



ebök Gesellschaft mbH

Schellingstraße 4/2
72072 Tübingen

Tel. 0 70 71 93 94 0
mail@eboek.de
www.eboek.de

Kommunale Wärmeplanung

Universitätsstadt Tübingen

Erstellt im / Ergänzt im:	April 2023 / Dezember 2024
Im Auftrag von:	Universitätsstadt Tübingen
Projektleitung:	M. Sc. Holger Zimmermann
Inhaltliche Bearbeitung:	Holger Zimmermann, Ulrich Rochard, Marc-André Claus, Sebastian Gallery, Daniel Herold

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	1
1.1	Ist-Zustand der Wärmeerzeugung und Nutzung	1
1.2	Bestehende Potenziale	2
1.3	Aufbau und Erweiterung von Wärmenetzen.....	3
1.4	Fazit / Kernthesen	3
2	Einleitung.....	5
2.1	Aufgabenstellung und klimapolitische Rahmenbedingungen	5
2.2	Rahmenbedingungen für die Umsetzung.....	6
3	Grundlagen und Methodik.....	8
3.1	Das Untersuchungsgebiet.....	8
3.2	Optionen für eine Energieversorgung der Zukunft	8
3.2.1	Allgemeine Rahmenbedingungen	8
3.2.2	Strategie Gasnetze	10
3.2.3	Rolle Kraft-Wärme-Kopplung.....	11
3.3	Versorgungsstruktur	11
3.3.1	Analyse bestehende Wärmeversorgungsstruktur	11
3.3.2	Bildung Wärmeversorgung im Zielzustand	12
3.3.3	Ermittlung von Fernwärme-Eignungsgebieten.....	15
3.3.4	Eignungsgebiete dezentrale Versorgung.....	16
3.3.5	Stadtentwicklung und Neubaugebiete	18
3.4	Akteure und Beteiligung.....	18
3.5	Projekttablauf	19
3.6	Datenschutz	21
4	Bestands-Analysen	21
4.1	Siedlung und Siedlungsentwicklung.....	21
4.2	Struktur der Wärmeversorgung.....	22
4.2.1	Feuerstätten aus Kehrbüchern	23
4.3	Energiebilanz.....	25
4.4	Treibhausgasbilanz	27
5	Potentialanalysen.....	30
5.1	Zukünftige Entwicklung des Wärmebedarfs	30
5.1.1	Senkung des Wärmebedarfs.....	30

5.1.2	Abschätzung der Bedarfsreduzierung durch Klimaerwärmung.....	31
5.1.3	Zusätzlicher Wärmebedarf für Neubauten	32
5.2	Solarenergie auf Freiflächen	32
5.2.1	Solarthermische Freiflächenanlagen.....	32
5.2.2	Photovoltaik-Freiflächenanlagen.....	34
5.3	Solarenergie auf Dächern oder an Fassaden.....	34
5.4	Abwasserwärmenutzung.....	36
5.4.1	Abwasserwärme aus Kanälen	36
5.4.2	Nutzung Abwasserwärme Kläranlage Lustnau	37
5.5	Feste Biomasse / Holz	37
5.6	Oberflächengewässer	37
5.7	Grundwasser	39
5.8	Erdwärmesonden.....	39
5.9	Erdkollektoren / Agrothermie.....	41
5.10	Außenluft in Verbindung mit Wärmepumpen.....	42
5.11	Abwärme aus industriellen Prozessen und Rechenzentren.....	42
5.12	Biogas / Klärgas.....	43
5.13	Power to Gas	44
5.14	Potenziale für den Ausbau von Wärmenetzen.....	45
5.15	Windkraftanlagen	46
5.16	Externe klimaneutrale Stromerzeugung	47
5.17	Zusammenfassung Potenziale	48
6	Zielszenario 2030 und 2040	50
6.1	Voraussetzungen und Annahmen	50
6.2	Optionen für die künftige Wärmeversorgung	51
6.3	Strom für Wärmepumpen.....	51
6.4	Energiebilanz im Zielszenario 2030.....	53
6.5	Energiebilanz im Zielszenario 2040.....	56
6.6	Treibhausgasbilanz im Zielszenario 2030	59
6.7	Treibhausgasbilanz im Zielszenario 2040	60
7	Maßnahmen.....	63
7.1	Prioritäre Maßnahmen	63
7.1.1	Bildung Fachabteilung Nachhaltige Stadtentwicklung.....	63
7.1.2	Umsetzung Leitungsausbau der SWT	64

7.1.3	Transformation der Wärmeerzeugung im Netzverbund Süd.....	65
7.1.4	Transformation der Wärmeerzeugung im Netz WHO	65
7.1.5	Transformation Eignungsgebiete dezentrale Wärmeversorgung.....	65
7.2	Übergeordnete Maßnahmen.....	66
7.3	Öffentlichkeitsarbeit und Akteursbeteiligung	66
7.4	Handlungsfeld Bedarfssenkung im Bestand	67
7.5	Handlungsfeld Eignungsgebiete dezentrale Wärmeversorgung.....	68
7.6	Handlungsfeld Fernwärmeausbau und Umstellung der Fernwärme auf erneuerbare Energien	68
8	Steckbriefe Gebiete.....	71
8.1	Fernwärme-Eignungsgebiete.....	71
8.1.1	Kernstadt - Netzverbund Süd (1).....	72
8.1.2	Kernstadt – Waldhäuser Ost (2).....	73
8.1.3	Kernstadt – Herrlesberg (3).....	74
8.1.4	Kernstadt – Morgenstelle / Schnarrenberg (4).....	76
8.1.5	Bebenhausen (5).....	77
8.1.6	Hagelloch (6).....	78
8.1.7	Unterjesingen (7).....	79
8.1.8	Hirschau (8)	80
8.1.9	Bühl (9)	82
8.1.10	Kilchberg (10).....	83
8.1.11	Weilheim Nord (11)	85
8.1.12	Weilheim Süd (12).....	86
8.1.13	Pfrondorf Ortskern (13)	87
8.1.14	Pfrondorf Nord-West (14)	88
8.2	Fokusgebiete energetische Stadtentwicklung	90
8.3	Stadtteile	92
8.3.1	Kernstadt (inkl. WHO, Lustnau, Derendingen, Süd- und Weststadt).....	92
8.3.2	Hirschau.....	96
8.3.3	Pfrondorf	98
8.3.4	Kilchberg	101
8.3.5	Unterjesingen.....	103
8.3.6	Weilheim	106
8.3.7	Bühl.....	108
8.3.8	Hagelloch.....	111
8.3.9	Bebenhausen.....	113

9	Literatur	116
10	Anhang	117
	10.1 THG-Faktoren	117
11	Anhang Karten	118

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Energiebilanz nach Verwendung, Energieträger und Sektor im Ist-Zustand	1
Abb. 2:	Optionen Wärmeversorgung Tübingens im Zielszenario	10
Abb. 3:	Verteilung von Gebäudetypen nach Anzahl, Fläche und Wärmebedarf	21
Abb. 4:	Verteilung von Baualtersklassen im Gebäudebestand	22
Abb. 5:	Anteile der Wärmeerzeuger in Feuerstätten nach Leistung und Anzahl	24
Abb. 6:	Verteilung des Baualters von Wärmeerzeugern in Feuerstätten	24
Abb. 7:	Energiebilanz nach Verwendung, Energieträger und Sektor im Ist-Zustand	25
Abb. 8:	Aufteilung Energieträger für Wärmenetze	26
Abb. 9:	Aufteilung Energieträger Endenergie gesamt	27
Abb. 10:	THG-Bilanz im Ist-Zustand	28
Abb. 11:	THG-Bilanz nach Sektor im Ist-Zustand	28
Abb. 12:	THG-Emissionen aus Zentralen für Wärmenetze der Stadtwerke, der MVV und von Dritten	29
Abb. 13:	Senkung des Wärmebedarfs im Bestand abhängig von Sanierungsraten	31
Abb. 14:	Zu prüfende mögliche Standorte für Freiflächenanlagen Solarthermie [LU BW FF 2022]	33
Abb. 15:	Geothermische Effizienz und Ausschlussgebiete nach [LRA Tü Geo 2015]	40
Abb. 16:	Potenziale für Erdwärmesonden für Liegenschaften im Bestand und außerhalb von Fernwärme-Eignungsgebieten [KEA Geo 2022]	41
Abb. 17:	Deckungsanteil Fernwärme und Bedarfsentwicklung 2030 sowie 2040	46
Abb. 18:	Anteile Energieträger Erzeugernutzwärme Zielszenario 2030	53
Abb. 19:	Anteile Energieträger Endenergie Zielszenario 2030 (Wärmepumpen nur Stromanteil)	54

Abb. 20: Anteile Energieträger an Fernwärme vor Netz 2030	54
Abb. 21: Anteile Energieträger an Fernwärme vor Zentrale 2030	55
Abb. 22: Anteile Energieträger an Endenergie gesamt 2030	55
Abb. 23: Anteile Energieträger Erzeugernutzwärme Zielszenario 2040	56
Abb. 24: Anteile Energieträger Endenergie Zielszenario 2040 (Wärmepumpen nur Stromanteil)	57
Abb. 25: Anteile Energieträger an Fernwärme vor Netz 2040	57
Abb. 26: Anteile Energieträger an Fernwärme vor Zentrale 2040	58
Abb. 27: Anteile Energieträger an Endenergie gesamt 2040	58
Abb. 28: THG-Bilanz nach Sektor 2030	59
Abb. 29: Prognostizierte THG-Emissionen aus dezentralen Heizungsanlagen 2030	60
Abb. 30: Prognostizierte THG-Emissionen für Wärmenetze 2030	60
Abb. 31: THG-Bilanz nach Sektor 2040	61
Abb. 32: Prognostizierte THG-Emissionen aus dezentralen Heizungsanlagen 2040	61
Abb. 33: Prognostizierte THG-Emissionen für Wärmenetze 2040	62
Abb. 34: Hauptentwicklungssachsen Fernwärmeausbau Netzverbund Süd	64
Abb. 35: Fernwärme-Eignungsgebiete	71
Abb. 36: Eignungsgebiet Kernstadt – Netzverbund Süd	72
Abb. 37: Eignungsgebiet Kernstadt – Waldhäuser Ost	73
Abb. 38: Eignungsgebiet Kernstadt – Herrlesberg	74
Abb. 39: Eignungsgebiet Kernstadt – Morgenstelle / Schnarrenberg	76
Abb. 40: Eignungsgebiet Bebenhausen	77
Abb. 41: Eignungsgebiet Hagelloch	78
Abb. 42: Eignungsgebiet Unterjesingen	79
Abb. 43: Eignungsgebiet Hirschau	80
Abb. 44: Eignungsgebiet Bühl	82
Abb. 45: Eignungsgebiet Kilchberg	83
Abb. 46: Eignungsgebiet Weilheim Nord	85
Abb. 47: Eignungsgebiet Weilheim Süd	86
Abb. 48: Eignungsgebiet Pfrondorf Ortskern	87
Abb. 49: Eignungsgebiet Pfrondorf Nord-West	88
Abb. 50: Kernstadt - Erzeugernutzwärmeabgabe im Ist-Zustand nach Energieträgern, Verwendung und Sektor	92
Abb. 51: Anteile Energieträger Erzeugernutzwärmebedarf Zielszenario – Kernstadt	95
Abb. 52: Anteile Energieträger Endenergiebedarf Zielszenario – Kernstadt	95
Abb. 53: Hirschau - Erzeugernutzwärmeabgabe im Ist-Zustand nach Energieträgern, Verwendung und Sektor	96

Abb. 54: Anteile Energieträger Erzeugernutzwärmebedarf Zielszenario – Hirschau.....	97
Abb. 55: Anteile Energieträger Endenergiebedarf Zielszenario – Hirschau.....	98
Abb. 56: Pfrondorf - Erzeugernutzwärmeabgabe im Ist-Zustand nach Energieträgern, Verwendung und Sektor.....	98
Abb. 57: Anteile Energieträger Erzeugernutzwärmebedarf Zielszenario – Pfrondorf	100
Abb. 58: Anteile Energieträger Endenergiebedarf Zielszenario – Pfrondorf	100
Abb. 59: Kilchberg - Erzeugernutzwärmeabgabe im Ist-Zustand nach Energieträgern, Verwendung und Sektor.....	101
Abb. 60: Anteile Energieträger Erzeugernutzwärmebedarf Zielszenario – Kilchberg	102
Abb. 61: Anteile Energieträger Endenergiebedarf Zielszenario – Kilchberg.....	103
Abb. 62: Unterjesingen - Erzeugernutzwärmeabgabe im Ist-Zustand nach Energieträgern, Verwendung und Sektor.....	103
Abb. 63: Anteile Energieträger Erzeugernutzwärmebedarf Zielszenario – Unterjesingen	105
Abb. 64: Anteile Energieträger Endenergiebedarf Zielszenario – Unterjesingen	105
Abb. 65: Weilheim – Erzeugernutzwärmeabgabe im Ist-Zustand nach Energieträgern, Verwendung und Sektor.....	106
Abb. 66: Anteile Energieträger Erzeugernutzwärmebedarf Zielszenario – Weilheim	107
Abb. 67: Anteile Energieträger Endenergiebedarf Zielszenario – Weilheim	108
Abb. 68: Bühl – Erzeugernutzwärmeabgabe im Ist-Zustand nach Energieträgern, Verwendung und Sektor.....	108
Abb. 69: Anteile Energieträger Erzeugernutzwärmebedarf Zielszenario – Bühl.....	110
Abb. 70: Anteile Energieträger Endenergiebedarf Zielszenario – Bühl.....	110
Abb. 71: Hagelloch - Erzeugernutzwärmeabgabe im Ist-Zustand nach Energieträgern, Verwendung und Sektor.....	111
Abb. 72: Anteile Energieträger Erzeugernutzwärmebedarf Zielszenario – Hagelloch	112
Abb. 73: Anteile Energieträger Endenergiebedarf Zielszenario – Hagelloch.....	113
Abb. 74: Bebenhausen - Erzeugernutzwärmeabgabe im Ist-Zustand nach Energieträgern, Verwendung und Sektor.....	113
Abb. 75: Anteile Energieträger Erzeugernutzwärmebedarf Zielszenario – Bebenhausen	115
Abb. 76: Anteile Energieträger Endenergiebedarf Zielszenario – Bebenhausen	115

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Abschätzungen für bestehende Ausbau-Potenziale in Tübingen	2
Tab. 2: Projektablauf mit wesentlichen Terminen.....	19
Tab. 3: Gegenüberstellung Wärme aus Solarenergie mit PV vs. Solarthermie	35
Tab. 4: Mögliche Standorte für Anlagen zur Wärmegewinnung aus Oberflächengewässern	38
Tab. 5: Prognose Entwicklung Fernwärme für Zielszenario 2030 und darüber hinaus (2040).....	45
Tab. 6: Abschätzungen für lokale Potenziale in Tübingen.....	49
Tab. 7: Strombedarf für Wärmepumpen 2030 und 2040	52
Tab. 8: Fokusgebiete energetische Stadtentwicklung	90
Tab. 9: Anteile fossiler / dezentraler Wärmeerzeugung - Kernstadt.....	92
Tab. 10: Einzelne Stadtteile der Kernstadt mit den jeweiligen Anteilen am derzeit dezentral oder fossil gedeckten Wärmebedarf Tübingens	93
Tab. 11: Anteile fossiler / dezentraler Wärmeerzeugung - Hirschau.....	96
Tab. 12: Anteile fossiler / dezentraler Wärmeerzeugung - Pfrondorf	99
Tab. 13: Anteile fossiler / dezentraler Wärmeerzeugung - Kilchberg	101
Tab. 14: Anteile fossiler / dezentraler Wärmeerzeugung - Unterjesingen.....	104
Tab. 15: Anteile fossiler / dezentraler Wärmeerzeugung - Weilheim	106
Tab. 16: Anteile fossiler / dezentraler Wärmeerzeugung - Bühl.....	109
Tab. 17: Anteile fossiler / dezentraler Wärmeerzeugung - Hagelloch	111
Tab. 18: Anteile fossiler / dezentraler Wärmeerzeugung - Bebenhausen	114

1 Zusammenfassung

1.1 Ist-Zustand der Wärmeerzeugung und Nutzung

Für das Stadtgebiet Tübingens wurde die Wärmebedarfe nach Nutzungsarten, Energieträgern und Sektoren wie folgt erhoben und bilanziert (Basisjahr 2019):

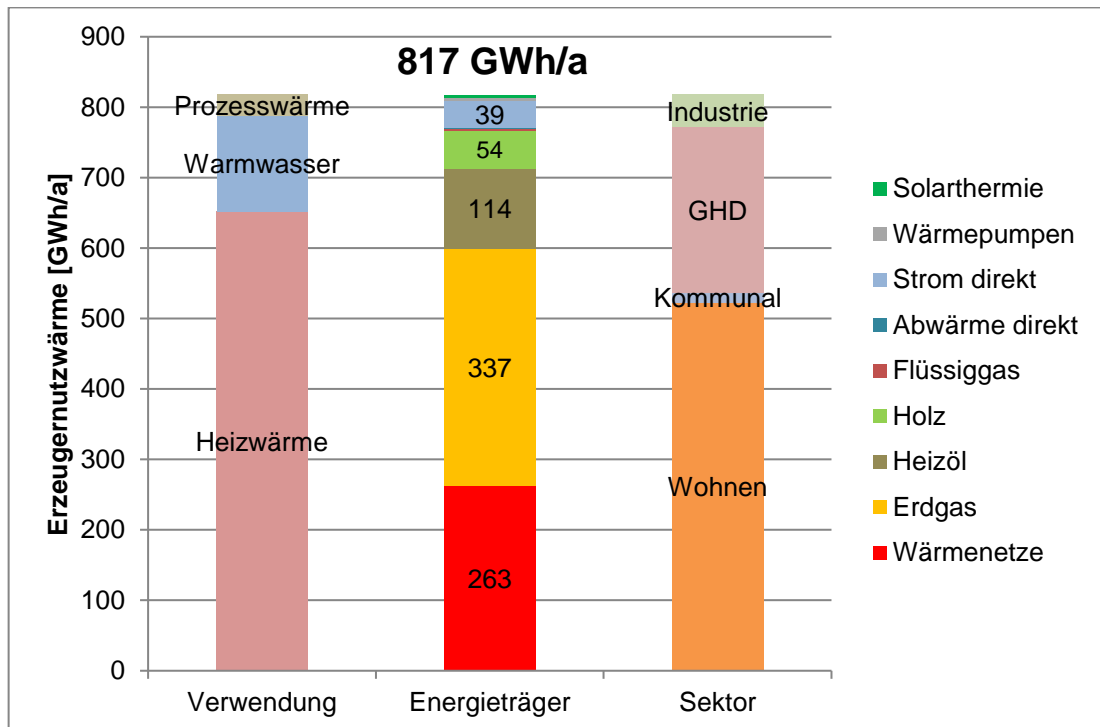


Abb. 1: Energiebilanz nach Verwendung, Energieträger und Sektor im Ist-Zustand

- Heizwärmebedarf sowie Wohnnutzungen dominieren.
- Gewerbe-Handel-Dienstleistung (GHD) beinhaltet v. a. Gebäude des Landes Baden-Württembergs und des Bundes.
- Der Energiebedarf wird zum größten Teil aus fossilen Energieträgern (Erdgas, Heizöl) und dezentral (außerhalb von Wärmenetzen) gedeckt.
- Etwa 40 % des derzeitigen Wärmebedarfs werden aus Wärmenetzen und Systemen mit regenerativen Quellen oder Abwärme gedeckt.
- Die Wärmeerzeugung in den bestehenden Wärmenetzen aller Betreiber inklusive teilweise geschätzter Leitungs- und Erzeugungsverluste benötigt derzeit etwa 358 GWh/a. Davon stammen etwa 25 % aus regenerativen Quellen oder Abwärme.

- Die Stadtwerke Tübingen mit ihren Netzen haben einen Anteil von 50 % an der Wärmeversorgung durch Wärmenetze, die MVV Energie AG als größter einzelner externer Netzbetreiber weitere 24 %. Der Rest verteilt sich auf kleinere Netze weiterer Betreiber und einzelne Wärmeinseln.
- Für den gesamten Endenergiebedarf Tübingens (Lieferung an Gebäuden bzw. vor Zentralen) wurden 982 GWh/a ermittelt.

1.2 Bestehende Potenziale

Die erhobenen lokalen Potenziale unterscheiden sich stark hinsichtlich der Qualität der dafür verfügbaren Quellen und der Belastbarkeit der zur Abschätzung notwendigen Annahmen. Außerdem ist zu beachten, dass die Potenziale ggf. untereinander konkurrieren und auch nicht technisch oder wirtschaftlich gleichwertig erschlossen werden können. Die in Tab. 1 dargestellten Potenziale stellen Ausbau-Potenziale dar, bereits erschlossenen Anteile sind nicht enthalten.

Tab. 1: Abschätzungen für bestehende Ausbau-Potenziale in Tübingen

Art / Energieträger	Potenzialschätzung
Solarthermie-Freiflächenanlagen	100 GWh/a
Einsparungen durch Effizienzmaßnahmen bis 2030	73 GWh/a
Solarenergie auf Dachflächen zur direkten Wärmeerzeugung	61 GWh/a
Abwasserwärme Kläranlage Lustnau	65 GWh/a
Erdkollektoren / Agrothermie	50 – 60 GWh/a
Geothermie mit Erdwärmesonden im Bestand ¹	50 GWh/a
Abwärme aus industriellen Prozessen / Rechenzentren	36 GWh/a
Oberflächengewässer	26 – 58 GWh/a
Lokale Biomasse (Holz u.a.) aus Waldbewirtschaftung, Altholz und Landschaftspflege (derzeit im Landkreis genutzt)	20 GWh/a
Grundwasserwärme	20 – 30 GWh/a
Abwasserwärme aus Kanälen	1 – 2 GWh/a

¹ Außerhalb von Fernwärmeignungsgebieten

1.3 Aufbau und Erweiterung von Wärmenetzen

Im Rahmen des KWP wurden anhand der erhobenen Datenbasis Eignungsgebiete für den Aufbau, die Verdichtung und die Erweiterung von Wärmenetzen abgestimmt. Die einzelnen Gebiete mit ihren Kenndaten und Potenzialen wurden jeweils in Steckbriefen beschrieben (Kapitel 8.1).

Für alle Eignungsgebiete wird bis 2030 insgesamt ein Potenzial von rund 314 GWh/a an Wärmelieferung (ab Zentrale) angenommen. Auf die Netze der SWT in der Kernstadt werden davon im Jahr 2030 etwa 211 GWh/a (67 %) entfallen². Bis 2040 können in diesen Gebieten nach Steigerung der Deckungsanteile bei gleichzeitiger Bedarfssenkung durch Sanierungen etwa 389 GWh/a Fernwärmelieferung erreicht werden.

Für die Teilorte außerhalb der Kernstadt wurden anhand des Wärmebedarfs und durch Abwägung von technischen und wirtschaftlichen Kriterien ebenfalls geeignete Gebiete für eine zentrale Wärmeversorgung festgestellt und priorisiert. In diesen Netzen kann bis 2030 ein Wärmeabsatz von etwa 25 GWh/a (2040: 46 GWh/a) angenommen werden. Für diese neuen Netze müssen bis 2030 und darüber hinaus folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- Konkretisierung der Umsetzbarkeit, z. B. durch geförderte „integrierte Quartierskonzepte“ oder Machbarkeitsstudien nach BEW
- Konkrete Planung und Umsetzung von Ausbaustufen und Zentralen in Zusammenarbeit mit den SWT oder anderen Betreibern.
- Begleitende Öffentlichkeitsarbeit und Akteursbeteiligung zur Erreichung notwendiger Anschlussquoten im Bestand

1.4 Fazit / Kernthesen

Die Konzeption einer klimaneutralen Wärmeversorgung im Kontext der übergeordneten politischen Vorgabe zur Erreichung der Klimaneutralität im Jahr 2030 beruht auf drei strategischen Zielen:

1. Ehrgeizige Einsparungen und Steigerung der Effizienz in der Wärmenutzung
2. Umstellung der Wärmeerzeugungsanlagen auf erneuerbare Energiequellen
3. Aufbau und Erweiterung von Wärmenetzen

² Bei Berücksichtigung der abgestimmten Deckungsanteile in den Versorgungsgebieten und Bedarfssenkung durch Sanierung

Auch bei vollständiger Ausschöpfung aller dafür bestehenden Potenziale bleibt Tübingen für die Erreichung der Klimaneutralität in besonderem Maße von äußeren Entwicklungen und Ressourcen abhängig:

- Für die Steigerung der Energieeffizienz im Bestand bestehen Hemmnisse, deren Ursachen durch die Kommune nur in geringem Maße oder indirekt beeinflusst werden können.
- Holz als Brennstoff wird in Zukunft sehr stark nachgefragt, während die Nutzung durch Gesetzgebung und Förderrichtlinien mittelfristig stärker reglementiert werden wird.
- Aus erneuerbaren Energien hergestellte brennbare Gase (v.a. Wasserstoff) sind auf lange Sicht nicht aus überregionalen Netzen und für Heizzwecke verfügbar. Die lokale Herstellung in ausreichenden Mengen ist aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht realistisch.
- Bis 2030 wird der aus dem überregionalen Netz bezogene Strom als Grundlage für die verstärkt eingesetzten Wärmepumpen nicht klimaneutral sein.

Wegen der räumlichen Verteilung, der Kleinteiligkeit und den saisonalen Schwankungen der durch lokale Quellen möglichen Wärmeerzeugung sind Wärmespeicher und Wärmenetze von besonderer Bedeutung für die Erreichung der Klimaziele Tübingens.

Die Realisierung weiterer Wärmenetze in den Teilorten sowie die Erweiterung und Verdichtung bestehender Netze in der Kernstadt ist mit den vorhandenen Ressourcen der SWT und der Stadtverwaltung eine Herausforderung. Dafür ist kurzfristig ein immenser Einsatz für Kommunikation, Planung und Umsetzung bis 2030 und auch darüber hinaus erforderlich.

Insgesamt wird die Gewinnung von Solar- und Umweltwärme und die damit verbundenen Eingriffe die Stadtgesellschaft fordern. Hier sind Flächen zu finden, auf denen Anlagen zur Strom- oder Wärmegewinnung und Zentralen mit entsprechenden Wärmespeichern errichtet werden können. Außerdem ist die intensive Nutzung von Holz als Brennstoff, soweit künftige technische und gesetzliche Rahmenbedingungen das zulassen, unabdingbar. Auch dafür sind bis zum Jahr 2030 Standorte im Stadtgebiet zu finden und in Betrieb zu nehmen.

Die künftige Struktur der Wärmeerzeugung wird einen Rückgang von Feuerstellen und eine starke Verbreitung elektrisch betriebener Wärmepumpen, sowohl in dezentralen Anlagen als auch als Groß-Wärmepumpen in Wärmenetzen, mit sich bringen. Das Stromnetz der Zukunft sieht sich dabei außerdem bereits den Herausforderungen aus der Elektro-Mobilität, der allgemein ansteigenden Stromnutzung in vielen Bereichen und der Umstellung industrieller Prozesse auf Strom gegenüber. Die Erzeugung von Strom aus lokalen erneuerbaren Quellen ist daher

auch für die Wärmewende von sehr großer Bedeutung, um einerseits den Bedarf der direkten Wärmeerzeugung zu decken und andererseits Überschüsse für die Erzeugung von z. B. Wasserstoff zu generieren. Lokale Potenziale, die möglichst ausgeschöpft werden sollten, bestehen in der Nutzung von Photovoltaik auf Dächern und Freiflächenanlagen sowie die Errichtung von Windkraftanlagen.

2 Einleitung

2.1 Aufgabenstellung und klimapolitische Rahmenbedingungen

Mit der jüngsten Änderung des Klimaschutzgesetzes Baden-Württemberg (KSG BW) vom 14.10.2020 sind Stadtkreise und Große Kreisstädte verpflichtet, bis Ende 2023 einen kommunalen Wärmeplan (KWP) zu erstellen. Mit ca. 92.000 Einwohnern gehört Tübingen als Große Kreisstadt nach dem KSG BW zu den verpflichteten Kommunen in Baden-Württemberg. Ziel der Kommunalen Wärmeplanung in Baden-Württemberg ist es, Maßnahmen mit dem Ziel der Klimaneutralität bis 2040 zu entwickeln. Nach dem KSG BW sollen die Wärmepläne der Kommunen außerdem regelmäßig überarbeitet und aktualisiert werden.

Zusätzlich hat sich Tübingen mit seinem im Tübinger Gemeinderat im November 2020 beschlossenen Klimaschutzprogramm bereits das Ziel der Klimaneutralität bis zum Jahr 2030 gesetzt und dazu auch die Erstellung eines KWP's beschlossen. Mit dem KWP Tübingen soll für das Zieljahr 2030 sowie für das Zieljahr 2040 entsprechende Szenarien mit den dafür notwendigen Maßnahmen im Wärmesektor aufgezeigt werden.

Im Kontext des Klimaschutzprogramms sollen durch den KWP v.a. folgende Ziele erreicht werden:

- Verbesserung der Datengrundlagen für Klimaschutzmanagement, Stadtverwaltung und Stadtwerke
- konkretere Beteiligung wichtiger Akteure zur Abstimmung von Maßnahmen und Vernetzung für die spätere Umsetzung
- Unterstützung der Strategieentwicklung der Stadtwerke für den Ausbau der Wärmenetze und die Transformation der Zentralen
- Skizzierung der künftigen Struktur der Wärmeversorgung und Ableitung örtlicher und inhaltlicher Entwicklungsschwerpunkte

- Orientierung für die Transformation der Wärmeerzeugung in dezentral versorgten Gebieten mit Bezug auf lokale Potenziale.

Der KWP soll als übergreifendes Planungsinstrument für Klimaschutzmaßnahmen in der Wärmeversorgung dienen. Dadurch soll ein strategisches Vorgehen bei sämtlichen städtebaulichen Veränderungen im Sinne der Klimaneutralität in der Wärmenutzung ermöglicht werden. Der Wärmeplan nennt Potenziale und Wärmebedarfe sowie Eignungsgebiete für z. B. den Fernwärmenetzausbau. Er kann auch die Grundlage zur Auswahl von Stadtquartieren für die Durchführung gezielter Entwicklungskampagnen bilden, die im Rahmen des KfW-Programms 432 („Integrierte Quartierskonzepte“) gefördert werden können. Darüber hinaus soll er für Gebäudeeigentümer und Energieversorger eine Orientierung zur Realisierung klimaneutraler Wärmeversorgungssysteme in ihrem Handlungsbereich darstellen.

2.2 Rahmenbedingungen für die Umsetzung

Da Tübingen bis 2030 (also in sehr kurzer Zeit) klimaneutral werden will, ist in der nächsten Zeit die räumliche Umsetzung der Energie- und Wärmewende herausragende Aufgaben der Stadtentwicklung. Die notwendige Transformation voranzutreiben und Tübingen auch an ein sich veränderndes Klima anzupassen sind neue Aufgaben, für die eine eigene städtische Fachabteilung, die Fachabteilung Nachhaltige Stadtentwicklung, im Fachbereich Planen Entwickeln Liegenschaften gegründet wurde. In der neuen Fachabteilung sind unter anderem sowohl die Entwicklung und Koordination strategischer Wärmeplanung als auch die Aufstellung und Umsetzung integrierter energetischer Quartierskonzepte und die Durchführung von Programmen zur energetischen Sanierung verankert.

Die aktuellen äußeren Rahmenbedingungen ergeben sich aus der Entwicklung der Energiepreise, der Kosten für Investitionen und der Verfügbarkeit von Ressourcen zur Umsetzung baulicher Maßnahmen. Weitere Randbedingungen werden außerdem durch das Land und den Bund im Kontext des Ordnungsrechts und der Förderkulisse festgelegt:

- Verschärfung der Neubauanforderungen; Pflicht zur Nutzung von Solarenergie (in Baden-Württemberg schon gültig)
- Anteil von mindestens 65% von erneuerbaren Energien in neuen Heizungsanlagen im Gebäudebestand ab 2024
- Bundesgesetz zur Kommunalen Wärmeplanung mit Vorgaben zu Transformationsplänen und Anteilen erneuerbarer Energien in Wärmenetzen

- Angepasste Fördersätze in der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) und Bonus für die Modernisierung der energetisch schlechtesten Gebäude
- Förderung für Machbarkeitsstudien und Transformationspläne sowie Optimierungen in bestehenden Wärmenetzen; Konzeption, Planung und Umsetzung neuer Wärmenetze, inklusive kalter Nahwärme durch die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)
- Bestehende Förderprogramme des Bundes zur energetischen Quartiersentwicklung und Maßnahmen zur Akteursbeteiligung und Öffentlichkeitsarbeit (KfW-Programm 432)

Allgemein erfordert der Prozess zur Klimaneutralität eine Exit-Strategie aus Öl und Erdgas, die von einer allgemeinen Bedarfssenkung und dem Ausbau von Wärmenetzen begleitet wird. Sowohl Wärmenetze als auch verbleibende dezentrale Heizungsanlagen müssen in Zukunft mit erneuerbaren Energien betrieben werden. Dabei sollten zuerst lokale Potenziale ausgeschöpft werden können. Die Stadt Tübingen kann dazu mit eigenen administrativen Maßnahmen auf äußere Rahmenbedingungen reagieren, soweit ihr das rechtlich und finanziell möglich ist.

Derzeit werden im Stadtgebiet Tübingens bereits etwa 40 % des Wärmebedarfs mit Wärmenetzen und dezentralen erneuerbaren Systemen gedeckt.

3 Grundlagen und Methodik

Der Wärmeplan wurde in Verbindung mit einem Geoinformationssystem (GIS) erstellt. Dabei wurden v. a. bereits georeferenzierte Daten der Stadt zum Gebäudebestand mit Angaben zu Verbräuchen leitungsgebundener Energieträger sowie Daten zu Feuerstellen im Stadtgebiet aufbereitet, miteinander verschnitten und ggf. weiter ergänzt.

Unter Beachtung des Datenschutzes (Verträge nach DSGVO mit Lieferanten personenbezogener Daten) wurden adressbezogene Daten, insbesondere Verbrauchsangaben oder Daten aus Kkehrbüchern der Schornsteinfeger, für die Auswertung und Darstellung zusammengefasst. Alle Daten, die unter die Datenschutzbestimmungen fallen, werden nach Abschluss des Projektes gelöscht.

3.1 Das Untersuchungsgebiet

Die Universitätsstadt Tübingen umfasst eine Fläche von 10.812 ha und hat neben der Kernstadt (Tübingen, Lustnau, Derendingen) acht Ortschaften außerhalb der Kernstadt (Bebenhausen, Pfrondorf, Weilheim, Kilchberg, Bühl, Hirschau, Unterjesingen, Hagelloch). In Tübingen leben derzeit 90.419 Personen mit Hauptwohnsitz (Stand: 13. Januar 2023). Mit einem Nebenwohnsitz sind 2.048 Personen gemeldet. Tübingen ist kreisangehörige Stadt und Sitz des Landratsamts des gleichnamigen Landkreises. Die Stadt liegt in der Region Neckar-Alb in Baden-Württemberg.

3.2 Optionen für eine Energieversorgung der Zukunft

3.2.1 Allgemeine Rahmenbedingungen

Die Verringerung des Energieverbrauchs durch Modernisierungsmaßnahmen und Effizienzsteigerungen ist für den sinnvollen Einsatz erneuerbarer Energieträger eine zentrale Voraussetzung. Je weniger Energiebedarf durch erneuerbare Energiequellen gedeckt werden muss, desto geringer ist der technische und wirtschaftliche Aufwand für die Gewinnung, Speicherung und Verteilung. Desto mehr Energie aus lokalen Quellen gewonnen werden kann, umso geringer ist der volkswirtschaftliche Aufwand für Gewinnung, Transport, Lagerung oder Speicherung aus überregionalen Quellen. Im Gegensatz zu heutigen fossilen Energieträgern wie Gas und Heizöl sind erneuerbare Energien nicht zeitlich konstant und über eine überregional ausgebaute

Infrastruktur verfügbar. Auf absehbare Zeit werden leitungsgebundene Energieträger aus erneuerbaren Energien wie grüner Wasserstoff, synthetische Kraftstoffe oder biogene Gase nicht in vergleichbarer Weise zur Verfügung stehen. Die Transformation der heutigen Wärmeerzeugung und Nutzung bis 2030/40 erfordert daher in aller Regel kombinierte Systeme mit großen Speicherkapazitäten. Einerseits werden dadurch zeitliche Schwankungen in der Verfügbarkeit der jeweiligen Quellen gegenüber dem Bedarf aus der Nutzung aufgefangen, andererseits können Vor- und Nachteile verschiedener Technologien zur Wärmegewinnung aus erneuerbaren Quellen möglichst zielführend kombiniert werden.

Die angestrebte langfristige Transformation der Stromerzeugung in Deutschland zu einem klimaneutralen Erzeugungsmix und die Verfügbarkeit von strombetriebenen Wärmepumpen stellt einen wesentlichen Baustein der Wärmewende dar. Gleichzeitig wird dadurch jedoch gerade in der Heizperiode, also zu Zeiten mit verringerter Erzeugung aus erneuerbaren Quellen, der Strombedarf stark ansteigen. Zugleich erhöht sich die Belastung der Strom-Infrastruktur etwa durch den angestrebten Ausbau der Elektro-Mobilität oder die Umstellung vieler Prozesse in der Industrie von fossilen Energieträgern auf Strom. Um den durch die zu erwartende Verdrängung von bisherigen Feuerstellen durch Wärmepumpen stark steigenden Strombedarf in der Heizperiode abzufedern, sollten vor allem effizientere Wärmepumpensysteme in Verbindung mit Quellen wie PVT-Anlagen, Abwärme oder Erdwärme beworben und gefördert werden. In vielen Fällen wird es sinnvoll sein, diese Quellen zentral zu erschließen und als „kalte Nahwärme“ an die Abnehmer für die Nutzung mit dezentralen Wärmepumpen zu verteilen.

Die in der Anschaffung günstigeren aber gerade zur Heizperiode ineffizienteren dezentralen Außenluft-Wärmepumpen sollten v.a. in Neubauten oder ehrgeizig sanierten Gebäuden zum Einsatz kommen, sofern keine anderen Quellen zur Verfügung stehen.

Nicht zuletzt bedeutet der Einsatz erneuerbarer Energieträger immer einen Flächenverbrauch für z.B. Holz / Biomasse, Solarthermie- oder Photovoltaikanlagen, Agro- / Geothermieflächen, große Wärmespeicher etc. Gerade in Städten aber auch überregional bedeutet die Transformation der Wärmeerzeugung eine Verschärfung der Konkurrenz in der Flächennutzung für z. B. Baugebiete, die Naherholung oder Maßnahmen der Klimafolgenanpassung.

Eine Stadt wie Tübingen wird immer auf die Lieferung externer Energieträger angewiesen sein, um ihren Energiebedarf zu decken. Bis 2030 werden die benötigten externen Quellen an erneuerbaren Energien nicht in ausreichendem Maße verfügbar sein. Durch die Stadt selbst können die Voraussetzungen zur Klimaneutralität durch Maßnahmen zur Bedarfssenkung und Effizienzsteigerung sowie zur Transformation der Wärmeversorgung durch den Ausbau von Wärmenetzen und die Nutzung möglichst vieler lokaler Energiequellen geschaffen werden.

Für die Auswahl von Wärmequellen abhängig vom Bedarf und den zur Verfügung stehenden Potenzialen wurde analog zum in Abb. 2 dargestellten Schema vorgegangen.

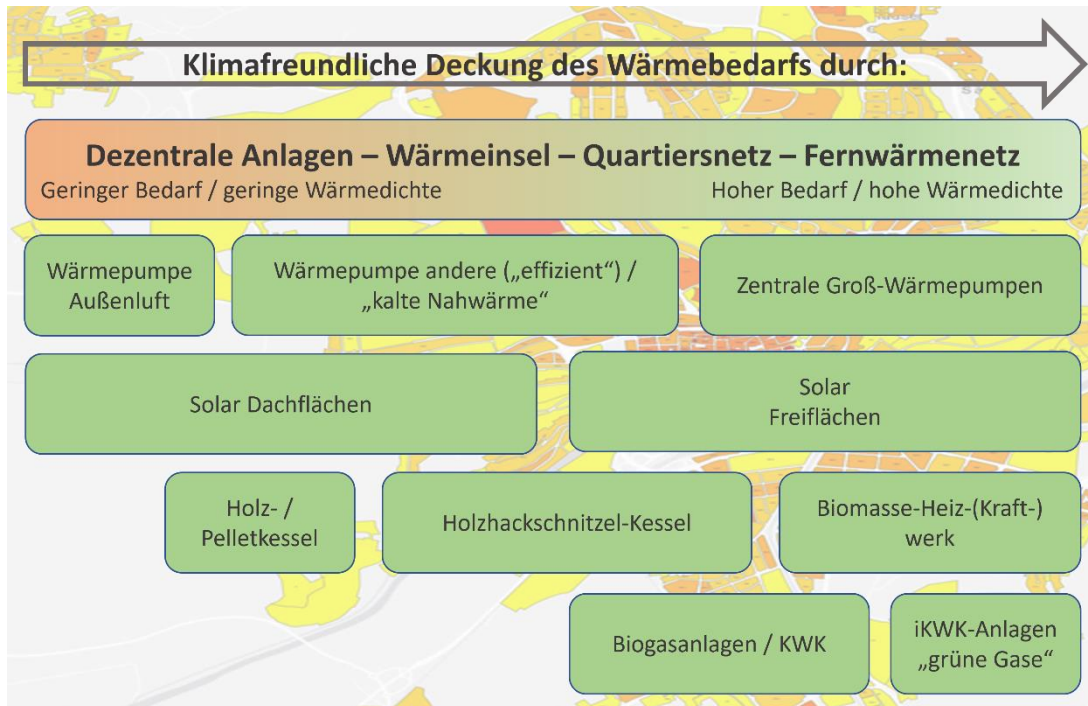


Abb. 2: Optionen Wärmeversorgung Tübingens im Zielszenario

3.2.2 Strategie Gasnetze

Zum Auftrag der Kommunalen Wärmeplanung gehört auch mit dem Netzbetreiber (Stadtwerke Tübingen) Perspektiven für die Entwicklung der Gasnetze im Stadtgebiet zu entwickeln. Durch die bestehende Rechtslage sind die Stadtwerke weiter zur Versorgung mit Erdgas verpflichtet (Konzessionsverträge). Solange sich daran nichts ändert, können langfristig folgende Leitlinien verfolgt werden:

- Kein Neubau oder Erweiterung von Erdgasnetzen
- Backbone-Leitungen (Mitteldruck) mit Gasspeichern, Großabnehmern und großen KWK-Anlagen in Wärmenetzen sollten langfristig erhalten und auf biogene Gase / Wasserstoff vorbereitet werden.
- Der großflächige Umbau der Gasverteilungs-Infrastruktur für einen erhöhten oder sogar 100 %-en Anteil von Wasserstoff stellt eine technische und wirtschaftliche Herausforderung dar, die allenfalls sehr langfristig bewältigt werden kann. Hier müssen Prioritäten nach Art und Umfang der langfristigen

Abnahme (Industriegebiete) und dem abzusehenden Instandhaltungsbedarf festgelegt werden.

- Ohne gewerbliche Abnehmer mit Bedarf an Erdgas oder anderen brennbaren Gasen stehen Fernwärmenetze prinzipiell in wirtschaftlicher Konkurrenz zum bestehenden Erdgasnetz. Fernwärmeausbau in gasversorgte Gebiete sollte daher mit einer Kampagne zum Rückbau des Gasnetzes begleitet werden.

