ENERGIELEITPLAN KARLSRUHE

ENDBERICHT NOVEMBER 2023

Karlsruhe

smartgeomatics

tilia

Auftraggeber*in	Stadt Karlsruhe / Umwelt- und Arbeitsschutz Markgrafenstr. 14 76133 Karlsruhe
Auftragnehmer 1	Tilia GmbH Inselstraße 31 04103 Leipzig
Auftragnehmer 2	Smart Geomatics Informationssysteme GmbH Ebertstr. 8 76137 Karlsruhe
Ansprechpartner	André Ludwig Tel.: 0341 339 76 103 Mail: Andre.Ludwig@tilia.info
Autor*innen des Berichts **Kapitel 7**	André Ludwig, Markus Bolz, Wolfgang Spaich, Thomas Beck (Smart Geomatics), Tina Henzler (Smart Geomatics) Umwelt- und Arbeitsschutz der Stadt Karlsruhe
Veröffentlichung	11/2023
Förderhinweis	Dieses Projekt wurde vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg gefördert.

Vorwort

Liebe Bürgerinnen,
liebe Bürger,

mit dem Klimaschutzkonzept der Stadt Karlsruhe im Jahr 2020 ist als eine von 75 Maßnahmen die Erarbeitung eines Energieleitplans für die Stadt beschlossen worden. Die Energiewende und insbesondere die Wärmewende sind entscheidende Schritte hin zu einer klimaneutralen Stadt bis zum Jahr 2040. Nur wenn wir es schaffen, unsere Gebäude zu sanieren und die Energieversorgung auf erneuerbare Energien umzustellen, können wir dieses ambitionierte Ziel erreichen.

Da Wärme in Zukunft vielfach durch den Einsatz von Wärmepumpen mit Strom erzeugt werden wird, brauchen wir eine ganzheitliche Betrachtung. Im vorliegenden Energieleitplan wird daher über den Bereich Wärme hinaus auch der Bereich Strom betrachtet.

Der Umwelt- und Arbeitsschutz der Stadt Karlsruhe hat mit der Erarbeitung des Energieleitplans zwei Fachbüros beauftragt und die Koordination für das Projekt übernommen. Dabei wurde er von der Karlsruher Energie- und Klimaschutzagentur (KEK), den Stadtwerken Karlsruhe (SWK) und den städtischen Ämtern Stadtplanungsamt, Amt für Stadtentwicklung, Liegenschaftsamt, Tiefbauamt, Amt für Hochbau und Gebäudewirtschaft sowie der Wirtschaftsförderung maßgeblich unterstützt. Der Klimaschutzbeirat der Stadt wurde als Fachgremium einbezogen. Allen Beteiligten danke ich herzlich für ihre Arbeit.

Im Ergebnis liegt nun ein Kartenwerk vor, das den kommunalen Akteur*innen in erster Linie als strategisches Planungsinstrument Optionen für die zukünftige Energieversorgung aufzeigt. Neben dem ausgewiesenen Energiebedarf der Gebäude in Karlsruhe werden die Potenziale für erneuerbare Energien in digitalen Karten dargestellt. In der Wärmewendestrategie wird aufgezeigt, welche Maßnahmen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung bis 2040 notwendig sind.

Auf Basis der modellierten Eignungsgebiete sowie der bestehenden Wärmenetze wird schließlich in einem Plan dargestellt, wo aus Sicht der Stadt sowie der Stadtwerke Karlsruhe der Ausbau von Fernwärme und Nahwärme im Weiteren näher geprüft werden soll. In allen anderen Bereichen stellt nach derzeitigem Stand die Einzelheizungsversorgung die geeignetste Wärmeversorgung dar. Alle dargestellten Eignungs- und Prüfgebiete sind räumlich aufgelöst dargestellt und enthalten keine gebäudescharfen Planungsaussagen. Immobilienbesitzende, die einen Heizungswechsel planen, sollten sich daher zunächst individuell beraten lassen, beispielsweise im Beratungszentrum der KEK.

Der vorliegende Energieleitplan ist der Startpunkt für weitere Planungs- und Umsetzungsschritte auf dem Weg zu einer klimaneutralen Energieversorgung in Karlsruhe. Über ein Monitoring wird stetig überprüft, ob die Ziele auf Grundlage der Planungen so erreicht werden können. Eine Fortschreibung des Energieleitplans wird – gemäß Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW) – spätestens nach sieben Jahren erfolgen.

