutz auch nach Abschluss der Kommunalen Wärmeplanung im Bewusstsein der Bürgerinnen und Bürger zu halten und eine bessere Übersicht über die einzelne Kommune hinaus zu gewährleisten, soll die bisherige KWP-Homepage zu einer gemeinsamen Energie- und Klimaschutzhomepage umgewandelt werden. Hier können aktuelle Veranstaltungen und Projekte, andere Neuigkeiten und eine aktuelle Übersicht über Fördermittel von Bund und Land gegeben werden.
	Ziel der Maßnahme	Informationsmöglichkeit über die Themen Wärme, Energie und Klimaschutz auf zentraler Energie- und Klimaschutzhomepage
	Verantwortung und Kostenträger	Kommune
	Ziel-/ Verbrauchergruppe	Gruppenübergreifend
	Kommunale Einflussmöglichkeiten	Motiviererin
	Getroffene Vereinbarungen	-
Potenzial	CO_2-Minderungspotenzial	-
	Energieeinsparung/Effizienzsteigerung	-
Außenwirkung	Öffentlichkeitsarbeit	✓
	Beratung	✓
Bewertung	Finanziell	€
	Dauer der Umsetzung	
	Ressourcen (Verwaltung)	
	Förderprogramme	-

Umsetzung		
	Zeitplan	No regret
	Maßnahme abgeschlossen bis	Mai 2026
	Monitoring/Erfolgskontrolle	Aktualität der Webseite und Aufrufe
	Nächste Schritte	Entwicklung eines Konzeptes für die gemeinsame Energie- und Klimaschutzhomepage der 4 Kommunen

11 Literaturverzeichnis

[1] FNB Gas e.V., „Wasserstoff Kernnetz," 2024. [Online]. Available: https://fnb-gas.de/wasserstoffnetz-wasserstoff-kernnetz/. [Zugriff am 10 September 2024].

[2] Rechtsanwälte Günther, „Umweltinstitut München e.V. - Rechtsgutachten Wasserstoffnetzgebiete," 2024. [Online]. Available: https://umweltinstitut.org/wp-content/uploads/2024/06/Rechtsgutachten_Wasserstoffnetzgebiete.pdf. [Zugriff am 10 September 2024].

[3] Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, „Energie-Atlas Bayern," 2024. [Online]. Available: https://www.energieatlas.bayern.de/. [Zugriff am 01 2024].

[4] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, „Bundesförderung Energieberatung für Wohngebäude," 2024. [Online]. Available: https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieberatung/Energieberatung_Wohngebaeude/energieberatung_wohngebaeude_node.html. [Zugriff am 05 September 2024].

[5] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, „Novelle des Gebäudeenergiegesetzes auf einen Blick (GEG)," 07 09 2023. [Online]. Available: https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/geg-auf-einen-Blick.pdf?__blob=publicatio-File&v=3. [Zugriff am 05 09 2024].

[6] Bayrisches Landesamt für Umwelt, „UmweltAtlas," https://www.umweltatlas.bayern.de/, 2024.

[7] Landratsamt Nürnberger Land, „Solarpotenzialkataster," 2024. [Online]. Available: https://www.solare-stadt.de/nuernberger-land/Solarpotenzialkataster?lat=49.4508124&lon=11.3078985. [Zugriff am 10 September 2024].

[8] Bayrisches Landesamt für Statistik, „Statistik Kommunal 2023. Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz," März 2024. [Online]. Available: https://www.statistik.bayern.de/mam/produkte/statistik_kommunal/2023/09574152.pdf. [Zugriff am 22 11 2024].

[9] Projekt 4. Büro für Stadt- & Freiraumplanung, „Stadt Röthenbach a. d. Pegnitz. Städtebauliches Entwicklungskonzept. Handlungsfeld Städtebau," Nürnberg, 2012.

[10] Bayrisches Staatsministerium der Finanzen und für Heimat, „BayernAtlas," 2024. [Online]. Available: https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/. [Zugriff am 19 November 2024].

[11] Bundesnetzagentur, „Marktsammdatenregister,“ 2024. [Online]. Available: https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR. [Zugriff am 5 Juni 2024].

[12] C. Märtel, „Heizungsfinder,“ 2024. [Online]. Available: https://www.heizungsfinder.de/bhkw/wirtschaftlichkeit/jahresdauerlinie. [Zugriff am 29 11 2024].

[13] K. Friedrich, D. Niermann, I. F., P. Bissolli, J. Daßler, V. Zins, H. S. und M. Ziese, „Deutscher Wetterdienst. Klimatologischer Rückblick auf 2023: Das bisher Wärmeste Jahr in Deutschland,“ 2024. [Online]. Available: https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20240201_klimarueckblick-2023.pdf;jsessionid=F9E801852A692BA4A87E7AFF236A938F.live11042?__blob=publicationFile&v=6. [Zugriff am 02 12 2024].