Die Darstellung der mit Erdgas versorgten Baublöcke ist im Tübinger Stadtplan zu finden unter: www.tuebingen.de/waermeplanung.

3.2.3 Rolle Kraft-Wärme-Kopplung

Kraft-Wärme-Kopplung in Zentralen zur Versorgung von Wärmenetzen stellt weiterhin eine sinnvolle Option zur flexiblen und netzdienlichen Strom- und Wärmeerzeugung durch eine Effizienztechnologie dar. Allerdings muss der Einsatz fossiler Energieträger wie Erdgas langfristig durch erneuerbare Energieträger (biogene Gase / Wasserstoff) ersetzt werden. Zudem sollten bestehende und neue Anlagen nach dem Prinzip der „innovativen Kraft-Wärme-Kopplung“ (iKWK) modernisiert bzw. realisiert werden:

- Stromgeführter Betrieb der KWK-Anlage bei wirtschaftlich günstiger Einspeisung
- Verbindung mit Quelle für Umweltwärme (z. B. Solarthermie oder Groß-Wärmepumpe)
- Groß-Wärmespeicher mit Power-to-Heat zur wirtschaftlichen Nutzung von Stromüberschüssen im Netz (z. B. Abschaltung KWK und Nutzung Wärmepumpe oder Aktivierung Heizstab im Pufferspeicher)

Neue größere Biomasseheizwerke für Wärmenetze sollten ebenfalls mit der Option einer Stromerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung konzeptioniert werden.

3.3 Versorgungsstruktur

3.3.1 Analyse bestehende Wärmeversorgungsstruktur

Grundlage zur Erfassung der bestehenden Struktur der Wärmeversorgung sind folgende Quellen:

- Adressbezogene Kkehrbuchdaten zu Feuerstellen: Baujahr, Leistung, Energieträger, Art der Feuerstelle (KWK-Anlage, Brennwert, Standard...) und Art der Verteilung (Zentral- oder Einzelraumheizung)
- Zählerbezogene Angaben zu Verbräuchen an Fernwärme mit Adresse der Liegenschaft
- Befragungen im Sektor GHDI
- Angaben zu kommunalen Gebäuden
- Angaben von Verwaltern von Gebäudebeständen (Wohnbaugesellschaften, Kirchen, Land, Bund)
- Marktstammdatenregister mit Angaben zu KWK-Anlagen pro Postleitzahl
- Angaben zu bestehenden Solarthermieanlagen pro Postleitzahl

Die in unterschiedlichen Formaten und Qualitäten vorliegenden Quellen wurden jeweils aufbereitet und in das GIS-System zur weiteren Auswertung im KWP integriert. Für die Angaben aus den Kkehrbüchern mit der Art der Feuerstelle wurde außerdem nach der anzunehmenden Verwendung unterschieden:

- Raumwärme (z.B. Kamin, Außenwandheizer)
- Trinkwarmwasser (z.B. Warmwasserboiler, Durchlauferhitzer)
- Kombi, d.h. Raumwärme und Warmwasser (z.B. Heizkessel, KWK-Anlagen)
- Sonstige / Prozesswärme (alle anderen wie z.B. Destillen, Schmelzöfen)

Für Stromheizungen (Nachtspeicheröfen) oder auch strombetriebene Wärmepumpen lagen keine eindeutigen und vollständigen Informationen vor. Diese Zuweisungen ergaben sich deshalb im Wesentlichen aus nach Nutzungsart anzunehmender Beheizung und trotz der Auswertung aller Quellen weiterhin unbekanntem Energieträger.

3.3.2 Bildung Wärmeversorgung im Zielzustand

Grundlagen für die Festlegung eines Energieträgermix im Zielzustand wurden pro Baublock folgende Kriterien gebildet und berücksichtigt:

- Übernahme bereits heute durch Wärmenetze, Abwärme oder regenerative Quellen wie Holz oder Umweltwärme gedeckter Anteile für das Zielszenario.
- Eignung für eine zentrale Wärmeversorgung / Wärmenetz und zu erwartende Anschlussquote im Zieljahr für das jeweilige Fernwärmeversorgungsgebiet

- Potenzial zur Wärmeerzeugung im Baublock aus Solarenergie (Solarthermie oder Photovoltaik mit Heizstab) außerhalb von Fernwärmeeignungsgebieten
- Lokale Potenziale an Umweltwärme wie Erdwärme, Grundwasserwärme oder Abwärme aus Abwasser, bekannten Stromnutzungen oder industriellen Prozessen als Grundlage für Systeme mit Wärmepumpen erhöhter Effizienz, d.h. erhöhter Jahresarbeitszahl (JAZ=4,0) und verringertem Strombedarf.
- Pauschale Annahme zu einem Anteil von Wärmepumpensystemen mit PVT-Kollektoren oder Eisspeichern in Verbindung mit Außenluft (JAZ=4,0).
- Potenziale für Systeme mit Wärmepumpen und Erdwärmesonden wurden aus einer von der KEA beauftragten landesweiten Studie übernommen (JAZ=4,5).
- Zuweisung des verbleibenden Deckungsanteils auf Wärmepumpen mit Außenluft und verringerter Effizienz, d.h. geringerer Jahresarbeitszahl (JAZ=2,5) und erhöhtem Strombedarf.
- Der Deckungsanteil von dezentralen Holzheizungen wurde für das Zielszenario nicht erhöht und spiegelt damit das aktuelle Bemühen der Gesetzgebung wider, die energetische Nutzung von Holz im Sinne der Nachhaltigkeit der Holznutzung oder auch der Emissionsvermeidung in städtischen Räumen insgesamt zu begrenzen.
- Industrielle Großverbraucher wurden abhängig von der Höhe heutiger Gasverbräuche und der Nutzungsart pauschal auf grüne Gase bzw. Wasserstoff (lokale Verbrauchsschwerpunkte) oder Strom umgestellt.

Für die Baublöcke, die in diesem Verfahren eine Zuordnung zu Fernwärme bzw. damit auch einem konkreten Versorgungsgebiet erhalten haben, ergibt sich der Energieträgermix des Fernwärmeanteils aus lokalisierten Standorten für mögliche Zentralen:

- Bestehende oder bereits geplante Zentralen
- Größere kommunale Liegenschaften mit bestehenden Zentralen und Kapazitäten für eine Ausdehnung in den Bestand.
- Neubaugebiete als mögliche Ausgangspunkte einer erweiterten Quartiersversorgung durch Ausdehnung des Netzes in den angrenzenden Bestand.
- Lagen mit räumlichem Potenzial, d.h. Flächen für solare Freiflächenanlagen, Erdkollektoren / Agrothermie, potenzielle Holzlager und Groß-Wärmespeicher (i.d.R. entsprechend geeignete Randlagen)
- Nähe zu bestehenden Netzen / Wärmeinseln, die sich für eine Erweiterung eignen würden.



3.3.3 Ermittlung von Fernwärme-Eignungsgebieten

Für die Festlegung der Eignung von Baublöcken für eine zentrale Wärmeversorgung wurden folgende Indikatoren überlagert:

- Für die Kernstadt wurden von den SWT auf Basis der im KWP ermittelten Bedarfsdaten eine eigene Einschätzung für Fernwärme-Eignungsgebiete und darin zu erwartende Deckungsanteile bis zum Zieljahr erstellt. Diese Festlegungen wurden für den KWP übernommen.
- Wärmebedarfsdichte im Baublock nach angenommener Sanierungstiefe im Zieljahr als wirtschaftliches Kriterium von mindestens 200 – 400 MWh/ha.
- Räumliche Nähe zu bestehenden oder geplanten Zentralen oder Wärmetrassen und sehr gut geeignete Baublöcke in der Nachbarschaft
- Vorhandene Großverbraucher, kommunale Liegenschaften als mögliche Ankerkunden
- Geeignete Topografie: keine steilen Anstiege, keine Querungen von geografischen Hindernissen (z.B. Bahnlinien, Gewässer)
- Überwiegende Baualter der Feuerstätten und daraus bis zum Zieljahr anzunehmender Erneuerungsbedarf
- Heutige Struktur der Heizungsanlagen im Gebiet (Zentralheizung vs. Einzelraumheizungen)

Die oben genannten Kriterien treffen auf die letztlich festgelegten Eignungsgebiete für zentrale oder dezentrale Versorgung nicht immer eindeutig zu. Insgesamt wurde in der Kombination der Kriterien versucht, im sehr engen Zeithorizont bis 2030 eine weniger pauschale Zuordnung zu Eignungsgebieten zu ermöglichen. Beispielsweise wurden weniger geeignete Baublöcke, die aber zwischen gut geeigneten Baublöcken liegen, eher in ein Fernwärme-Eignungsgebiet einbezogen, während Baublöcke mit eigentlich ausreichender Wärmedichte aber überwiegend jüngeren Heizungsanlagen ausgeschlossen wurden. Hinzu kommt, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur erste Einschätzungen zu Standorten und Energieträgern der jeweiligen Zentralen gemacht werden können. Der KWP enthält Maßnahmen zur kurzfristigen Feststellung der Machbarkeit dieser potenziellen Wärmenetze, beispielsweise im Rahmen von geförderten Quartierskonzepten oder Machbarkeitsstudien. Erst in diesem Rahmen können die in den Teilorten angenommenen Fernwärme-Eignungsgebiete anhand der lokalen Verhältnisse sowie unter Einbeziehung lokaler Akteure und den Möglichkeiten eines Betreibers konkretisiert werden.

Die räumliche Darstellung der Wärmedichte auf der Ebene von Baublöcken ist im Tübinger Stadtplan zu finden unter: www.tuebingen.de/waermeplanung.

3.3.4 Eignungsgebiete dezentrale Versorgung

Baublöcke und Ortsteile, die sich aufgrund der oben dargestellten Kriterien voraussichtlich nicht für ein Wärmenetz eignen, werden auch im Zielszenario durch dezentrale Systeme versorgt. Für diese Gebiete sollen ebenfalls Optionen für eine klimagerechte Wärmeversorgung dargestellt werden.

Inbegriffen sind hier Möglichkeiten für kleinere Wärmeverbünde („Wärmeinseln“), z.B. zwischen benachbarten Mehrfamilienhäusern oder Liegenschaften mit Synergien aus unterschiedlichen Nutzungsarten, etwa Wohnnutzung und gewerbliche Nutzung mit Abwärme oder KWK-Anlagen.

Für die dezentrale Versorgung ist durch die aktuellen Rahmenbedingungen in den nächsten Jahren eine starke Verschiebung von fossil betriebenen Feuerstellen zu Wärmepumpen und Holzheizungen zu erwarten.

Holzheizungen eignen sich besonders für Objekte mit Möglichkeiten zur Lagerung des Brennstoffs, höherem Wärmebedarf und der Notwendigkeit von hohen Temperaturen im Heizungssystem. Aus Gründen der Ressourceneffizienz, aber auch zur Minderung von Belastungen aus der Holzverbrennung, sollten Holzheizungen nach Möglichkeit in einer „Wärmeinsel“, im Verbund mit Solarthermie und auf die oben beschriebenen Anwendungen begrenzt werden. Langfristig wird die Verwendung von Holz in kleinen dezentralen Feuerungsanlagen durch den Gesetzgeber voraussichtlich eingeschränkt werden, so dass der Anteil von Holz am Energieträgermix der Zukunft im Zielszenario nicht gesteigert wurde.

Strombetriebene Wärmepumpen eignen sich am besten für Objekte mit weniger Wärmebedarf und niedrigeren Vorlauftemperaturen, können aber zunehmend auch für durchschnittliche Bedarfe im Bestand verwendet werden. Die Effizienz der Wärmepumpen hängt dabei sehr stark von den zu erzeugenden Temperaturen und der zur Verfügung stehenden Wärmequelle ab. Bei sinkender Quellentemperatur steigt der Stromverbrauch der Wärmepumpen und damit die gesamte Belastung des Stromnetzes in der Heizperiode. Deswegen ist zu empfehlen, die Verbreitung von in der Anschaffung kostengünstigen aber gerade in der Heizperiode ineffizienten Außenluftwärmepumpen entgegenzuwirken. Stattdessen sollten die Rahmenbedingungen zur Nutzung von alternativen Quellen wie Erdwärme, PVT-Kollektoren, Power-to-Heat-Konzepten etc. gezielt verbessert werden. Da die Erschließung dieser Quellen oftmals aus wirtschaftlichen Gründen für eine einzelne Liegenschaft zu aufwändig ist, sollten diese bei ausreichendem Potential als „kalte Nahwärme“ an mehrere Abnehmer mit jeweils separaten Wärmepumpen verteilt werden. Netze mit „kalter Nahwärme“ stellen gerade in Gebieten mit geringerer Wärmedichte und

begrenzten Leitungslängen eine technisch und wirtschaftlich gute Versorgungsoption dar.

Die Senkung des Wärmebedarfs durch Modernisierungsmaßnahmen an Gebäudehülle und -technik oder durch Betriebsoptimierung im Bestand ist für die dezentral zu versorgenden Gebiete von besonderer Bedeutung. Mit einer möglichst ehrgeizigen Verringerung des Wärmebedarfs sinken nicht nur allgemein die Kosten für die Umstellung, sondern damit erhöht sich auch die Anzahl der technischen Optionen für die Umstellung auf eine klimagerechte Wärmequelle.

Für die energetische Bilanzierung des Zielszenarios in den Eignungsgebieten für dezentrale Versorgung wurden in Abhängigkeit von lokalen Potenzialen der einzelnen Baublöcke Deckungsanteile für erneuerbare Wärmequellen in folgender Reihenfolge festgelegt:

1. Bestehende Nutzungen von erneuerbaren Quellen (Holz, bekannte Wärmepumpen) oder kleineren Bestandsnetzen / „Wärmeinseln“ wurden beibehalten.
2. Anrechnung des nutzbaren Solarpotenzials für die Wärmeerzeugung durch Solarthermie auf Dachflächen und Power-to-Heat mit PV auf geeigneten Dachflächen und außerhalb von Fernwärmegebieten oder Ausschlussgebieten (Stadtbausatzung).
3. Anrechnung des Geothermiepotenzials mit Erdsonden in den dafür geeigneten Gebieten und außerhalb von Fernwärme-Eignungsgebieten (Wärmepumpen mit JAZ = 4,5)
4. Potenziale für Wärmepumpen mit effizienteren Quellen als Außenluft (JAZ = 4,0) als stufenförmig erhöhter Anteil an der Deckung des noch verbleibenden Bedarfs im Baublock für folgende gewichtete Quellen (max. jedoch 30 %):
 - a. Nicht verortete Nutzung von Technologien wie Eisspeicher in Verbindung mit Außenluft, PVT oder andere (z.B. Abluft-Wärmepumpen)
 - b. Erdwärmekollektoren: Randlege / lockere Bebauung, wenig Versiegelung oder Freiflächen
 - c. Abwärme: Liegenschaften mit Abwärmepotenzial im Baublock oder einem geeigneten Abwasserkanal
 - d. Grundwasserwärme: Rand-/Tallage mit Gewässer (vermuteter hoher Grundwasserspiegel)
5. Zuweisung des verbleibenden Anteils an Außenluft-Wärmepumpen (JAZ = 2,5)

Die räumliche Darstellung der Wärmedichte auf der Ebene von Baublöcken ist im Tübinger Stadtplan zu finden unter: www.tuebingen.de/waermeplanung.

3.3.5 Stadtentwicklung und Neubaugebiete

Auf Grundlage der aus der Stadtplanung erhaltenen Angaben zu vorgesehenen weiteren Erschließungen / Verdichtungen der Bebauung und in bisherigen Konzepten zu Neubaugebieten in Tübingen abgestimmten Kennwerte zu Energiestandard und Wärmebedarf wurden anzunehmende Wärmeverbräuche abgeschätzt. Berücksichtigt wurden Gebiete, für die eine Lokalisierung mit Zuweisung einer Baulandfläche, das Jahr der angestrebten Realisierung und Angaben zu Flächen oder Anzahl von Bewohnern vorlagen. Für das Zielszenario wurden diese Gebiete als Baublöcke in das GIS integriert.

Für die Neubaugebiete wurde im Zielszenario entweder der Anschluss an ein anliegendes Fernwärmeversorgungsgebiet oder ein eigenes Netz auf Basis lokaler Potenziale angenommen.

3.4 Akteure und Beteiligung

Für die Erarbeitung des KWP ist die Identifizierung wesentlicher Akteure und deren angepasste Beteiligung in allen Projektphasen unerlässlich. Insbesondere zur Datenerhebung, Bewertung des Ist-Zustands und der bestehenden Potenziale sowie der abgestimmten Entwicklung des Zielszenarios und der dazu führenden Maßnahmen mit Zeithorizonten und Prioritäten kann nur auf diese Weise eine trag- und umsetzungsfähige Wärmeplanung erstellt werden.

Wesentliche Akteure sind:

- Vertreter der Stadtverwaltung, insbesondere: Stabsstelle Umwelt- und Klimaschutz, Stadtplanung, FAB Nachhaltige Stadtentwicklung, Tiefbau, Hochbauamt, Gebäudemanagement und Energiemanagement, Wirtschaftsförderung, Verwaltung des städtischen GIS
- Energieversorger und Netzbetreiber: Stadtwerke Tübingen
- Verwalter / Betreiber großer oder energetisch bedeutender Immobilienbestände: Universität, Klinikum, Wohnbaugenossenschaften, Großverbraucher aus GHDI, öffentliche Gebäude der Stadt und des Landkreises
- Betreiber von Wärmeerzeugungsanlagen wie große KWK-Anlagen, Biogasanlagen

- Mögliche Lieferanten / Quellen für regenerative Energieträger: Kommunale Servicebetriebe, Holzverarbeitende Betriebe

Ein weiterer Aspekt während der Erstellung des KWP ist die langfristige Vernetzung von Akteuren zur Koordination der laufenden Umsetzung der kommunalen Wärmeplanung als gemeinsame strategische Planungsgrundlage. Dafür müssen geeignete Gremien, Verantwortlichkeiten und Beteiligungsformate entwickelt und abgestimmt werden. Die Stadtwerke und die Stadt Tübingen haben dafür u.a. mit der „Projektgruppe Blau“ und einer neu eingerichteten Fachabteilung für die energetische Stadtentwicklung eine Grundlage geschaffen.

Auf technischer Ebene wurde zwischen Stadtverwaltung und Stadtwerken die Schaffung einer gemeinsamen Datenbasis auf Basis eines GIS-Systems vereinbart, dessen erste Grundlage die Ergebnisse des KWP sein werden.

3.5 Projektablauf

Als Maßnahme aus dem Klimaschutzprogramm Tübingens wurde der Kommunale Wärmeplan bereits frühzeitig abgestimmt und im März 2021 beauftragt. Seit Beginn wurden im Rahmen des Projektmanagements und der Akteursbeteiligung verschiedene Abstimmungen und Veranstaltungen durchgeführt:

Tab. 2: Projektablauf mit wesentlichen Terminen

26.11.2020	Einstimmiger Beschluss des Gemeinderates zum Klimaschutzprogramm 2020 - 2030, einschließlich der Maßnahme W2; I. zur Erstellung eines „strategischen, kommunalen Wärmeplanes“
12.03.2021	Abstimmung mit städtischer Stabsstelle Umwelt- und Klimaschutz zu Auftakt
16.04.2021	Projektauftritt mit Vertretern der Stadtverwaltung, Stabsstelle Umwelt- und Klimaschutz, Stadtwerken
20.04.2021	Vorstellung und Abstimmung des Projekts KWP im „Koordinationskreis Wärme“ der Stadtverwaltung
14.07.2021	Abstimmung mit der Tübinger Wohnungsbaugenossenschaft GWG zum KWP
22.10.2021	Meilensteintreffen zum Stand der Datenerhebung und ersten Auswertungen
23.11.2021	Teilnahme an Netzwerktreffen „Klimapakt Tübingen“ mit Vertretern GHDI
22.12.2021	Abstimmung zu laufendem Quartierskonzept Lustnau für Integration in KWP
15.02.2022	Abstimmung mit den Stadtwerken zur Übergabe von Geodaten zur weiteren Verwendung in der Strategieentwicklung der SWT

16.02.2022	Abstimmung und Workshop mit den SWT zur Bestandsanalyse
02.03.2022	Abstimmung und Workshop mit den SWT zur Potenzialanalyse
08.03.2022	Abstimmung und Workshop mit den SWT zu Zielszenario und Maßnahmen
09.03.2022	Abstimmung zu Inhalten und Formaten des 1. Beteiligungs-Workshop
21.03.2022	1. Beteiligungs-Workshop zu Ist-Zustand, Potenzialen und Maßnahmenentwicklung mit erweitertem Kreis aus Vertretern der Stadtverwaltung und den Stadtwerken
04.04.2022	2. Beteiligungs-Workshop zu Ist-Zustand, Potenzialen und Maßnahmenentwicklung mit Vertretern der Stadtverwaltung, den Stadtwerken, des Landkreises und des Landes (Amt für Vermögen und Bau Baden-Württemberg) sowie der Universität und des Universitätsklinikums (Technisches Betriebsamt)
28.04.2022	Amtliche Bekanntmachung über die Erstellung des kommunalen Wärmeplanes
02.05.2022	Abstimmung mit Stadtverwaltung und SWT zur Verknüpfung von Fokusgebieten des KWP mit aktuellen Themen der Stadtentwicklung / Stadtplanung
01.06.2022	Abstimmung mit SWT und Stadtverwaltung zu künftigen Daten- und Kartengrundlagen (GIS) für eine Koordination von Vorhaben und Maßnahmen im Rahmen des KWP und der Wärmewende in Tübingen
15.07.2022	3. Beteiligungs-Workshop zu Ist-Zustand, Potenzialen und Maßnahmenentwicklung mit Vertretern aus Baugewerbe, Handwerk
08.09.2022	Abstimmung mit den SWT zu Eignungsgebieten für Wärmenetze und der Strategie der SWT zur Transformation der Wärmenetze
08.10.2022	Vorstellung Ergebnisse und Maßnahmen des KWP mit Stadtverwaltung, Stadtwerken und Abstimmung Finalisierung
15.05.2023	Vorstellung im gemeinderätlichen Ausschuss zur Fortschreibung des Klimaschutzprogramms (Klimaschutzausschuss) der Stadt Tübingen

Parallel zur Bearbeitung ergaben sich aus externen Prozessen Einflüsse für die Erstellung des KWP. So standen zum Beispiel die standardisierten Ausgaben aus Kkehrbüchern als bedeutende Quelle erst ab August 2021 zur Verfügung. Eine landesweit einheitliche Studie zu Potenzialen aus Geothermie mit Erdsonden in Bestandsgebieten war erst ab Dezember 2022 verfügbar. Außerdem befanden sich Stadt und Stadtwerke wegen der bereits für 2030 angestrebten Klimaneutralität schon in intensivem Austausch und Planungen zur Energiewende in Tübingen, die in Wechselwirkung mit der Wärmeplanung standen und stehen. Dazu gehören zwei parallel durchgeführte integrierte Quartierskonzepte in den Stadtgebieten Lustnau und Derendingen-Ost. Mit den Zwischenergebnissen aus der Erstellung des KWP konnten diese Prozesse direkt unterstützt werden. Umgekehrt mussten die jeweiligen Rückmeldungen und Ergebnisse wieder in den KWP integriert werden.

3.6 Datenschutz

Nach den Vorschriften zum Datenschutz aus dem Klimaschutzgesetz des Landes wurden in allen Darstellungen gebäudebezogene Angaben in Baublöcken aggregiert. Die Einteilung in Baublöcke als kleinräumige Gliederung wurde von der Stadt Tübingen übernommen und nur für einzelne Baublöcke angepasst, um die geforderte Mindestanzahl von 5 Gebäuden pro Baublock sicherzustellen. Einzelne für den Datenschutz kritische Baublöcke in Randlagen mit wenig Bedeutung für den KWP wurden in Kartendarstellungen ausgeblendet, aber natürlich in allen Bilanzen mitberücksichtigt.

Alle gebäudebezogenen Daten wie zum Beispiel Energieverbräuche, Einschätzungen zum Sanierungspotenzial oder auch Angaben zu Heizungsanlagen pro Gebäude werden vertragsgemäß nach Projektende gelöscht.

4 Bestands-Analysen

4.1 Siedlung und Siedlungsentwicklung

Aus den Daten der Stadt Tübingen zum Gebäudebestand wurden von etwa 30.000 Gebäuden ca. 16.000 Gebäude mit für den KWP relevanten Wärmenutzungen identifiziert. Für diese Gebäude wurde eine gesamte Brutto-Geschossfläche (BGF) von 7,8 Mio. m² ermittelt.

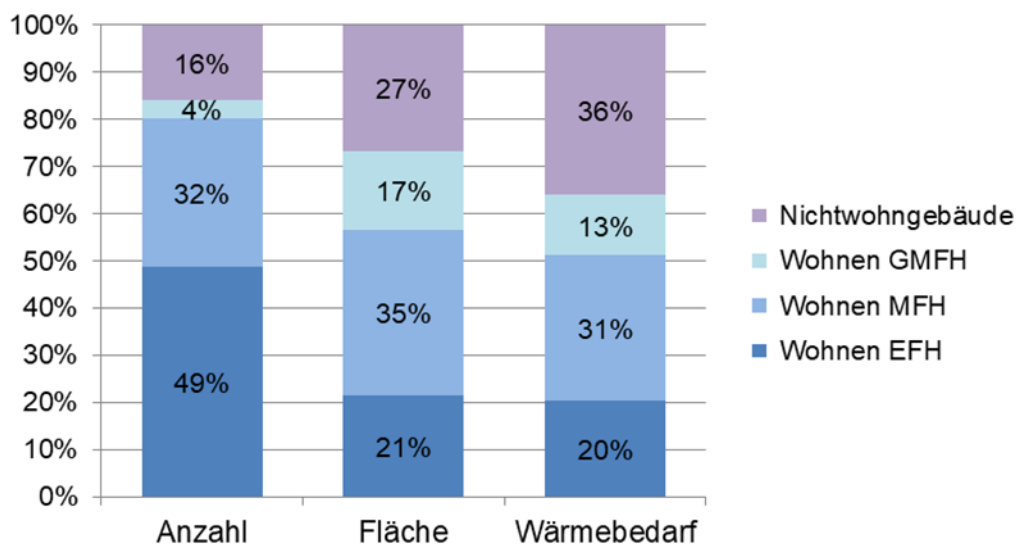


Abb. 3: Verteilung von Gebäudetypen nach Anzahl, Fläche und Wärmebedarf

Die räumliche Darstellung der Gebäudetypen ist im Tübinger Stadtplan zu finden unter: www.tuebingen.de/waermeplanung.

Seitens der Stadt Tübingen wurden die Baualtersklassen von Gebäuden zur Verfügung gestellt und für die Bedarfsermittlung nach Kennwerten verwendet. Die Kartierung der pro Baublock vorherrschenden Baualtersklasse befindet sich im Anhang.

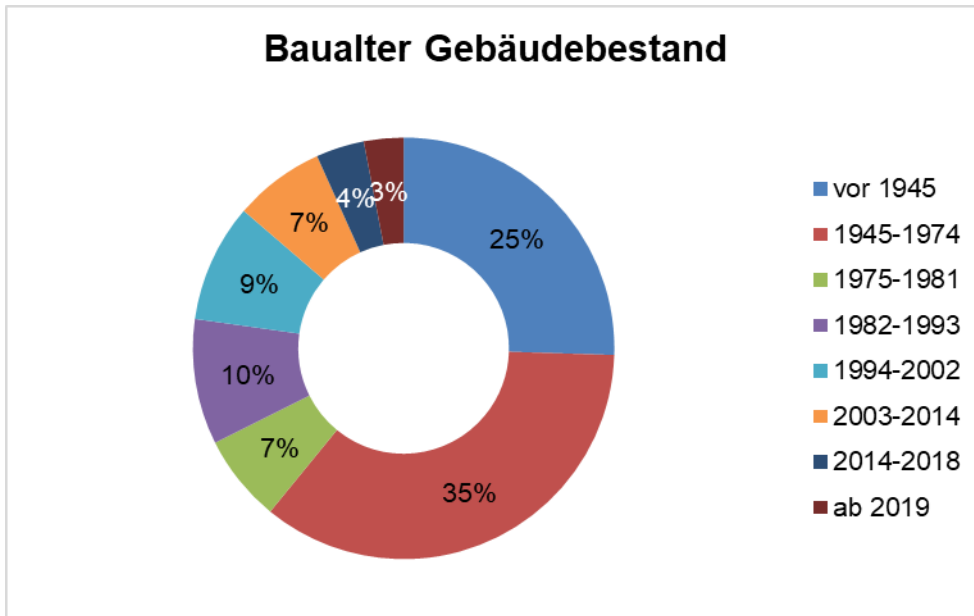


Abb. 4: Verteilung von Baualtersklassen im Gebäudebestand

Bestandteil der Ausgangsdaten waren auch die Nutzungsarten pro Gebäude, die zur Bedarfsermittlung nach nutzungstypischen Kennwerten verwendet wurden. Eine Kartierung der Nutzungsarten pro Stadtteil und Baublock befindet sich im Anhang.

Die räumliche Darstellung der Baualtersklassen ist im Tübinger Stadtplan zu finden unter: www.tuebingen.de/waermeplanung.

4.2 Struktur der Wärmeversorgung

Im Rahmen des KWP wurden umfangreiche Daten zu Energieträgern und der Art der Wärmeversorgung gesammelt, aufbereitet und ausgewertet. Karten mit Verteilungen von Energieträgern, bestehenden Wärmenetzen oder dem Baualter von Feuerstätten befinden sich im Anhang sowie unter: www.tuebingen.de/waermeplanung.

Derzeit werden im Stadtgebiet bereits 40 % des Wärmebedarfs aus Wärmenetzen oder erneuerbaren Energieträgern sowie Abwärme gedeckt.

Der Anteil der heute noch dezentral und fossil betriebenen Wärmeerzeuger (60 %) stellt für die Erreichung der Klimaneutralität das entscheidende Handlungsfeld dar. In den Steckbriefen pro Stadtteil (Kapitel 8.2) sind diese Anteile pro Stadtteil aufgeführt.

Die Wärmeerzeugung in den bestehenden Wärmenetzen aller Betreiber inklusive teilweise geschätzter Leitungs- und Erzeugungsverluste benötigt derzeit etwa 358 GWh/a. Davon stammen etwa 24 % aus regenerativen Quellen oder Abwärme.

Die Stadtwerke Tübingen haben einen Anteil von 50 % an der Wärmeversorgung durch Wärmenetze, die MVV als größter einzelner externer Netzbetreiber weitere 24 %. Der Rest verteilt sich auf kleinere Netze weiterer Betreiber und einzelne Wärmeinseln.

Die räumliche Darstellung von großen KWK-Anlagen (>100kWel.) sowie große Wärme- / Stromerzeuger / Großverbraucher nach dem Anlagenregister 44. BImSchV ist im Tübinger Stadtplan zu finden unter: www.tuebingen.de/waermeplanung.

4.2.1 Feuerstätten aus Kehrbüchern

Die Wärmeerzeuger in Tübingen sind sowohl nach installierter Leistung als auch nach der Anzahl hauptsächlich Heizkessel. Erwartungsgemäß stellen sie im Verhältnis zur Anzahl einen größeren Anteil an der insgesamt installierten Leistung.

Kombiwasserheizer als Kombination einer Therme für Heizzwecke und eines Durchlauferhitzers für die Warmwasserbereitung bilden die zweithäufigste Gruppe. Wegen der Verwendung für kleinere Bedarfe (Einfamilienhäuser, Etagenheizungen) bilden sie auch einen im Verhältnis zur Anzahl kleineren Anteil an der installierten Leistung.

Derzeit sind in Tübingen 124 Blockheizkraftwerke bekannt, die in der Mehrzahl mit Erdgas betrieben werden.

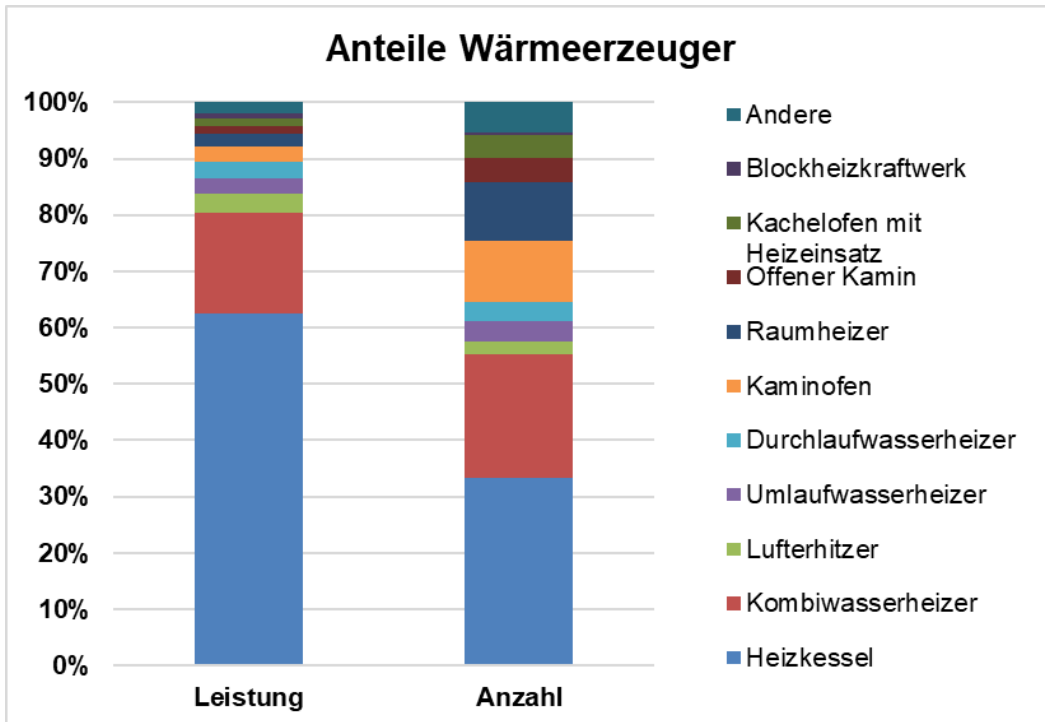


Abb. 5: Anteile der Wärmeerzeuger in Feuerstätten nach Leistung und Anzahl

Nach Auswertung der Baualter von Feuerstätten im Stadtgebiet ist anzunehmen, dass bis 2030 mehr als die Hälfte der Feuerungsanlagen erneuert werden wird (Baualter vor 2010).

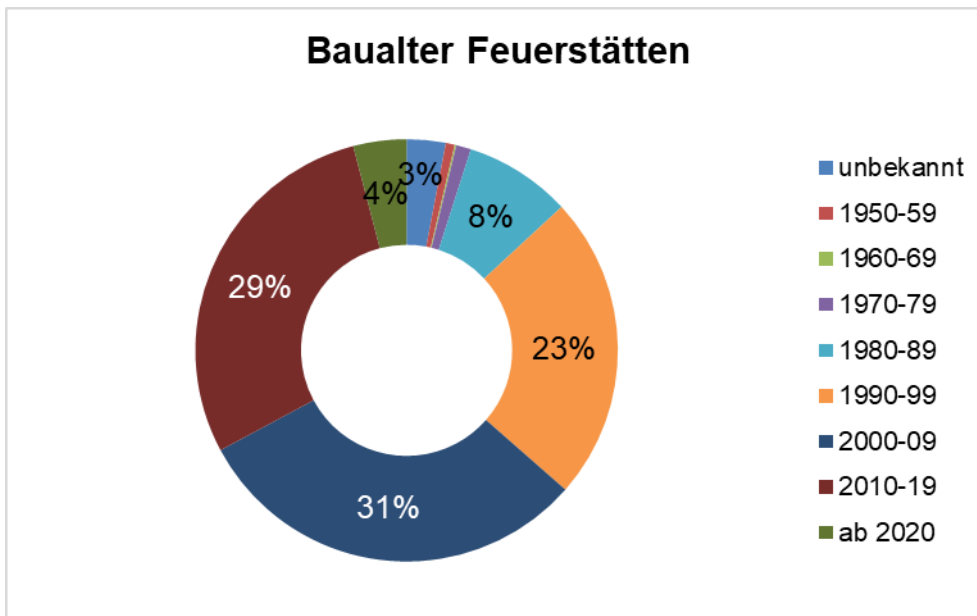


Abb. 6: Verteilung des Baualters von Wärmeerzeugern in Feuerstätten

4.3 Energiebilanz

Für den Ist-Zustand wurden die Wärmebedarfe nach Verwendung und Energieträgern wie folgt ermittelt (Basisjahr 2019):

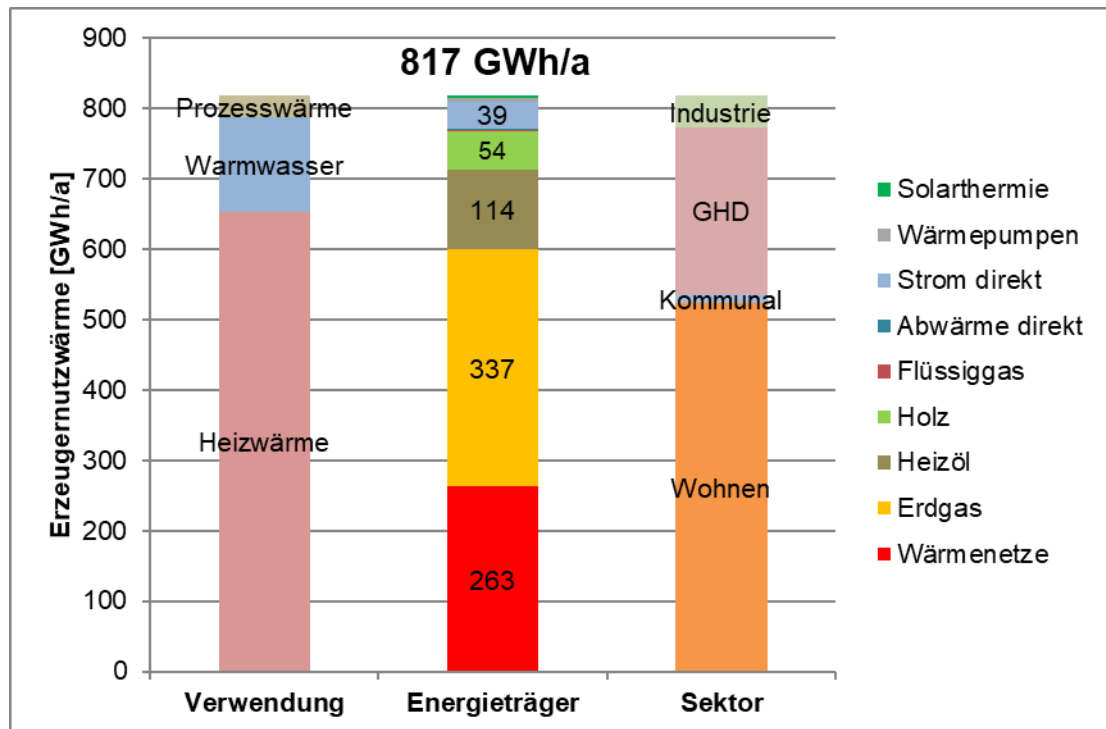


Abb. 7: Energiebilanz nach Verwendung, Energieträger und Sektor im Ist-Zustand

Die räumliche Darstellung der Energieträgerverteilung auf der Ebene von Baublöcken ist im Tübinger Stadtplan zu finden unter: www.tuebingen.de/waermeplanung. Der Wärmeverbrauch wird in Tübingen erwartungsgemäß von Heizwärme- und Warmwasserbedarfen sowie Wohnnutzungen dominiert. Der Sektor Gewerbe-Handel-Dienstleistung (GHD) mit dem zweitgrößten Anteil am Wärmebedarf beinhaltet Gewerbebetriebe und andere Einrichtungen, die nicht dem Sektor Industrie zugeordnet wurden. Darunter fallen vor allem auch Gebäude des Landes Baden-Württembergs (v. a. Universität und Klinikum) und des Bundes (v. a. Forschungsinstitute).

Der Energiebedarf wird zum größten Teil aus fossilen Energieträgern (Erdgas, Heizöl) und dezentral (außerhalb von Wärmenetzen) gedeckt. Durch Wärmenetze wird derzeit ein Anteil von 32% gedeckt, dessen Erzeugung allerdings mehrheitlich auf Erdgas in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen beruht. Erneuerbare Energieträger in dezentralen Anlagen (Holz, Solarthermie, Wärmepumpen und Abwärmenutzungen) machen lediglich knapp 8 % aus.

Zusammenfassend werden damit bereits etwa 40 % des derzeitigen Wärmebedarfs aus Wärmenetzen und Systemen mit regenerativen Quellen oder Abwärme gedeckt.

Die Wärmeerzeugung in den bestehenden Wärmenetzen inklusive Leitungs- und Erzeugungsverluste beträgt derzeit etwa 358 GWh/a. Davon stammen etwa 25 % aus regenerativen Quellen oder Abwärme.

Die Stadtwerke Tübingen mit ihren Netzen haben einen Anteil von 50 % an der Wärmeversorgung durch Wärmenetze, die MVV Energie AG als größter einzelner externer Netzbetreiber weitere 24 %. Der restliche Anteil verteilt sich auf kleinere Netze und Wärmeverbände aus gemeinsam versorgten Gebäuden, soweit sie aus den verfügbaren Datenquellen erkennbar waren.