Die klimaneutrale Strom- und Wärmeversorgung der Zukunft stellt uns vor große Herausforderungen. Der Energieleitplan gibt der Stadt Karlsruhe einen aktuellen Überblick über die Potenziale auf dem Weg zur Klimaneutralität im Jahr 2040. Klar ist schon jetzt: Nur gemeinsam können wir dieses wichtige Ziel erreichen!

Bettina Lisbach

Bürgermeisterin

Inhaltsverzeichnis:

Vorwort **3**
1. Hintergrund – Einordnung der Energieleitplanung **10**
1.1 Städtische Rahmenbedingungen 13
1.1.1 Die Stadt Karlsruhe 13
1.1.2 Die geographische Lage von Karlsruhe 13
1.1.3 Darstellung Stadtteile 15
1.1.4 Das Klima in Karlsruhe 16
2. Bestandsanalyse **18**
2.1 Sorgfalt und Datenschutz 18
2.2 Datengrundlagen 18
2.3 Einordnung und Darstellung der vorhandenen Gebäude in Gebäudetypen und Baualtersklassen 19
2.3.1 Hauptnutzungsarten der Gebiete 19
2.3.2 Siedlungsentwicklung 24
2.4 Erfassung des räumlich aufgelösten Wärmebedarfs 27
2.4.1 Verteilung Endenergiebedarfe 28
2.4.2 Verteilung der Energiebedarfe pro m² und Gebäude 29
2.4.3 Wärmedichte 30
2.5 Wärmeerzeugung 31
2.5.1 Energieträgerverteilung 31
2.5.2 Energieträgerverteilung nach Verbrauch 32
2.5.3 Energieträgerverteilung nach Heizungsanlagen inklusive Nebenheizungen 33
2.5.4 Energieträgerverteilung nach Emissionen 34
2.5.5 Einbaujahr der Heizungsanlagen 35
2.5.6 Einbaujahr der Gasheizungen 36
2.5.7 Einbaujahr der Ölheizungen 37
2.6 Energie- und CO_2-Bilanz Wärme 38
2.7 Ermittlung und Darstellung des Strombedarfs 39
2.7.1 Stromdichtekarte 41
2.7.2 Darstellung mit Verbrauchsdaten der kommunalen Liegenschaften 42

2.7.3 Verteilung Stromverbrauch kommunale Liegenschaften 43
2.7.4 Ermittlung und Darstellung des Kältebedarfs von Branchen und Gewerbebetrieben 44
2.8 Stromerzeugung 45
2.8.1 PV-Erzeugung 45
2.8.2 Windkraft 45
2.8.3 Wasserkraft 45
2.9 Energie- und CO_2-Bilanz 46
3. Potenzialanalyse 47
3.1 Potenziale zur Senkung des Wärmebedarfs durch Steigerung der Gebäudeenergieeffizienz ..47
3.1.1 Verteilung Energiebedarf Wohngebäude 52
3.2 Räumlich verortete Potenziale erneuerbarer Energien zur Wärmeversorgung sowie Abwärme und Kraft-Wärme-Kopplung auf dem Gemarkungsgebiet 55
3.2.1 Bioabfall 55
3.2.2 Geothermie 56
3.2.3 Potenzial Umweltwärme aus Gewässern und Abwasser 62
3.2.4 Solarpotenzial (Photovoltaik, Solarthermie und PVT-Kollektoren) 66
3.2.5 Abwärmepotenzial aus Industrie und Gewerbe 70
3.3 Räumlich verortete Potenziale erneuerbarer Stromquellen für Wärmeanwendungen und direkte Stromverwendung 72
3.4 Potenziale zur zukünftigen Stromnutzung und -bedarfsdeckung im Gebäude 72
3.4.1 Überblick zur Darstellung der Potenziale zur zukünftigen Stromnutzung und -bedarfsdeckung im Gebäude 72
3.4.2 Potenzial des Austauschs von Elektrogeräten gemäß typischer Verwendungszeiten 73
3.4.3 Potenzial eines beschleunigten Austauschs von Elektrogeräten – Szenarien für die Geschwindigkeit der Umrüstung 74
4. Zielszenario 76
4.1 Rahmenbedingungen für Szenarien zur zukünftigen Entwicklung der Energieversorgung 76
4.1.1 Reduzierung der Energiebedarfe 76
4.1.2 Dekarbonisierung der Energieversorgung 77
4.1.3 Ausbau erneuerbare Stromerzeugung 78
4.1.4 Fernwärmeausbau & Dekarbonisierung 83
4.1.5 Analyse der Entwicklung des Strombedarfs vor dem Hintergrund eines steigenden Strombedarfs im Handlungsfeld Mobilität 84