[14] eclareon GmbH, „Biomasseatlas,“ 2024. [Online]. Available: https://www.biomasseatlas.de/. [Zugriff am Oktober 2024].

[15] D. Merten und D. Falkenberg, „Wärmegewinnung aus Biomasse,“ Leipzig, 2004.

[16] Bayrisches Landesamt für Statistik, „Zensus 2022,“ Juli 2024. [Online]. Available: https://www.zensus2022.bayern.de/. [Zugriff am 10 07 2024].

[17] BSW - Bundesverband Solarwirtschaft e.V., „Solaratlas,“ 2024. [Online]. Available: https://www.solaratlas.de/index.php?id=1. [Zugriff am 31 10 2024].

[18] Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH, „Kommunale Wärmeplanung - Handlungsleitfaden,“ Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Stuttgart, 2020.

[19] Bayerisches Landesamt für Statistik, „Pressemitteilung,“ 17 06 2021. [Online]. Available: https://www.statistik.bayern.de/presse/mitteilungen/2021/pm154/index.html. [Zugriff am 12 08 2023].

[20] C.A.R.M.E.N, „C.A.R.M.E.N. Merkblatt. Nahwärmenetze und Bioenergieanlagen. Ein Beitrag zur effizienten Wärmenutzung und zum Klimaschutz,“ [Online]. Available: https://www.energiesystemtechnik.de/images/pdf/Merkblatt_Nahwaerme_CARMEN.pdf. [Zugriff am 03 12 2024].

[21] Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH, „Technikkatalog zur Kommunalen Wärmeplanung,“ 01 2024. [Online]. Available: https://www.kea-bw.de/waermewende/wissensportal/kommunale-waermeplanung/einfuehrung-in-den-technikkatalog. [Zugriff am 09 04 2024].

[22] Umweltbundesamt GmbH (Österreich), „Berechnung von Treibhausgas (THG)-Emissionen verschiedener Energieträger,“ 12 2023. [Online]. Available: https://secure.umweltbundesamt.at/co2mon/co2mon.html. [Zugriff am 07 02 2024].

[23] Umweltbundesamt, „Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger," Dessau-Roßlau, 2022.

[24] Statista GmbH, „Entwicklung des Emissionsfaktors der Stromerzeugung in Deutschland und Frankreich im Zeitraum 2000 bis 2023," 2024. [Online]. Available: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1421117/umfrage/emissionen-strom-deutschland-und-frankreich/ . [Zugriff am 02 03 2024].

[25] Bayerisches Landesamt für Umwelt, „Detailinformationen zu Geodatendienst," [Online]. Available: https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/geodatendienste/pretty_downloaddienst.htm?dld=schutzgebiete. [Zugriff am 01 2024].

[26] 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].

[27] VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (GEU), „VDI 4640," Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, 2010.

[28] Aalborg CSP, „Solarthermieanlage, Dänemark," 04 2024. [Online]. Available: https://www.aalborgcsp.de/projekte/fernwaerme/8-mwth-thermishche-solaranlage-daenemark. [Zugriff am 03 2024].

[29] heizung.de, „Solare Deckungsrate," 2024. [Online]. Available: https://www.heizung.de/lexikon/solare-deckungsrate.html. [Zugriff am 03 12 2024].

[30] Bayerisches Landesamt für Umwelt, „Hausmüll in Bayern," Augsburg, 2023.

[31] Umweltbundesamt, „Altholz," 04 2019. [Online]. Available: https://www.umweltbundesamt.de/altholz#sekundarproduktion. [Zugriff am 02 2024].

[32] Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V., „Biogas - Biogasdaten Deutschland," Hürth, 2008.

[33] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., „Faustzahlen Biogastechnologie," [Online]. Available: https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen. [Zugriff am 12 04 2024].

[34] Bundesinformationszentrum Landwirtschaft, „Energie aus nachwachsenden Rohstoffen," 11 2023. [Online]. Available: https://www.landwirtschaft.de/diskussion-und-dialog/umwelt/energie-aus-nachwachsenden-rohstoffen. [Zugriff am 12 04 2024].

[35] Landratsamt Nürnberger Land, „Nürnberger Land," 2024. [Online]. Available: https://www.nuernberger-land.de/serviceleistungen/tiere-natur-jagd/wasserkraftanlagen-stau-und-triebwerksanlagen. [Zugriff am 04 12 2024].

[36] C.A.R.M.E.N. e.V., QM Holzheizwerke - Planungshandbuch, Straubing, 2022.

[37] Energie Schweiz, Bundesamt für Energie BFE, Planungshandbuch Fernwärme, Ittigen, CH, 2021.