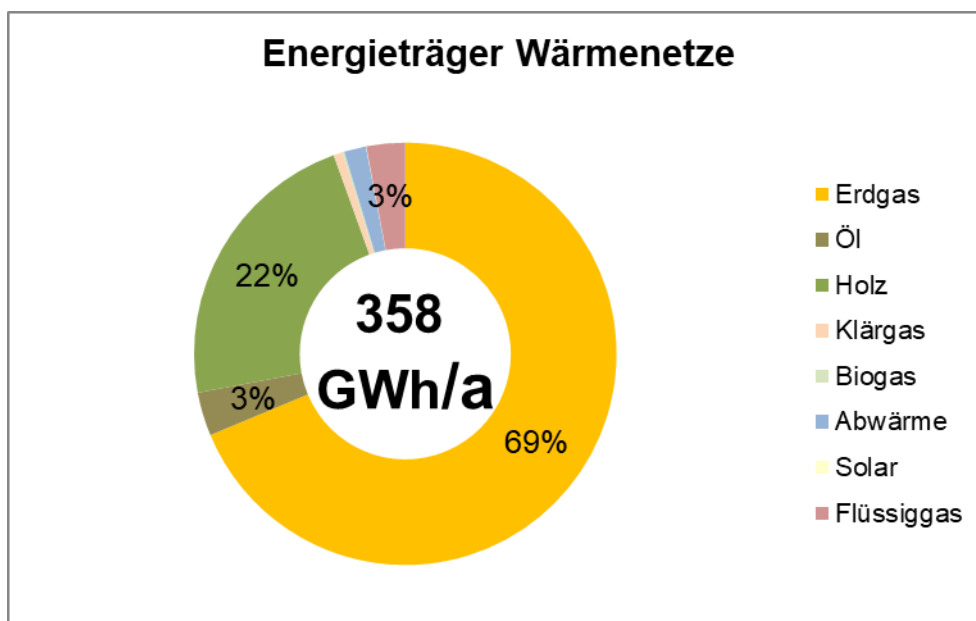


Abb. 8: Aufteilung Energieträger für Wärmenetze

Insgesamt stellt sich die Verteilung der Endenergie (Lieferung an Gebäuden bzw. vor Zentralen) wie folgt dar:

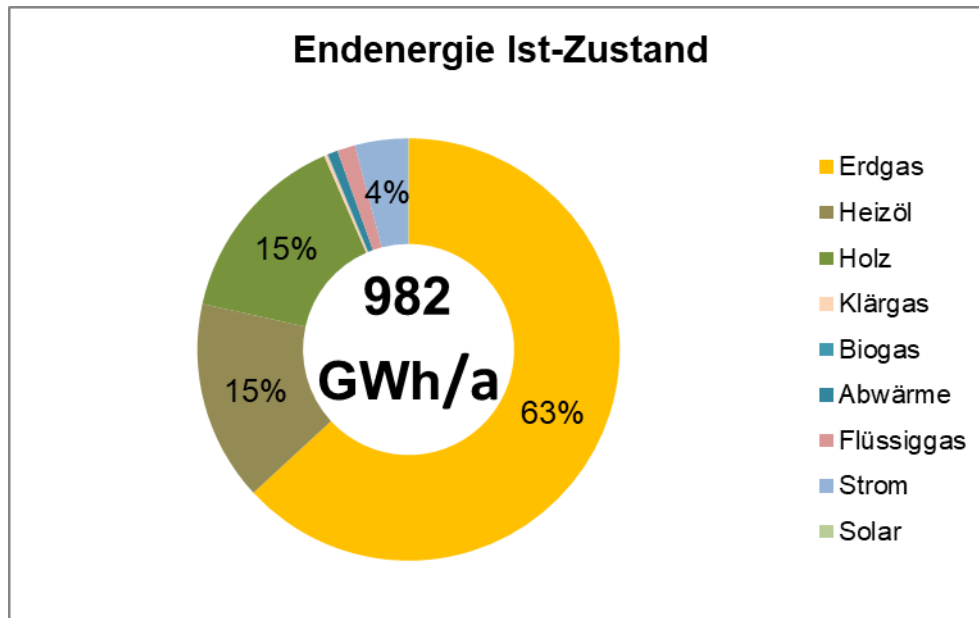


Abb. 9: Aufteilung Energieträger Endenergie gesamt

4.4 Treibhausgasbilanz

Die für die einzelnen Verwendungen und Energieträger anzusetzende Endenergie bildet die Basis für die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen (THG). Danach werden durch die Wärmenutzung in Tübingen derzeit 217 Tsd. t/a an Treibhausgasen (CO₂-Äquivalenten, inkl. Vorketten) verursacht. Den größten Anteil daran haben fossile Brennstoffe wie Erdgas und Heizöl.

Die Betrachtung der THG-Emissionen inkl. Vorketten (also inkl. Bereitstellung, Aufbereitung etc.) bringt es mit sich, dass auch den erneuerbaren Energien Emissionen zuzurechnen sind. Für Wärme aus Klärgas sind das z. B. 51 g CO₂-Äquivalente / kWh nach dem Technikkatalog der KEA.

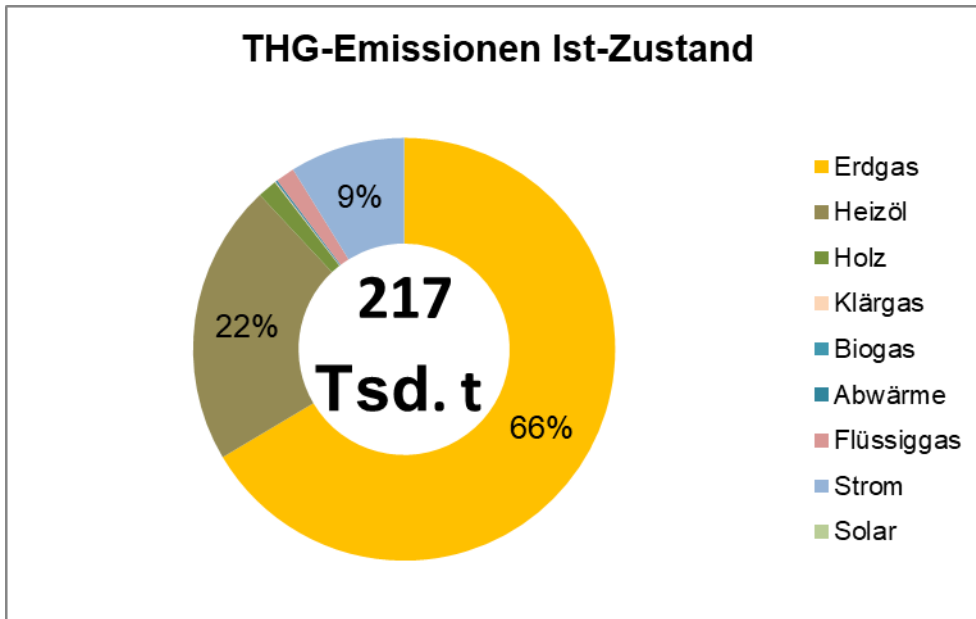


Abb. 10: THG-Bilanz im Ist-Zustand

Die THG-Bilanz nach Sektoren zeigt, dass die meisten Emissionen im Wohn- und im Gewerbe, Handel & Dienstleistungssektor (GHD) zu finden sind.

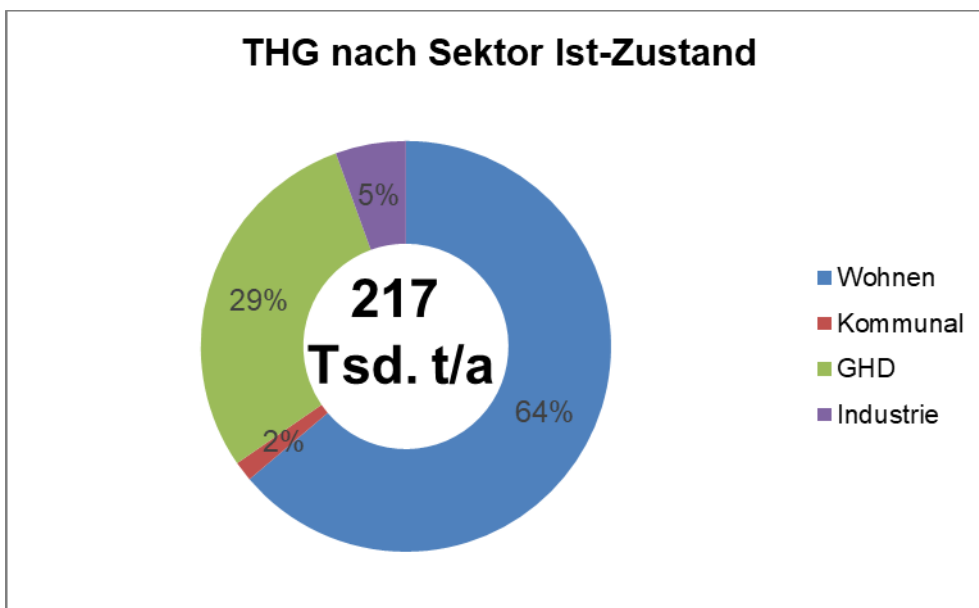


Abb. 11: THG-Bilanz nach Sektor im Ist-Zustand

Für die zentrale Wärmeerzeugung müssen etwa 66 Tsd. t/a an THG-Emissionen veranschlagt werden.

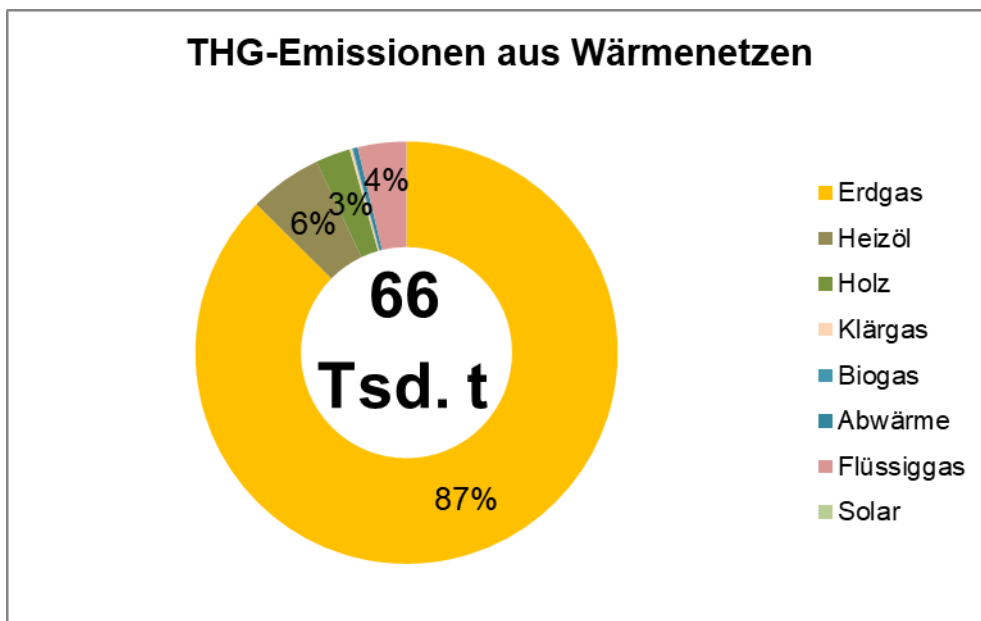


Abb. 12: THG-Emissionen aus Zentralen für Wärmenetze der Stadtwerke, der MVV und von Dritten

5 Potentialanalysen

5.1 Zukünftige Entwicklung des Wärmebedarfs

5.1.1 Senkung des Wärmebedarfs

Die Steigerung der Effizienz in der Wärmenutzung stellt allgemein ein bedeutendes Potenzial dar, dass für Tübingen jedoch nur über einen sehr langen Zeitraum vollständig auszuschöpfen wäre.

Grundlage der Potenzialermittlung sind die nach Baualter und aktuellen Verbrauchsdaten pro Wohngebäude eingeschätzten statistisch möglichen Einsparungen durch energetische Modernisierungen. Für Wohngebäude entspricht das im Mittel einem Bedarf nach dem Förderstandard „Effizienzhaus 55“ der KfW. Bei Nichtwohngebäuden wurden nutzungstypische Zielwerte oder Zielvorgaben der Betreiber für den Bedarfswert im Zielszenario verwendet. Effekte durch eine Verbesserung des Nutzerverhaltens oder einer Betriebsoptimierung der Anlagentechnik sind darin bereits inbegriffen.

Im Rahmen der Akteursbeteiligung wurden sowohl für den Wohnsektor als auch für die Nichtwohngebäude ambitionierte Sanierungsraten von 2 % abgestimmt. Das bedeutet, dass jährlich etwa 2 % der sanierungsfähigen Wohn- und Nichtwohngebäude auf den jeweiligen Zielwert für den Wärmebedarf gebracht werden sollen. Die im bundesweiten Durchschnitt derzeit erreichte Sanierungsrate im Bestand liegt bei ca. 1 %.

Für die Ermittlung der sanierungsfähigen Wohngebäude wurde pauschal eine Schwelle von mindestens 10 % als anzunehmendes Einsparpotenzial an Heizwärme auf einen Zielwert pro Gebäudeklasse festgelegt. Gebäude mit einem Einsparpotenzial über dieser Schwelle wurden als auf den jeweiligen Zielwert „sanierungsfähig“ angenommen. Bei den Wohngebäuden gelten damit 89 % (12.257) als langfristig sanierungsfähig. Für die ca. 2.900 Nichtwohngebäude hängt diese Einschätzung wegen der vielfältigen Energienutzungen und der damit verknüpften Potenziale für Wärmeanwendungen von wesentlich vielfältigeren Faktoren ab. Hier wurden nutzungsspezifische Zielwerte verknüpft mit maximalen Einsparungen pro Gebäude verwendet. Dabei wurden auch bekannte Denkmalschutzanforderungen berücksichtigt.

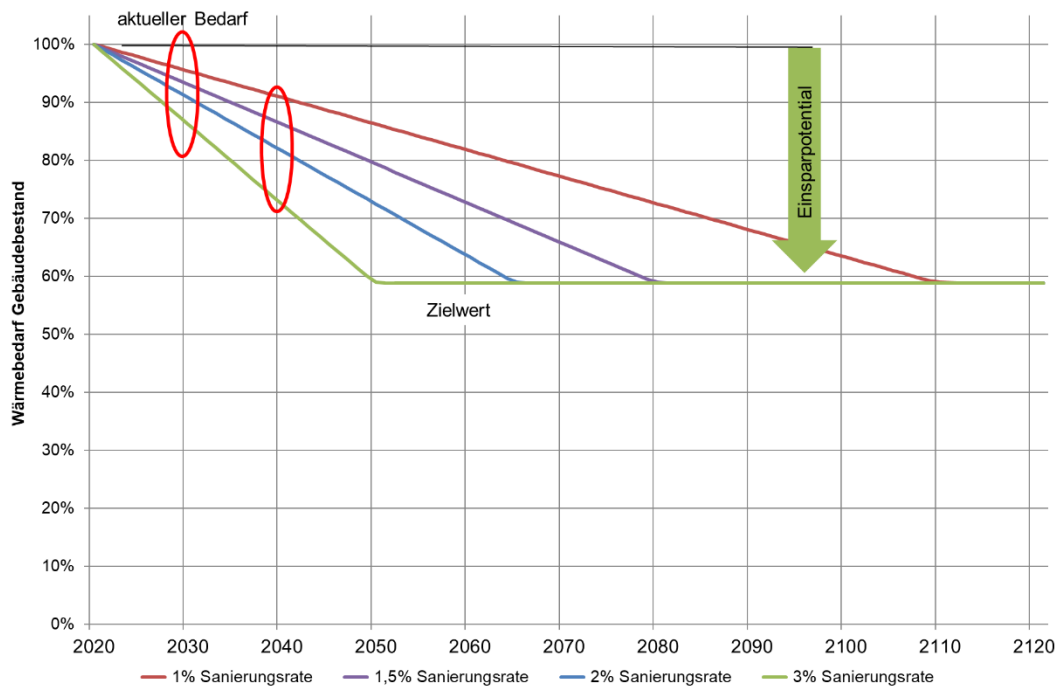


Abb. 13: Senkung des Wärmebedarfs im Bestand abhängig von Sanierungsraten

Ausgehend vom heutigen Bedarf von 817 GWh/a (Erzeugernutzwärmeabgabe) würde sich mit der vereinbarten Sanierungsrate von 2 % für den Bestand bis 2030 ein Bedarf von etwa 741 GWh/a einstellen (Senkung um ca. 9 % und etwa 22 % des Gesamtpotenzials). Bei Fortführung bis 2040, dem Zieljahr des Landes Baden-Württemberg, ergäbe sich eine Senkung um ca. 18 % auf etwa 670 GWh/a (44 % des Gesamtpotenzials). Das gesamte für den derzeitigen Bestand eingeschätzte Einsparpotential wäre bei kontinuierlicher Umsetzung erst etwa im Jahr 2065 erreicht.

5.1.2 Abschätzung der Bedarfsreduzierung durch Klimaerwärmung

Aus der Tendenz der Heizgradtage (HGT_{15}) seit 1995 wurde eine jährliche Senkung des Heizwärmebedarfs um 0,15 %/a abgeleitet. Für das Zielszenario folgt daraus eine anzunehmende Minderung um 1,5 % bis 2030 (ca. 12,3 GWh/a) und 3,0 % bis 2040 (ca. 24,6 GWh/a).

5.1.3 Zusätzlicher Wärmebedarf für Neubauten

Für die bereits geplanten oder als Potenzial ausgewiesenen Neubaugebiete wurden auf Basis vorliegender grober Angaben zu Nutzungen und Flächen sowie des Förderstandards „Effizienzhaus 40“ der KfW die für das Zielszenario anzunehmenden Wärmebedarfe geschätzt. Insgesamt würde sich der Wärmebedarf durch Neubauten um etwa 26,4 GWh/a, d.h. ca. 3,2 % des Ist-Zustands, erhöhen.

5.2 Solarenergie auf Freiflächen

5.2.1 Solarthermische Freiflächenanlagen

Große Solarthermieanlagen in Verbindung mit entsprechenden Speichern stellen wegen der erreichbaren Temperaturen eine leicht zu integrierende regenerative Quelle für Fernwärmenetze dar. In Verbindung mit Wärmepumpen kann auch außerhalb der Zeiten hoher Sonneneinstrahlung weitere Wärme aus dem System entnommen werden.

Für diese Anlagen müssen geeignete Standorte gefunden werden, die nicht nur eine günstige Orientierung aufweisen, sondern auch ohne Konkurrenz zu anderen Nutzungen verwendet werden können. Eine Potenzialkarte der LU-BW zeigt dazu als benachteiligt eingeschätzte Flächen oder Gleis- und Straßenränder mit solarer Eignung. Zusammen mit der notwendigen Nähe zu geplanten Wärmenetzen müssen Standorte für Solarthermie geprüft und gesichert werden.

Im Stadtgebiet sollten v.a. folgende Standorte geprüft und ggf. für eine solarthermische Nutzung gesichert werden:

- Solaranlagen WHO und Schinderklinge lt. Studie solites [Solites 2020]
- Bahnkreuz Derendingen / Saiben
- Hagelloch südlich Schule und Neubaugebiete Ost und Nord
- Unterjesingen Ortsrand Ost mit Neubaugebiet
- Unterjesingen Ortsrand Süd
- Hirschau zwischen Gewerbegebiet Rittweg und Ortskern
- Hirschau Ortsrand West
- Bühl Ortsrand Ost mit Wärmenetz Grotthaus / Läninger
- Bühl südlicher und westlicher Ortsrand
- Weilheim nahe Biogasanlage

Kartenansicht

LU:W

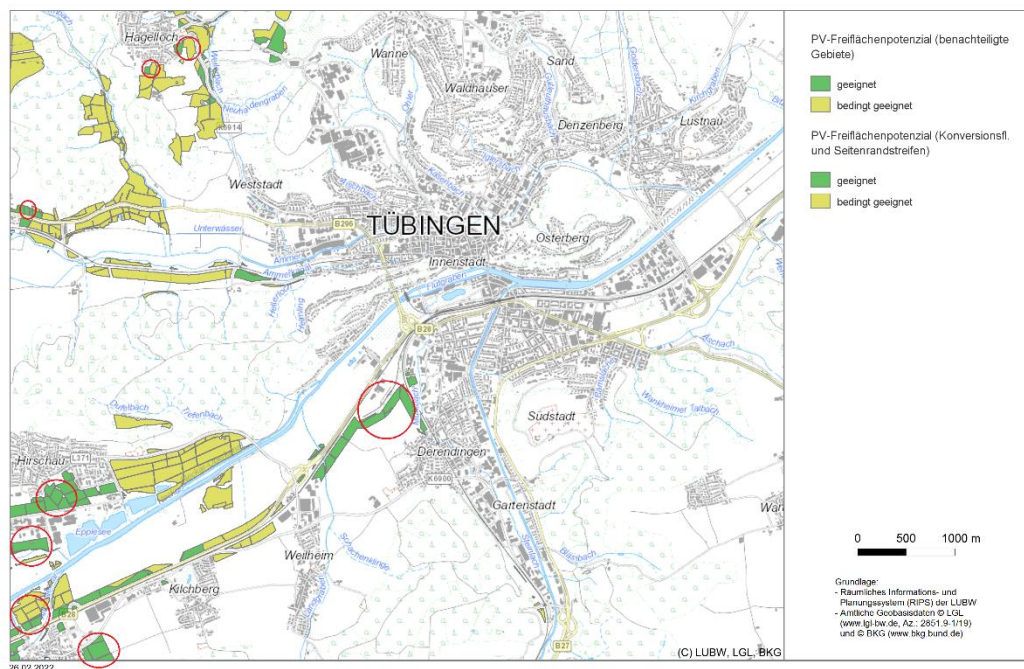


Abb. 14: Zu prüfende mögliche Standorte für Freiflächenanlagen Solarthermie [LU BW FF 2022]

Für die Standorte „Au“ (bereits in der Ausführungsplanung) sowie „WHO“ und „Schinderklinge“ wurden die vorliegenden Potenzialschätzungen von insgesamt ca. 21 GWh/a übernommen [Solites 2020].

Mit den in Abb. 14 dargestellten weiteren möglichen Flächen würden etwa 21 ha Kollektorfläche und ein nutzbarer Ertrag von etwa 80 GWh/a hinzukommen. Insgesamt ergibt sich damit ein Ausbaupotenzial von ca. 100 GWh/a das jedoch sehr stark von der tatsächlichen Verfügbarkeit entsprechender Freiflächen abhängt.

Bei der Flächenermittlung sollte auch die im September letzten Jahres veröffentlichten Planhinweiskarten der Regionalverbände zu PV-Freiflächen herangezogen werden. Darin finden sich weitergehende Flächenausweisungen im gesamten Stadtgebiet die bei günstiger Lage auch für große Solarthermie-Anlagen genutzt werden können.

5.2.2 Photovoltaik-Freiflächenanlagen

Zur reinen Stromerzeugung und Einspeisung können große PV-Anlagen auf sonst nicht nutzbaren Brachflächen, Parkplätzen (Bedachung mit halbtransparenten Modulen), Straßen- oder Gleisrändern errichtet werden. In Verbindung mit landwirtschaftlichen Flächen existieren verschiedene Konzepte für Agro-PV, die eine weitere Nutzung für die Landwirtschaft ermöglichen, jedoch an bestimmte wirtschaftliche Rahmenbedingungen gebunden sind, u.a.:

- Große Flächen senken die spezifischen Installations- und Wartungskosten für die PV-Anlage
- Möglichst hoher lokaler bzw. Eigenverbrauch bei möglichst niedrigen Stromgestehungskosten
- Abwägung des Landwirts hinsichtlich der möglichen Diversifizierung des Einkommens (landwirtschaftliche Produkte und Stromerlöse) bei damit verbundener Minderung der landwirtschaftlichen Erträge.
- Höhere Resilienz bestimmter Kulturpflanzen gegenüber negativen Folgen des Klimawandels.

Die Stadtwerke Tübingen wollen im Rahmen des Ideenwettbewerbs „Agri-PV Traufwiesen“ ab 2024 mit verschiedenen Konzepten Erfahrungen in Betrieb und Umsetzung von Agro-PV-Anlagen sammeln.

Die in Abb. 14 als potenziell solar geeignet dargestellten Freiflächen können auch für große PV-Anlagen in Frage kommen. Zu beachten ist jedoch, dass insbesondere in Nachbarschaft zu möglichen neuen Wärmezentralen die solarthermische Nutzung zuerst berücksichtigt werden sollte (markierte Flächen). Freiflächen-Photovoltaik ist dagegen in der Ortswahl flexibel und technisch nur von der Dimensionierung der örtlichen Infrastruktur zur Stromverteilung abhängig.

Bei der Flächenermittlung sollten auch die im September letzten Jahres veröffentlichten Planhinweiskarten der Regionalverbände zu PV-Freiflächen herangezogen werden. Darin finden sich weitergehende Flächenausweisungen im gesamten Stadtgebiet, die auf ihre tatsächliche Verfügbarkeit zu prüfen sind.

5.3 Solarenergie auf Dächern oder an Fassaden

Durch die technischen Entwicklungen der letzten Jahre erscheinen PV-Anlagen mit in den Speicher integriertem Heizstab und solarthermische Anlagen zur Wärme-gewinnung wirtschaftlich gleichwertig. Abhängig von den jeweiligen Voraussetzungen

können beide Systeme zum Einsatz kommen und haben dabei folgende Vor- oder Nachteile:

Tab. 3: Gegenüberstellung Wärme aus Solarenergie mit PV vs. Solarthermie

Photovoltaik mit Heizstab	Solarthermie
Leichtere Installation	Aufwändige Installation durch Wasserkreislauf und Speicher
Für denselben Ertrag wird mehr Kollektorfläche benötigt; Verschattungen und Orientierung sind entscheidend	Höherer Wirkungsgrad des Kollektors; teilweise Verschattung oder nicht optimale Orientierung sind weniger kritisch
Flexible Nutzung des erzeugten Stroms möglich, nur Überschuss als Wärme im Speicher	Ausschließlich zur Wärmeerzeugung geeignet

Für die Nutzung der Solarenergie im Wärmesektor mit möglichst hohen Deckungsanteilen sind v.a. ein niedriger Bedarf und die darauf abzustimmende Speichergröße und Kollektorfläche sowie deren Orientierung durch eine professionelle Planung wichtig. In durchschnittlichen Einfamilienhäusern mit Kombianlagen sind Deckungsgrade am Gesamtwärmebedarf um 20% üblich. In Passivhäusern können jedoch auch deutlich über 50% erreicht werden.

Für die Potenzialanalyse wurden nur für eine solare Nutzung geeignete Dachflächen außerhalb von Fernwärmeeignungsgebieten und der geschützten Innenstadt (Stadtbildungsatzung) berücksichtigt [LU BW DF 2022]. Je nach Nutzungsart, Wärmebedarf und Größe der solar geeigneten Dachfläche wurde ein realisierbares Potenzial an nutzbaren Wärmeerträgen im Gebäude festgelegt.

Insgesamt beläuft sich das ermittelte Potenzial auf Dachflächen für das Stadtgebiet auf etwa 65 GWh. Für die in Tübingen im Portal „solaratlas.de“ registrierten Solarthermieanlagen kann auf Basis statistischer Kennwerte ein Ertrag von ca. 3,8 GWh/a angenommen werden. Das verbleibende Potenzial für Anlagen auf Dachflächen zur solaren Wärmegewinnung liegt damit bei etwa 61 GWh/a.

Das Potenzial von Fassaden zur Nutzung von Solarenergie kann nicht belastbar abgeschätzt werden. Es ist im Einzelfall abhängig von der Verschattung und möglichst großen zusammenhängenden Flächen an der Fassade. Zuerst eignen sich dafür hohe freistehende Gebäude mit größeren Flächen ohne Durchbrüche (Fenster). Durch die senkrechte Anbringung werden Erträge im Winterhalbjahr begünstigt.

5.4 Abwasserwärmenutzung

5.4.1 Abwasserwärme aus Kanälen

Das in die Kanäle der Stadtentwässerung eingeleitete Abwasser enthält aus der vorigen Nutzung in z. B. Haushalten Wärme, die unter bestimmten Voraussetzungen durch Abwasserwärmenutzungsanlagen (AWNA) nutzbar gemacht werden kann. Gleichzeitig sorgt das umliegende Erdreich für eine gewisse Speicherung aber auch Regeneration der in das Abwasser abgeführten Wärme. Das in den Kanälen transportierte Abwasser stellt damit im Jahresverlauf eine nur gering schwankende Quelle für z. B. Wärmepumpen dar. Ein weiterer Aspekt ist die Möglichkeit der Kühlung, v.a. für Nichtwohngebäude, zunehmend aber auch für Wohngebäude.

Allgemeine Voraussetzungen für AWNA sind:

- Genügende Durchflussmenge und Temperatur, um eine technisch und wirtschaftlich interessante Entzugsleistung zu erzielen
- Zugänglichkeit des Kanals für die Einbringung eines Wärmetauschers
- Nähe potenzieller Abnehmer mit geeigneter Wärme- oder Kältenutzung
- Abstand zwischen den Anlagen zur Regeneration der Abwassertemperatur
- Getrennte Führung von Regenwasser und Abwasser
- Nutzung außerhalb von bestehenden oder geplanten Wärmenetzen

In Tübingen existiert für die Beheizung der Aischbachschule und eines benachbarten Kindergartens bereits eine Abwasserwärmenutzungsanlage (AWNA).

Nach einer vorliegenden Potenzialerhebung [Klinger Partner 2006] sind zwei weitere für eine AWNA interessante Standorte vorhanden:

- Ortsteil Unterjesingen, entlang der Jesinger Hauptstraße, östlicher Ortsausgang
- Weststadt Handwerkerpark, entlang Sindelfinger Straße

Mit den aus der Studie entnommenen Informationen und weiteren Annahmen zur möglichen Temperaturabsenkung sowie Jahresarbeitszahl und Laufzeit einer Wärmepumpe ergeben sich für die genannten Gebiete Potenziale in der Größenordnung von 1 – 2 GWh/a.

5.4.2 Nutzung Abwasserwärme Kläranlage Lustnau

Die Stadtwerke Tübingen befinden sich bereits in der Planung und Realisierung einer Abwärmenutzung im Ablauf der Kläranlage Lustnau. Perspektivisch können dort in Verbindung mit einer Wärmepumpe bis zu 65 GWh/ an Abwärme aus Abwasser genutzt werden.

5.5 Feste Biomasse / Holz

Holz ist der einzige kurzfristig breit verfügbare erneuerbare Energieträger mit der Möglichkeit zur Erzeugung hoher Temperaturen sowie einer gewissen Transport- und Lagerfähigkeit zur überregionalen und zeitlich flexiblen Verwendung. Aus Gründen des Naturschutzes, der Ressourceneffizienz und mit Rücksicht auf die Bedeutung der stofflichen Nutzung von Holz können generell allerdings nur Waldrestholz aus der (nachhaltigen) Forstwirtschaft sowie holzartige Abfälle aus Haushalten, Gewerbe oder der Landschaftspflege für die Wärmeherzeugung verwendet werden.

Das Erreichen der Klimaziele wird deshalb unter anderem von der überregionalen Verfügbarkeit von Holz als Brennstoff und den sich entwickelnden wirtschaftlichen Parametern abhängen. Die lokalen Potenziale auf dem Stadtgebiet Tübingen wurden aus Waldholz, der Landschaftspflege und dem Altholzaufkommen auf insgesamt ca. 20 GWh/a geschätzt. Diese Potenziale werden für den zu erwartenden Bedarf bei Weitem nicht ausreichen und werden derzeit auch bereits verwendet.

Die für Tübingen bis 2030 benötigten Mengen an Holz zur thermischen Verwertung können und müssen daher zum größten Teil aus externen Quellen bzw. auf dem Markt für energetisch nutzbares Holz beschafft werden.

Im Sinne der gesetzlichen Vorgaben handelt es sich dabei um Waldrestholz sowie Altholz. Wegen der Auflagen aus der Immissionsschutzverordnung in Bezug auf Holzheizwerke hängen der Standort und der beabsichtigte Mix aus Holzarten bzw. Quellen stark voneinander ab. Für die kontinuierliche Beschaffung aus möglichst diversifizierten und langfristig gesicherten Bezugsquellen ist ein nicht unerheblicher personeller Aufwand zu berücksichtigen.

5.6 Oberflächengewässer

Generell kann Wärme aus Gewässern v.a. im Sommer und in den Übergangszeiten als Beitrag zur Grundlast genutzt werden, wenn Vorgaben zur maximalen Abkühlung eingehalten werden. Bei zu niedrigen Wassertemperaturen, also zum Höhepunkt der

Heizperiode, kann allerdings nur wenig oder keine Wärme mehr entnommen werden, um eine Vereisung des Wärmetauschers zu vermeiden. Außer technischen Randbedingungen wie dem Jahresverlauf von Temperatur und Wassermenge oder der Nähe zu potenziellen Abnehmern sind in jedem Fall auch die Besitzverhältnisse und ökologische Anforderungen der jeweiligen Standorte und Gewässer zu berücksichtigen.

In Tübingen gibt es mehrere Standorte, an denen eine Wärmegewinnung aus Oberflächengewässern theoretisch möglich erscheint. In der folgenden Darstellung wurden Potentiale anhand anzunehmender mittlerer Durchflussmengen und Abkühlungen unter Nutzung einer üblichen Wärmepumpe grob eingeschätzt.

Tab. 4: Mögliche Standorte für Anlagen zur Wärmegewinnung aus Oberflächengewässern

Standort	Grobschätzung Potential	Besonderheiten / Kommentar
Wasserkraftanlage Rappenberghalde	15-35 GWh/a	Potenziell günstige Bedingungen für Wärmetauscher durch bestehenden langen Einlaufkanal zur Wasserkraftanlage (WKA); Potenzielle Abnehmer oder bestehende Wärmenetze zur Einspeisung sind allerdings nicht in unmittelbarer Nähe. Am ehesten könnte das Freibad bzw. der geplante Schwimmbadneubau auf der anderen Flussseite dafür in Frage kommen. Bei einem Anschluss des Freibads an das Fernwärmenetz der SWT könnte die Wärme als Beitrag zur Grundlast außerhalb des Kernwinters eingespeist werden.
Anlagensee	1,5-3 GWh/a	Bei einer Erneuerung oder Wartung des Ablaufkanals zum Neckar könnte dort ein Wärmetauscher eingebracht werden. Zur Einspeisung der Wärme in das dort bestehende Netz der SWT oder zur Nutzung in einem angrenzenden Gebäude ist ein Standort für eine Zentrale mit Wärmepumpe notwendig.
Wasserkraftanlage Neckarhalde (Stauwehr)	10-20 GWh/a	Vor dem Stauwehr beim Einlauf zur WKA könnte eventuell ein Wärmetauscher eingebracht werden. Es ist ein Standort für eine Zentrale mit Wärmepumpe notwendig, der am ehesten auf der Seite der WKA möglich erscheint. Ein bestehendes Fernwärmeversorgungsgebiet befindet sich jedoch auf der anderen Flussseite bzw. in größerer Entfernung in Richtung Innenstadt. Für den Aufbau eines separaten Wärmenetzes wäre noch eine ergänzende Wärmequelle für die Heizperiode notwendig.

Baggersee Hirschau	k. A.	Zusammen mit den zwischen Industriegebiet Rittweg und dem Ortsteil Hirschau gelegenen Freiflächen könnte der Baggersee einen Beitrag zur Nutzung von Umweltwärme im Industriegebiet oder einem Wärmeverbund am Südrand von Hirschau leisten. Die Nutzung von Erdwärme oder Solarenergie auf den Freiflächen erscheint jedoch leichter umsetzbar als die Nutzung des Gewässers.
-----------------------	-------	--

Im Rahmen des KWP wird angeregt, diese Potentiale in Machbarkeitsstudien zu untersuchen und ggf. weitere Maßnahmen daraus abzuleiten.

5.7 Grundwasser

Die Wärmegewinnung aus Grundwasserbrunnen als Form der Geothermie ist in Tübingen v.a. im Neckar- und im Ammertal westlich der Kernstadt möglich und v.a. für Neubaugebiete oder für kleine Netze im sanierten Bestand sinnvoll. Für die Erschließung eines Neubaugebiets im Ortsteil Bühl wurden durch die SWT mehrere Probebohrungen zur Messung von Wassermenge und Temperatur und der damit möglichen Entzugsleistung durchgeführt. Außerdem kann aus diesen Messungen eine notwendige Entfernung zwischen den Brunnen von ca. 200 m angenommen werden. In der Praxis müssen jedoch für jeden einzelnen Standort mehrere Probebohrungen und Messungen durchgeführt werden, bevor mit dieser Energiequelle lokal überhaupt geplant werden kann.

Als theoretisches Gesamtpotential für Tübingen auf Basis der Messwerte aus Bühl wurde eine Größenordnung von 20 – 30 GWh geschätzt. Dazu wurde auf den potenziell geeigneten Freiflächen eine theoretisch mögliche Anzahl von Brunnen ermittelt und anhand der Entzugsleistung und üblichen Parametern für Wärmepumpe und Vollbenutzungsstundenzahl eine daraus anzunehmende Wärmemenge abgeschätzt.

5.8 Erdwärmesonden

In Verbindung mit Wärmepumpen stellen Erdwärmesonden (EWS) eine Wärmequelle dar, die in Tübingen zumindest für die höheren Lagen verfügbar ist. In den Tal- und Hanglagen sind Sondenbohrungen wegen schwieriger geologischer Verhältnisse und existierender Schutzgebiete entweder generell untersagt oder werden, z.B. wegen begrenzter Bohrtiefen, als ineffizient beurteilt (vgl. Abb. 15).

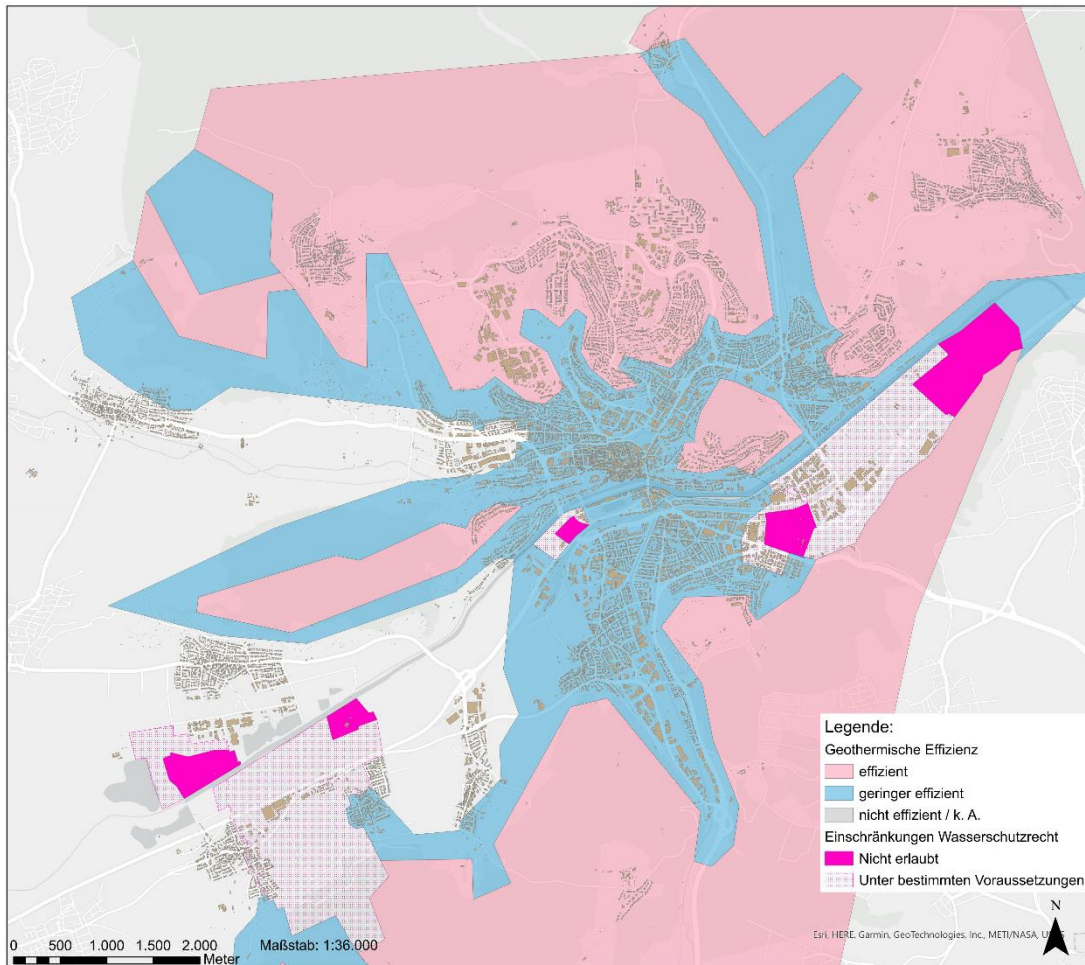


Abb. 15: Geothermische Effizienz und Ausschlussgebiete nach [LRA TÜ Geo 2015]

Aus einer im Auftrag der KEA landesweit durchgeführten Potenzialschätzung für bebaute Gebiete ergeben sich in Tübingen technisch nutzbare Wärmemengen für den Bestand in der Größenordnung von etwa 96 GWh/a [KEA Geo 2022]. Die tatsächlich nutzbare Wärmemenge hängt neben individuellen wirtschaftlichen und technischen Voraussetzungen der Liegenschaft auch davon ab, wo und wie viele weitere Sonden sich in der Nachbarschaft befinden oder ob durch Kühlung außerhalb der Heizperiode eine Regeneration der Bohrung stattfindet. Innerhalb der Fernwärmegebiete dürfte eine Realisierung von EWS im Bestand allein aus wirtschaftlichen Abwägungen heraus unrealistisch sein. Außerdem steht die Geothermie mit EWS für einzelne Liegenschaften im Bestand immer in Konkurrenz zu anderen, ggf. eher zu realisierenden Potenzialen zur regenerativen Wärmeversorgung. Außerhalb der abgestimmten Fernwärme-Eignungsgebiete kann für das Stadtgebiet ein technisches Potenzial von insgesamt ca. 50 GWh/a angenommen werden.

Eine Karte mit vollständiger Darstellung des Geothermiekpotenzials aus Erdsonden im Bestand befindet sich im Anhang.

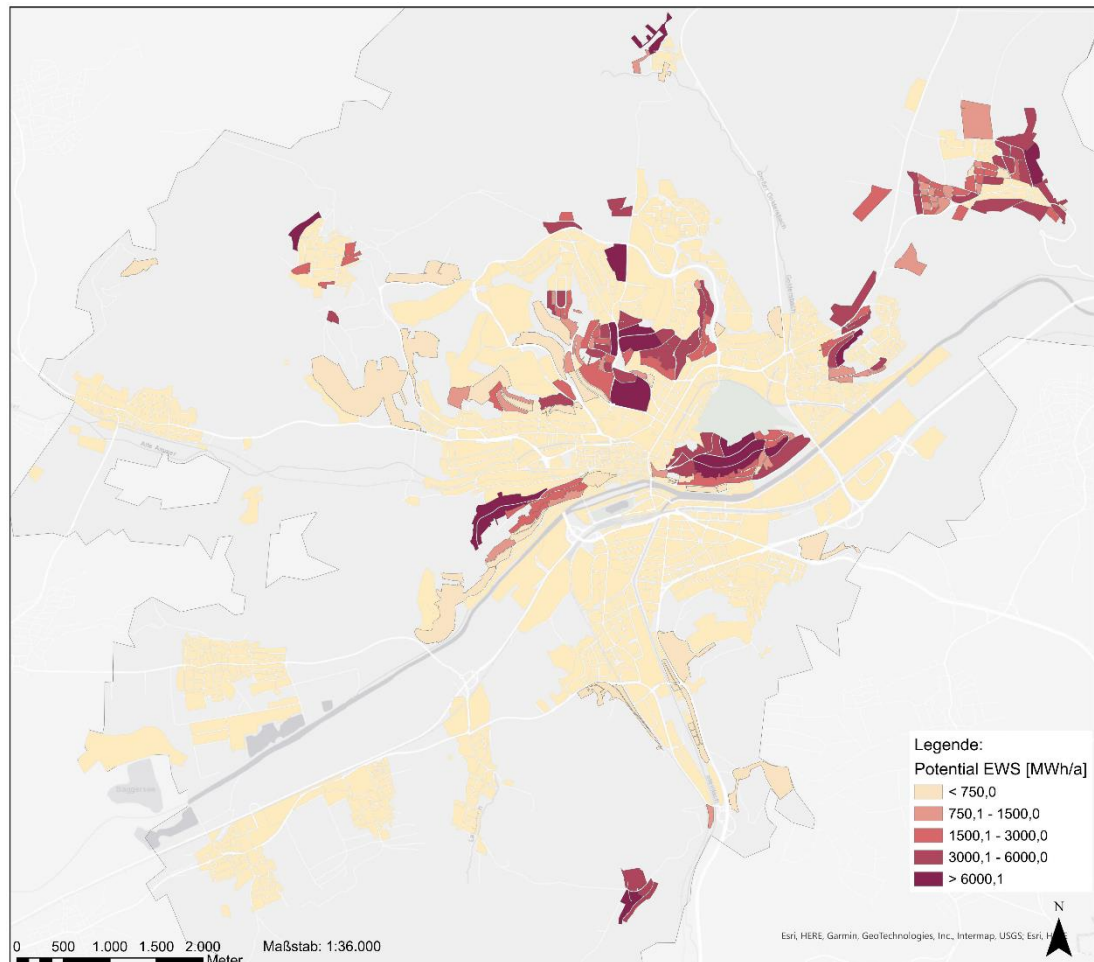


Abb. 16: Potenziale für Erdwärmesonden für Liegenschaften im Bestand und außerhalb von Fernwärme-Eignungsgebieten [KEA Geo 2022]

Für Neubaugebiete in entsprechend geeigneten Lagen kann die Geothermie als Wärmequelle für eine Quartiersversorgung in Frage kommen. Bohrtiefe, Anzahl und Ertrag der dafür benötigten Sonden sowie wirtschaftliche Abwägungen müssen jedoch vor Ort und für die jeweiligen Bauvorhaben konkret festgestellt werden.