4.2 Beschreibung und Vorgehen Analyse auf Quartiersebenen (Flächenhafte Darstellung der klimaneutralen Bedarfsdeckung) 85
4.2.1 Eignungsgebiet Typ I Fernwärme 88
4.2.2 Eignungsgebiete Typ II Wärmenetze 89
4.2.3 Eignungsgebiet Typ III Einzelheizung 89
4.2.4 Herausforderungen beim Wärmenetzausbau 90
4.2.5 Analyse und Beschreibung der Entwicklung der Gasversorgung für 2030 und 2040 91
4.2.6 Ausblick Wasserstoffnutzung 92
4.3 Beschreibung Zielszenarien 96
4.3.1 Zielszenario 1 (wie bisher) 96
4.3.2 Zielszenario 2: Klimaneutralität bis 2040 (ambitioniert und theoretisch) 99
5. Wärmewendestrategie 101
5.1 Maßnahmenkatalog 103
5.1.1 Startermaßnahmen 103
5.1.2 Weitere Maßnahmen zur Prüfung der Machbarkeit für ausgewählte Eignungsgebiete 113
6. Fazit und Ausblick 124
6.1 Fazit 124
6.2 Ausblick 125
6.3 Interaktiver Kurzbericht 127
7. Ausblick und Planungen zur Wärmeversorgung in der Stadt Karlsruhe 128
7.1 Prüfgebiete für den Fernwärme-Ausbau 129
7.2 Prüfgebiete zu weiteren Nahwärmenetzen 131
7.3 Prüfansätze für Wasserstoffnetzgebiete 131

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1-1: Graphische Darstellung der Inhalte der Energieleitplanung 12
Abbildung 1-2: Darstellung der 27 Stadtteile von Karlsruhe 15
Abbildung 1-3: Klimadiagramm Karlsruhe (Durchschnitt 1991-2021) 16
Abbildung 1-4: Durchschnittlicher Temperaturverlauf pro Monat (langjähriges Mittel 1991-2021) 17
Abbildung 2-1: Verteilung der Gebäudenutzung nach Sektoren 20
Abbildung 2-2: Wohngebäudetypen 21
Abbildung 2-3: Verteilung der Gebäudekategorien (Detailansicht) 22

Abbildung 2-4: Geografische Verteilung der Gebäudenutzung nach Sektoren auf Baublockebene 23
Abbildung 2-5: Verteilung der Errichtungszeiträume der Gebäude 24
Abbildung 2-6: Kategorisierung der Baualtersklassen auf Baublockebene 25
Abbildung 2-7: größere Neubaugebiete in unterschiedlichen Entwicklungsstadien.....26
Abbildung 2-8: Verteilung Wärmebedarf nach Sektoren 27
Abbildung 2-9: Endenergieverteilung Stadt Karlsruhe auf Baublockebene 28
Abbildung 2-10: Verteilung der Energiebedarfe pro m² und Gebäude 29
Abbildung 2-11: Wärmedichtenkarte - räumliche Verteilung der Endenergiebedarfe 30
Abbildung 2-12: Räumliche Verteilung der Wärmeerzeugung nach Brennstoffen auf Baublockebene ...31
Abbildung 2-13: Energieträgerverteilung (Wärme) nach Verbrauch 32
Abbildung 2-14: Verteilung der Heizungsanlagen inklusive Nebenheizungen 33
Abbildung 2-15: Energiebilanz nach Sektoren und Energieträger mit THG-Emissionen 34
Abbildung 2-16: Einbaujahr der Heizungen.....35
Abbildung 2-17: Einbaujahr der Gasheizungen 36
Abbildung 2-18: Einbaujahr der Ölheizungen.....37
Abbildung 2-19: Verteilung CO_2-Emissionen nach Sektoren im Bereich Wärme 38
Abbildung 2-20: Verteilung Strombedarf (ohne Heizstrom) nach Sektoren 39
Abbildung 2-21: Verteilung Strombedarf inkl. Heizstrom 40
Abbildung 2-22: Stromdichtenkarte - räumliche Verteilung der Endenergiebedarfe 41
Abbildung 2-23: Wärme- und Stromverbrauch (kommunale Liegenschaften) 42
Abbildung 2-24: Stromverbrauch öffentlicher Liegenschaften 43
Abbildung 2-25: Industriegebiet Ottostraße mit mehreren Kälteanlagen 44
Abbildung 2-26: Energiebilanz nach Sektoren.....46
Abbildung 3-1: Energiebedarf der Wohngebäude vor und nach ganzheitlicher Sanierung 48
Abbildung 3-2: CO_2 Emissionen der Wohngebäude vor und nach ganzheitlicher Sanierung 49
Abbildung 3-3: Effekte bei verschiedenen Sanierungsraten 50
Abbildung 3-4: Verteilung Energiebedarf pro m² vor Sanierungsmaßnahmen 53
Abbildung 3-5: Energiebedarf Verteilung pro m² nach ganzheitlichen Sanierungsmaßnahmen 54
Abbildung 3-6: Bereiche mit und ohne Bohrtiefenbegrenzung, Wasserschutzgebiete, bestehende Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen (Stand 2023).....57
Abbildung 3-7: Einbau von geothermischen Kollektorenfeldern 59
Abbildung 3-8: Ausschnitt geologische Karte Baden-Württemberg.....61
Abbildung 3-9: Pegel Maxau / Rhein Abfluss in m³/s 63