[38] ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH, Öko-Institut e.V., Universität Stuttgart, Becker Büttner Held, Prognos AG, Fraunhofer-Institut für System- und Energieforschung ISI, „Leitfaden Wärmeplanung. Empfehlungen zur methodischen Vorgehensweise für Kommunen und andere Planungsverantwortliche," im Auftrag: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz; Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen , Heidelberg, Freiburg, Stuttgart, Berlin, 2024.

[39] nPro Energy GmbH, „App - nPro Energy," 2025. [Online]. Available: https://www.npro.energy/main/de/.

[40] VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (GBG), „VDI 2067 - Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen," Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, 2012.

[41] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, „Bundesförderung Effiziente Wärmenetze. Modul 2: Antragstellung und Verwendungsnachweise," 14 Februar 2023. [Online]. Available: https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/bew_merkblatt_antragstellung_m2.pdf?__blob=publicationFile&v=2. [Zugriff am 04 April 2025].

[42] Prognos AG, ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH, Universität Stuttgart - Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, „Technikkatalog Wärmeplanung," im Auftrag: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz; Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, Heidelberg, Freiburg, Stuttgart, Berlin, 2024.

[43] Int. Wirtschaftsforum Regenerative Energien , „BDEW-Strompreisanalyse. Industrie-Strompreise in Deutschland sinken 2024 um 30 Prozent gegenüber Vorjahr," 18 Dezember 2024. [Online]. Available: https://www.iwr.de/ticker/bdew-strompreisanalyse-industrie-strompreise-in-deutschland-sinken-2024-um-30-prozent-gegenueber-vorjahr-artikel7148. [Zugriff am 25 März 2025].

[44] Agriportance GmbH, „Biomethan Spotdeals: Aktuelle Preise und Marktqualitäten im Überblick," 2025. [Online]. Available: https://agriportance.com/de/preisentwicklung/biomethan-entwicklung-preise/biomethan-preise-spot/. [Zugriff am 25 März 2025].

[45] Bayerisches Landesamt für Umwelt, „Gewässerkundlicher Dienst Bayern," 2025. [Online]. Available: https://www.gkd.bayern.de/de/. [Zugriff am 06 Februar 2025].

[46] Bayrisches Landesamt für Umwelt, „Wärmegewinnung aus Fließgewässern," Augsburg, 2025.

[47] B. L. f. Umwelt, „Handlungsanleitung zu ökologischen und energiewirtschaftlichen Aspekten der Mindestwasserfestlegung. Bestehende kleine Wasserkraftanlagen mit Ausleitungsstrecken," 2021.

[48] Wasserwirtschaftsamt Deggendorf, „Wärmetauscher in Oberirdischen Gewässern. Wasserwirtschaftliche Betrachtung," Deggendorf, 2011.

[49] A. M. U. G. H. K. A. Herrmann, „Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiebedarf von Gebäuden und den Ertrag erneuerbarer Energien," in *14. Symposium Energieinnovation*, Graz, 2016.

[50] „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].

[51] 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].

[52] zeitgeist engineering gmbh, „Energieversorgungskonzept Röthenbach Seespitze. Vorstudie für BEW Fördermodul 1," Nürnberg, 2024.

[53] Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, „Ist die Verbrennung von Holz gesundheits- und klimaschädlich?," Straubing, 2023.

[54] Carmen e.V., „C.A.R.M.E.N.-Information. Entscheidungskriterien für ein neues Heizsystem – mehr als ein Heizkostenvergleich," 2024. [Online]. Available: https://www.carmen-ev.de/wp-content/uploads/2024/02/Infoschrift_Heizkostenvergleich_2_2024.pdf. [Zugriff am 31 März 2025].

[55] Wirtschaftswoche, „Strompreis aktuell. Das kostet die Kilowattstunde in Deutschland im Jahr 2025," Januar 2025. [Online]. Available: https://www.wiwo.de/unternehmen/strompreis-aktuell-das-kostet-die-kilowattstunde-in-deutschland-im-jahr-2025/29558224.html. [Zugriff am 23 Januar 2025].

[56] Carmen e.V., „Marktpreise Pellets. Preisentwicklung bei Holzpellets," 2025. [Online]. Available: https://www.carmen-ev.de/service/marktueberblick/marktpreise-energieholz/marktpreise-pellets/. [Zugriff am 30 Januar 2025].

[57] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, „Auf einen Blick: Die neue Förderung für den Heizungstausch," November 2024. [Online]. Available:

https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/Downloads/foerderung-heizungstausch-beg.pdf?__blob=publicationFile&v=25. [Zugriff am 10 März 2025].

[58] Institut für systemische Energieberatung, „Energienutzungsplan Germering. Maßnahmenkatalog," Germering, 2022.

[59] FfE, „Wärmepumpen an Fließgewässern – Analyse des theoretischen Potenzials in Bayern," 2024.

12 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.

Katharina Will

Katharina Will