5.9 Erdkollektoren / Agrothermie

Die Nutzung von Erdwärme in wenigen Metern Tiefe ist eine Option für Gebiete oder Liegenschaften mit genügend Freifläche zur Installation der notwendigen Kollektoren im Erdreich. Dafür können z.B. Grün- oder Ackerflächen sowie Sportplätze in Frage kommen (die weiter als solche genutzt werden können). Durch den Bedarf an

unverbauter Fläche für die Kollektoren und die notwendige Nähe zu den Abnehmern kommen v.a. Randlagen oder nur locker bebaute Baublöcke als Potentialgebiete in Frage.

Anhand der vorhandenen Ackerflächen und Baublöcke mit günstigen Verhältnissen wurde für Erdkollektoren ein theoretisch vorhandenes Potential in der Größenordnung von 50 – 60 GWh geschätzt.

5.10 Außenluft in Verbindung mit Wärmepumpen

Elektrisch betriebene Wärmepumpen, die Außenluft als Medium nutzen, stellen eine verhältnismäßig leicht zu realisierende Wärmeherzeugung dar, weil die Wärmequelle (Außenluft) sehr kostengünstig zu erschließen ist. Probleme können eventuell durch die Aufstellung der Außeneinheit und damit verbundener Schallemissionen entstehen, insbesondere bei hoher Beanspruchung in der Heizperiode. Außerdem kann aus der Außenluft gerade in der Heizperiode besonders wenig Wärme entzogen werden, wodurch sich die Effizienz der Anlage verringert und der Anteil des Stroms in der gelieferten Wärme stark ansteigt.

Gerade in der Heizperiode, wenn auch regenerativer Strom nur begrenzt erzeugt werden kann, stellt das einen Nachteil für das gesamte Stromnetz dar.

Bei der Gestaltung des Energieträgermix im Zielszenario wurden Außenluft-Wärmepumpen deshalb als letzte Option für dezentrale Heizungsanlagen verwendet. Für Zentralen in Wärmenetzen können jedoch große Luft-Wasser-Wärmepumpen im Rahmen von iKWK-Systemen oder in Verbindung mit großen PV-Anlagen sinnvoll sein, um z.B. Stromüberschüsse wirtschaftlich zu nutzen.

5.11 Abwärme aus industriellen Prozessen und Rechenzentren

Für die potenzielle Nutzung unvermeidbarer Abwärme aus industriellen Prozessen wurden für Feuerstellen Verbrauchsdaten und Leistungsangaben aus den Kehrbüchern ausgewertet. Indizien zur Abwärmenutzung aus Stromanwendungen wurden anhand von Verbrauchsdaten, bekannter Standorte von Rechenzentren sowie im Luftbild sichtbarer großer Rückkühlwerke gewonnen. Mit den dadurch ausgewählten Liegenschaften / Akteuren wurde über Fragebögen oder direkt Kontakt aufgenommen, um die tatsächliche Verfügbarkeit und ein anzunehmendes Potential einzuschätzen.

Aus den aus Fragebögen und Interviews gewonnenen Informationen zeigte sich, dass das größte in Tübingen bekannte Potenzial zur Nutzung von Abwärme aus Feuerstellen bereits durch die Kooperation der SWT mit der Firma Rösch erschlossen wurde (ca. 6 GWh/a). Für die Realisierung weiterer Potenziale, wie z. B. in einer Tübinger Großbäckerei, ist die technische Realisierung aufwändig und auf absehbare Zeit nicht anzunehmen. Für die Liegenschaft der Firma Siemens in Weilheim kann auf Grund der Verbrauchszahlen und der am Standort anzunehmenden Wärmenutzung in industriellen Prozessen von einem Potenzial für eine Abwärmennutzung ausgegangen werden. Da im Verlauf der Konzepterstellung jedoch kein Kontakt zu Stande kam, bleibt die tatsächliche Verfügbarkeit unklar. In anderen befragten Liegenschaften wird das Abwärmepotenzial bereits vor Ort genutzt, soweit dies wirtschaftlich möglich ist.

Für den Standort Obere Viehweide und andere Liegenschaften mit einer hohen zentralisierten Stromnutzung wurde ein Potential zur Abwärmennutzung aus der Kühlung von Rechenzentren in der Größenordnung von 30 GWh abgeschätzt. Die Einspeisung dieser Wärmemenge in ein bestehendes oder neu zu errichtendes Wärmenetz muss durch die SWT noch konzeptionell geklärt werden.

Die Nutzung industrieller Abwärme ist i.d.R. am leichtesten vor Ort durch den jeweiligen Betreiber selbst realisierbar, weil dabei die wenigsten rechtlichen und wirtschaftlichen Hemmnisse und Abhängigkeiten bestehen. Die Wärmewende in den Kommunen und der damit verbundene Ausbau von Wärmenetzen werden jedoch auch die industrielle Abwärme zur Einspeisung in öffentliche Wärmenetze in den Fokus rücken. Die Überwindung von bestehenden rechtlichen und wirtschaftlichen Hemmnissen, sowohl für die beteiligten Firmen als auch für die Kommune, sind am ehesten durch die Kooperation mit kommunalen Stadtwerken als langfristig verfügbarem Partner möglich.

5.12 Biogas / Klärgas

Die in Tübingen anfallenden Mengen aus biologisch verwertbaren Abfällen und Grüngut werden bereits in der Kompostherstellung oder in regionalen Biogasanlagen genutzt.

Für die bestehende Biogasanlage in Weilheim, die bereits eine angrenzende Liegenschaft mit Wärme beliefert, können nach Aussage des Betreibers auf absehbare Zeit keine Ausbaupotentiale angenommen werden. Begründet wird das durch die regional große Flächenkonkurrenz und dem damit verbundenen Rückgang an Substratquellen im Einzugsgebiet. Zu beachten ist dabei auch die für den Betrieb notwendige Mischung aus geeignetem Grüngut, organischen Abfällen, Gülle und Energiepflanzen (z.B. Mais, Zuckerrübe etc.). Wegen der jüngsten Änderung der

politischen Rahmenbedingungen und der günstigen Lage der Anlage zur Versorgung des Ortsteils Weilheim sollte eine Verbesserung der Rahmenbedingungen der Anlage mit dem Ziel der Kapazitäts- und Netzerweiterung jedoch geprüft werden.

Klärgas wird in der Kläranlage Lustnau bereits in einer KWK-Anlage energetisch genutzt. Weitere Potenziale bestehen nicht.

5.13 Power to Gas

Mit „Power-to-Gas“ werden Verfahren bezeichnet, mit denen unter Verwendung von elektrischer Energie, vorzugsweise aus erneuerbaren Quellen, brennbare Gase („EE-Gase“) synthetisiert werden. Die Bedeutung dieser Verfahren für die Energiewende liegt in der Möglichkeit, bisher genutzte fossile Brennstoffe zu ersetzen und überschüssigen Strom aus erneuerbaren Quellen sektorübergreifend zu speichern.

Aus technischen und v.a. wirtschaftlichen Gründen dürften jedoch Brennstoffe aus diesen Verfahren kurz- und mittelfristig ausschließlich für die Sektoren Verkehr und Industrie zur Anwendung kommen. Erzeugung und Nutzung von EE-Gasen werden zuerst lokal, d.h. bei günstiger Nähe zu benötigter Infrastruktur, Potenzialen und Bedarfen stattfinden. Für die Wärmeerzeugung wird die mögliche Verfügbarkeit von EE-Gasen auch langfristig noch auf große KWK-Anlagen in Zentralen von Wärmenetzen beschränkt bleiben, da die bestehenden Erdgas-Netze mit den derzeit vorhandenen Ressourcen und Rahmenbedingungen nicht großflächig mit EE-Gasen gefüllt werden können.

Grundsätzlich wird zwischen zwei Verfahren unterschieden:

- Power-to-H₂: Aufspaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff durch Elektrolyse. Nutzung von Wasserstoff als Brennstoff oder weitere Methanisierung.
- Power-to-CH₄: Methanisierung von Wasserstoff durch Reaktion mit CO₂. Nutzung des erzeugten Gases analog zu bisher verwendetem Erdgas.

Kriterien für geeignete Standorte von Power-to-Gas Anlagen sind:

- Gasnetz zur Einspeisung der erzeugten EE-Gase
- Bereits bestehende Speichermöglichkeiten von Wasserstoff und / oder Methan
- Nähe zu Biogasanlagen oder anderen CO₂-Quellen für eine Methanisierung
- Nähe zu erneuerbaren Stromquellen mit nutzbaren Überschüssen
- Abnehmer für Abwärme und Sauerstoff als Nebenprodukte

- direkte Abnehmer für Wasserstoff und Methan (Industrieanlagen mit Bedarf an Prozesswärme)

Als potenziell günstige Standorte im Stadtgebiet sollten folgende Möglichkeiten geprüft werden:

- Weilheim mit Nähe Biogasanlage und benachbarten solar nutzbaren Freiflächen, Wärmeabnehmer und Gasverbraucher im Industriegebiet (UDO), evtl. Wärmeerzeugung und Abwärmenutzung für künftiges Wärmenetz im Neubaugebiet und im Ortskern
- Hirschau mit solar nutzbaren Freiflächen, Wärmeabnehmer und Gasverbraucher im Industriegebiet, evtl. Wärmeerzeugung und Abwärmenutzung für künftiges Wärmenetz im Ortskern

Die SWT streben bereits die Errichtung einer Pilotanlage zur Erzeugung von Wasserstoff in Tübingen an, um damit zukünftig Stadtbusse zu betanken.

5.14 Potenziale für den Ausbau von Wärmenetzen

Gegenwärtig besteht für etwa 1.500 Gebäude ein Anschluss an die Fernwärmenetze der SWT oder anderer Betreiber. In den heutigen Fernwärme-Versorgungsgebieten sowie den für die Kernstadt und die Teilorte festgestellten Eignungsgebieten befinden sich insgesamt 8.200 beheizte Gebäude. Das Potenzial zusätzlicher Anschlüsse beläuft sich damit auf ca. 6.700 Gebäude.

Von den heute in Tübingen vorhandenen dezentralen Öl- und Gasheizungen liegen 49% (ca. 5.600) innerhalb der Fernwärme-Eignungsgebiete. Je nach den in den jeweiligen Eignungsgebieten in Zukunft erreichten Deckungsanteilen können diese durch Fernwärmeanschlüsse ersetzt werden.

Für die heute durch Wärmenetze gedeckten 263 GWh an Erzeugernutzwärmeabgabe können unter Berücksichtigung bekannter Neubauvorhaben und der angenommenen Minderung des Wärmebedarfs folgende Zuwächse angenommen werden:

Tab. 5: Prognose Entwicklung Fernwärme für Zielszenario 2030 und darüber hinaus (2040)

	Gesamt [GWh]	Fernwärme [GWh]	Andere [GWh]	Anteil Fernwärme
Ist-Zustand	817	263	555	32%
2030	741	285	456	38%
2040	690	352	338	51%

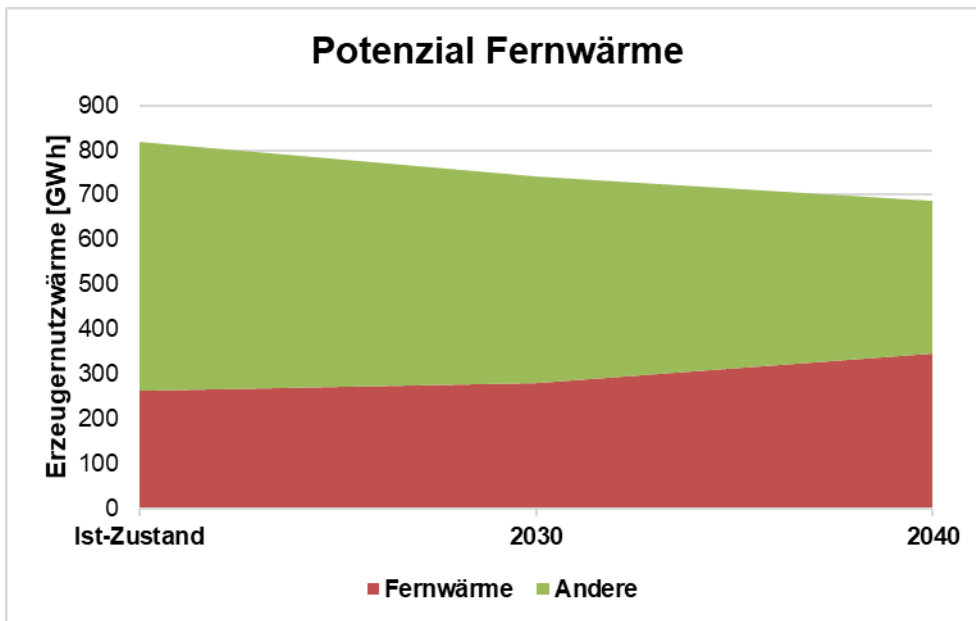


Abb. 17: Deckungsanteil Fernwärme und Bedarfsentwicklung 2030 sowie 2040

Zusammen mit der Ausbaustrategie der SWT für die großen Netze in der Kernstadt (neuer Netzverbund Süd und Netz WHO) werden Zielvorgaben für den künftigen Wärmeabsatz von ca. 300 GWh/a diskutiert. Dabei sind Übertragungsverluste enthalten, jedoch keine Einsparungen.

5.15 Windkraftanlagen

Insbesondere in der Heizperiode stellen Windkraftanlagen einen notwendigen Baustein der Stromversorgung aus regenerativen Quellen dar. Dabei ergänzen sich die Erzeugungsprofile von PV und Windkraft gut. Während PV sein Maximum im Sommerhalbjahr hat, hat die Windkraft ihres im Winterhalbjahr.

Durch die im Zielszenario anzunehmenden Deckungsanteile von elektrisch betriebenen Wärmepumpen und den dadurch zu erwartenden zusätzlichen Strombedarfen kommt dem Ausbau der regenerativen Stromerzeugung mit Erträgen in der Heizperiode eine Schlüsselrolle für die Wärmewende zu.

Die Stadtwerke Tübingen sind bereits in der Erkundung von möglichen Standorten und Beteiligungen an Windkraftanlagen aktiv.

5.16 Externe klimaneutrale Stromerzeugung

Der für die Klimaneutralität Tübingens notwendige Bezug von regenerativ erzeugtem Strom oder den daraus generierten Mengen an erneuerbaren Gasen („grüner Wasserstoff“) kann nicht innerhalb des Stadtgebiets realisiert werden. Die dafür notwendigen Flächen für z. B. Windkraftanlagen oder große PV-Anlagen stehen nicht zur Verfügung und müssen deshalb außerhalb des Stadtgebiets gefunden werden. Die Stadtwerke Tübingen sind bei der Realisierung und Beteiligung an Anlagen zur regenerativen Stromerzeugung im Bundesgebiet bereits aktiv.

Der durch die künftigen Wärmepumpen in dezentralen Heizungsanlagen zu erwartende zusätzliche Strombedarf liegt für die im Jahr 2030 angestrebte Klimaneutralität bei ca. 92,5 GWh/a. Bei fortschreitender Bedarfsminderung durch Sanierung und weiterem Ausbau der Wärmenetze bis 2040 beträgt dieser Bedarf ca. 61,5 GWh/a.

Für Groß-Wärmepumpen in den für 2030 angenommenen Zentralen entsteht ein Strombedarf von ca. 20 GWh/a. Bis 2040 würde der Bedarf unter diesen Voraussetzungen auf voraussichtlich 25 GWh/a wachsen.

Um künftig auch wachsende Überschüsse an regenerativem Strom zu erzeugen, die z. B. zur Generierung von erneuerbaren Gasen („grüner Wasserstoff“) zur Verfügung stehen oder wirtschaftlich für Groß-Wärmepumpen in Wärmenetzen genutzt werden können, sollte die Zielgröße aus dem Klimaschutzkonzept der Stadt von ca. 300 GWh/a an Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen weiterverfolgt werden.

Die künftige bilanzielle Deckung des Tübinger Bedarfs an erneuerbarem Strom muss insgesamt mit folgenden Sektoren abgestimmt werden:

- Elektro-Mobilität und Elektrifizierung industrieller Anwendungen (Prozesswärme)
- Erzeugung von erneuerbaren Gasen („grüner Wasserstoff“) für Industrie, Verkehr und große KWK-Anlagen in Wärmenetzen
- Betrieb von Wärmepumpen, insbesondere zur Heizperiode

5.17 Zusammenfassung Potenziale

Im Stadtgebiet verfügbare Potenziale bestehen hauptsächlich in der Nutzung von:

- Solarenergie zur Wärme- und Stromerzeugung,
- Allgemeine Bedarfssenkung durch Modernisierung des Bestands sowie Betriebsoptimierung und Nutzersensibilisierung
- Umweltwärme in Verbindung mit Wärmepumpen (Erdwärme, Grundwasser, Außenluft) oder
- Abwärme aus Abwasser, industriellen Prozessen oder der Stromnutzung in Rechenzentren, i.d.R. ebenfalls in Verbindung mit Wärmepumpen.

Mit Hilfe erneuerbarer Energien hergestellte Brennstoffe (v.a. Wasserstoff) können technisch und wirtschaftlich nicht in ausreichender Menge lokal produziert werden und werden auch bis 2030 nicht überregional zur Verfügung stehen. Bis dahin verfügbare Mengen werden darüber hinaus zuerst für industrielle Prozesse oder im Verkehrssektor eingesetzt. Langfristig könnten aber bestehende große KWK-Anlagen in Wärmezentralen auf Wasserstoff vorbereitet und im Rahmen von iKWK-Konzepten in Verbindung mit lokalen regenerativen Quellen und Groß-Wärmespeichern weiterhin genutzt werden.

Biomasse (v.a. Holz) zur thermischen Verwertung steht sowohl regional als auch im Rahmen des überregionalen Marktes prinzipiell zur Verfügung. Beschränkt wird die Nutzung allerdings durch wirtschaftlich relevante Förderrichtlinien und das generelle Bestreben der Gesetzgebung, die energetische Nutzung auf Alt- und Waldrestholz auf dem derzeitigen Niveau zu beschränken.

Für den technisch und wirtschaftlich erfolgreichen Einsatz erneuerbarer Energien im Gebäudebestand sind ehrgeizige Modernisierungen mit dem Ziel der Wärmebedarfssenkung anzustreben. Das gilt insbesondere für auch künftig dezentral versorgte Liegenschaften aber prinzipiell auch für die über Wärmenetze versorgten Gebiete. In jedem Fall wird dadurch die Realisierung einer regenerativen Wärmeversorgung aus lokalen Quellen erleichtert.

Tab. 6 fasst lokale Potenziale, für die eine Abschätzung vorgenommen wurde, zusammen. Die dargestellten Potenziale unterscheiden sich stark hinsichtlich der Qualität der dafür verfügbaren Quellen und der Belastbarkeit der zur Abschätzung notwendigen Annahmen. Außerdem ist zu beachten, dass die Potenziale ggf. untereinander um Flächen konkurrieren und auch nicht technisch oder wirtschaftlich gleichwertig erschlossen werden können.

Die in Tab. 6 dargestellten Potenziale stellen Ausbau-Potenziale dar, bereits erschlossenen Anteile sind nicht enthalten.

Tab. 6: Abschätzungen für lokale Potenziale in Tübingen

Art / Energieträger	Potenzialschätzung
Solarthermie-Freiflächenanlagen	100 GWh/a
Einsparungen durch Effizienzmaßnahmen bis 2030	73 GWh/a
Solarenergie auf Dachflächen zur direkten Wärmeerzeugung	61 GWh/a
Abwasserwärme Kläranlage Lustnau	65 GWh/a
Erdkollektoren / Agrothermie	50 – 60 GWh/a
Geothermie mit Erdwärmesonden im Bestand ³	50 GWh/a
Abwärme aus industriellen Prozessen / Rechenzentren	36 GWh/a
Oberflächengewässer	26 – 58 GWh/a
Lokale Biomasse (Holz) aus Waldbewirtschaftung und Landschaftspflege (derzeit im Landkreis genutzt)	20 GWh/a
Grundwasserwärme	20 – 30 GWh/a
Abwasserwärme aus Kanälen	1 – 2 GWh/a

³ Außerhalb von Fernwärmegebieten

6 Zielszenario 2030 und 2040

Ziel der Kommunalen Wärmeplanung in Baden-Württemberg ist es, Maßnahmen mit dem Ziel der Klimaneutralität bis 2040 zu entwickeln.

Zusätzlich hat sich Tübingen mit seinem im Tübinger Gemeinderat im November 2020 beschlossenen Klimaschutzprogramm bereits das Ziel der Klimaneutralität bis zum Jahr 2030 gesetzt und dazu auch die Erstellung eines KWP's beschlossen. Mit dem KWP Tübingen soll für das Zieljahr 2030 sowie für das Zieljahr 2040 entsprechende Szenarien mit den dafür notwendigen Maßnahmen im Wärmesektor aufgezeigt werden.

6.1 Voraussetzungen und Annahmen

Die im KWP beschriebenen Szenarien für die Klimaneutralität im Jahr 2030 und 2040 gehen von folgenden Punkten aus, mit denen sich die im Folgenden dargestellten Maßnahmen ergeben:

- Technische und wirtschaftliche Verfügbarkeit externer Ressourcen an Holz und grünem Strom für die Wärmeerzeugung
- Kompensationsmöglichkeiten zur bilanziellen Erreichung der Klimaneutralität, insbesondere vor Erreichen der Klimaneutralität im Bundesstrommix.
- Eine angesichts der bestehenden Hemmnisse ehrgeizige Vorgabe zur Sanierungsrate im Bestand von 2 % der sanierungsfähigen Gebäude pro Jahr auf ein Niveau des Förderstandards KfW-Effizienzhaus 55 bei Wohngebäuden und ähnlich ambitionierte Vorgaben für Nichtwohngebäude.
- Umsetzung des Transformations- und Ausbauplans der SWT für ihre bestehenden Wärmenetze.
- Zügige Erhöhung der Anschlussquoten in den bestehenden Versorgungsgebieten der SWT sowie neu erschlossenen Quartieren bis 2030 und darüber hinaus.
- Konzeption und Umsetzung von neuen Wärmenetzen in den Ortsteilen zur klimaneutralen Wärmeversorgung
- Konsequente Erschließung lokaler Umweltwärme für dafür geeignete bestehende Wärmezentralen, Bestands- und Neubaugebiete
- Weitere Erschließung von geeigneten Freiflächen für die Nutzung von Solar-energie zur Wärme- und Stromerzeugung

- Förderung / weiterer Ausbau der Solarenergienutzung für Wärme und Strom auf Dächern
- Förderung von Wärmepumpen mit Quellen zur möglichst effizienten Wärmeerzeugung, d.h. alle Quellen außer Außenluft und / oder in ehrgeizig sanierten Gebäuden
- Einstieg in die Produktion von biogenen Gasen bzw. Wasserstoff
- Keine Steigerung des Holzanteils in dezentralen Wärmeerzeugungsanlagen

6.2 Optionen für die künftige Wärmeversorgung

Grundsätzlich erfolgt durch den KWP die Identifikation von Eignungsgebieten für eine zentrale Wärmeversorgung, in denen die Bedingungen für den Aufbau oder die Erweiterung von Fernwärmenetzen nach allgemeinen technischen und wirtschaftlichen Kriterien günstig sind (vgl. Kapitel 3.3.3). Für Bestandsgebiete mit Eignung für Fernwärme wurde darüber hinaus eine für das Zielszenario als erreichbar anzunehmende Anschlussquote abgestimmt. Das bedeutet, dass auch in Fernwärme-Eignungsgebieten des Zielszenarios weiterhin dezentrale Anlagen betrieben werden können – diese jedoch je nach lokalem Potenzial des Baublocks mit erneuerbaren Energiequellen.

Für Liegenschaften außerhalb der Fernwärme-Eignungsgebiete werden im Zielszenario entsprechend des lokalen Potenzials erneuerbare Wärmequellen festgelegt. Darin inbegriffen sind mögliche kleine Wärmeverbünde („Wärmeinseln“) und die Verteilung von Umweltwärme durch Netze mit „kalter Nahwärme“ in dafür geeigneten Quartieren.

6.3 Strom für Wärmepumpen

Vor allem die elektrisch betriebenen Wärmepumpen werden in Zukunft die bisherigen fossilen Feuerstellen ersetzen, wenn keine Möglichkeit für einen Fernwärmeanschluss oder eine andere erneuerbare dezentrale Lösung besteht. Abhängig von der für die jeweilige Wärmepumpe zur Verfügung stehenden Wärmequelle wird dadurch gerade während der Heizperiode ein zusätzlicher Strombedarf generiert, der langfristig regenerativ zu decken ist.

Dieser zusätzliche Strombedarf steht gerade während der Heizperiode in Konkurrenz zur ebenfalls angestrebten E-Mobilität und der Elektrifizierung von industriellen Prozessen. Für die zukünftige Infrastruktur zur regenerativen Erzeugung und

Verteilung des Stroms stellen diese Randbedingungen eine Herausforderung dar. Daher sollten zur Begrenzung des für Wärmepumpen zu erwartenden Strombedarfs folgende Leitlinien für die breite Umstellung auf Wärmepumpen berücksichtigt werden:

- Möglichst ehrgeizige Bedarfssenkung, z.B. durch Modernisierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle
- Nutzung von Wärmequellen, die im Gegensatz zu Außenluft eine höhere Effizienz des Heizsystems ermöglichen:
 - Erdwärme (Sonden, Kollektoren)
 - PVT (Nutzung Abwärme Photovoltaik durch Wärmepumpe)
 - Eisspeicher (Regeneration z.B. durch Abwärme oder Außenluft)
 - Abwärme aus industriellen Prozessen, Abgas, Abluft oder Abwasser
 - Grundwasser (Brunnen mit Wärmetauscher und Wärmepumpe)

Für das Zielszenario wurde pro Baublock die Verfügbarkeit der genannten Wärmequellen qualitativ eingeschätzt und daraus eine zukünftige Aufteilung in Wärmepumpen mit Außenluft und solche mit effizienteren Quellen festgelegt.

In Baublöcken mit Eignung für Erdwärme (Kollektoren oder Erdwärmesonden), Grundwasserwärme, Abwärme aus Industrie oder Abwasser sowie eines nicht näher zu verortenden Anteils an z. B. Eisspeichern mit Regeneration durch Außenluft oder PVT-Anlagen wurden entsprechend höhere Anteile an dezentralen Wärmepumpen mit besseren Jahresarbeitszahlen (JAZ) für das Zielszenario angenommen („Wärmepumpen effizient“ in Abb. 2).

Im Ergebnis wurden für das Stadtgebiet folgende Strombedarfe für Wärmepumpen ermittelt:

Tab. 7: Strombedarf für Wärmepumpen 2030 und 2040

Quelle für Wärmepumpe	JAZ	Strombedarf 2030 [GWh/a]	Strombedarf 2040 [GWh/a]
Außenluft dezentral	2,5	74,0	47,4
Umweltwärme dezentral	4,0	12,1	8,1
Erdsonden dezentral	4,5	7,5	7,0
Groß-Wärmepumpen in Zentralen	3,0	20,0	25,2
Summe:		114	88

6.4 Energiebilanz im Zielszenario 2030

Der im Stadtgebiet anfallende Wärmebedarf teilt sich im Zielszenario (2030) wie folgt nach Energiequellen auf:

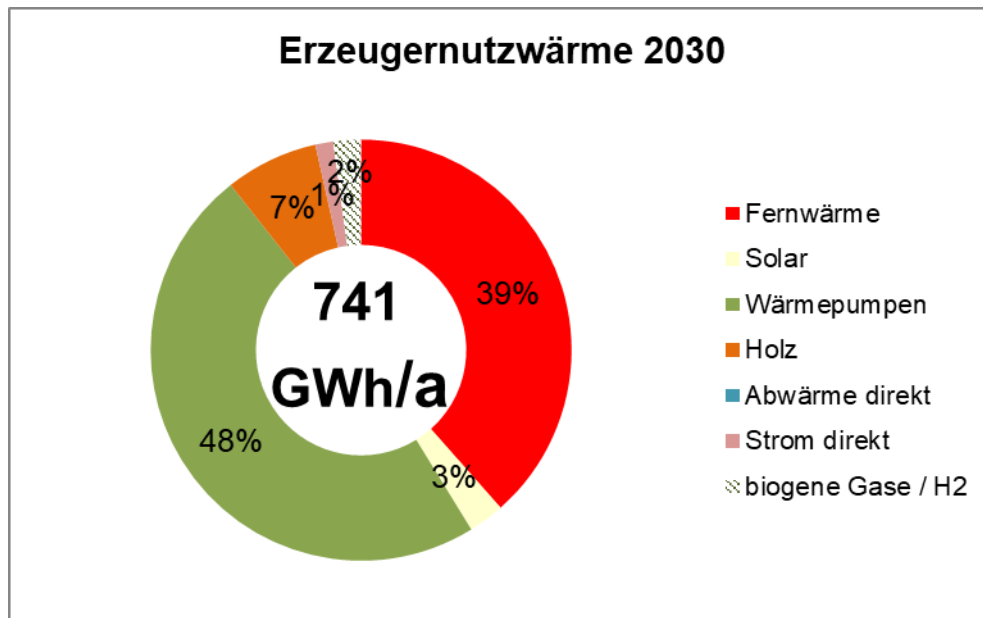


Abb. 18: Anteile Energieträger Erzeugernutzwärme Zielszenario 2030

In dem Anteil von 48 % für dezentrale Wärmepumpen in Abb. 18 ist mit der Erzeugernutzwärmeabgabe auch der Anteil der durch die Wärmepumpe genutzten Umweltwärme enthalten.

Den Endenergiebedarf an Wärme und die Aufteilung auf Energieträger für das Zielszenario 2030 zeigt Abb. 19. Grundlage ist die Erzeugernutzwärme zuzüglich der Verluste durch die jeweiligen Erzeuger im Gebäude und abzüglich des Umwelt- / Abwärmeanteils bei Wärmepumpen – also der Endenergiebedarf. Der Wärmepumpenanteil entspricht damit nur noch dem Stromeinsatz als anzusetzende Endenergie. Dabei wurde je nach lokalen Potenzialen pro Baublock zwischen Wärmepumpen mit Außenluft als Energiequelle (JAZ = 2,5) und solchen mit effizienteren Quellen unterschieden (JAZ = 4,0). Potenziale für Wärmepumpen in Verbindung mit Erdwärmesonden wurden mit JAZ = 4,5 aus der von der KEA beauftragten landesweiten Studie übernommen.

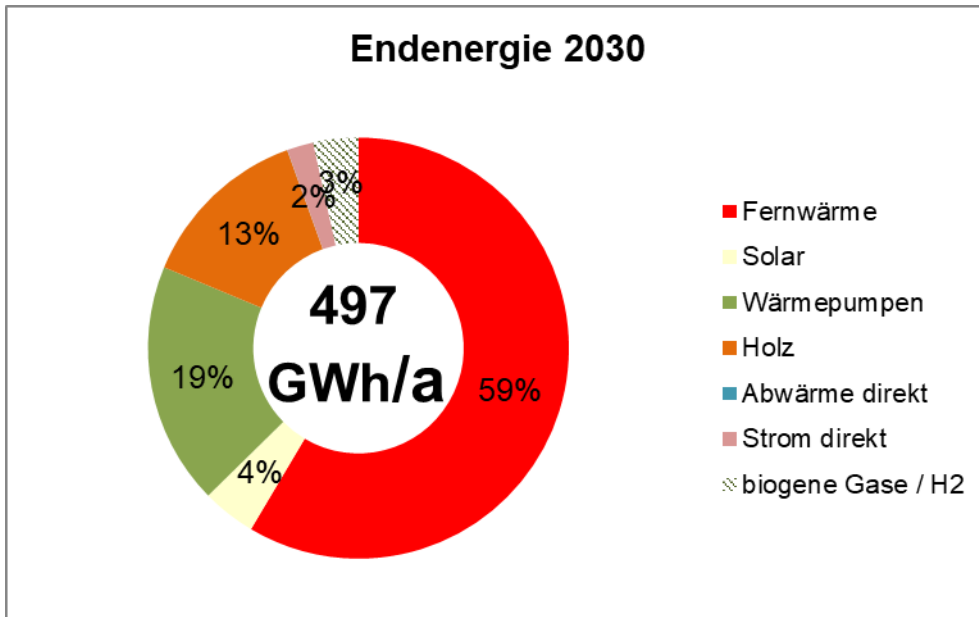


Abb. 19: Anteile Energieträger Endenergie Zielszenario 2030 (Wärmepumpen nur Stromanteil)

Für den Energieträgermix der Fernwärmeerzeugung wurden mit den SWT abgestimmte Anteile für Holz, Solarwärme und Abwärme für die einzelnen Versorgungsgebiete der Kernstadt zu Grunde gelegt. Für neue Wärmenetze, v. a. in den Teilorten, wurden anhand lokaler Potenziale anzunehmende Deckungsbeiträge geschätzt. In allen Fällen wurde der fehlende Deckungsbeitrag zum Gesamtbedarf in Abhängigkeit von der jeweils prognostizierten Versorgungsquote des Versorgungsgebiets im Zielszenario durch erneuerbare Gase bzw. grünen Wasserstoff ergänzt („EE-Gase“).

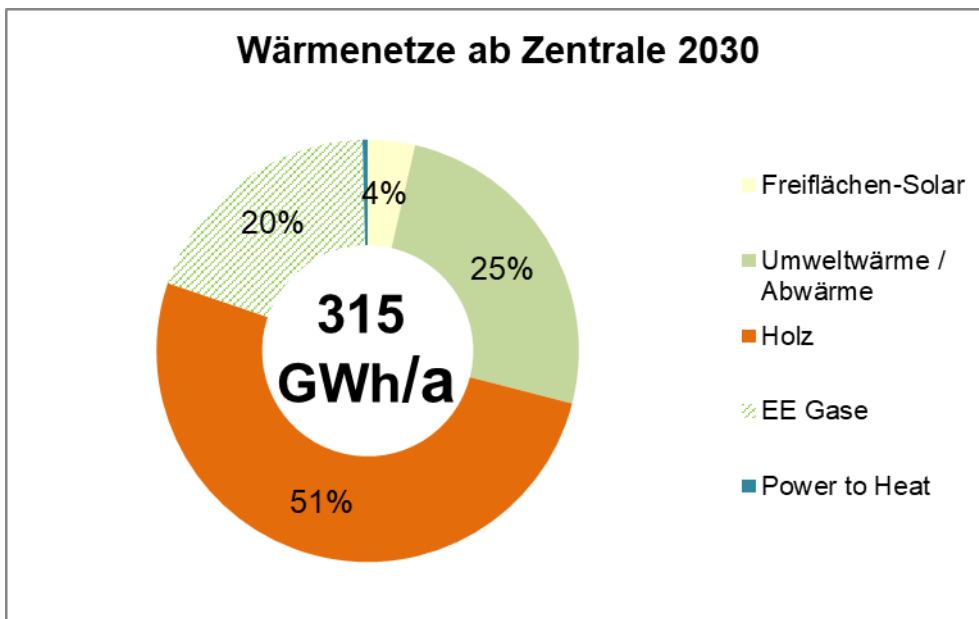


Abb. 20: Anteile Energieträger an Fernwärme vor Netz 2030

Der in Abb. 20 dargestellte Anteil für Umweltwärme / Abwärme enthält sowohl die Quellen als auch den dafür anzunehmenden Stromanteil für Groß-Wärmepumpen in den Wärmezentralen (JAZ = 3). Der daraus resultierende Strombedarf liegt für das Szenario 2030 in der Größenordnung von etwa 20 GWh/a.

Mit Betrachtung der Erzeugungsverluste für Holz und erneuerbare Gase in den Zentralen sowie nach Abzug des Umwelt- / Abwärmeanteils der Wärmepumpen (Endenergie vor Zentrale) ergibt sich folgende Verteilung (Abb. 21):

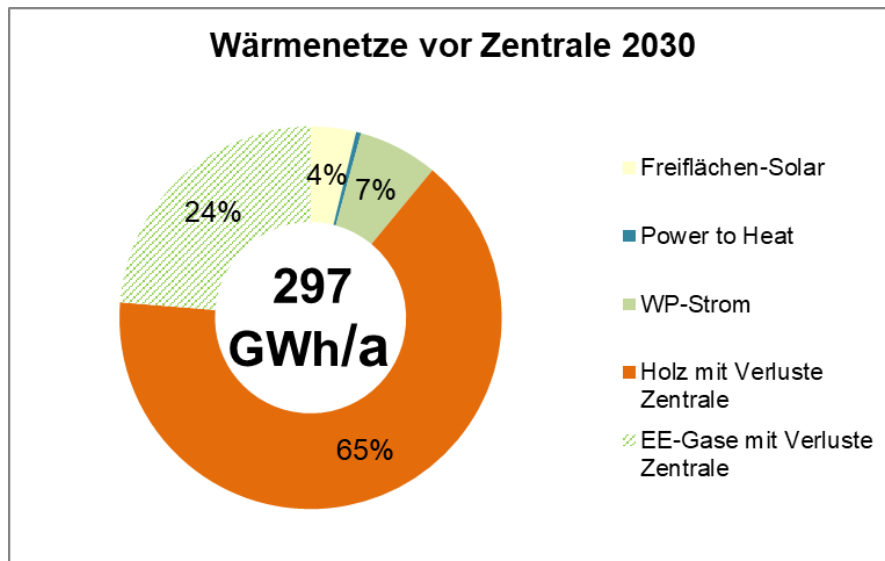


Abb. 21: Anteile Energieträger an Fernwärme vor Zentrale 2030

Die gesamte Verteilung an Endenergie vor Gebäuden (dezentral) bzw. vor Zentralen in Wärmenetzen zeigt Abb. 22:

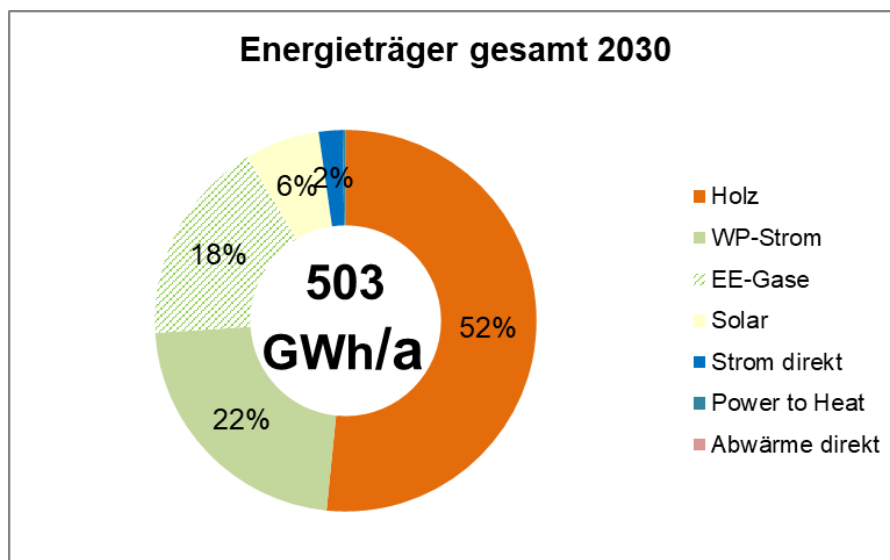


Abb. 22: Anteile Energieträger an Endenergie gesamt 2030

6.5 Energiebilanz im Zielszenario 2040

Auf das Zielszenario 2040 betrachtet teilt sich der im Stadtgebiet anfallende Wärmebedarf wie folgt nach Energiequellen auf:

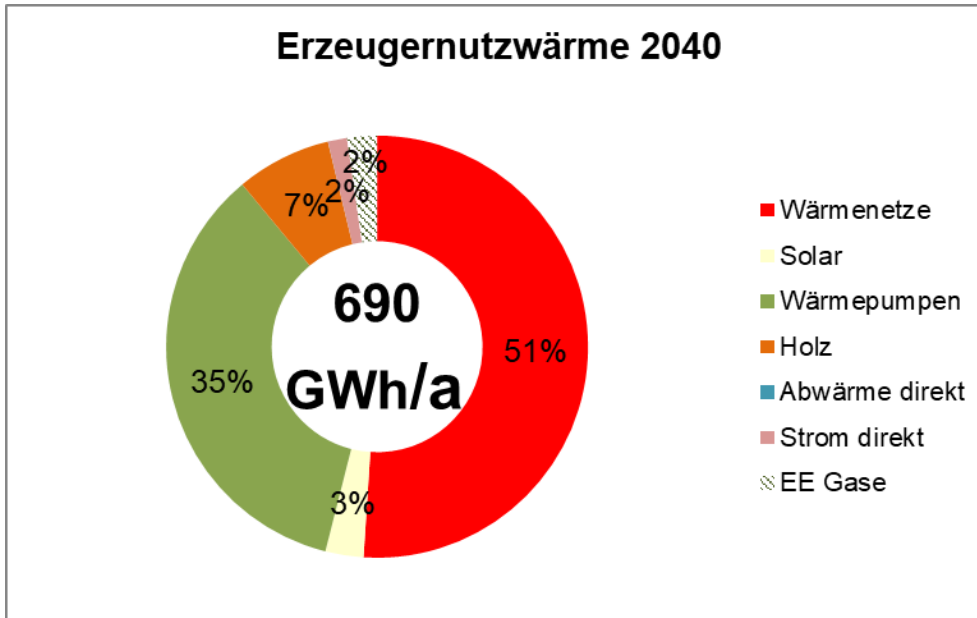


Abb. 23: Anteile Energieträger Erzeugernutzwärme Zielszenario 2040

In dem Anteil von 35 % für dezentrale Wärmepumpen in Abb. 23 ist mit der Erzeugernutzwärmeabgabe auch der Anteil der durch die Wärmepumpe genutzten Umweltwärme enthalten.

Den Endenergiebedarf an Wärme und die Aufteilung auf Energieträger für das Zielszenario 2040 zeigt Abb. 24. Grundlage ist die Erzeugernutzwärme zuzüglich der Verluste durch die jeweiligen Erzeuger im Gebäude und abzüglich des Umwelt- / Abwärmeanteils bei Wärmepumpen – also der Endenergiebedarf. Der Wärmepumpenanteil entspricht damit nur noch dem Stromeinsatz als anzusetzende Endenergie. Dabei wurde je nach lokalen Potenzialen pro Baublock zwischen Wärmepumpen mit Außenluft als Energiequelle (JAZ = 2,5) und solchen mit effizienteren Quellen unterschieden (JAZ = 4,0). Potenziale für Wärmepumpen in Verbindung mit Erdwärmesonden wurden mit JAZ = 4,5 aus der von der KEA beauftragten landesweiten Studie übernommen.