Abbildung 3-10: Trockenwetterwerte Kanalnetz 64
Abbildung 3-11: Überlagerung des Kanalnetzes, des Fernwärmenetzes in Verbindung mit größeren Neubaugebieten 65
Abbildung 3-12: Technisches Solar-PV-Potenzial 67
Abbildung 3-13: Parkplatz PV bei Michelin in Karlsruhe 68
Abbildung 3-14: Potenzieller Parkplatz für PV-Überdachungen.....69
Abbildung 3-15: Industrielle Großverbraucher als Indiz für Abwärme-Potenziale.....70
Abbildung 4-1: Einsparungen durch energetische Sanierungen in Karlsruhe 77
Abbildung 4-2: Entwicklung des deutschen Strommixes.....78
Abbildung 4-3: Ziele der Strommarktdesignstudie des BEE 80
Abbildung 4-4: Kernergebnisse des BEE 81
Abbildung 4-5: bundesweite Stromerzeugung.....82
Abbildung 4-6: Mögliche Entwicklungen der CO_2-Emissionen der Karlsruher Fernwärme 83
Abbildung 4-7: Eignungsgebiete der Stadt Karlsruhe 87
Abbildung 4-8: heutiges Fernwärmeleitungsnetz Karlsruhe (2023) 88
Abbildung 4-9: Eignungsgebiete Nahwärmenetze - Stadtgebiet Karlsruhe 89
Abbildung 4-10: Wasserstoff-Importe ab 2030 93
Abbildung 4-11: Prinzip der Substitution von fossilem Erdgas durch aus erneuerbarem Strom erzeugtem Methan (Power to Gas) 94
Abbildung 4-12: Effizienz und Strombedarf von strombasierten regenerativen Wärmeversorgungssystemen.....95
Abbildung 4-13: Stadtwerke Karlsruhe Prognose Fernwärme Absatz (Stand: 2022) 97
Abbildung 4-14 : Zielszenario 1 Wärmeverbrauchsverteilung 98
Abbildung 4-15: Zielszenario 1 CO_2-Emissionen.....98
Abbildung 4-16: Zielszenario 2 Wärmeverbrauchsverteilung 100
Abbildung 4-17: Zielszenario 2 CO_2-Emissionen.....101
Abbildung 5-1: Darstellung der Startermaßnahmen im Stadtgebiet.....103
Abbildung 6-1: Auszug – Interaktiver Kurzbericht.....127
Abbildung 7-1: Planungen zur Wärmeversorgung in der Stadt Karlsruhe.....129

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Klimatische Werte in Karlsruhe 17

Tabelle 2: CO_2-Emissionen für Wärme nach Sektoren in [t/a] 38

Tabelle 3: Strombedarf in MWh/a.....40

Tabelle 4: CO_2-Emissionen für Wärme und Strom 46

Tabelle 5: Preisspannen für Sanierungsmaßnahmen 51

Tabelle 6: Mittelwert der niedrigsten jährlichen Abflüsse und Wasserstände 63

Tabelle 7 : Errechneter bundesweiter Energieertrag aus Wind, für die Jahre 2030, 2040 und 2050 82

Tabelle 8 : Errechneter bundesweiter Energieertrag aus PV-Anlagen, für die Jahre 2030, 2040 und 2050 82

Tabelle 9: Errechneter kumulierter bundesweiter Energieertrag aus Wind und PV, für die Jahre 2030, 2040 und 2050.....82

Tabelle 10: Bestand E-Fahrzeuge in Karlsruhe 84

Tabelle 11: Verbrauch E-Fahrzeuge in Karlsruhe [MWh] 85

1. Hintergrund – Einordnung der Energieleitplanung

Das Klimaschutzkonzept der Stadt Karlsruhe als Grundstein für den städtischen Energieleitplan