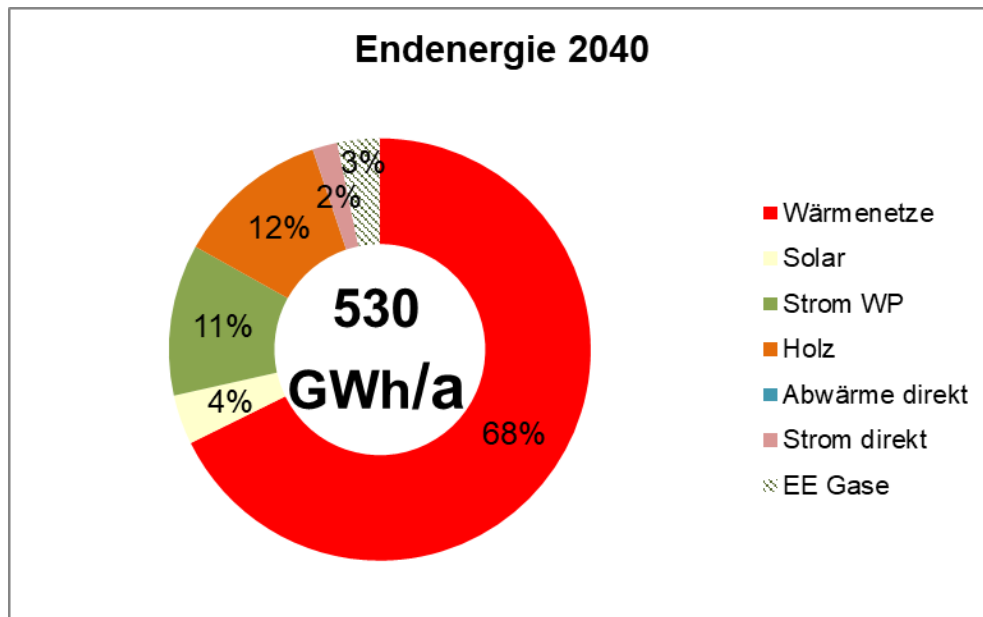


Abb. 24: Anteile Energieträger Endenergie Zielszenario 2040 (Wärmepumpen nur Stromanteil)

Für den Energieträgermix der Fernwärmeerzeugung wurden mit den SWT abgestimmte Anteile für Holz, Solarwärme und Abwärme für die einzelnen Versorgungsgebiete der Kernstadt zu Grunde gelegt. Für neue Wärmenetze, v. a. in den Teilorten, wurden anhand lokaler Potenziale anzunehmende Deckungsbeiträge geschätzt. In allen Fällen wurde der fehlende Deckungsbeitrag zum Gesamtbedarf in Abhängigkeit von der jeweils prognostizierten Versorgungsquote des Versorgungsgebiets im Zielszenario durch erneuerbare Gase bzw. grünen Wasserstoff ergänzt („EE-Gase“).

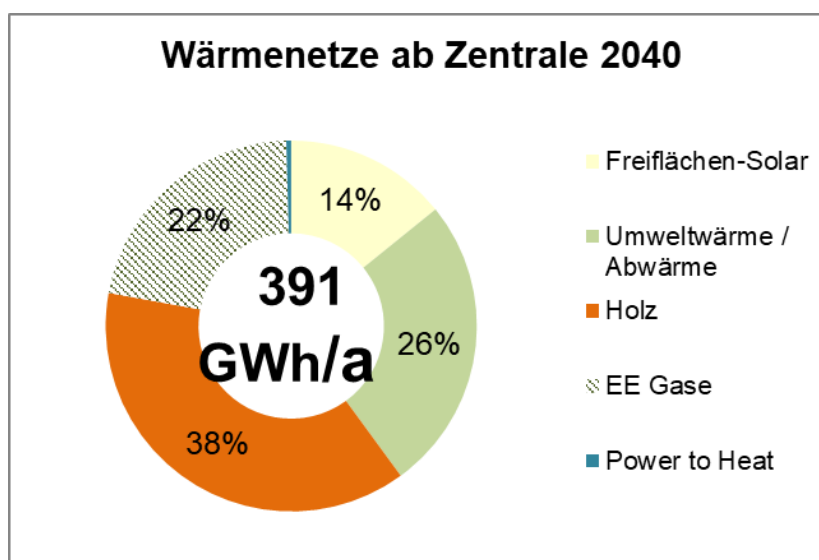


Abb. 25: Anteile Energieträger an Fernwärme vor Netz 2040

Der in Abb. 25 dargestellte Anteil für Umweltwärme / Abwärme enthält sowohl die Quellen als auch den dafür anzunehmenden Stromanteil für Groß-Wärmepumpen in den Wärmezentralen (JAZ = 3). Der daraus resultierende Strombedarf liegt für das Szenario 2040 in der Größenordnung von etwa 25,2 GWh/a.

Mit Betrachtung der Erzeugungsverluste für Holz und erneuerbare Gase in den Zentralen sowie nach Abzug des Umwelt- / Abwärmeanteils der Wärmepumpen (Endenergie vor Zentrale) ergibt sich folgende Verteilung für das Jahr 2040 (Abb. 26):

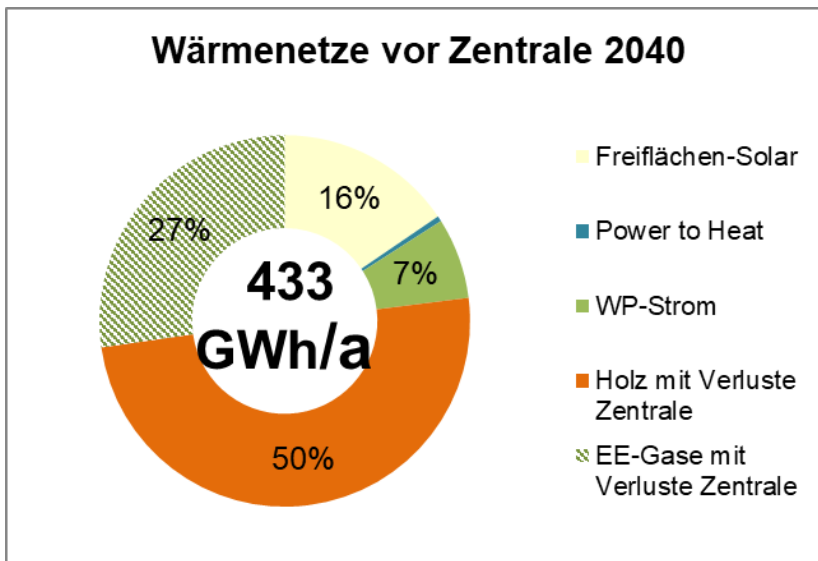


Abb. 26: Anteile Energieträger an Fernwärme vor Zentrale 2040

Für das Szenario 2040 wurden entsprechende Annahmen des Zielszenarios 2030 weitergeführt. Daraus ergibt sich für das Jahr 2040 folgende Energieträgerverteilung:

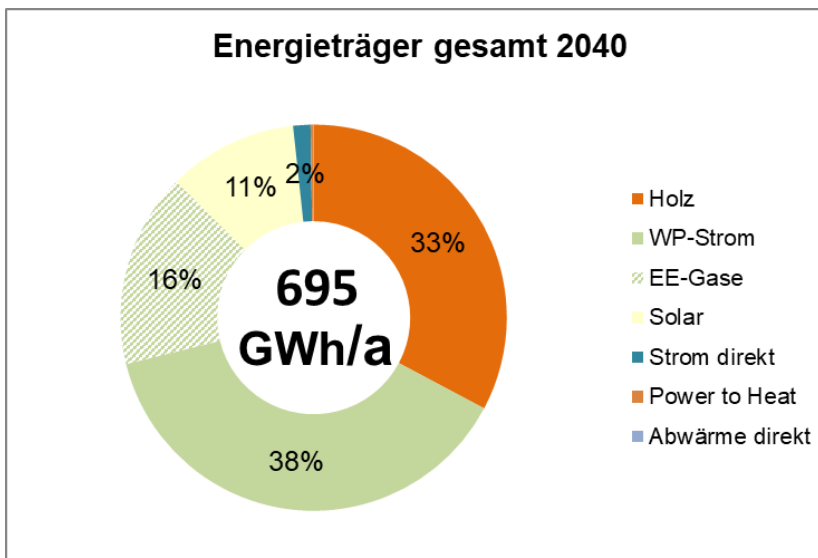


Abb. 27: Anteile Energieträger an Endenergie gesamt 2040

Gegenüber dem Zielszenario 2030 wird im Zielszenario 2040 mehr Endenergie bilanziert. Grund dafür ist, dass bei dezentralen Wärmepumpen nur der Stromanteil in der Endenergie berücksichtigt ist. Durch Ausbau der Fernwärme bis 2040 entfallen dezentrale Wärmepumpen. Damit wird die in Umweltwärme enthaltene Energie wieder mehr bilanziert. In der vorher dargestellten Erzeugernutzwärmeabgabe (Abb. 23) ist der Umweltwärmeanteil der Wärmepumpen dagegen enthalten.

6.6 Treibhausgasbilanz im Zielszenario 2030

Die THG-Bilanz für 2030 zeigt, dass sich die THG-Emissionen von ursprünglich 217 Tsd. t/a bis 2030 auf etwa 43 Tsd. t/a reduzieren können. Der größte Anteil ist weiterhin im Wohn- und im Gewerbe, Handel & Dienstleistungssektor (GHD) zu finden.

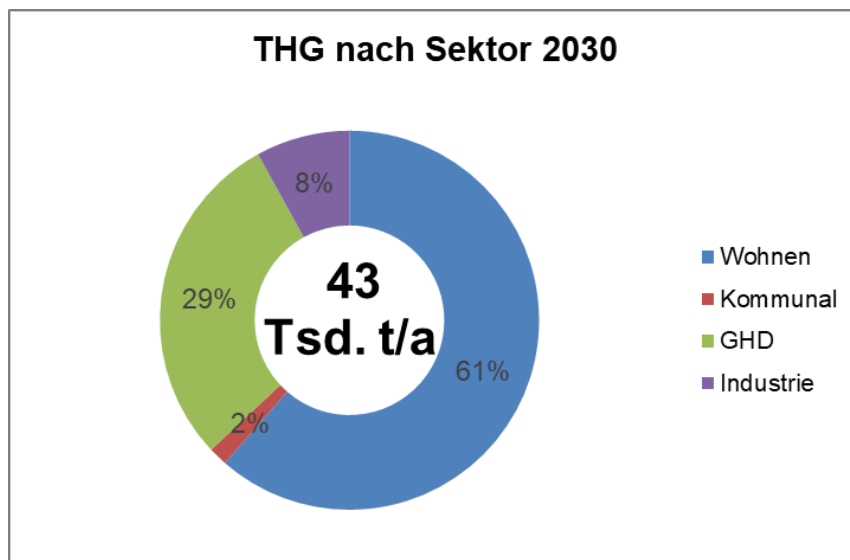


Abb. 28: THG-Bilanz nach Sektor 2030

Für die Emissionen aus dezentraler Erzeugung entstehen im Zielszenario 2030 noch etwa 31 Tsd. t an CO₂-Äquivalenten (Treibhausgasemissionen – THG), die durch andere Maßnahmen kompensiert werden müssten. Diese Emissionen werden im Wesentlichen durch den für Wärmepumpen eingesetzten Strom bestimmt (Abb. 29).

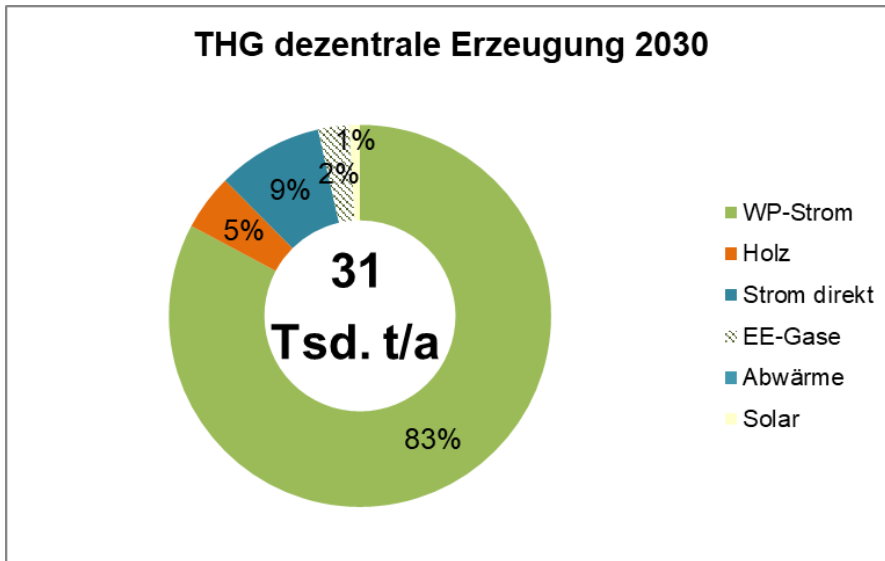


Abb. 29: Prognostizierte THG-Emissionen aus dezentralen Heizungsanlagen 2030

Für die Wärmeerzeugung in Netzen können 2030 insgesamt etwa 13 Tsd. t an verbleibenden THG-Emissionen angenommen werden (Abb. 30).

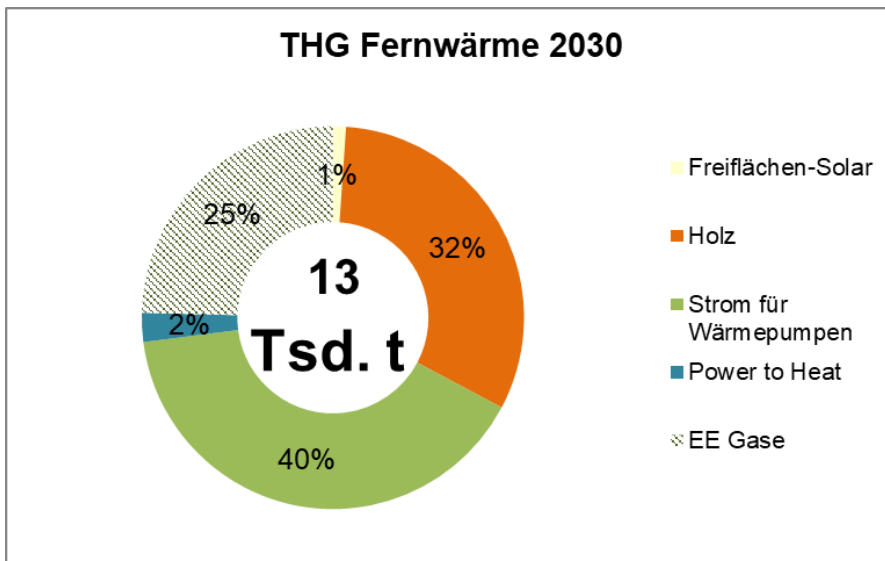


Abb. 30: Prognostizierte THG-Emissionen für Wärmenetze 2030

6.7 Treibhausgasbilanz im Zielszenario 2040

Die THG-Bilanz 2040 zeigt, dass sich die THG-Emissionen bis 2040 auf etwa 26 Tsd. t/a reduzieren könnten.

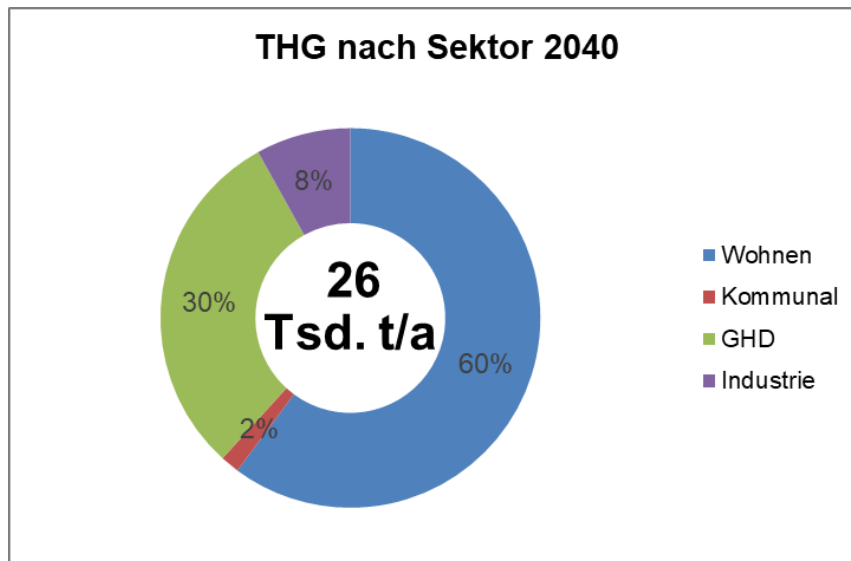


Abb. 31: THG-Bilanz nach Sektor 2040

Im Zielszenario 2040 bestehen noch etwa 13 Tsd. t an CO₂-Äquivalenten (Treibhausgasemissionen – THG), die durch andere Maßnahmen kompensiert werden müssten (Abb. 31).

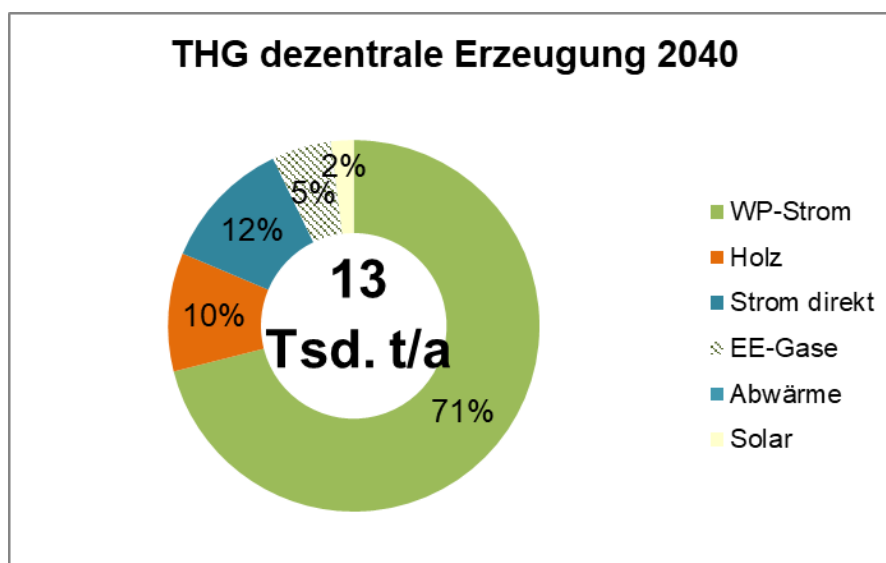


Abb. 32: Prognostizierte THG-Emissionen aus dezentralen Heizungsanlagen 2040

Für die Wärmeerzeugung in Netzen können 2040 insgesamt etwa 13 Tsd. t an verbleibenden THG-Emissionen angenommen werden (Abb. 32). Eine Reduzierung des THG-Anteil der Wärmepumpen kommt durch den sinkenden THG-Faktor des Strommixes zu Stande.

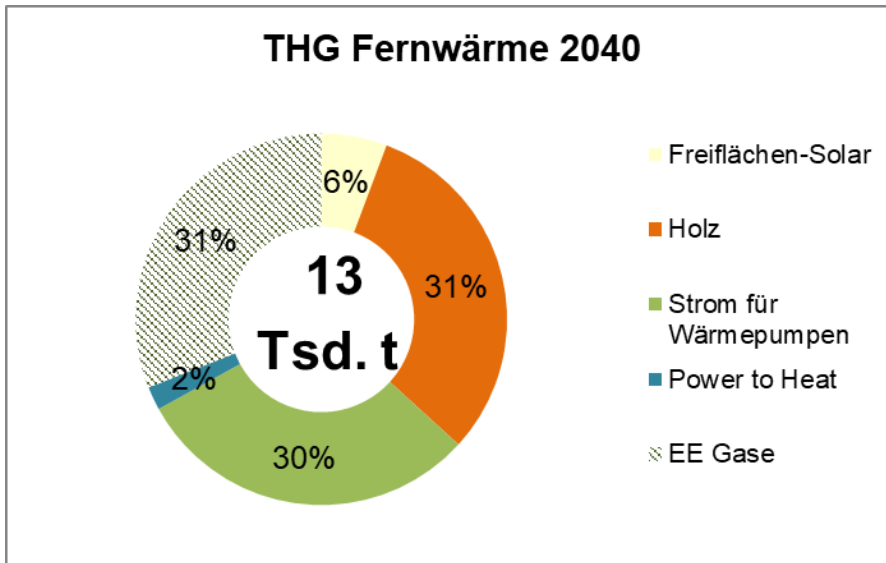


Abb. 33: Prognostizierte THG-Emissionen für Wärmenetze 2040

7 Maßnahmen

7.1 Prioritäre Maßnahmen

Im Folgenden werden fünf ausgewählte prioritäre Maßnahmen beschrieben:

7.1.1 Bildung Fachabteilung Nachhaltige Stadtentwicklung

Ziele:

- Laufende Vernetzung und Koordination von Akteuren
- Initiierung und Betreuung von Machbarkeitsstudien (BEW) und ggf. Quartierskonzepten (KfW-Programm 432) in ausgewählten Fokusgebieten / Stadtteilen mit den Schwerpunkten:
 - Energieeinsparung,
 - Verdichtung / Erweiterung / Realisierung von Wärmenetzen,
 - Transformation der Wärmezeugung, insbesondere Nutzung lokaler Quellen an Umweltwärme
 - Stromerzeugung aus regenerativen Quellen
- Koordination administrative Zuarbeit der Stadtverwaltung für:
 - Leitungsbau neue Fernwärmenetze sowie Verdichtung und Erweiterung
 - Contracting-Modelle
 - Standorte von Heizzentralen mit Holz
 - Freiflächen für Solarthermie, Photovoltaik, Geothermie, Agrothermie, Grundwasserwärme.

Akteure:

- Stadtverwaltung koordiniert von Fachabteilung Nachhaltige Stadtentwicklung
- Ggf. Externe: Konzeption, Planung und Umsetzung technischer Maßnahmen

7.1.2 Umsetzung Leitungsausbau der SWT

Ziele:

- Integration Wärme Kläranlage Lustnau und Solarthermie Au in Netze Innenstadt und Südstadt
- Verbindung Netze Innenstadt und Südstadt (neuer „Netzverbund Süd“)
- Erweiterung und Verdichtung der Wärmenetze, v.a. in Südstadt, Innenstadt, Weststadt, WHO

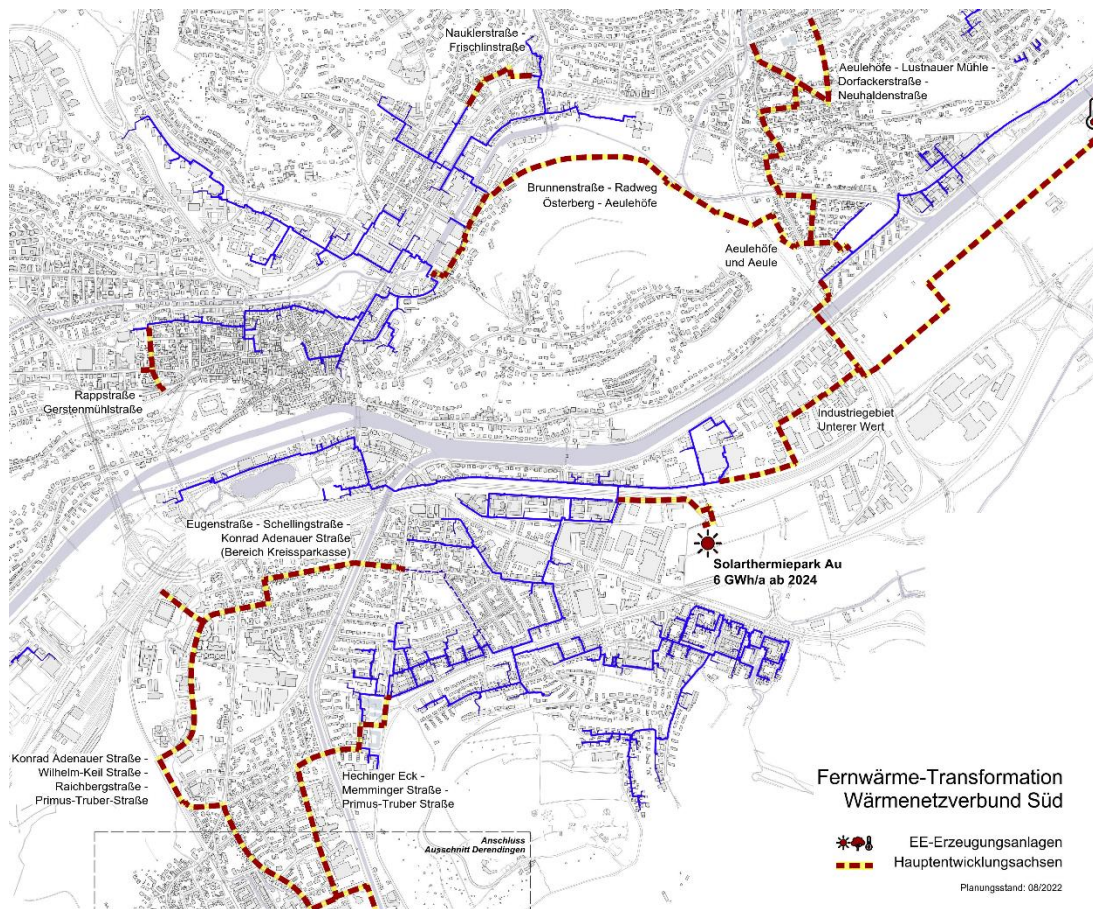


Abb. 34: Hauptentwicklungsachsen Fernwärmeausbau Netzverbund Süd

Akteure:

- Stadtverwaltung: Genehmigung, Koordination
- Stadtwerke mit Externen: Planung und Umsetzung

7.1.3 Transformation der Wärmeerzeugung im Netzverbund Süd

Ziele:

- Realisierung Abwärmenutzung Kläranlage Lustnau in beiden Ausbaustufen
- Realisierung Solarthermie Au
- Standortbestimmung, Konzeption und Realisierung Holzheizwerk Süd
- Konzeption und Realisierung Groß-Wärmespeicher für iKWK-System
- Modernisierung Heizzentrale Brunnenstraße auf Wasserstoff („H2-Ready“)

Akteure:

- Stadtverwaltung: Genehmigung, Koordination
- Stadtwerke mit Externen: Planung und Umsetzung

7.1.4 Transformation der Wärmeerzeugung im Netz WHO

Ziele:

- Klimaneutraler Erzeugungsmix für das Fernwärmenetz WHO
- Verdichtung und Erweiterung des Versorgungsgebiets

Akteure:

- Stadtverwaltung und SWT mit Koordination Planung, Genehmigung und Umsetzung eines Holzheizwerkes Nord
- Standortsuche Freiflächen-Solarthermie im Netzgebiet

7.1.5 Transformation Eignungsgebiete dezentrale Wärmeversorgung

Ziele:

- Ehrgeizige Bedarfssenkung mit erhöhter Sanierungsrate und -tiefe
- Förderung von Konzepten mit Wärmepumpen in Verbindung mit effizienten Quellen, Bedarfssenkung und Qualitätsstandards in der Umsetzung

Akteure:

- Stadtverwaltung mit Koordination von bestehenden Beratungs- und Förderangeboten

- Stadtverwaltung mit Abstimmung Möglichkeiten zur Förderung effizienter Systeme mit Wärmepumpen
- Gebäudebesitzer / -betreiber, Handwerker, Berater, Planer für Umsetzung

7.2 Übergeordnete Maßnahmen

Für die Umsetzung der Kommunalen Wärmeplanung und die langfristige Gestaltung der Wärmewende in Tübingen in Abstimmung mit dem Ziel der Klimaneutralität bis 2030 sind administrative Maßnahmen der Stadtverwaltung in Zusammenarbeit mit wesentlichen Akteuren notwendig:

- Laufende Vernetzung und Koordination von Akteuren („Projektgruppe Blau“, „Koordinationskreis Wärme“)
- Initiierung und Betreuung von Machbarkeitsstudien und ggf. Quartierskonzepten in ausgewählten Fokusgebieten / Stadtteilen mit den Schwerpunkten:
 - Energieeinsparung,
 - Verdichtung / Erweiterung / Realisierung von Wärmenetzen,
 - Transformation der Wärmeerzeugung, insbesondere Nutzung lokaler Quellen an Umweltwärme
 - Stromerzeugung aus regenerativen Quellen
- Administrative Zuarbeit / Unterstützung für neue Fernwärmenetze, lokale Netze mit kalter Nahwärme, Contracting-Modelle
- Administrative Zuarbeit / Unterstützung für Standorte von Heizzentralen mit Holz sowie Freiflächen für Solarthermie, Geothermie, Agrothermie, Grundwasserwärme.
- Prüfung der Verfügbarkeit prinzipiell geeigneter Standorte von Power to Gas-Anlagen (vgl. Kapitel 5.13).

7.3 Öffentlichkeitsarbeit und Akteursbeteiligung

- Bearbeitung Hemmnisse: Vorbehalte gegen ehrgeizige Sanierung, Wärmenetze, Windparks – Sensibilisierung, Information zu Förderung
- Propagierung von BAFA-geförderten Sanierungsfahrplänen in der Breite als Handlungsgrundlage pro Gebäude

- Förderung der Wirtschaftlichkeit von Konzepten mit Wärmepumpen und anderen Quellen als Außenluft
- Bildungs- und Qualitätsoffensive im Handwerk zu Wärmepumpenlösungen, insbesondere innovative Konzepte (außer Außenluft)
- „Umsetzungs-Pakt“ mit großen Akteuren, insbesondere:
 - Universität / Land BW
 - Universitätsklinikum / Land BW
 - Wohnbaugesellschaften: GWG, GSW, Kreisbau, Postbau
 - Energieversorgern: SWT, MVV
- Einbeziehung lokaler Akteure, insbesondere Bürger, Vertreter des Sektors Gewerbe-Handel-Dienstleistung und Industrie in konkreten Projekten mit abgestimmten Formaten (z.B. im Rahmen von integrierten Quartierskonzepten – iQK – nach KfW-Förderprogramm 432)

7.4 Handlungsfeld Bedarfssenkung im Bestand

Grundlage der Bedarfsermittlungen im Zielszenario sind mit wesentlichen Akteuren abgestimmte Annahmen zu Sanierungsraten und -tiefen. Im Ergebnis der Abstimmungen wurde sowohl für Wohn- als auch Nichtwohngebäude eine Sanierungsrate von 2 %/a mit ehrgeizigen Qualitätsvorgaben analog zum Förderstandard KfW 55 bei gleichzeitiger Umstellung auf erneuerbare Energieträger vereinbart.

Um diese Zielvorgabe zu erreichen, beinhaltet dieses Handlungsfeld:

- Monitoring externer Akteure bzw. enge Zusammenarbeit mit den jeweils Zuständigen bei Uni, UKT, Landesgebäuden zur Zielerreichung im Rahmen des KWP Tübingen
- Priorisierung des Bestands der Nichtwohngebäude, insbesondere Uni, UKT, sonstige Großverbraucher, kommunale Gebäude für Analysen zur Betriebsoptimierung („low hanging fruits“) durch Berater von KEA / KEFF oder externe Büros
- Niedrigschwellige Angebote für Wohngebäude zur Betriebsoptimierung (KEA, lokale Berater, externe Büros)
- Bewerbung von ehrgeizigen Modernisierungen nach KfW-Standard 55 oder Förderrichtlinien für Einzelmaßnahmen im Bestand der privaten Wohngebäude
- Qualitätssicherung bei Neubauten hinsichtlich des Energieverbrauchs

7.5 Handlungsfeld Eignungsgebiete dezentrale Wärmeversorgung

Zur Transformation von Gebieten, die im Zielszenario nicht durch eine klimaneutrale Fernwärme erreicht werden können, müssen folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- Schwerpunkt für die Bedarfssenkung durch Betriebsoptimierung und Modernisierung
- Realisierung von lokalen Wärmeinseln (Wärmeverbund auf einer Liegenschaft oder direkt benachbarter Gebäude),
- Erschließung und Verteilung von lokaler Umweltwärme in Form von „kalter Nahwärme“ und Wärmepumpen pro Abnehmer.
- Förderung von Konzepten mit Wärmepumpen, wenn diese eine effizientere Quelle nutzen als Außenluft (Verringerung des zusätzlichen Strombedarfs zur Heizperiode und Reduzierung möglicher Schallemissionen durch die Außenluft-Wärmepumpen)
- Unterstützung / Sicherung von Qualitätsstandards bei Umstellung dezentraler Heizungsanlagen auf Systeme mit Wärmepumpen
- Eigene Stromerzeugung, kurzfristig v.a. Photovoltaik, langfristig auch Windkraft zur Senkung des allgemeinen Strombezugs durch Eigenverbrauch sowie zur Verwendung lokaler Überschüsse für Power-to-Gas-Konzepte.

7.6 Handlungsfeld Fernwärmeausbau und Umstellung der Fernwärme auf erneuerbare Energien

Ziel der Maßnahmen sind die Erweiterung und Transformation der großen Bestandsnetze der SWT sowie die Realisierung neuer Wärmenetze in den Teilorten. In Abstimmung mit den SWT wurden dazu geeignete Gebiete nach Baublöcken identifiziert und im Zielszenario anzunehmende Deckungsanteile der Fernwärme festgelegt.

Der Energieträgermix pro Versorgungsgebiet in der Kernstadt ergibt sich aus bestehenden Konzepten der SWT, die durch Ergebnisse des KWP verfeinert wurden. Für neue Wärmenetze außerhalb der Kernstadt wurde anhand umliegender Potenziale, ergänzt durch biogene Gase / Wasserstoff, ein möglicher Erzeugungsmix prognostiziert.

Große bestehende KWK-Anlagen wie in der Heizzentrale Brunnenstraße werden im Zielszenario mit Wasserstoff betrieben und in iKWK-Systemen, also mit verringerten Deckungsanteilen im Verbund mit erneuerbaren Quellen (Abwärme, Umweltwärme, Holz), großen Speichern und Power-to-Heat-Konzepten.

- Umsetzung Leitungsausbau der SWT:
 - Integration Wärme Kläranlage Lustnau und Solarthermie Au in Netze Innenstadt und Südstadt
 - Verbindung Netze Innenstadt und Südstadt (neuer „Netzverbund Süd“)
 - Erweiterung und Verdichtung der Wärmenetze, v.a. in Südstadt, Innenstadt, Weststadt, WHO
- Umsetzung des Fahrplans zur Transformation der Wärmeerzeugung der SWT im Netzverbund Süd:
 - Realisierung Abwärmenutzung Kläranlage Lustnau in beiden Ausbaustufen
 - Realisierung Solarthermie Au
 - Standortbestimmung, Konzeption und Realisierung Holzheizwerk
 - Konzeption und Realisierung Groß-Wärmespeicher für iKWK-System
 - Modernisierung Heizzentrale Brunnenstraße auf Wasserstoff („H2-Ready“)
- Transformation des Wärmenetzes „WHO“ der SWT durch Umstellung auf Holz, Solarthermie und ggf. biogene Gase
- Transformation kleinerer Netze im Contracting der SWT, insbesondere Grotthaus / Läniger in Bühl und auf dem Herrlesberg.
- Untersuchung der Machbarkeit, Konzeption und Realisierung neuer Wärmenetze in den Teilorten, inklusive Erschließung lokaler Potenziale an Freiflächen-Solarthermie oder Geothermie mit Erdsonden.
- Fahrplan für Feststellung weiterer möglicher Freiflächenanlagen mit Solarthermie inklusive Wärmespeicher, zum Beispiel:
 - Solaranlagen WHO und Schinderklinge lt. Studie solites
 - Bahnkreuz Derendingen / Saiben
 - Hagelloch südlich Schule und Neubaugebiete Ost und Nord
 - Unterjesingen Ortsrand Ost mit Neubaugebiet
 - Unterjesingen Ortsrand Süd
 - Hirschau zwischen Gewerbegebiet Rittweg und Ortskern
 - Hirschau Ortsrand West

- Bühl Ortsrand Ost mit Wärmenetz Grotthaus / Läninger
- Bühl südlicher und westlicher Ortsrand
- Weilheim nahe Biogasanlage
- Klärung der Verfügbarkeit von Flächen für Erdsondenfelder in Geothermie-Anlagen für Wärmezentralen:
 - Bebenhausen, nördlich des Klosters
 - Pfrondorf, Nähe Grundschule / Schönbuchhalle
 - Pfrondorf, Nähe südlicher Ortsrand oder östliche Verlängerung Lustnauer Straße
 - Randlagen Waldhäuser Ost
 - Randlagen Herrlesberg
- Klärung Realisierbarkeit und Priorität der Potenziale Oberflächengewässer für die Standorte:
 - Wasserkraftanlage Rappenberghalde,
 - Wasserkraftanlage Neckarhalde,
 - Anlagensee (im Ablauf)
- Klärung Realisierbarkeit und Priorität weiterer Abwärmepotenziale:
 - Abwärme aus Strom bzw. Kühlung Rechenzentren im Technologiepark „Obere Viehweide“
 - Siemens, Bühl / Kilchberg
 - Bäckerei Gehr, Handwerkerpark

8 Steckbriefe Gebiete

8.1 Fernwärme-Eignungsgebiete

Für das Stadtgebiet wurden Eignungsgebiete für den Aufbau und die Verdichtung von Fernwärmenetzen identifiziert, die in den folgenden Steckbriefen jeweils einzeln beschrieben werden:

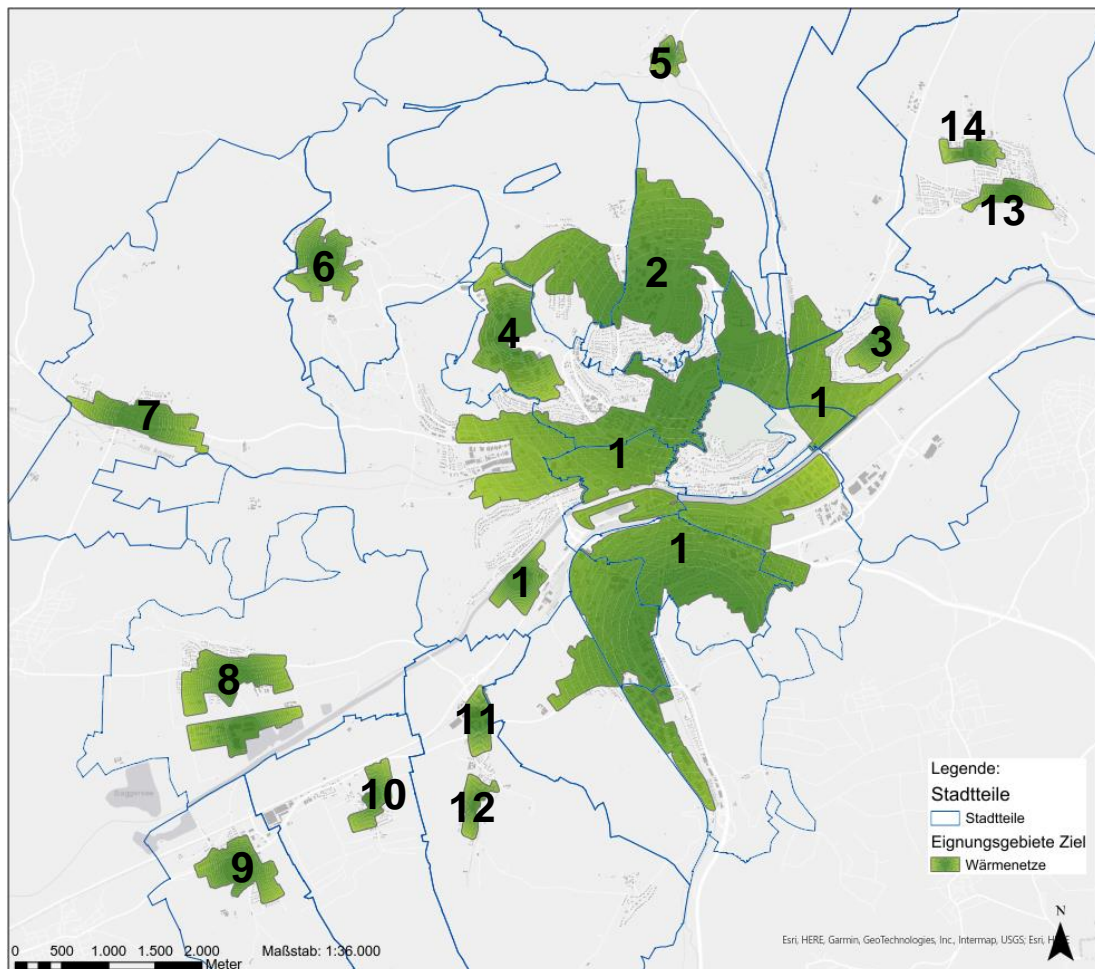


Abb. 35: Fernwärme-Eignungsgebiete

8.1.1 Kernstadt - Netzverbund Süd (1)

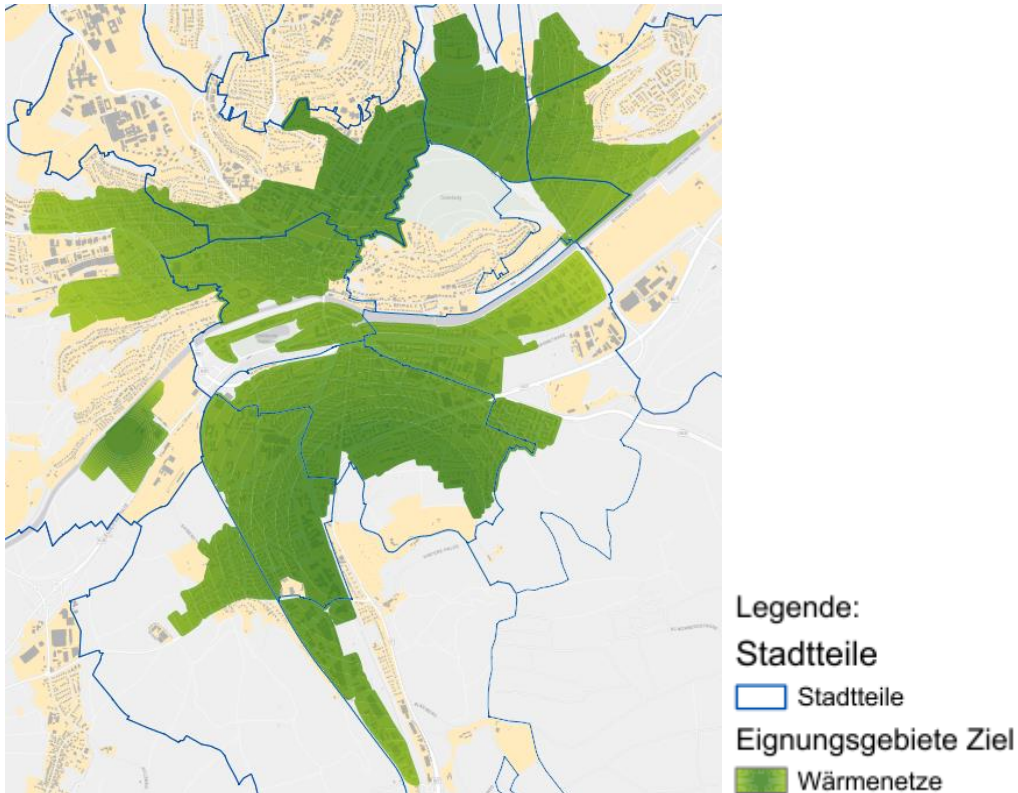


Abb. 36: Eignungsgebiet Kernstadt – Netzverbund Süd

Lage	Innenstadt und Südstadt mit Ortsteil Derendingen und Erweiterungen: Lustnau, Denzenberg, Altstadt, Weststadt, Herrenberger Straße, Gewerbegebiet „Unterer Wert“, Derendingen
Lokale Potenziale und Chancen	<ul style="list-style-type: none"> • Zusammenlegung bestehende Netze Südstadt, Innenstadt und „Alte Weberei“ • Einbindung Erzeugung aus Freiflächen-Solarthermie „Au“ und Kläranlage Lustnau in den neuen Netzverbund • Potenzial zur Erweiterung und Verdichtung der bestehenden Versorgungsgebiete
Deckung Endenergie an Gebäuden (2030)	176 GWh
Wärmeabgabe Zentrale	193 GWh
Leistung Zentrale	120 MW
Energieträgermix Zentrale	<ul style="list-style-type: none"> • Abwasserwärme Kläranlage Lustnau • Solarthermie „Au“ • Holz

	<ul style="list-style-type: none"> • iKWK Zentrale Brunnenstraße
Verknüpfte Maßnahmen	<p>Umsetzung Ausbaustrategie der SWT bis 2030 mit:</p> <ul style="list-style-type: none"> • vollständiger Ausbau der Abwasserwärmenutzung Kläranlage Lustnau • Realisierung Freiflächen Solarthermie „Au“ • Standortfestlegung für Holzheiz- (kraft-) werk und Realisierung bis 2030 • Planung und Realisierung der Verbindungsleitungen für den Netzverbund • Planung und Realisierung Haupttrassen für die Netzerweiterung • Modernisierung KWK-Zentrale Brunnenstraße für iKWK (H2-ready, Power-to-Heat)

8.1.2 Kernstadt – Waldhäuser Ost (2)

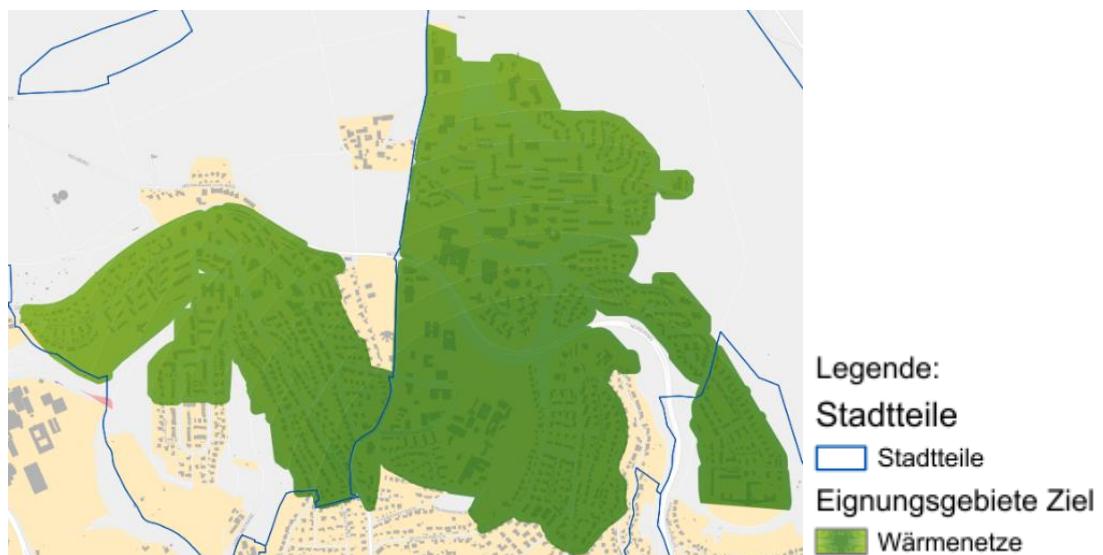


Abb. 37: Eignungsgebiet Kernstadt – Waldhäuser Ost

Lage	Stadtteil WHO mit bestehendem Netz und Erweiterungen in Richtung Sand, Schönblick, Philosophenweg, Hartmeyerstraße
Lokale Potenziale und Chancen	<ul style="list-style-type: none"> • Potenzial zur Erweiterung und Verdichtung des bestehenden Versorgungsgebiets • Geothermische Eignung • Mögliche Freiflächen Solarthermie (ab 2040)
Deckung Endenergie an Gebäuden (2040)	60 GWh
Wärmeabgabe Zentrale	67 GWh

Leistung Zentrale	41 MW
Energieträgermix Zentrale	<ul style="list-style-type: none"> • Geothermie (abgestimmt auf iKWK) • iKWK (H2-ready bis 2030) • Holz
Verknüpfte Maßnahmen	<p>Umsetzung Ausbaustrategie der SWT bis 2030 mit:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Standort für mögliches Holzheiz- (kraft-) werk und Realisierung bis 2030 • Flächenermittlung Erdwärmesonden (EWS) mit Wärmepumpe und Feststellung Potenzial • Planung und Realisierung Haupttrassen für die Netzerweiterung • Verfügbarkeit von möglichen Freiflächen für Solarthermie im Netzgebiet klären

8.1.3 Kernstadt – Herrlesberg (3)



Abb. 38: Eignungsgebiet Kernstadt – Herrlesberg

Lage	Bestehendes Netz Herrlesberg in Lustnau und Erweiterungen in Richtung Steinäckerstraße, Stüdach und Gertrud-Bäumer-Straße
Lokale Potenziale und Chancen	<ul style="list-style-type: none"> • Potenzial zur Erweiterung und Verdichtung des bestehenden Versorgungsgebiets • Zusammenlegung mit zwei weiteren bestehenden Wärmeverbänden • Geothermische Eignung
Deckung Endenergie an Gebäuden (2040)	4,1 GWh
Wärmeabgabe Zentrale	4,5 GWh
Leistung Zentrale	2,8 MW
Energieträgermix Zentrale	<ul style="list-style-type: none"> • Geothermie (Erdwärmesonden): ca. 6,1 ha mit 610 Sonden für vollständige Deckung • Holz • iKWK (H2-ready bis 2030)
Verknüpfte Maßnahmen	<p>Umsetzung Ausbaustrategie der SWT bis 2030 mit:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flächenermittlung Erdwärmesonden (EWS) mit Wärmepumpe und Feststellung Potenzial • Standort für Holzheiz- (kraft-) werk und Realisierung bis 2030 • Planung und Realisierung Haupttrassen für die Netzerweiterung • Modernisierung KWK-Anlagen für iKWK (H2-ready)

8.1.4 Kernstadt – Morgenstelle / Schnarrenberg (4)

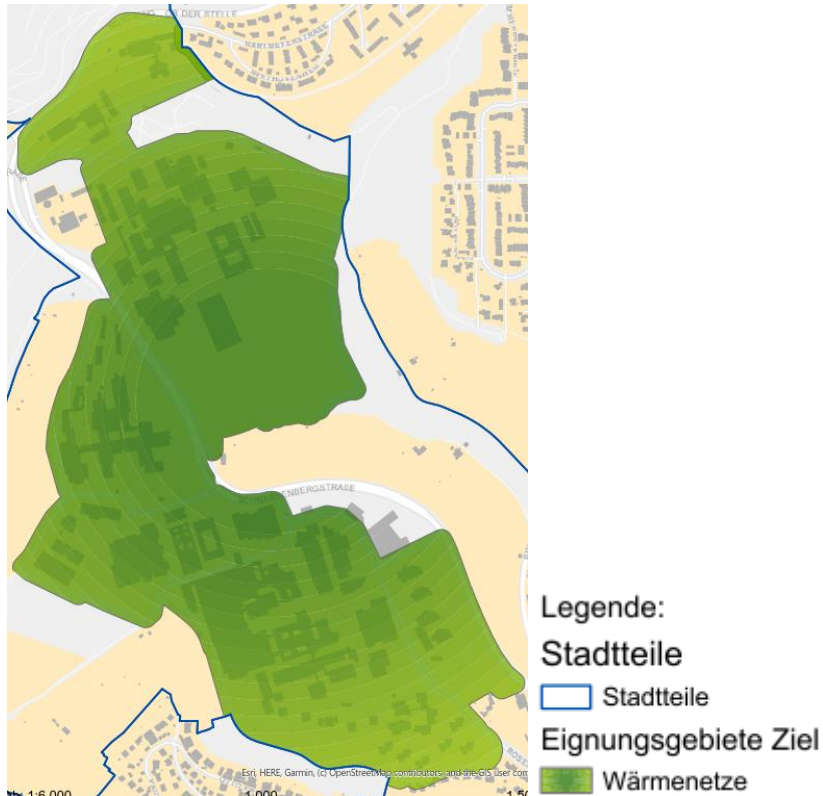


Abb. 39: Eignungsgebiet Kernstadt – Morgenstelle / Schnarrenberg

Für das bestehende Versorgungsgebiet der MVV Energie AG auf dem Schnarrenberg und der Morgenstelle für Gebäude von Universität und Klinikum bestehen folgende Aufgaben:

- Klärung des Betreibers ab 2030 (Vertragsende Contracting)
- Verdichtung im Bestand und Erweiterung mit den geplanten Neubauten
- Ausschöpfung von Reserven in der Erzeugungskapazität bzw. langfristige Erweiterung der Zentrale ab 2030

8.1.5 Bebenhausen (5)

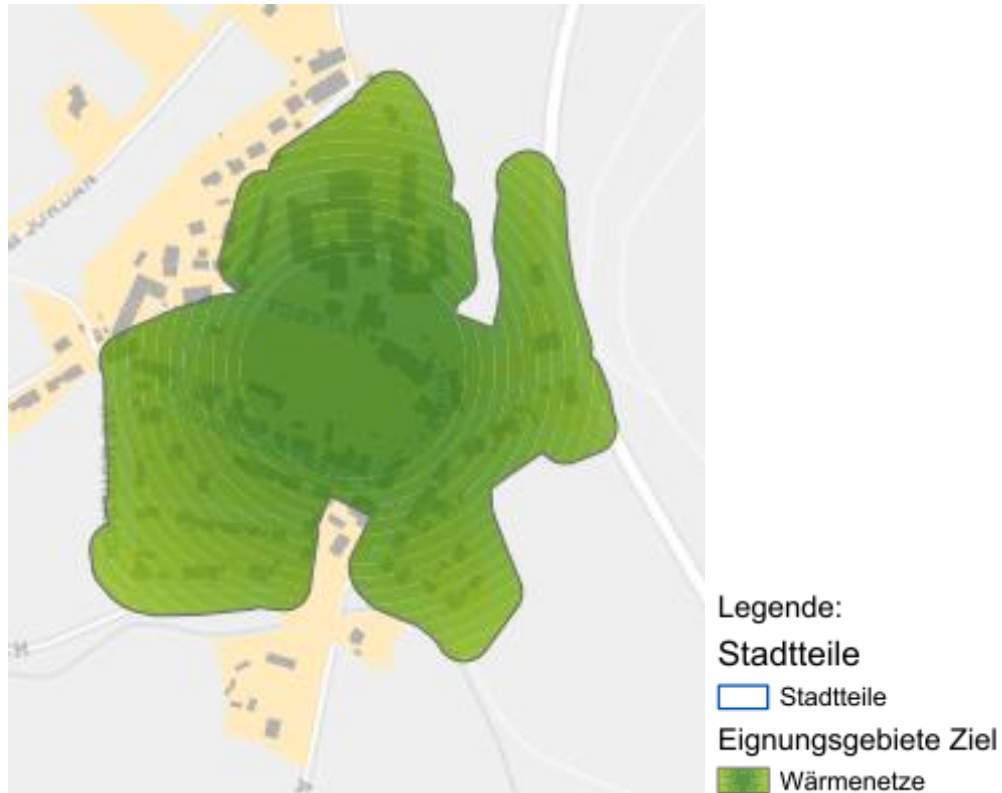


Abb. 40: Eignungsgebiet Bebenhausen

Lage	Klosterkomplex und Baublöcke südlich davon
Lokale Potenziale und Chancen	<ul style="list-style-type: none"> • Mögliche Erdwärmesonden am Nordrand Bebenhausen • Bestehender Wärmeverbund Kloster
Deckung Endenergie an Gebäuden (2040)	1,2 GWh
Wärmeabgabe Zentrale	1,3 GWh
Leistung Zentrale	900 kW
Energieträgermix Zentrale	<ul style="list-style-type: none"> • Geothermie (Erdwärmesonden): ca. 1,8 ha mit 180 Sonden für vollständige Deckung • Holz
Verknüpfte Maßnahmen	Machbarkeitsstudie nach BEW mit Eingangsprüfungen vorab: <ul style="list-style-type: none"> • Flächenermittlung Erdwärmesonden (EWS) mit Wärmepumpe und Feststellung Potenzial nördlich Kloster • Möglicher Standort Holz-Heizwerk (Hackschnitzel)

8.1.6 Hagelloch (6)

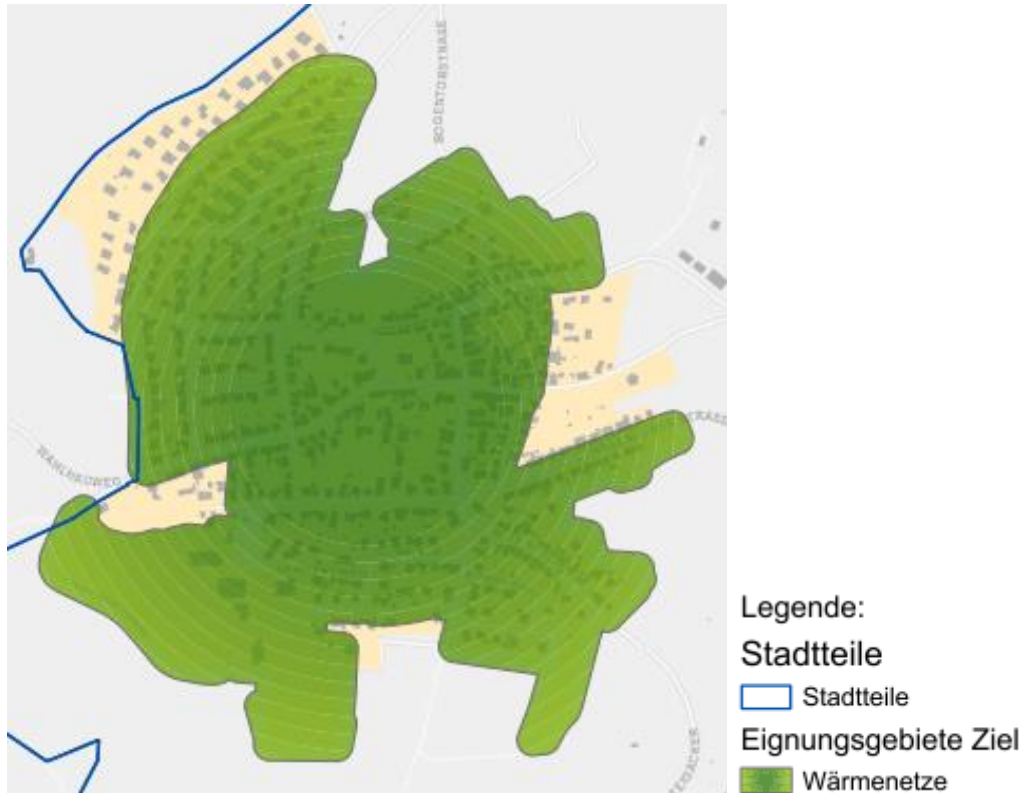


Abb. 41: Eignungsgebiet Hagelloch

Lage	Ortskern zwischen Schule und geplanten Neubaugebieten
Lokale Potenziale und Chancen	<ul style="list-style-type: none"> • Mögliche Freiflächen Solarthermie Ortsränder nördlich, östlich und südlich • Geothermische Eignung • Bestehende Zentrale in kommunalen Liegenschaften südlicher Ortsrand • Neubaugebiete mit möglichen Synergien
Deckung Endenergie an Gebäuden (2040)	4,9 GWh
Wärmeabgabe Zentrale	5,4 GWh
Leistung Zentrale	3,4 MW
Energieträgermix / Zentrale	<p>Freiflächen Solarthermie für ca. 30% Deckung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kollektorfläche: 4.800 m²; • 0,7 ha Aufstellfläche • Pufferspeicher: min. 250 m³ <p>Freiflächen Solarthermie für ca. 50% Deckung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kollektorfläche: 9.100 m²; • 2,3 ha Aufstellfläche

	<ul style="list-style-type: none"> • Pufferspeicher: min. 950 m³ Weitere: <ul style="list-style-type: none"> • Holz oder • iKWK-Anlage (H2-Ready)
Verknüpfte Maßnahmen	Machbarkeitsstudie nach BEW mit Eingangsprüfungen vorab: <ul style="list-style-type: none"> • Mögliche Flächen für Solarthermie? • Möglicher Standort für Holz-Heizwerk? • Möglicher Standort für iKWK bzw. Potenzial der bestehenden Zentrale in Grundschule?

8.1.7 Unterjesingen (7)



Abb. 42: Eignungsgebiet Unterjesingen

Lage	Ortskern zwischen Schule und kommunalen Gebäuden sowie südlich der Bundesstraße; Bestand am östlichen Ortsausgang mit Neubaugebiet „Jesinger Loch“.
Lokale Potenziale und Chancen	<ul style="list-style-type: none"> • Abwasserwärmenutzung (AWNA) im Kanal östlicher Ortsausgang • Mögliche Freiflächen Solarthermie Ortsränder östlich und südlich • Bestehende Zentrale in kommunalen Liegenschaften • Neubaugebiet mit möglichen Synergien
Deckung Endenergie an Gebäuden (2040)	6,4 GWh
Wärmeabgabe Zentrale	7,1 GWh
Leistung Zentrale	4,4 MW
Energieträgermix / Zentrale	Freiflächen Solarthermie für ca. 30% Deckung: <ul style="list-style-type: none"> • Kollektorfläche: 6.000 m²; • 0,9 ha Aufstellfläche • Pufferspeicher: min. 300 m³

	<p>Freiflächen Solarthermie für ca. 50% Deckung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kollektorfläche: 12.000 m²; • 3,0 ha Aufstellfläche • Pufferspeicher: min. 1.200 m³ <p>Weitere:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abwasserwärme (Wärmepumpe) • Holz • iKWK-Anlage (H2-Ready)
<p>Verknüpfte Maßnahmen</p>	<p>Machbarkeitsstudie nach BEW mit Eingangsprüfungen vorab:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Messung Parameter für AWNA: Temperaturverlauf, Abflussmengen • Möglicher Standort für Holz-Heizwerk? • Mögliche Flächen für Solarthermie? • Möglicher Standort für iKWK bzw. Potenzial der bestehenden Zentrale in Schule? • Mögliche Aufteilung des Eignungsgebiets in Unterjesingen Ost und West

8.1.8 Hirschau (8)

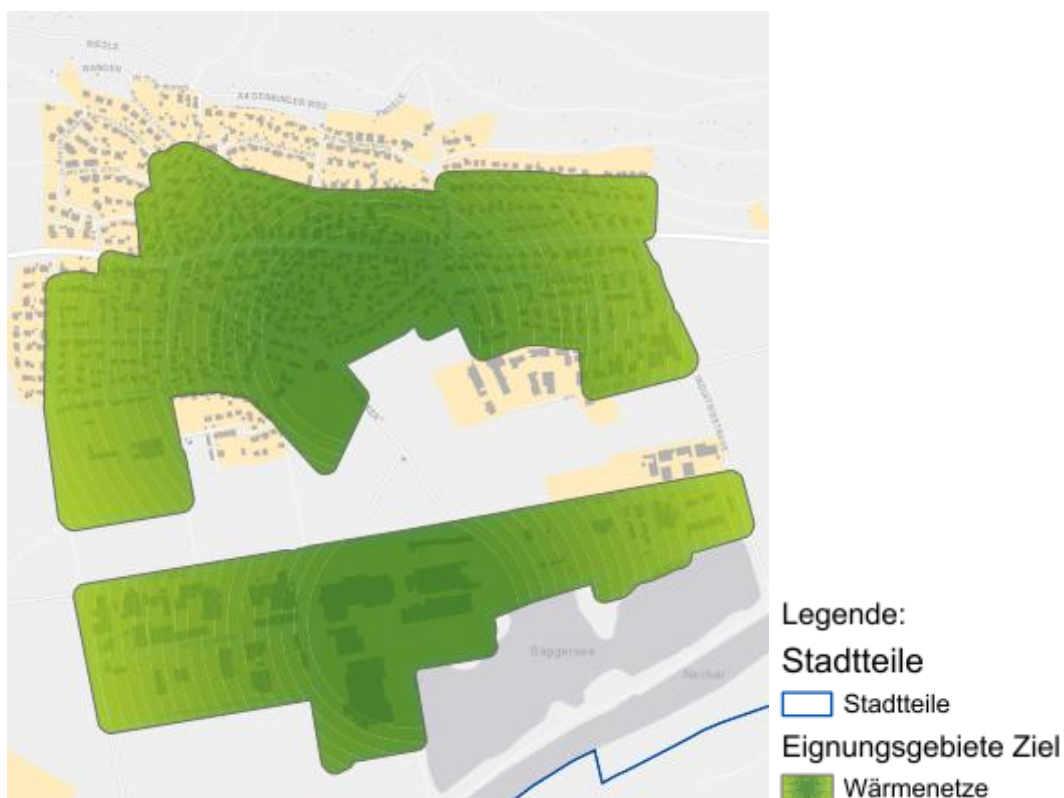


Abb. 43: Eignungsgebiet Hirschau

Lage	Ortskern entlang Durchgangsstraße
Lokale Potenziale und Chancen	<ul style="list-style-type: none"> • Mögliche Freiflächen Solarthermie südlich Ortskern • kommunale Gebäude am südlichen Ortsrand sowie GWG-Objekte • Neubaugebiet mit möglichen Synergien • Mögliche Synergien mit Energienutzung und Abwärme im Industriegebiet Rittweg
Deckung Endenergie an Gebäuden (2040)	5,9 GWh
Wärmeabgabe Zentrale	6,5 GWh
Leistung Zentrale	4,1 MW
Energieträgermix / Zentrale	<p>Angaben ohne Gewerbegebiet Rittweg:</p> <p>Freiflächen Solarthermie für ca. 30% Deckung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kollektorfläche: 5.000 m²; • 0,7 ha Aufstellfläche • Pufferspeicher: min. 250 m³ <p>Freiflächen Solarthermie für ca. 50% Deckung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kollektorfläche: 11.000 m²; • 2,8 ha Aufstellfläche • Pufferspeicher: min. 1.100 m³ <p>Weitere:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Holz oder • iKWK-Anlage (H2-Ready) • eventuell industrielle Abwärme
Verknüpfte Maßnahmen	<p>Machbarkeitsstudie nach BEW mit Eingangsprüfungen vorab:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Möglicher Standort für Holz-Heizwerk? • Mögliche Flächen für Solarthermie? • Möglicher Standort für iKWK bzw. Potenzial der bestehenden Zentrale in MZH? • Feststellung möglicher Synergien (Abwärmenutzung, Sektorkopplung) mit Gewerbegebiet Rittweg durch Voruntersuchung

8.1.9 Bühl (9)

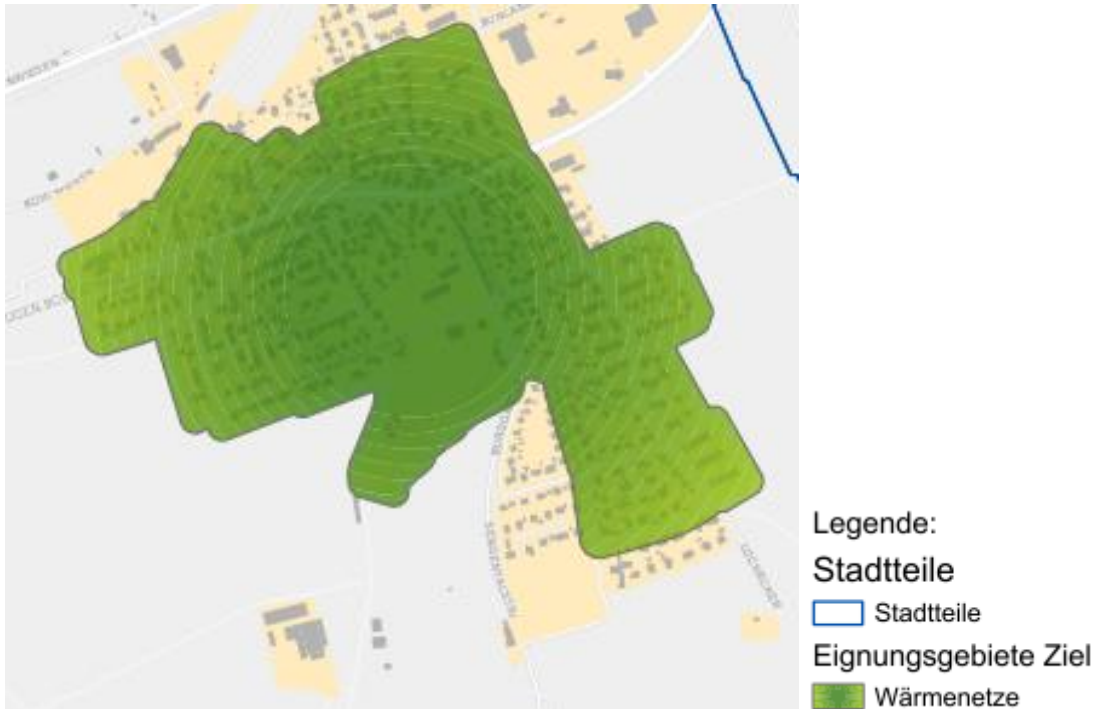


Abb. 44: Eignungsgebiet Bühl

Lage	Ausgehend von bestehendem Netz am Süd-Ost-Rand in Richtung Ortskern Bühler Schloss und süd-westlich davon bis zum Ortsrand
Lokale Potenziale und Chancen	<ul style="list-style-type: none"> • Mögliche Freiflächen Solarthermie • Bestehendes Wärmenetz Grotthaus- Läninger im Contracting der SWT und Zentrale im Bühler Schloss • Mögliche Synergien mit Energienutzung und Abwärme im Gewerbegebiet (Fa. Siemens)
Deckung Endenergie an Gebäuden (2040)	5,9 GWh
Wärmeabgabe Zentrale	6,5 GWh
Leistung Zentrale	4,1 MW
Energieträgermix / Zentrale	<p>Freiflächen Solarthermie für ca. 30% Deckung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kollektorfläche: 4.200 m²; • 0,6 ha Aufstellfläche • Pufferspeicher: min. 250 m³ <p>Freiflächen Solarthermie für ca. 50% Deckung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kollektorfläche: 8.100 m²; • 2,1 ha Aufstellfläche • Pufferspeicher: min. 850 m³

	Weitere: <ul style="list-style-type: none"> • Holz oder • iKWK-Anlage (H2-Ready) • eventuell industrielle Abwärme
Verknüpfte Maßnahmen	Machbarkeitsstudie nach BEW mit Eingangsprüfungen vorab: <ul style="list-style-type: none"> • Möglicher Standort für Holz-Heizwerk? • Mögliche Flächen für Solarthermie oder Agrothermie? • Möglicher Standort für iKWK bzw. Potenzial der bestehenden Zentrale • Potenzial thermische Nutzung Pferdemist? • Feststellung möglicher Synergien (Abwärmenutzung, Sektorkopplung) mit Liegenschaft Fa. Siemens durch Voruntersuchung • Mögliche Aufteilung des Eignungsgebiets in Gebiet Süd-Ost um Grotthaus-Läninger und Ortskern-West

8.1.10 Kilchberg (10)

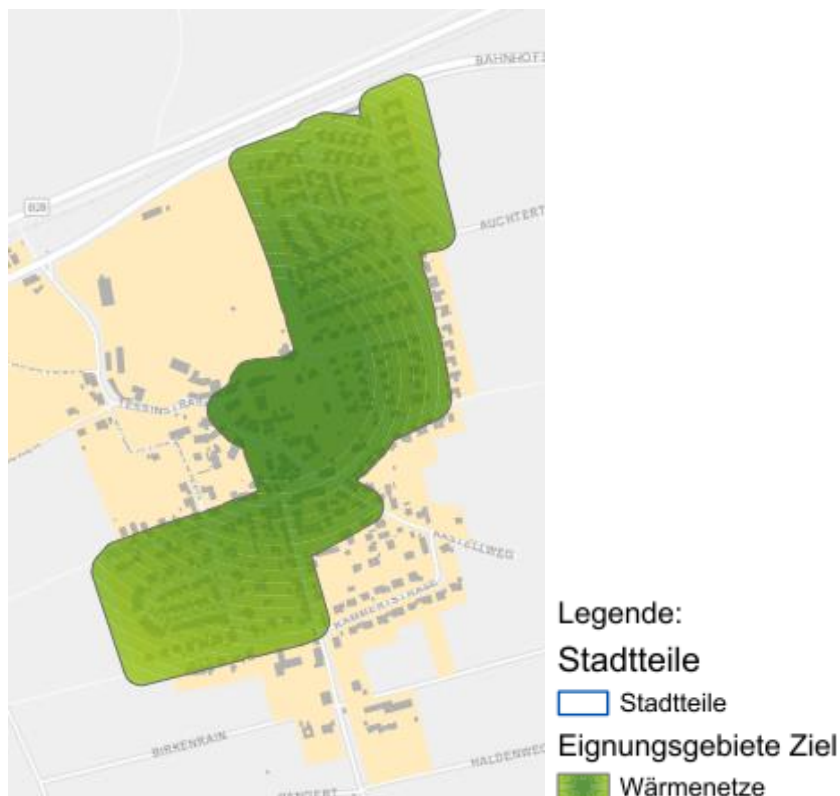


Abb. 45: Eignungsgebiet Kilchberg

Lage	Ausgehend von Ortskern in Nord-östlicher und süd-westlicher Richtung, jeweils bis zu den Ortsrändern
Lokale Potenziale und Chancen	<ul style="list-style-type: none"> • Mögliche Freiflächen Solarthermie entlang B28 • Mögliche Freiflächen Agrothermie an Ost- und Westrändern
Deckung Endenergie an Gebäuden (2040)	2,2 GWh
Wärmeabgabe Zentrale	2,4 GWh
Leistung Zentrale	1,5 MW
Energieträgermix / Zentrale	<p>Freiflächen Solarthermie für ca. 30% Deckung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kollektorfläche: 2.000 m²; • 0,3 ha Aufstellfläche • Pufferspeicher: min. 100 m³ <p>Freiflächen Solarthermie für ca. 50% Deckung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kollektorfläche: 4.100 m²; • 1,1 ha Aufstellfläche • Pufferspeicher: min. 450 m³ <p>Weitere:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Holz oder • iKWK-Anlage (H2-Ready) • Erdwärme (bei Verfügbarkeit Flächen Agrothermie)
Verknüpfte Maßnahmen	<p>Machbarkeitsstudie nach BEW mit Eingangsprüfungen vorab:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mögliche Flächen für Solarthermie oder Agrothermie? • Möglicher Standort für Holz-Heizwerk? • Möglicher Standort für iKWK?

8.1.11 Weilheim Nord (11)

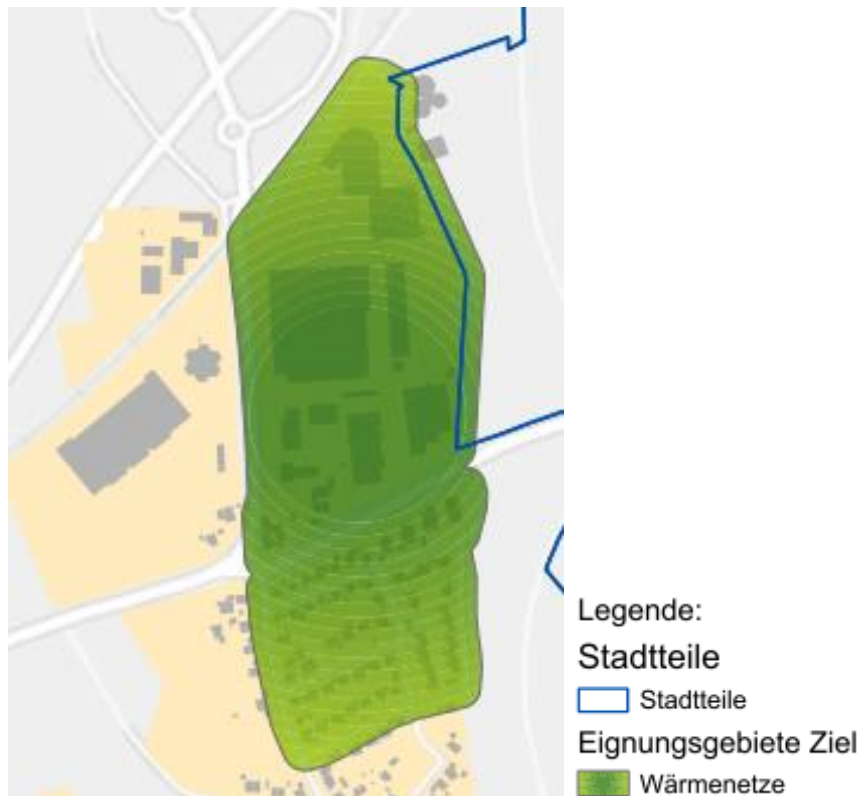


Abb. 46: Eignungsgebiet Weilheim Nord

Lage	Gewerbegebiet nördlich Weinbergstraße und angrenzende Baublöcke südlich Weinbergstraße
Lokale Potenziale und Chancen	<ul style="list-style-type: none"> • bestehende Biogasanlage • mögliche Freiflächen für Solarthermie angrenzend an Biogasanlage und B28 • Geplantes Neubaugebiet westlich Alte Landstraße mit möglichen Synergien • mögliche Synergien zwischen Gewerbe und Wohnnutzung
Deckung Endenergie an Gebäuden (2040)	1,6 GWh
Wärmeabgabe Zentrale	1,8 GWh
Leistung Zentrale	1,1 MW
Energieträgermix / Zentrale	Freiflächen Solarthermie für ca. 30% Deckung: <ul style="list-style-type: none"> • Kollektorfläche: 1.600 m²; • 0,3 ha Aufstellfläche • Pufferspeicher: min. 100 m³

	<p>Freiflächen Solarthermie für ca. 50% Deckung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kollektorfläche: 3.000 m²; • 0,8 ha Aufstellfläche • Pufferspeicher: min. 300 m³ <p>Weitere:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Holz oder • iKWK-Anlage (H2-Ready, Biogas)
<ul style="list-style-type: none"> • Verknüpfte Maßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Machbarkeitsstudie nach BEW mit Eingangsprüfungen vorab: • Verfügbare Freiflächen für Solarthermie? • Möglicher Standort für Holz-Heizwerk? • Möglicher Standort für iKWK bzw. Potenzial Biogasanlage? • Energiekonzept Neubaugebiet mit Synergien für Bestand

8.1.12 Weilheim Süd (12)

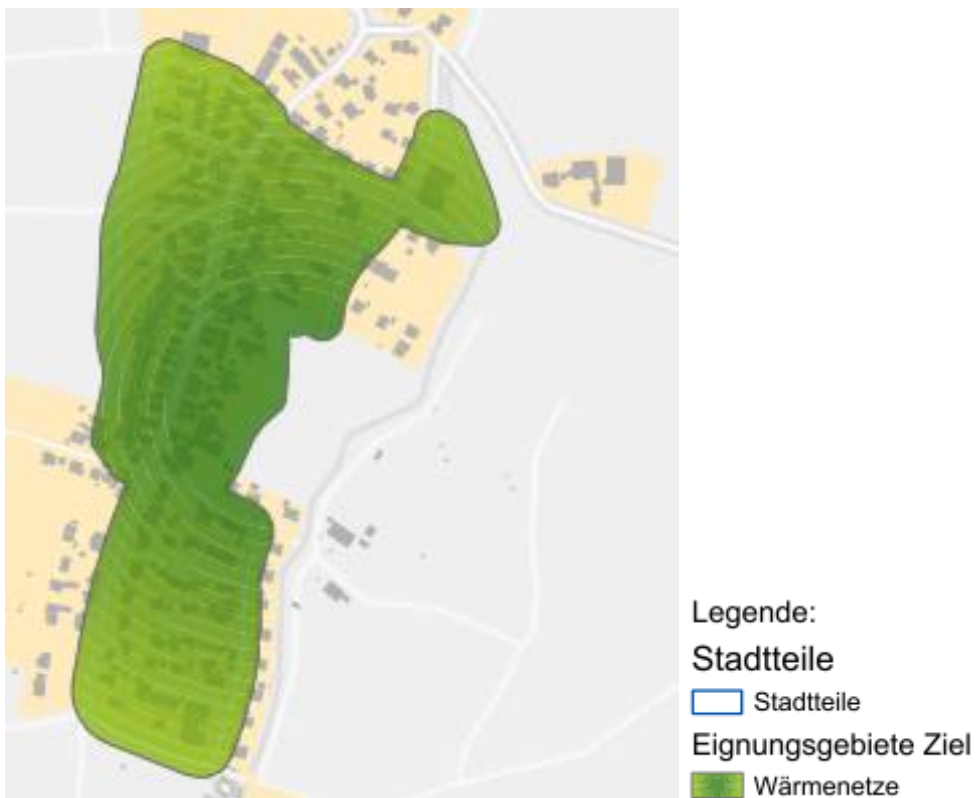


Abb. 47: Eignungsgebiet Weilheim Süd

Lage	Ausgehend von kommunalen Einrichtungen (Rammerthalle) und Neubaugebiet „Hinter den Gärten“ in angrenzende Baublöcke westlich und südlich davon entlang Wilonstraße
Lokale Potenziale und Chancen	<ul style="list-style-type: none"> • Energiekonzept für Neubaugebiet „Hinter den Gärten“ in Bearbeitung und möglichen Synergien • mögliche Freiflächen für Solarthermie östlich Rammerthalle • kommunale Gebäude (Rammerthalle / Kindergarten) in Nachbarschaft zu Neubaugebiet „Hinter den Gärten“ • mögliche Verbindung mit Eignungsgebiet Weilheim-Nord
Deckung Endenergie an Gebäuden (2040)	2,0 GWh
Wärmeabgabe Zentrale	2,2 GWh
Leistung Zentrale	1,4 MW
Energieträgermix / Zentrale	<ul style="list-style-type: none"> • Solarthermie • Holz oder • iKWK-Anlage (H2-Ready)
Verknüpfte Maßnahmen	<p>Energiekonzept für Neubaugebiet und Bestand:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verfügbare Freiflächen für Solarthermie? • Möglicher Standort für Holz-Heizwerk? • Möglicher Standort für iKWK bzw. Potenzial Biogasanlage? • Energiekonzept Neubaugebiet mit Synergien für Bestand • Versorgungs- und Ausbauszenarien und Verbindung mit Eignungsgebiet Weilheim-Nord?

8.1.13 Pfrondorf Ortskern (13)



Abb. 48: Eignungsgebiet Pfrondorf Ortskern

Lage	Ortskern entlang Lustnauer Straße
Lokale Potenziale und Chancen	<ul style="list-style-type: none"> • Geothermische Eignung für Erdwärmesonden

Deckung Endenergie an Gebäuden (2040)	2,6 GWh
Wärmeabgabe Zentrale	2,9 GWh
Leistung Zentrale	1,8 MW
Energieträgermix / Zentrale	<ul style="list-style-type: none"> • Geothermie (Erdwärmesonden): min. 3,9 ha mit ca. 390 Sonden für vollständige Deckung • Holz oder • iKWK-Anlage (H2-Ready)
Verknüpfte Maßnahmen	Machbarkeitsstudie nach BEW mit Eingangsprüfungen vorab: <ul style="list-style-type: none"> • Mögliche Flächen für Erdwärmesonden am Ortsrand? • Möglicher Standort für Holz-Heizwerk? • Möglicher Standort für iKWK?

8.1.14 Pfrondorf Nord-West (14)



Abb. 49: Eignungsgebiet Pfrondorf Nord-West

Lage	Ausgehend von Schule und Mehrzweckhalle in den angrenzenden Nordteil des Ortes.
Lokale Potenziale und Chancen	<ul style="list-style-type: none"> • Erneuerung der Wärmeerzeugung Schönbuchhalle / Grundschule • Geothermische Eignung für Erdwärmesonden • Neubaugebiet mit möglichen Synergien
Deckung Endenergie an Gebäuden (2040)	1,6 GWh
Wärmeabgabe Zentrale	1,8 GWh
Leistung Zentrale	1,2 MW
Energieträgermix / Zentrale	<ul style="list-style-type: none"> • Geothermie (Erdwärmesonden): min. 2,5 ha mit ca. 250 Sonden für vollständige Deckung • Holz oder

	<ul style="list-style-type: none">• iKWK-Anlage (H2-Ready)
Verknüpfte Maßnahmen	<p>Machbarkeitsstudie nach BEW mit Eingangsprüfungen vorab:</p> <ul style="list-style-type: none">• Mögliche Flächen für Erdwärmesonden?• Möglicher Standort für Holz-Heizwerk?• Möglicher Standort für iKWK bzw. Potenziale Standort Schönbuchhalle / Grundschule?

8.2 Fokusgebiete energetische Stadtentwicklung

Aus den Wärmebedarfen pro Baublock und dem Anteil des heute aus dezentralen Anlagen mit fossilen Energieträgern gedeckten Wärmebedarfs wurden mögliche Fokusgebiete für die energetische Stadtentwicklung ausgewählt. Die Priorisierung erfolgte dabei nach den folgenden Inhalten pro Fokusgebiet:

- Ehrgeizige Bedarfssenkung und verstärkte Nutzung von Solarenergie in den Eignungsgebieten für eine auch künftig dezentrale Versorgung mit Schwerpunkt auf Wärmepumpen mit unterschiedlichen Quellen einschließlich kalter Nahwärme und PV-Anlagen sowie Wärmeinseln.
- Bedarfssenkung in Eignungsgebieten für neue oder bestehende Fernwärmenetze, um die technischen und wirtschaftlichen Vorteile niedrigerer Netztemperaturen und Anschlussleistungen nutzen zu können.
- Maßgebliche Akteure wie WEG in größeren Mehrfamilienhäusern oder Liegenschaften in kommunaler Verwaltung sowie des Sektors Gewerbe-Handel-Dienstleistung und Industrie.
- Beratung und Akquise zur Verdichtung oder Erweiterung bestehender Fernwärmenetze

Zur zeitlichen Priorisierung müssen weitere Rahmenbedingungen wie die Fernwärme-Ausbaustrategie der Stadt oder auch andere Themen der Stadtentwicklung im jeweiligen Gebiet beachtet werden.

Tab. 8: Fokusgebiete energetische Stadtentwicklung

Gebiet / Stadtteil	Eingrenzung	Priorität
Derendingen / Feuerhägle	Sieben-Höfe-Straße, Weinbergstraße, Bahnlinie sowie Schellingstraße, Bahnlinie, Weinbergstraße, Raichbergstraße	4
Hirschau	Ort und FW-Eignungsgebiet (8), inklusive Gewerbegebiet „Rittweg“	4
Universität I	Stöcklestraße / Herrenberger Straße / Charlottenstraße	4
Unterjesingen	Ort und FW-Eignungsgebiet (7)	4
Zentrum	Altstadt	4

Südstadt	Stuttgarter Straße / Reutlinger Straße / Steinlach	3
Au / Unterer Wert	B28 / Eisenbahnstraße, Depot-Areal, GHDI Schaffhausenstraße	3
Bebenhausen	Ort und FW-Eignungsgebiet (5)	3
Schönblick Süd	Im Schönblick, Corrensstraße, Rotbad, Im Winkelrain, Haußerstraße	3
Universität II	Gmelinstraße, Mohlstraße, Mörickestraße	3
Weilheim Nord	Ort und FW-Eignungsgebiet (11)	3
Weilheim Süd	Ort und FW-Eignungsgebiet (12)	3
Weststadt II	analog FW-Eignungsgebiet (1) im Stadtteil entlang B296	3
Bühl	Ort und FW-Eignungsgebiet (9)	3
Hagelloch	Ort und FW-Eignungsgebiet (6)	3
Denzenberg / Sand	Wilhemstraße, Vogtshaldenstraße	2
Pfrondorf Nord-West	FW-Eignungsgebiet (14)	2
Wanne	FW-Eignungsgebiet (2)	2
Kilchberg	Ort und FW-Eignungsgebiet (10)	2
Österberg / Aeule West	zwischen Neckar und Österberg und Mühlstraße bis Stuttgarter Straße	2
Pfrondorf Ortskern	FW-Eignungsgebiet (13)	2
Pfrondorf Nord- Ost	Ortsrand entlang Blaihofstraße	2
Weststadt I	zwischen Rappenberghalde / Hirschauer Straße und Burgholzweg	2
Gartenstadt	außerhalb FW-Eignungsgebiet, östlich Steinlach	1

8.3 Stadtteile

8.3.1 Kernstadt (inkl. WHO, Lustnau, Derendingen, Süd- und Weststadt)

Ist-Zustand:

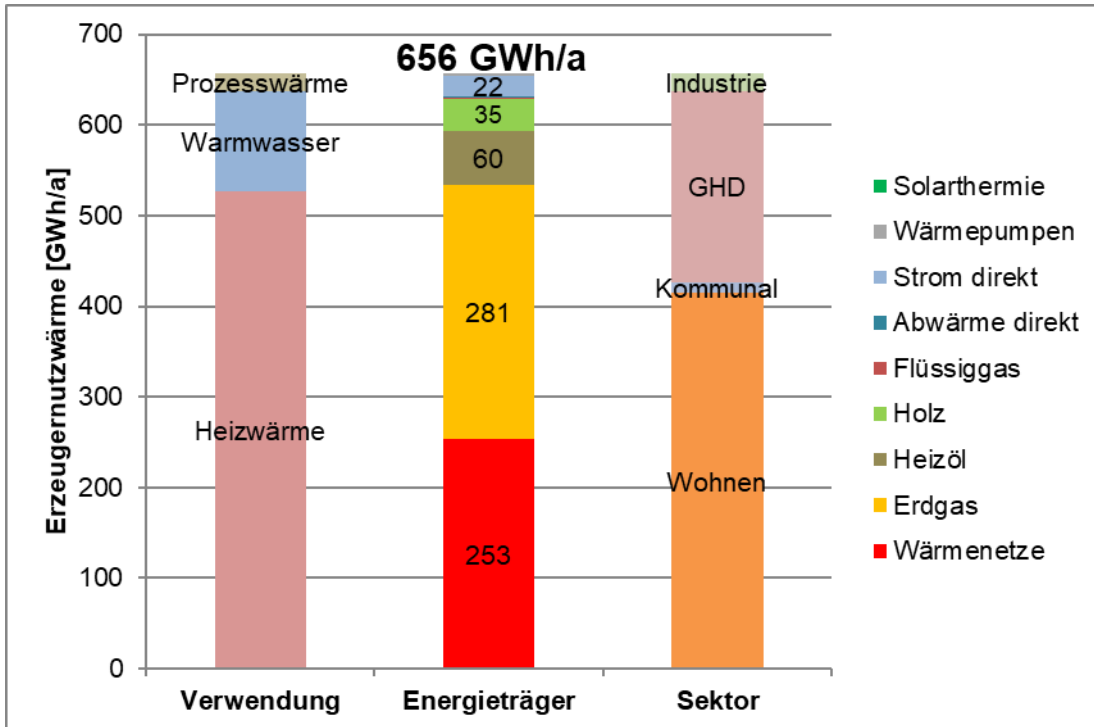


Abb. 50: Kernstadt - Erzeugernutzwärmeabgabe im Ist-Zustand nach Energieträgern, Verwendung und Sektor

Anteile fossiler Wärmeerzeugung außerhalb von Wärmenetzen des Stadtteils im Vergleich zur Gesamt-Stadt:

	Menge im Stadtteil	Anteil an Gesamt-Stadt
Endenergie Wärme	352 GWh/a	68 %
THG-Emissionen	87 Tsd. t/a	66 %

Tab. 9: Anteile fossiler / dezentraler Wärmeerzeugung - Kernstadt

Aufteilung der oben genannten Anteile auf einzelne Stadtteile:

Tab. 10: Einzelne Stadtteile der Kernstadt mit den jeweiligen Anteilen am derzeit dezentral oder fossil gedeckten Wärmebedarf Tübingens

Stadtteil / Ortsteil	Wärme dez. / fossil Endenergie [GWh/a]	Anteil Wärme dez. / fossil an Gesamt	THG dez. / fossil [Tsd. t]	Anteil THG dez. / fossil an Gesamt
Weststadt	55	11%	14	11%
Universität	47	9%	11	9%
Zentrum	47	9%	11	9%
Südstadt	40	8%	9	7%
Feuerhägle/Mühlenviertel	27	5%	7	5%
Schönblick/Waldhäuser Ost	22	4%	6	4%
Gartenstadt	22	4%	5	4%
Wanne	18	3%	5	4%
Au/Unterer Wert/Franz. Viertel	18	3%	5	4%
Österberg/Gartenstraße	17	3%	4	3%
Denzenberg/Sand	15	3%	4	3%
Derendingen	12	2%	3	2%
Neuhalde	8	2%	2	2%
Aeule	5	1%	1	1%
Summen:	352	68%	87	66%

Besonderheiten, Chancen, Akteure:

- Weststadt: Deutsche Bahn, ZugBus-Regionalverkehr Alb-Bodensee: Betriebshof an B28 mit großen fossil beheizten Betriebsgebäuden und hohen installierten Leistungen
- Universität:
 - Hochhäuser und große Mehrfamilienhäuser mit eigener fossiler Wärmeerzeugung
 - Stadt Tübingen: Komplex Shedhalle und ehemaliger Schlachthof
- Zentrum:
 - GSW, GWG u.a.: Mehrfamilienhäuser Schleifmühlweg, Haaggasse
 - Land / Uni: Schloss Tübingen und große Mehrfamilienhäuser in der Altstadt

- Hochhäuser und große Mehrfamilienhäuser mit eigener fossiler Wärmeerzeugung
- **Südstadt:**
 - Hochhäuser und große Mehrfamilienhäuser mit eigener fossiler Wärmeerzeugung
 - Sonstige: Liegenschaften Gewerbe-Handel-Dienstleistung Kreuz Reutlinger Straße / Stuttgarter Straße
- **Feuerhägle / Mühlenviertel:**
 - Land BW: Polizei-Hochhaus, Wohngebäude Konrad-Adenauer-Straße
 - Landkreis Tübingen: Behördenzentrum / Landratsamt mit Wärmeinsel
 - Stadt Tübingen: Neubau- / Verdichtungsgebiet Mühlbachacker
- **Gartenstadt: Liegenschaften Gewerbe Handel Dienstleistung und Industrie im Gebiet „Steinlachwasen“**

Potenziale / Maßnahmen bis 2030:

- **Verbindung Wärmenetze in Südstadt und Innenstadt / Universität Tal zu „Netzverbund Süd“**
- **Verdichtung und Erweiterung bestehender Wärmenetze:**
 - Netzverbund Süd (1)
 - Waldhäuser Ost (2)
 - Herrlesberg (3)
 - Morgenstelle / Schnarrenberg (4)
- **Transformation bestehende Wärmeerzeugung, insbesondere durch:**
 - Abwärmenutzung am Ablauf der Kläranlage Lustnau,
 - Solarthermie Au,
 - Holzheizwerk Süd,
 - Integration Wärmespeicher in „Netzverbund Süd“ für iKWK-Konzept,
 - „H2-Ready“-Blockheizkraftwerke (Modernisierung Zentrale Brunnenstraße für iKWK)
- **Realisierung von Effizienzpotentialen im Gebäudebestand (Unterstützung hierfür z. B. durch ein Sanierungsmanagement, das aufbauend auf ein integriertes Quartierskonzept angeboten wird)**

- Dezentrale Wärmeerzeugung außerhalb Fernwärmegebieten hauptsächlich durch Wärmepumpen und lokale Umweltwärme: Erdwärme (Kollektoren), Grundwasser, Außenluft und Solarenergie
- Kooperation und Einbindung bedeutender Akteure wie Land Baden-Württemberg, Bund, Wohnungsverwaltungen und Deutsche Bahn
- Senkung des Wärmebedarfs um 16 % auf 555 GWh/a

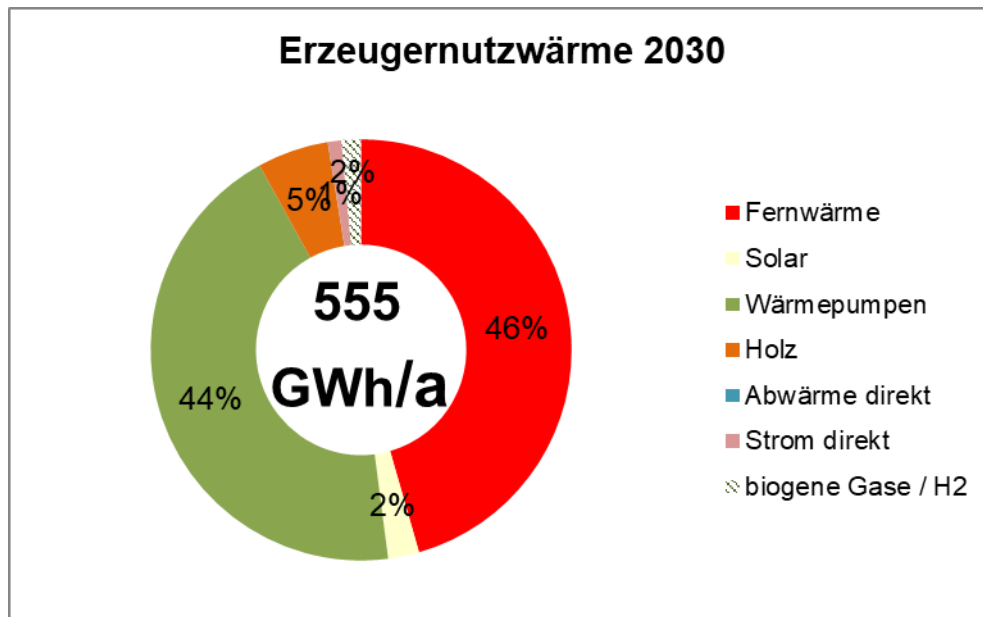


Abb. 51: Anteile Energieträger Erzeugernutzwärmebedarf Zielszenario – Kernstadt

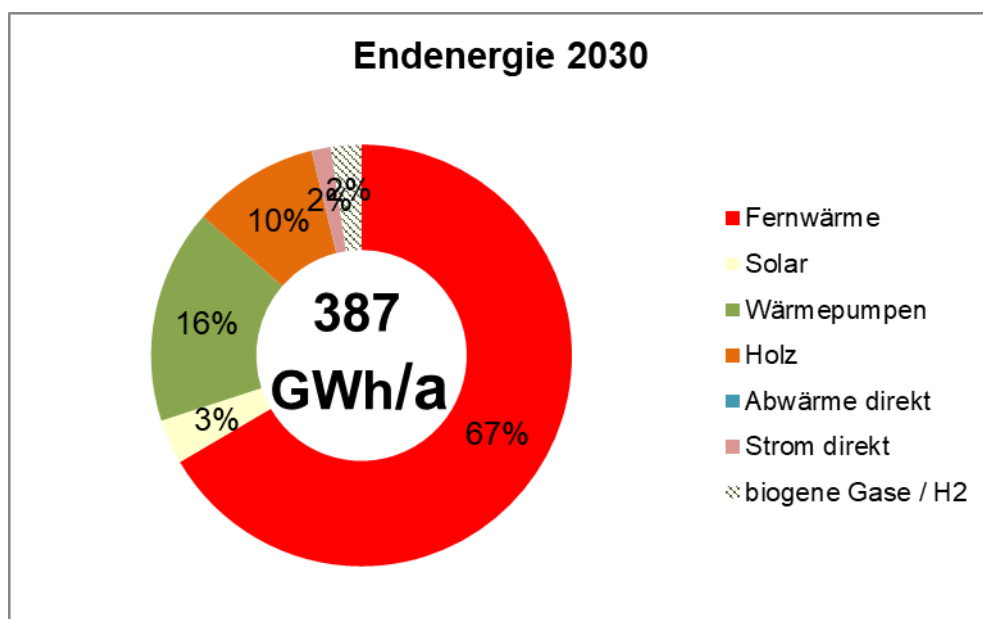


Abb. 52: Anteile Energieträger Endenergiebedarf Zielszenario – Kernstadt

8.3.2 Hirschau

Ist-Zustand:

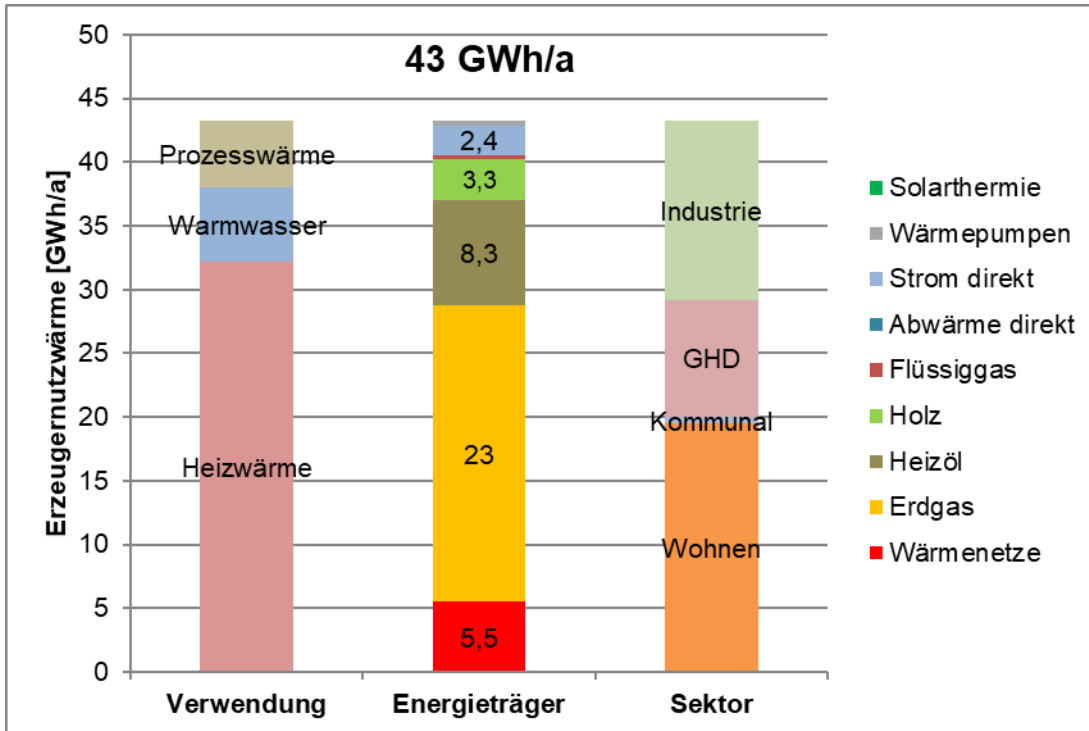


Abb. 53: Hirschau - Erzeugernutzwärmeabgabe im Ist-Zustand nach Energieträgern, Verwendung und Sektor

Anteile fossiler Wärmeerzeugung außerhalb von Wärmenetzen des Stadtteils im Vergleich zur Gesamt-Stadt:

Tab. 11: Anteile fossiler / dezentraler Wärmeerzeugung - Hirschau

	Menge im Stadtteil	Anteil an Gesamt-Stadt
Endenergie Wärme	36 GWh/a	7 %
THG-Emissionen	9 Tsd. t/a	7 %

Besonderheiten, Chancen, Akteure:

- Die Sektoren Industrie und GHD haben einen bedeutenden Anteil an der Energiebilanz (Gewerbegebiet Rittweg)
- Im Gewerbegebiet gibt es mehrere Betriebe / Liegenschaften mit Ansatzpunkten für Synergien in der Energienutzung des Stadtteils, insbesondere Kraft-Wärmekopplung, Solarenergie und Abwärmenutzung

Potenziale / Maßnahmen bis 2030:

- Fernwärmeeignungsgebiet Hirschau (8): Konzeption und Realisierung Wärmeverbund Ortskern mit Neubaugebiet, kommunalen Liegenschaften und evtl. Gewerbegebiet Rittweg mit möglichen Synergien
- Nutzung von Effizienzpotentialen im Gebäudebestand (Unterstützung hierfür z. B. durch ein Sanierungsmanagement, das aufbauend auf ein integriertes Quartierskonzept angeboten wird)
- Dezentrale Wärmeerzeugung hauptsächlich durch Wärmepumpen und lokaler Umweltwärme: Erdwärme (Kollektoren), Grundwasser, Außenluft und Solarenergie
- Senkung des Wärmebedarfs um 5 % auf 41 GWh/a

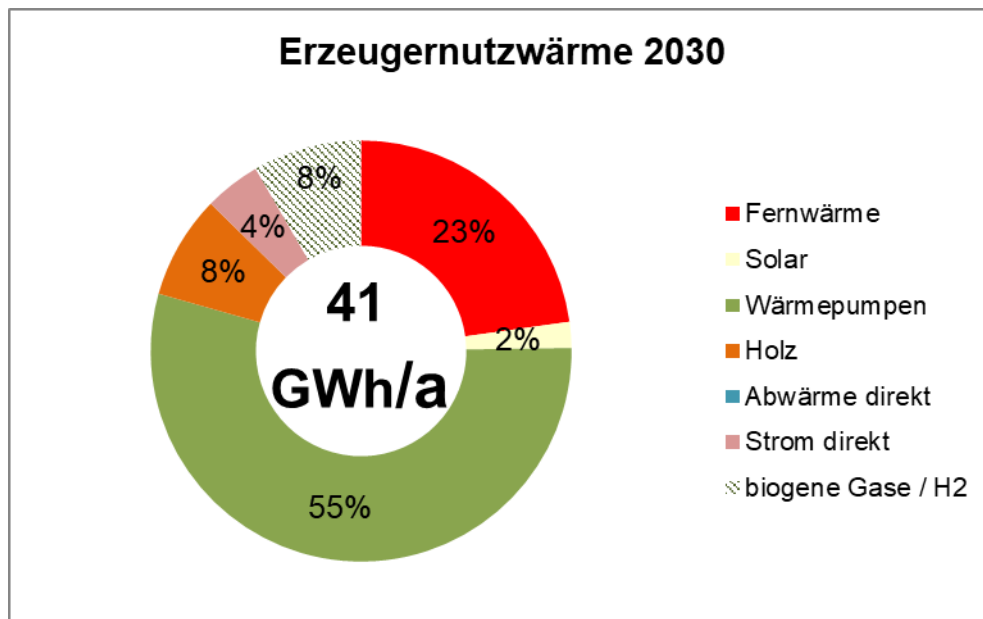


Abb. 54: Anteile Energieträger Erzeugernutzwärmebedarf Zielszenario – Hirschau

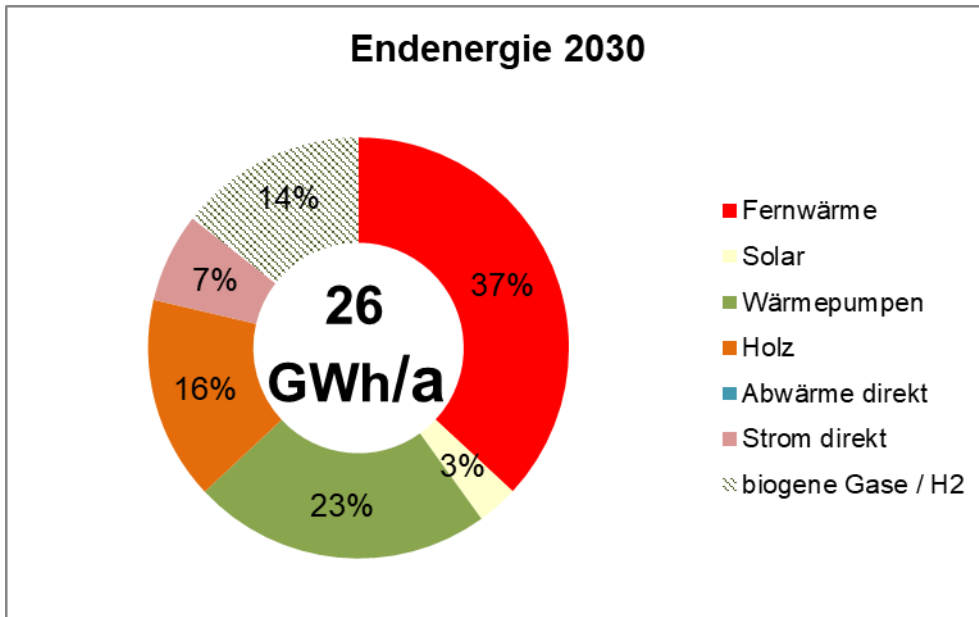


Abb. 55: Anteile Energieträger Endenergiebedarf Zielszenario – Hirschau

8.3.3 Pfrondorf

Ist-Zustand:

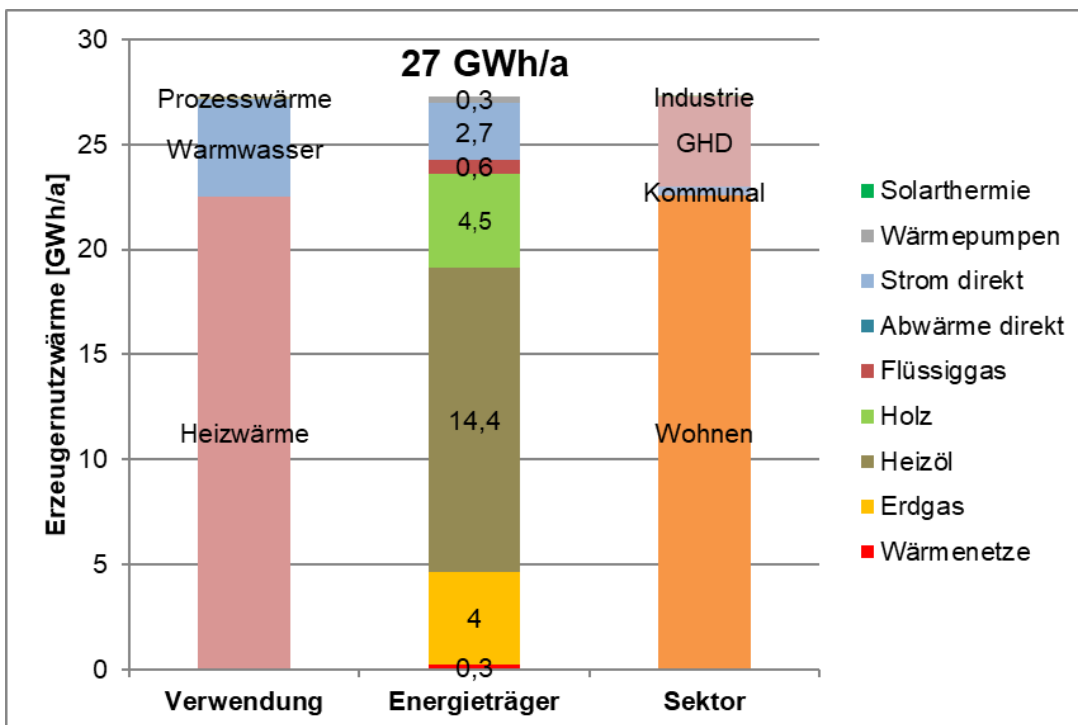


Abb. 56: Pfrondorf - Erzeugernutzwärmeabgabe im Ist-Zustand nach Energieträgern, Verwendung und Sektor

Anteile fossiler Wärmeerzeugung außerhalb von Wärmenetzen des Stadtteils im Vergleich zur Gesamt-Stadt:

Tab. 12: Anteile fossiler / dezentraler Wärmeerzeugung - Pfrondorf

	Menge im Stadtteil	Anteil an Gesamt-Stadt
Endenergie Wärme	23 GWh/a	4 %
THG-Emissionen	7 Tsd. t/a	5 %

Besonderheiten, Chancen, Akteure:

- Stadt Tübingen: Liegenschaft Grundschule / Schönbuchhalle
- Gewerbebetriebe um Hofstrüttele
- Landkreis Tübingen und Ev. Kirche: Hägnach-Sophienpflege / Schule
- Mehrfamilienhäuser im Ortskern mit fossiler Wärmeerzeugung

Potenziale / Maßnahmen bis 2030:

- Konzeption und Realisierung Wärmeverbund im Ortskern sowie zwischen Neubaugebiet und Schönbuchhalle mit Grundschule:
 - Pfrondorf Ortskern (13)
 - Pfrondorf Nord-West (14)
- Nutzung von Effizienzpotentialen im Gebäudebestand (Unterstützung hierfür z. B. durch ein Sanierungsmanagement, das aufbauend auf ein integriertes Quartierskonzept angeboten wird)
- Dezentrale Wärmeerzeugung hauptsächlich durch Wärmepumpen und lokale Umweltwärme: Erdwärme (Sonden), Außenluft und Solarenergie
- Senkung des Wärmebedarfs um 4 % auf 26 GWh/a

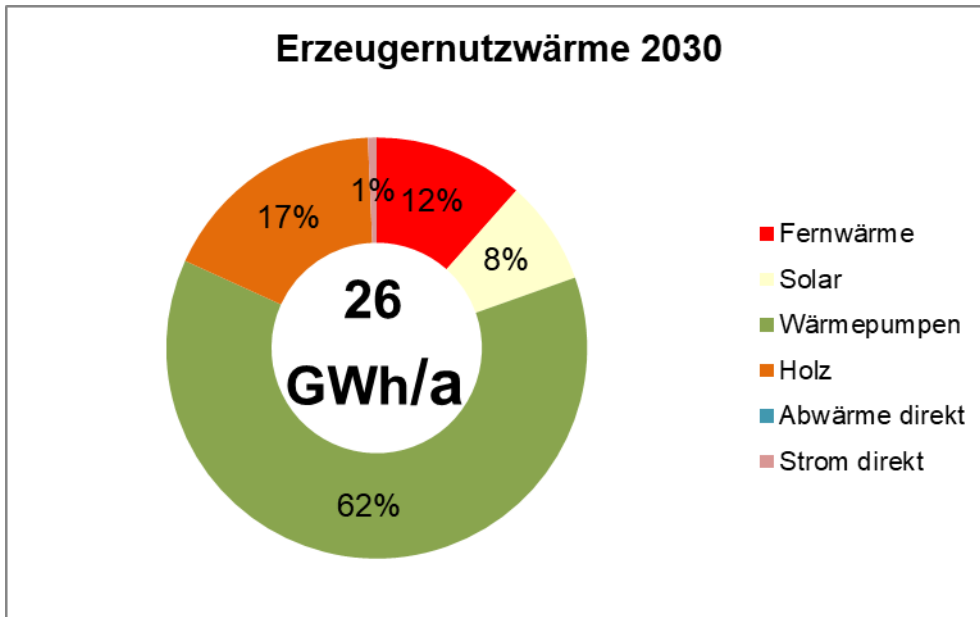


Abb. 57: Anteile Energieträger Erzeugernutzwärmebedarf Zielszenario – Pfrondorf

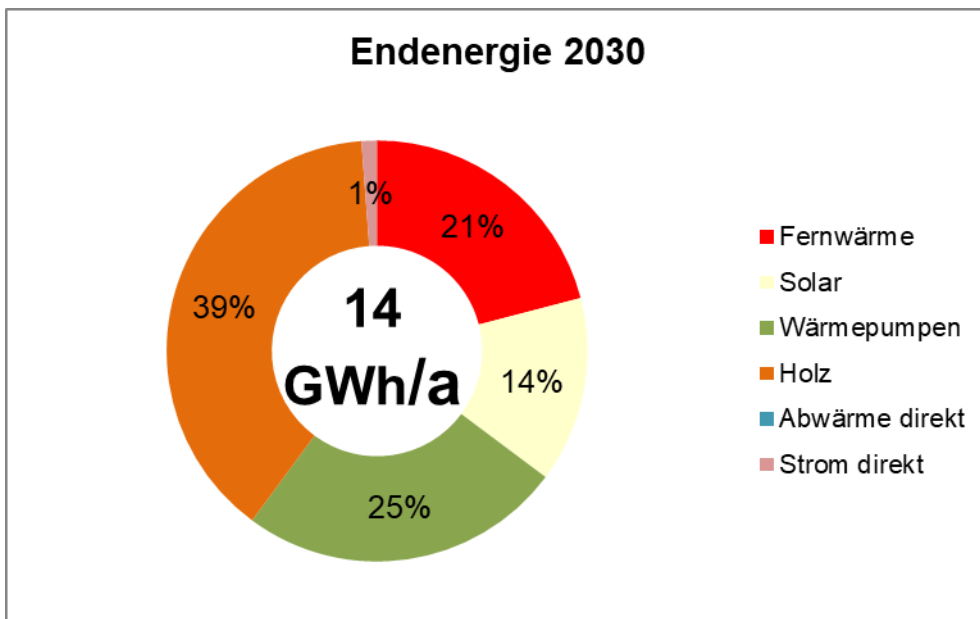


Abb. 58: Anteile Energieträger Endenergiebedarf Zielszenario – Pfrondorf

8.3.4 Kilchberg

Ist-Zustand:

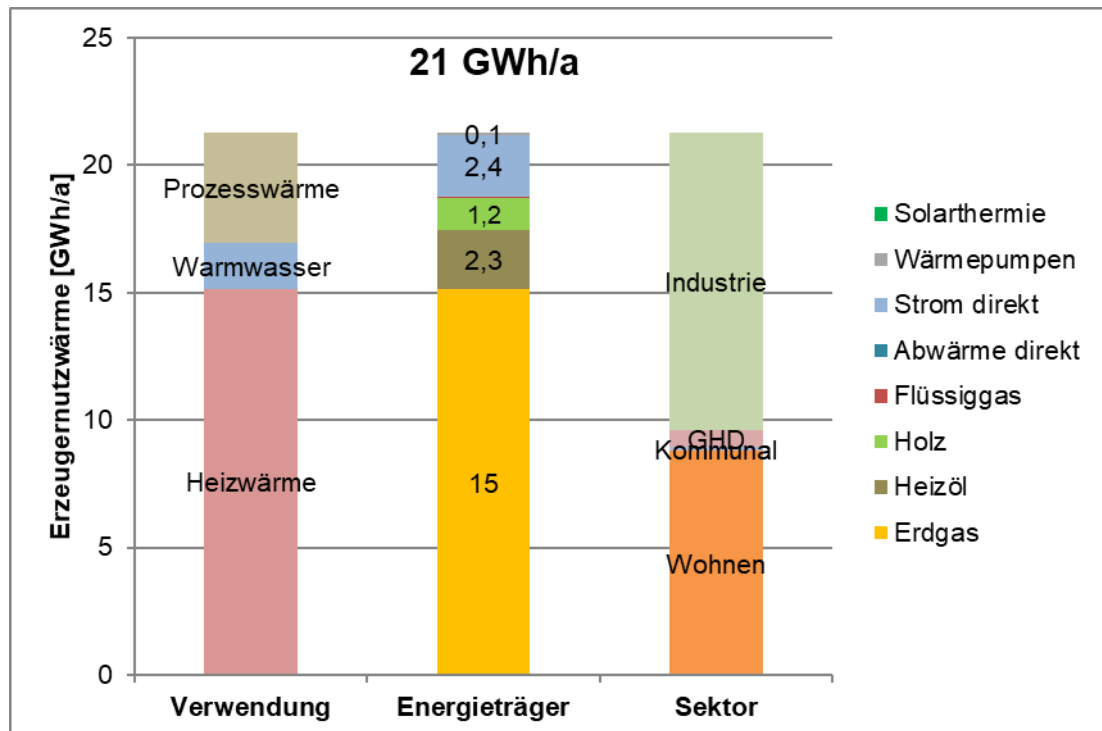


Abb. 59: Kilchberg - Erzeugernutzwärmeabgabe im Ist-Zustand nach Energieträgern, Verwendung und Sektor

Anteile fossiler Wärmeerzeugung außerhalb von Wärmenetzen des Stadtteils im Vergleich zur Gesamt-Stadt:

Tab. 13: Anteile fossiler / dezentraler Wärmeerzeugung - Kilchberg

	Menge im Stadtteil	Anteil an Gesamt-Stadt
Endenergie Wärme	19 GWh/a	4 %
THG-Emissionen	5 Tsd. t/a	4 %

Besonderheiten, Chancen, Akteure:

- Der Sektor Industrie hat einen bedeutenden Anteil an der Energiebilanz (Gewerbegebiet / Liegenschaft Siemens)
- Art und Umfang der nach vorliegenden Daten anzunehmenden Energienutzung im Gewerbegebiet zeigen Ansatzpunkte für Synergien, insbesondere Kraft-Wärmekopplung und Abwärmenutzung

Potenziale / Maßnahmen bis 2030:

- Konzeption und Realisierung Wärmeverbund ausgehend vom Ortskern nach Nord-Ost und Süd-West: Fernwärmeeignungsgebiet Kilchberg (10)
- Nutzung von Effizienzpotentialen im Gebäudebestand (Unterstützung hierfür z. B. durch ein Sanierungsmanagement, das aufbauend auf ein integriertes Quartierskonzept angeboten wird)
- Dezentrale Wärmeerzeugung hauptsächlich durch Wärmepumpen und lokale Umweltwärme: Erdwärme (Kollektoren), Grundwasser, Außenluft und Solarenergie
- Senkung des Wärmebedarfs um 5 % auf 20 GWh/a

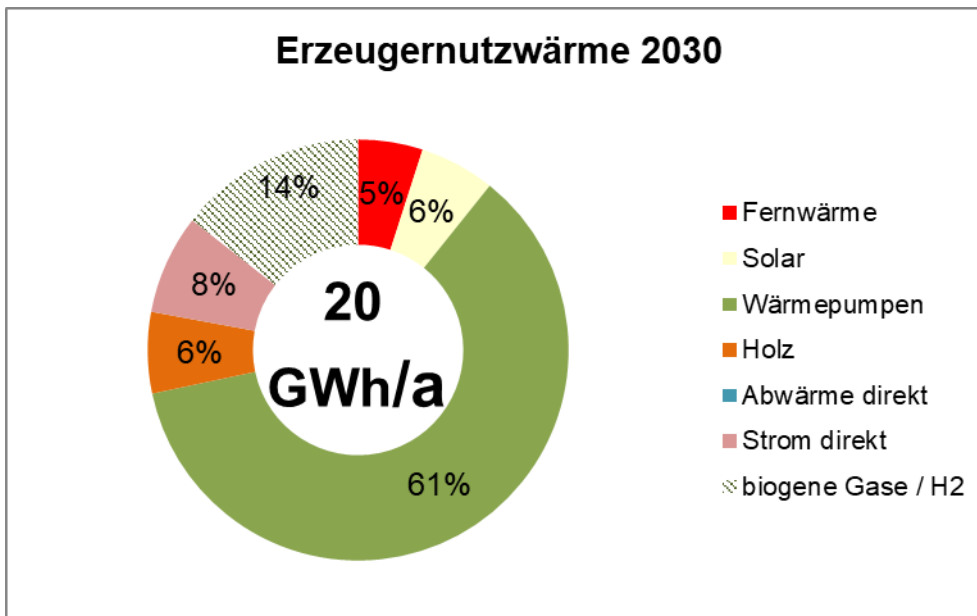


Abb. 60: Anteile Energieträger Erzeugernutzwärmebedarf Zielszenario – Kilchberg

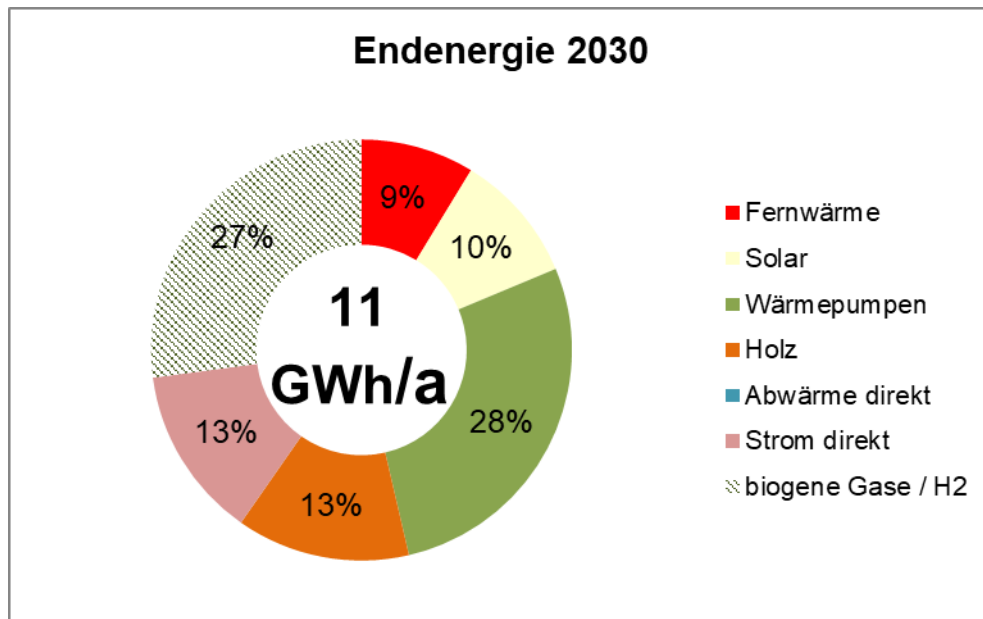


Abb. 61: Anteile Energieträger Endenergiebedarf Zielszenario – Kilchberg

8.3.5 Unterjesingen

Ist-Zustand:

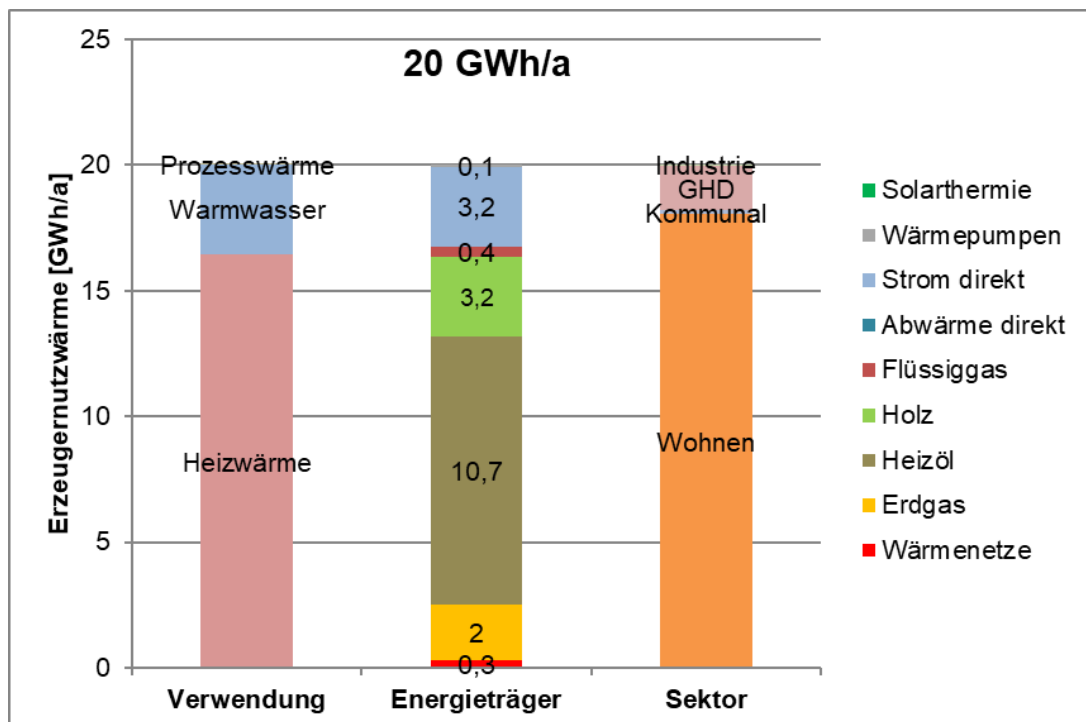


Abb. 62: Unterjesingen - Erzeugernutzwärmeabgabe im Ist-Zustand nach Energieträgern, Verwendung und Sektor

Anteile fossiler Wärmeerzeugung außerhalb von Wärmenetzen des Stadtteils im Vergleich zur Gesamt-Stadt:

Tab. 14: Anteile fossiler / dezentraler Wärmeerzeugung - Unterjesingen

	Menge im Stadtteil	Anteil an Gesamt-Stadt
Endenergie Wärme	16 GWh/a	3 %
THG-Emissionen	5 Tsd. t/a	4 %

Besonderheiten, Chancen, Akteure:

- Stadt Tübingen, Land BW, GWG u.a.: Mehrfamilienhäuser älterer Baujahre mit fossiler Heizung oder Stromheizung
- Stadt Tübingen: Neubau und Nachverdichtung östlicher Ortsrand, Eignung Abwasserwärmenutzung (Kanal)

Potenziale / Maßnahmen bis 2030:

- Konzeption und Realisierung Wärmeverbund Ortskern und Ostrand in Verbindung mit Neubaugebiet und Abwasserwärmenutzung: Fernwärme-eignungsgebiet Unterjesingen (7)
- Nutzung von Effizienzpotentialen im Gebäudebestand (Unterstützung hierfür z. B. durch ein Sanierungsmanagement, das aufbauend auf ein integriertes Quartierskonzept angeboten wird)
- Dezentrale Wärmeerzeugung hauptsächlich durch Wärmepumpen und lokale Umweltwärme: Erdwärme (Kollektoren), Grundwasser, Außenluft und Solar-energie
- Senkung des Wärmebedarfs um 10 % auf 18 GWh/a

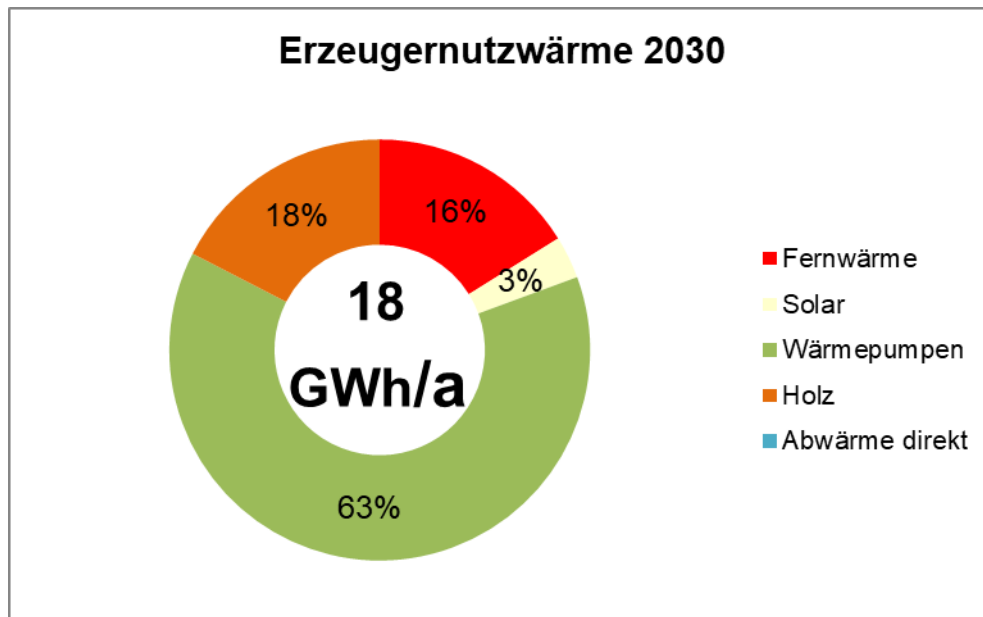


Abb. 63: Anteile Energieträger Erzeugernutzwärmebedarf Zielszenario – Unterjesingen

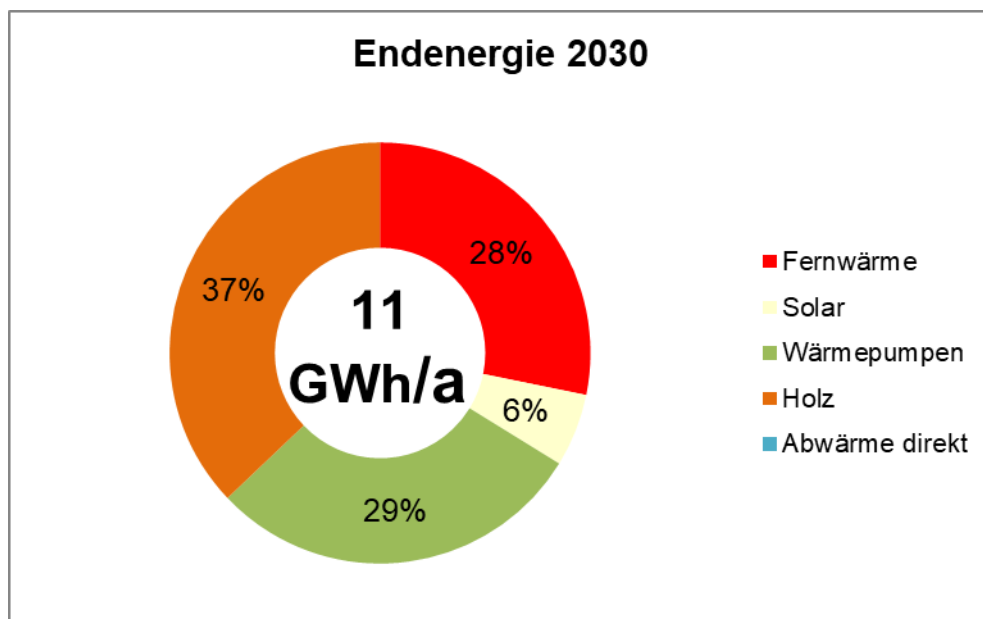


Abb. 64: Anteile Energieträger Endenergiebedarf Zielszenario – Unterjesingen

8.3.6 Weilheim

Ist-Zustand:

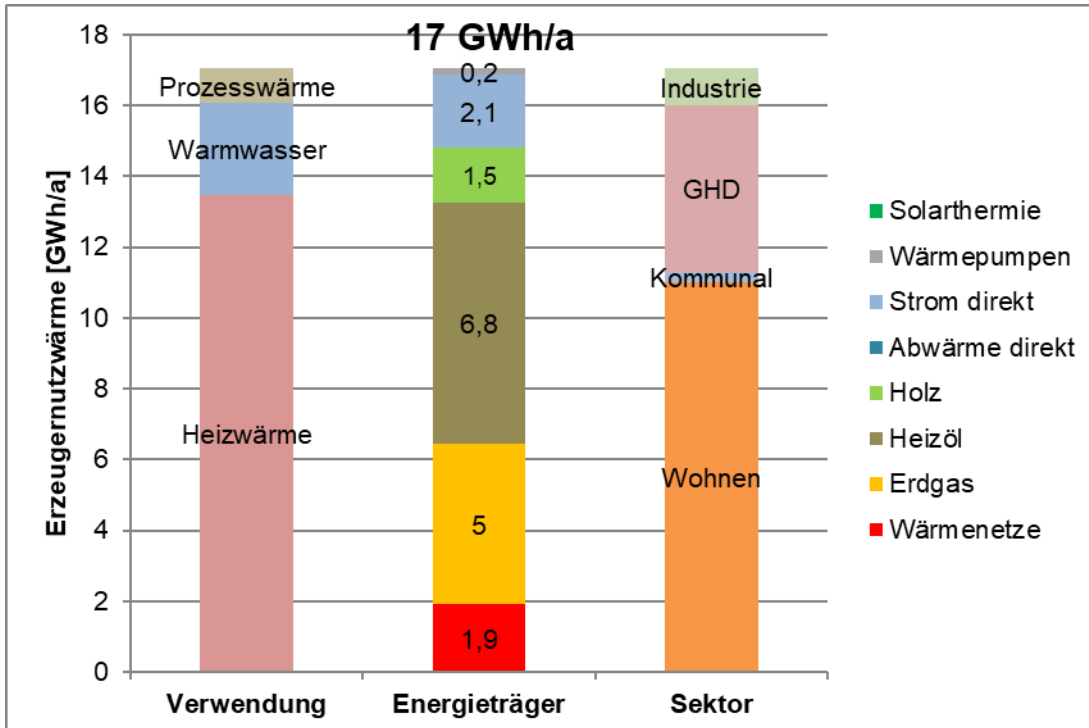


Abb. 65: Weilheim – Erzeugernutzwärmeabgabe im Ist-Zustand nach Energieträgern, Verwendung und Sektor

Anteile fossiler Wärmeerzeugung außerhalb von Wärmenetzen des Stadtteils im Vergleich zur Gesamt-Stadt:

Tab. 15: Anteile fossiler / dezentraler Wärmeerzeugung - Weilheim

	Menge im Stadtteil	Anteil an Gesamt-Stadt
Endenergie Wärme	13 GWh/a	3 %
THG-Emissionen	4 Tsd. t/a	3 %

Besonderheiten, Chancen, Akteure:

- Gewerbegebiet Im Schelmen / Alte Landstraße (Industrie)
- Bestehende Biogasanlage
- Bestehende Wärmeinseln mit Holz oder BHKW
- Neubaugebiete mit Synergien für Bestand
- Ortsteil Kressbach in isolierter Höhenlage mit Potenzial für Erdwärmenutzung

Potenziale / Maßnahmen bis 2030:

- Konzeption und Realisierung Wärmeverbund südlicher Ortskern in Verbindung mit Neubaugebiet und kommunalen Gebäuden; Fernwärmeeignungsgebiete:
 - Weilheim Nord (11)
 - Weilheim Süd (12)
- Prüfung / Konzeption Erweiterung und Integration Biogasanlage Weilheim in Wärmeverbund
- Nutzung von Effizienzpotentialen im Gebäudebestand (Unterstützung hierfür z. B. durch ein Sanierungsmanagement, das aufbauend auf ein integriertes Quartierskonzept angeboten wird)
- Dezentrale Wärmeerzeugung hauptsächlich durch Wärmepumpen und lokale Umweltwärme: Erdwärme (Kollektoren), Grundwasser, Außenluft und Solar-energie
- Senkung des Wärmebedarfs um 6 % auf 16 GWh/a

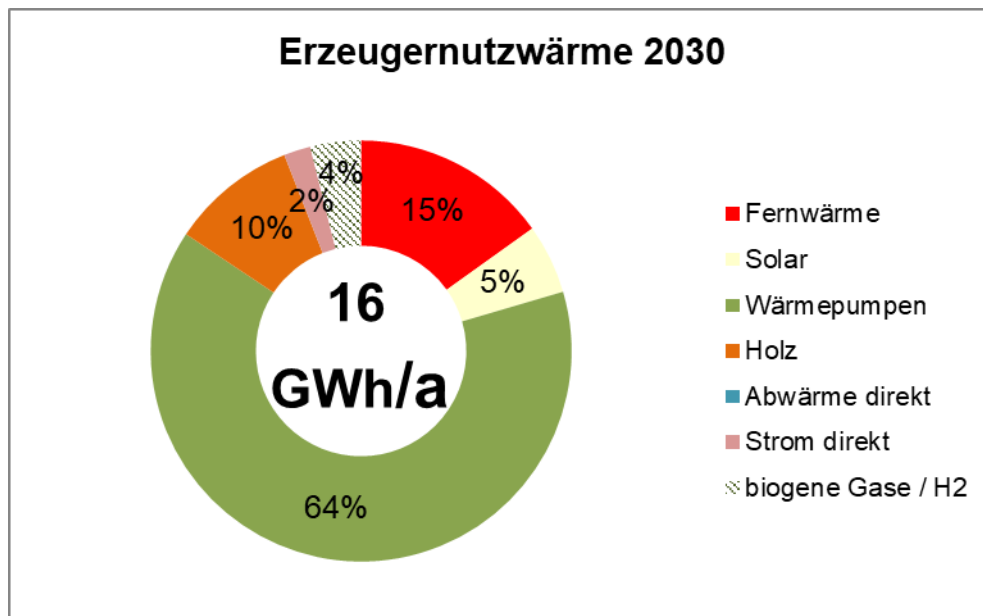


Abb. 66: Anteile Energieträger Erzeugernutzwärmebedarf Zielszenario – Weilheim

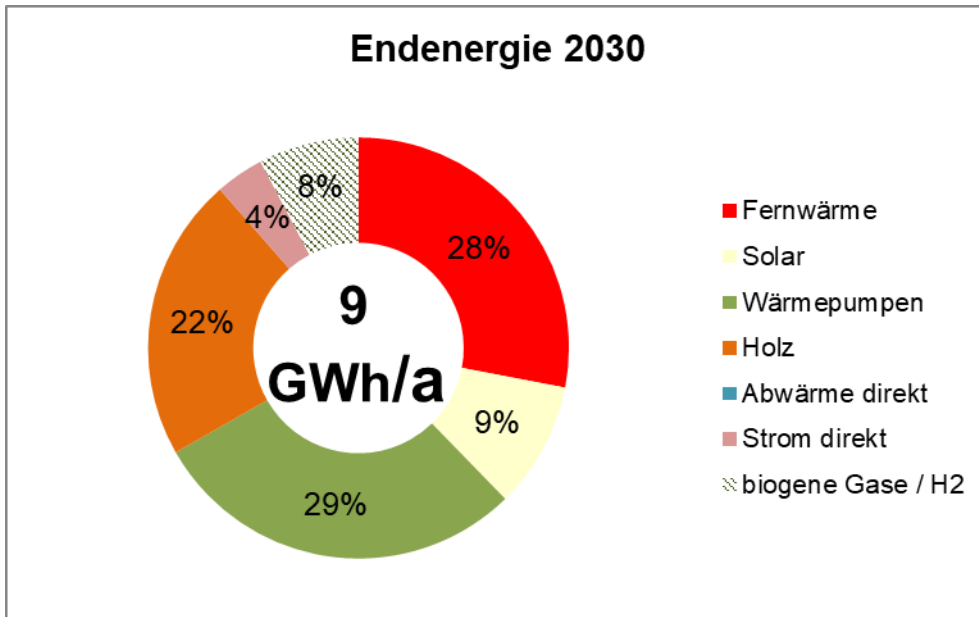


Abb. 67: Anteile Energieträger Endenergiebedarf Zielszenario – Weilheim

8.3.7 Bühl

Ist-Zustand:

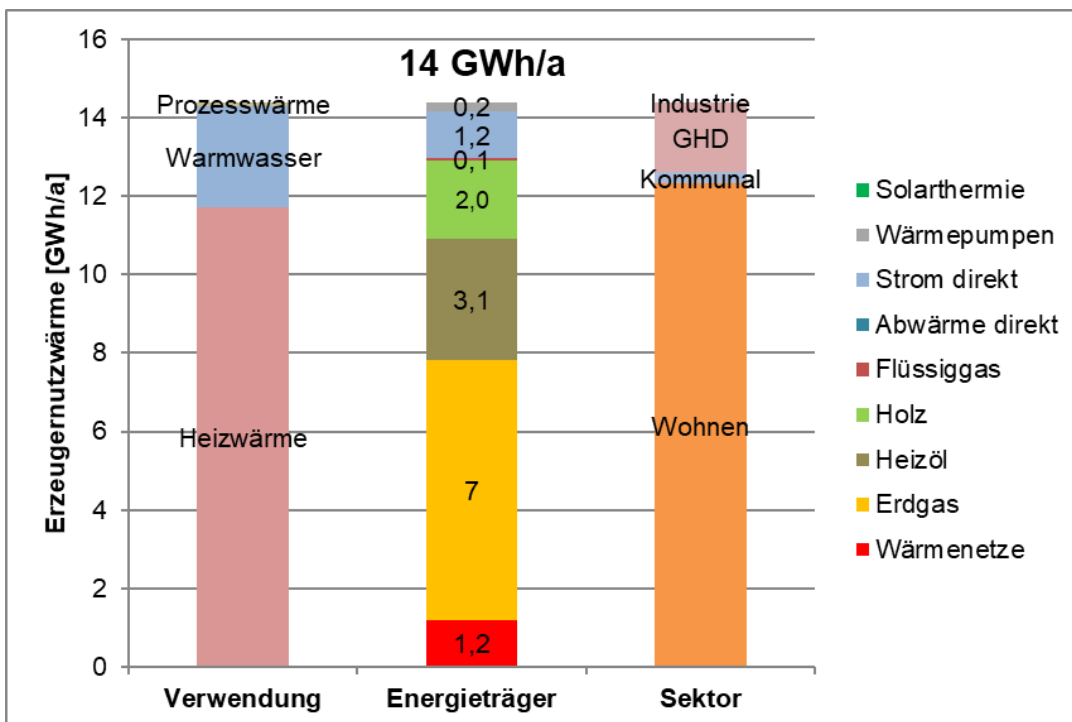


Abb. 68: Bühl – Erzeugernutzwärmeabgabe im Ist-Zustand nach Energieträgern, Verwendung und Sektor

Anteile fossiler Wärmeerzeugung außerhalb von Wärmenetzen des Stadtteils im Vergleich zur Gesamt-Stadt:

Tab. 16: Anteile fossiler / dezentraler Wärmeerzeugung - Bühl

	Menge im Stadtteil	Anteil an Gesamt-Stadt
Endenergie Wärme	11 GWh/a	2 %
THG-Emissionen	3 Tsd. t/a	2 %

Besonderheiten, Chancen, Akteure:

- Bestehendes Wärmenetz Grotthaus / Läninger
- Mehrfamilienhäuser und Gewerbeobjekte mit einzelnen fossilen Heizungen

Potenziale / Maßnahmen bis 2030:

- Konzeption und Realisierung Wärmeverbund Ortskern West mit Neubaugebiet: Fernwärmeeignungsgebiet Bühl (9)
- Konzeption der Transformation und Erweiterung Wärmenetz Grotthaus / Läninger
- Nutzung von Effizienzpotentialen im Gebäudebestand (Unterstützung hierfür z. B. durch ein Sanierungsmanagement, das aufbauend auf ein integriertes Quartierskonzept angeboten wird)
- Dezentrale Wärmeerzeugung hauptsächlich durch Wärmepumpen und lokale Umweltwärme: Erdwärme (Kollektoren), Grundwasser, Außenluft und Solar-energie
- Senkung des Wärmebedarfs um 7 % auf 13 GWh/a

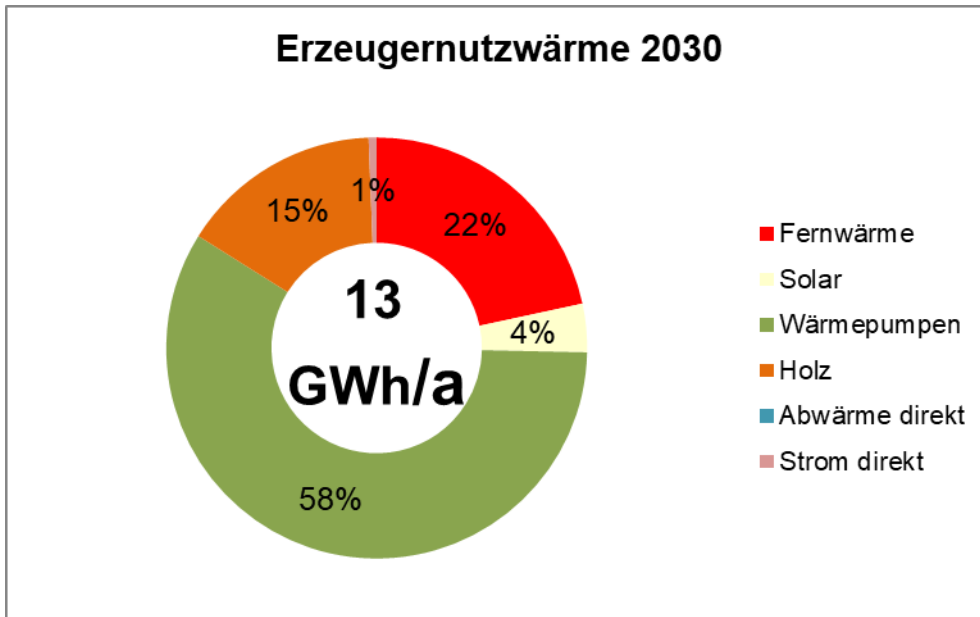


Abb. 69: Anteile Energieträger Erzeugernutzwärmebedarf Zielszenario – Bühl

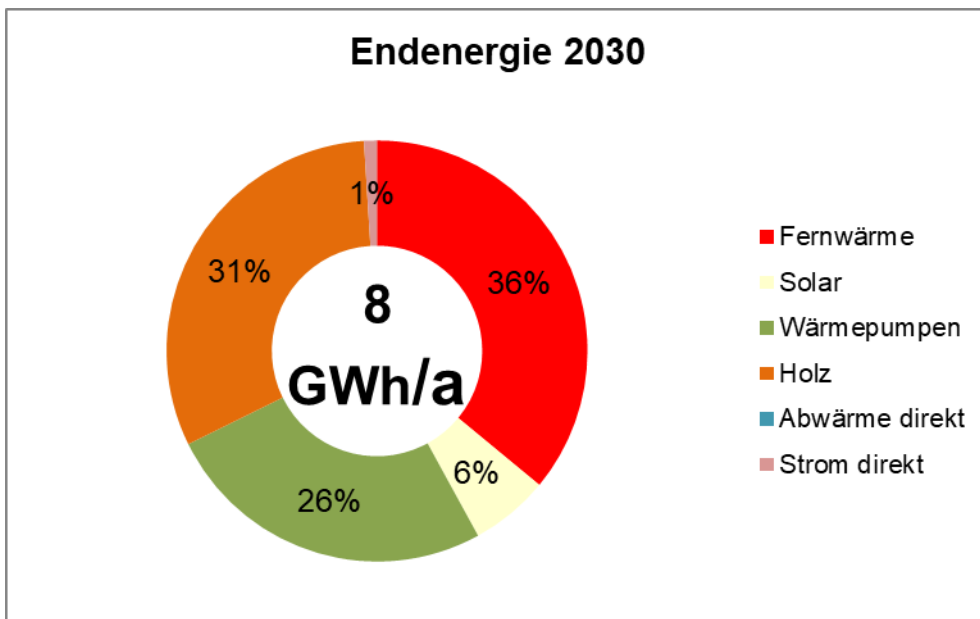


Abb. 70: Anteile Energieträger Endenergiebedarf Zielszenario – Bühl

8.3.8 Hagelloch

Ist-Zustand:

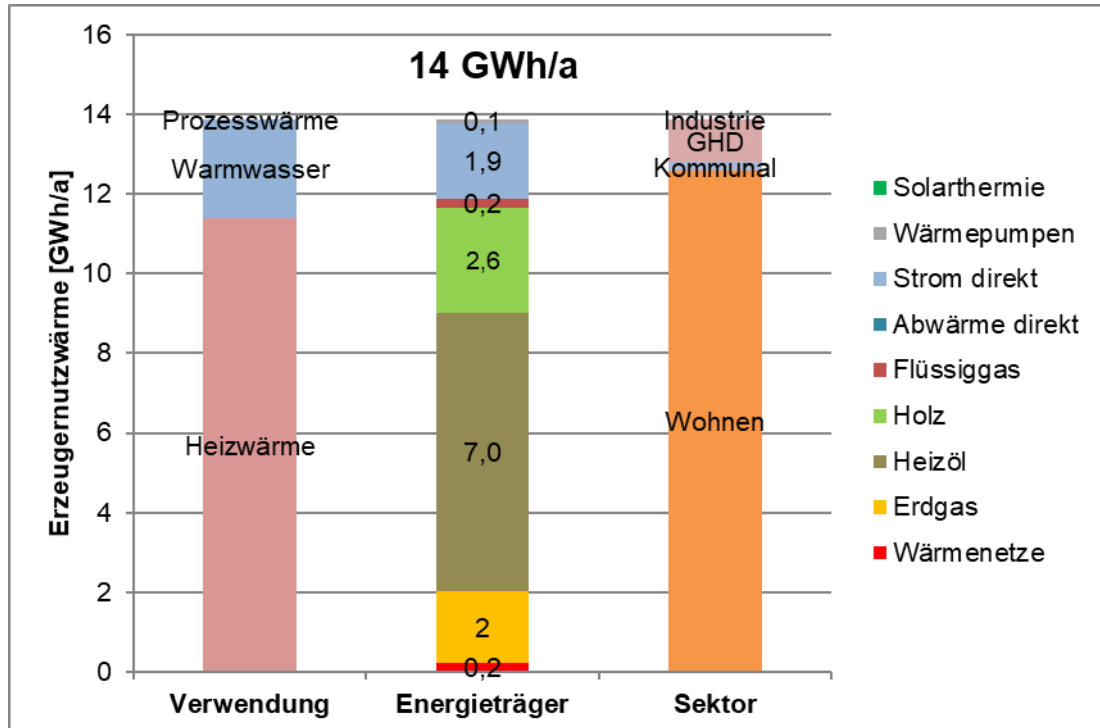


Abb. 71: Hagelloch - Erzeugernutzwärmeabgabe im Ist-Zustand nach Energieträgern, Verwendung und Sektor

Anteile fossiler Wärmeerzeugung außerhalb von Wärmenetzen des Stadtteils im Vergleich zur Gesamt-Stadt:

Tab. 17: Anteile fossiler / dezentraler Wärmeerzeugung - Hagelloch

	Menge im Stadtteil	Anteil an Gesamt-Stadt
Endenergie Wärme	11 GWh/a	2 %
THG-Emissionen	3 Tsd. t/a	2 %

Besonderheiten, Chancen, Akteure:

- Mehrfamilienhäuser mit einzelnen fossilen Heizungsanlagen
- Kommunale Liegenschaft (Schule) mit bestehender Heizzentrale
- Neubaugebiete mit Synergien für Bestand

Potenziale / Maßnahmen bis 2030:

- Konzeption und Realisierung Wärmeverbund im Ortskern, ausgehend von Schule (Süd-West) und Neubaugebieten an Nord- und Ostrand: Fernwärme-eignungsgebiet Hagelloch (6)
- Nutzung von Effizienzpotentialen im Gebäudebestand (Unterstützung hierfür z. B. durch ein Sanierungsmanagement, das aufbauend auf ein integriertes Quartierskonzept angeboten wird)
- Dezentrale Wärmeerzeugung hauptsächlich durch Wärmepumpen und lokale Umweltwärme: Erdwärme (Kollektoren), Außenluft und Solarenergie
- Senkung des Wärmebedarfs um 7 % auf 13 GWh/a

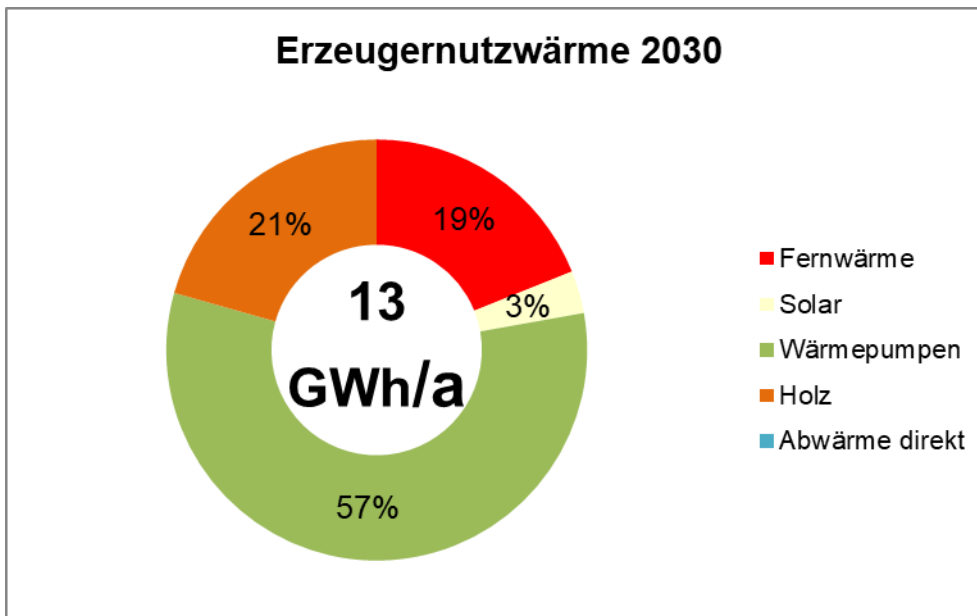


Abb. 72: Anteile Energieträger Erzeugernutzwärmebedarf Zielszenario – Hagelloch

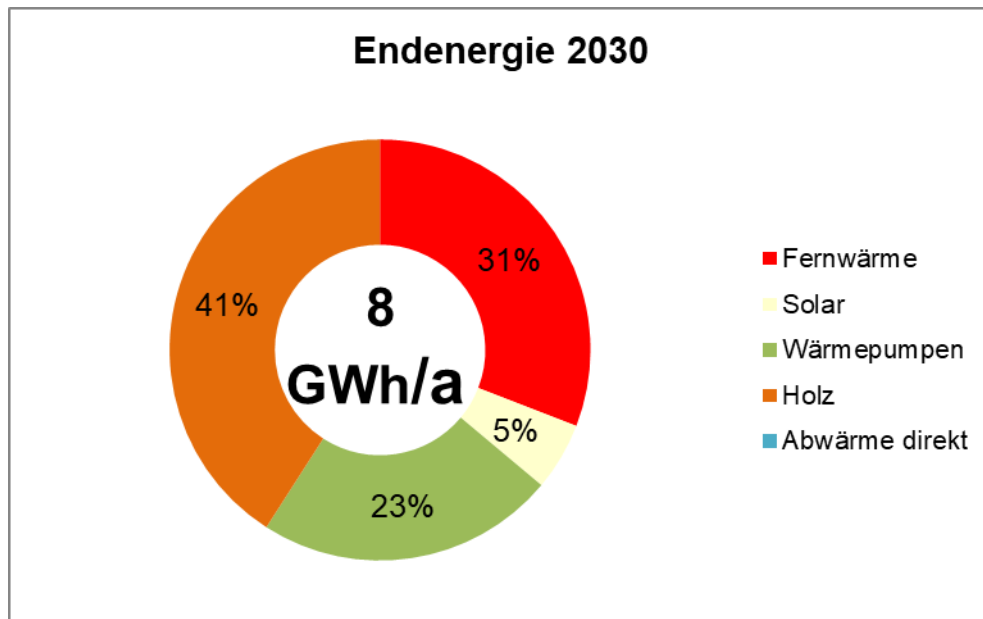


Abb. 73: Anteile Energieträger Endenergiebedarf Zielszenario – Hagelloch

8.3.9 Bebenhausen

Ist-Zustand:

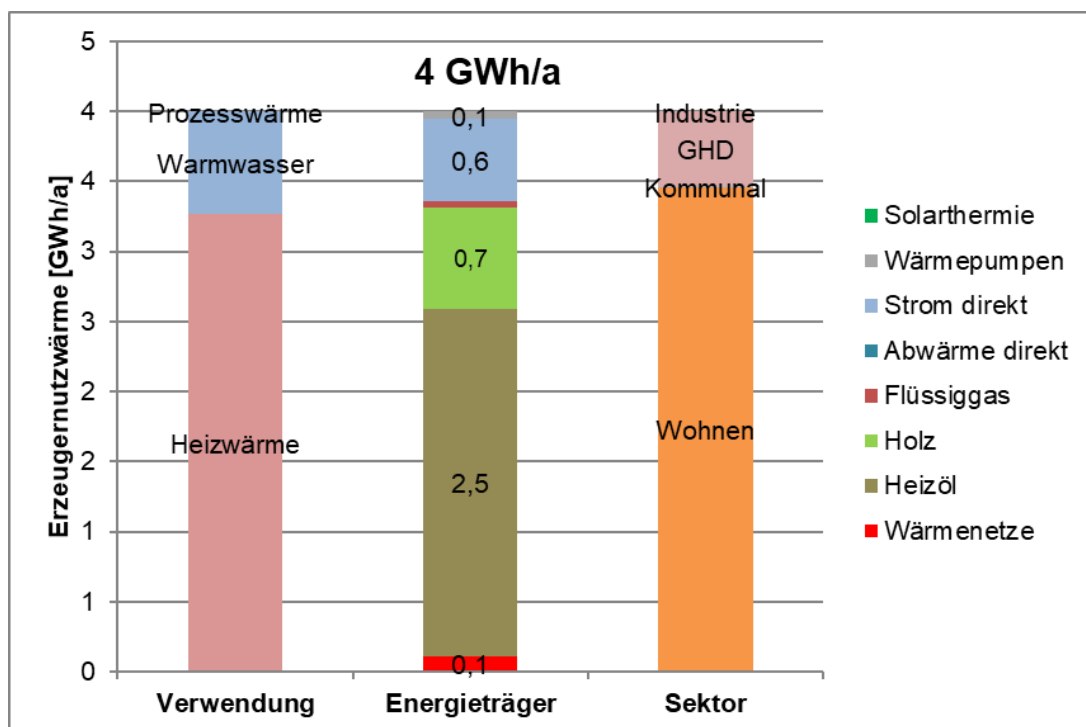


Abb. 74: Bebenhausen - Erzeugernutzwärmeabgabe im Ist-Zustand nach Energieträgern, Verwendung und Sektor

Anteile fossiler Wärmeerzeugung außerhalb von Wärmenetzen des Stadtteils im Vergleich zur Gesamt-Stadt:

Tab. 18: Anteile fossiler / dezentraler Wärmeerzeugung - Bebenhausen

	Menge im Stadtteil	Anteil an Gesamt-Stadt
Endenergie Wärme	3 GWh/a	1 %
THG-Emissionen	1 Tsd. t/a	1 %

Besonderheiten, Chancen, Akteure:

- Eignung für Geothermie am nördlichen Ortsrand
- Land BW: Klosterkomplex als Anker für Wärmenetz in umliegenden Bestand
- Mehrfamilienhäuser mit eigenen fossilen Heizungsanlagen

Potenziale / Maßnahmen bis 2030:

- Konzeption und Realisierung Wärmeverbund mit Kloster: Fernwärmeeignungsgebiet Bebenhausen (5)
- Nutzung von Effizienzpotentialen im Gebäudebestand (Unterstützung hierfür z. B. durch ein Sanierungsmanagement, das aufbauend auf ein integriertes Quartierskonzept angeboten wird)
- Dezentrale Wärmeerzeugung hauptsächlich durch Wärmepumpen und lokale Umweltwärme: Erdwärme (Kollektoren), Grundwasser, Außenluft und Solar-energie sowie Holz
- Senkung des Wärmebedarfs um 10 % auf 3,6 GWh/a

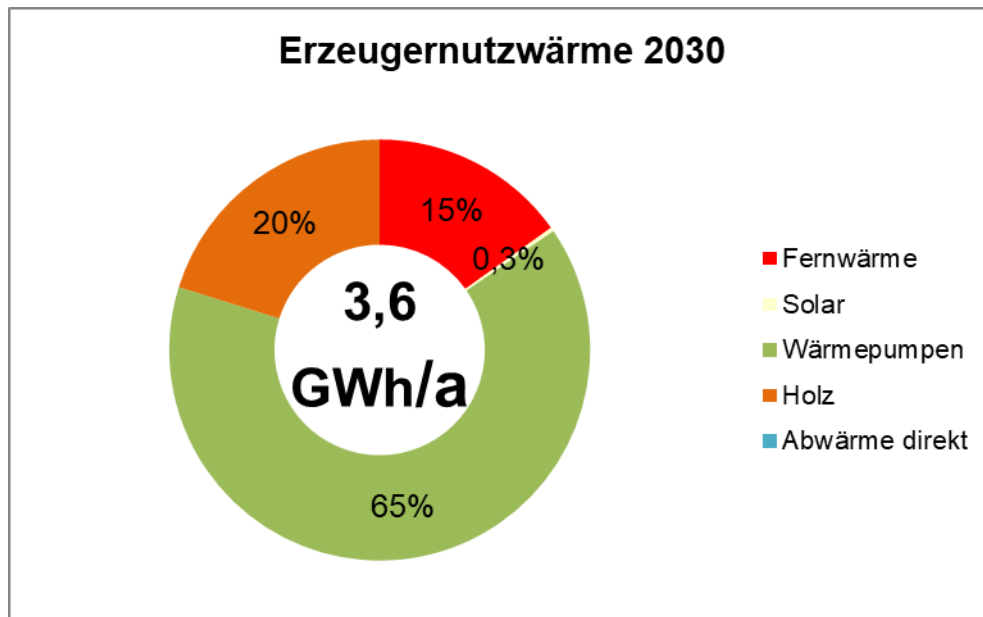


Abb. 75: Anteile Energieträger Erzeugernutzwärmebedarf Zielszenario – Bebenhausen

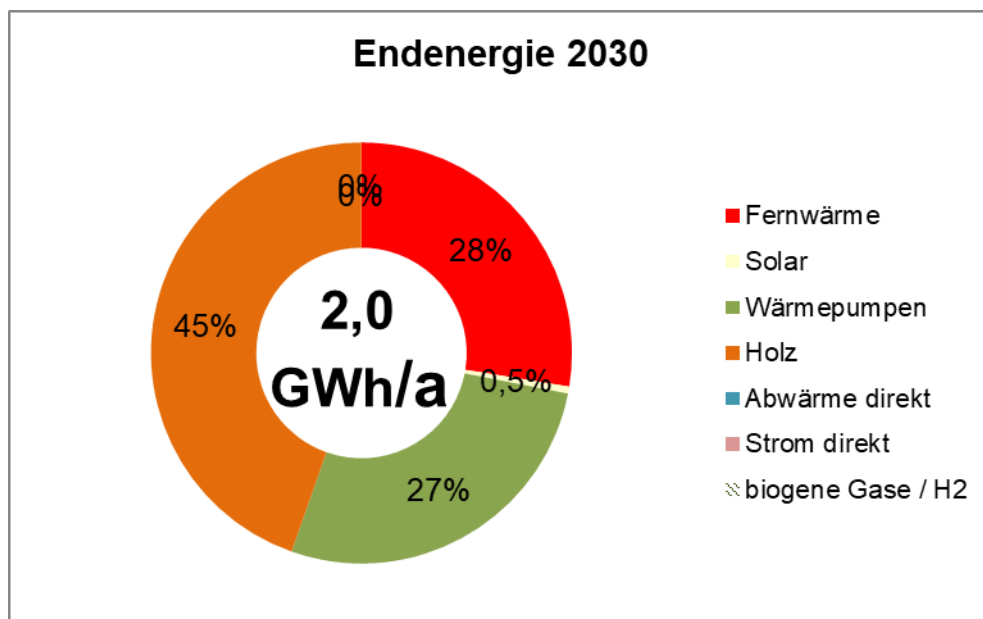


Abb. 76: Anteile Energieträger Endenergiebedarf Zielszenario – Bebenhausen

9 Literatur

- [KEA Geo 2022] Landesweite Ermittlung des Erdwärmesonden-Potenzials für die kommunale Wärmeplanung in Baden-Württemberg; KEA BW et al, Karlsruhe 12/2022
- [KEA TK 2022] Kommunale Wärmeplanung, Einführung in den Technikkatalog und Tabellen; KEA BW, Version 1.0, Stuttgart 3/2022: https://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/Waermewende/Wissensportal/Kommunale-Waermeplanung-Einfuehrung-in-den-Technikkatalog-Version-1-barrierefrei.pdf (abgerufen 3/2023)
- [Klinger Partner 2006] Potenzialstudie zur Abwasserwärmenutzung, Erläuterungsbericht; Klinger und Partner, Stuttgart 26.11.2006
- [KSG BW 2022] Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg; Stuttgart 2022: <https://www.kea-bw.de/klimaschutzgesetz> (abgerufen 3/2023)
- [KWP LF 2020] Handlungsleitfaden Kommunale Wärmeplanung; Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, Stuttgart 12/2020: <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/presse-service/publikation/did/handlungsleitfaden-kommunale-waermeplanung> (abgerufen 3/2023)
- [LRA Tü Geo 2015] Zulässigkeit von Erdsonden im Landkreis Tübingen; Landratsamt Tübingen, Abt. Umwelt und Gewerbe, Anette Kaiser, 2015
- [LU BW DF 2022] Solarpotenzial auf Dachflächen; LU-BW: <https://www.energieatlas-bw.de/sonne/dachflachen/solarpotenzial-auf-dachflachen> (abgerufen 2/2022)
- [LU BW FF 2022] Ermitteltes PV-Freiflächenpotenzial; LU-BW: <https://www.energieatlas-bw.de/sonne/freiflachen> (abgerufen 2/2022)
- [Solites 2020] Präsentation: Solare Fernwärme - Rahmenbedingungen in Deutschland, Flächenanalyse und Machbarkeitsuntersuchung für Tübingen; Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme, Stuttgart 4/2020
- [TÜ KSP 2019] Klimaschutzprogramm 2020 - 2030 für die Zielsetzung "Tübingen klimaneutral 2030", Tübingen 2019

10 Anhang

10.1 THG-Faktoren

Zur Berechnung von THG-Emissionen verwendete Faktoren laut KEA-Technikkatalog [KEA TK 2022]:

Emissionsfaktoren CO ₂		Emissionsfaktoren Strom- und Wärmeerzeugung							Anmerkungen	Referenzen
	Einheit	2019	2020	2021	2030	2040	2050			
Wärme		t/MWh Endenergie							A,B,G	
Heizöl		0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	F	1	
Erdgas		0,233	0,233	0,233	0,233	0,233	0,233	F	1	
Braunkohle		0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	F	1	
Steinkohle		0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	F	1	
Abfall		0,121	0,121	0,121	0,121	0,121	0,121	F	2	
Holz		0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	F	1	
Biogas		0,090	0,090	0,090	0,086	0,083	0,081	F	2	
Synthetisches Methan		0,041	0,041	0,041	0,038	0,034	0,031	C,F	3	
Synthetisches Methanol		0,048	0,048	0,048	0,045	0,043	0,041	C,F	3	
Abwärme		0,040	0,040	0,040	0,038	0,037	0,036	D,F,J	4	
Strom		t/MWh Endenergie							A,B,G,I	
Wasserkraft		0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	F	1	
Windkraft		0,010	0,010	0,010	0,009	0,009	0,008	F	1	
Fotovoltaik		0,040	0,040	0,040	0,036	0,033	0,030	F	1	
Geothermie		0,089	0,089	0,089	0,080	0,076	0,071	F	1	
Festbrennstoffe, Holz		0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	F	1	
Flüssige Biomasse		0,116	0,116	0,116	0,116	0,113	0,110	F	5	
Biogas		0,097	0,097	0,097	0,092	0,090	0,087	F	5	
Klärgas/Deponiegas		0,051	0,051	0,051	0,048	0,047	0,046	F	5	
Wasserstoff				0,050	0,047	0,040	0,040	F,K	9,10	
Strom-Mix-D (ifeu)		0,478						H	6	
Strom-Mix-D (IINAS Szenario)					0,270	0,151	0,032		7,8	

Anmerkungen

- A Inklusive Äquivalente und Vorketten.
- B Ist-Stand 2020 und 2021 vorläufig.
- C Eigene Berechnungen basierend auf den in Referenz (3) genannten Wirkungsgraden und einem Strom-Mix mit 0,024
- D Bei Betrachtung der Abwärme aus Gas-KWK sollen Emissionen anhand der Emissionsfaktoren für Erdgas und der Gr
- F Entwicklungsfaktoren 2030 und 2040/2050 wurden durch die KEA-BW geschätzt, Werte für das Jahr 2040 entsprechl
- G Faktoren gelten für mittlere Anlagengrößen.
- H Für die Jahre 2020/2021 liegen keine aktuellen Werte für den Strom-Mix Deutschland nach der ausgewählten Meth
- I Hier keine gesonderte Angabe für Emissionsfaktoren für Abfallprodukte.
- J Die Ermittlung der Emissionen von Abwärme aus Gas-KWK ist bevorzugt nach dem Carnot-Prinzip vorzunehmen.☐
- K Annahme: Herkunft des synthetischen Wasserstoffs ist "grün", aus überschüssigen EE Strom.

Referenzen

- 1 IINAS, 2019: GEMIS: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 4.9, 2019.
- 2 ifeu et al., 2018: BioRest: Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem. I
- 3 Deutsche Energieagentur (dena), 2018: Heutige Einsatzgebiete für Power Fuels, Factsheets zur Anwendung von klim
- 4 Gebäudeenergiegesetz (GEG), Anlage 9, Umrechnung in Treibhausgasemissionen.
- 5 Umweltbundesamt, 2017: Emissionsbilanz Erneuerbarer Energieträger Bestimmung der vermiedenen Emissionen in
- 6 ifeu, 2019: Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrsrs
- 7 IINAS, 2021: GEMIS: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 5.0, IINAS, 2021.
- 8 Fritsche und Greß, 2020: Kurzstudie: Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des d
- 9 Adolf et al.: Wasserstoff - Energie der Zukunft?, Wuppertal Institut, In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 77 (2017
- 10 Bukold, Huneke, Claußner, 2020: Grün oder blau? Wege in die Wasserstoff-Wirtschaft 2020 bis 2040, Greenpeace E

Für Solarthermie wurde von der KEA ein vorläufiger Wert von 13 g/kWh Endenergie genannt und für die Bilanzierungen verwendet.

11 Anhang Karten

Ein gesonderter Anhang enthält Kartenmaterial zu folgenden Inhalten:

1. Wärmedichte (Erzeugernutzwärme) im Baublock pro Stadtteil
2. Fernwärmeeignungsgebiete Stadtgebiet und pro Stadtteil
3. Deckungsanteile von Energieträgern im Baublock pro Stadtteil
4. Dominanter Nutzungssektor im Baublock pro Stadtteil
5. Baualtersklassen von relevanten Feuerstätten im Baublock pro Stadtteil
6. Dominante Baualtersklasse von Gebäuden im Baublock pro Stadtteil
7. Anteile dezentraler fossile Wärmeerzeugung im Baublock pro Stadtteil
8. Fernwärmeversorgungsgebiete / andere Wärmenetze im Ist-Zustand
9. Potenzial Geothermie mit Erdsonden

Folgende Themen sind im digitalen Stadtplan abgebildet unter:

www.tuebingen.de/waermeplanung

- räumliche Darstellung Gasversorgungsbereiche
- räumliche Darstellung Wärmedichten
- räumliche Darstellung der Gebäudetypen
- räumliche Darstellung der Baualtersklassen
- räumliche Darstellung bestehender Heizzentralen und KWK-Anlagen
- räumliche Darstellung der Energieträgerverteilung