Die Stadt Karlsruhe hat sich bereits in der Vergangenheit ambitionierte Ziele für den Klimaschutz gesteckt und setzt diese mit entsprechenden Maßnahmen und städtischem Engagement um. Der Rahmen für die städtischen Aktivitäten wird im Klimaschutzkonzept gesetzt. Dort werden in den folgenden fünf Handlungsfeldern 75 Maßnahmen beschrieben, die zum Erreichen des Ziels der Klimaneutralität bis 2040 beitragen:

A. Wärme und Strom
B. Bauen und Sanieren
C. Wirtschaft
D. Mobilität
E. Übergreifendes

Als eine zentrale Maßnahme des Klimaschutzkonzepts im Handlungsfeld Wärme und Strom gilt der Energieleitplan. Dieser dient der Erarbeitung eines Fahrplans für eine klimaneutrale Energieversorgung der Stadt im Jahr 2040. Der Energieleitplan umfasst unter anderem die kommunale Wärmeplanung, die alle großen Kreisstädte und kreisfreien Städte in Baden-Württemberg gemäß der Novelle des Klimaschutzgesetzes des Landes Baden-Württemberg bis zum 31.12.2023 dem zuständigen Regierungspräsidium vorlegen müssen[1], sowie zusätzlich die Betrachtung des Energiesektors Strom. Insofern kann der Energieleitplan als integrierte Maßnahme der beiden Sektoren Wärme und Strom sowie deren Verknüpfungen betrachtet werden.

Jede Kommune entwickelt eine individuelle Strategie zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung, der die jeweilige Situation vor Ort bestmöglich berücksichtigt und als strategische Grundlage dient, konkrete Entwicklungswege zu finden und die kommunale Wärmeversorgung zukunftsfähig zu machen.

Der Energieleitplan ist ein strategisches Planungsinstrument auf der Ebene eines Rahmenplans, der Aufschluss gibt über die theoretischen Potenziale zur Versorgung des Strom- und Wärmebedarfs der Stadt. Die für diesen Plan daraus abgeleiteten Maßnahmen müssen nachfolgend zunächst in detaillierte Machbarkeitsstudien münden. Erst dann können tiefergehende Fachplanungen anschließen.

Mithilfe des Energieleitplans soll es ermöglicht werden, schnelle und fundierte Aussagen zur energetischen Weiterentwicklung von Stadtgebieten zu treffen. Die Gesamtübersicht des Energieleitplans gibt Anhaltspunkte, wie bei baulichen Veränderungen bei der Energieversorgung strategisch vorgegangen werden könnte. Der Energieleitplan kann unter anderem die Grundlage zur Auswahl von Stadtquartieren zur Durchführung gezielter Sanierungskampagnen bilden, welche im Rahmen des KfW-Programms 432 („Energetische Stadtsanierung - Zuschuss Klimaschutz und Klimaanpassung im Quartier“) gefördert werden können. Darüber hinaus soll er für Gebäudeeigentümer*innen sowie Energieversorger*innen (darunter die Stadtwerke Karlsruhe) eine Grundlage zur Entwicklung vernetzter und regenerativer Energieversorgungslösungen darstellen.

[1] (KEA-BW Die Landesenergieagentur, 2020): Handlungsleitfaden Kommunale Wärmeplanung, S.6

Mit dem Energieleitplan leistet die Stadt Karlsruhe daher einen wichtigen Beitrag zur Energiewende und erreicht einen weiteren Meilenstein bei der Transformation zur klimaneutralen Stadt.

Die Erstellung des Energieleitplans erfolgte durch die beauftragten Dienstleister Tilia GmbH und Smart Geomatics Informationssysteme GmbH im Zeitraum von Januar 2022 bis Juli 2023. Während der Projektlaufzeit gab es kontinuierliche Abstimmungen zwischen den Mitarbeiter*innen der Stadtverwaltung Karlsruhe, der Karlsruher Energie und Klimaschutzagentur (KEK) GmbH, den Stadtwerken Karlsruhe, der Tilia GmbH und der Smart Geomatics Informationssysteme GmbH.

Der Aufbau und Inhalt des Konzepts orientieren sich am Leitfaden zur Erstellung der kommunalen Wärmeplanung des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft[2] in Baden-Württemberg. Entsprechend des Leitfadens bestand das Projekt, und dementsprechend auch der Endbericht, aus den Aufgabenpaketen Bestands-, Potenzial- und Szenarioanalyse sowie der Wärmewendestrategie (vgl. Abbildung 1-1: Graphische Darstellung der Inhalte der Energieleitplanung).

[2] (KEA-BW Die Landesenergieagentur, 2020)

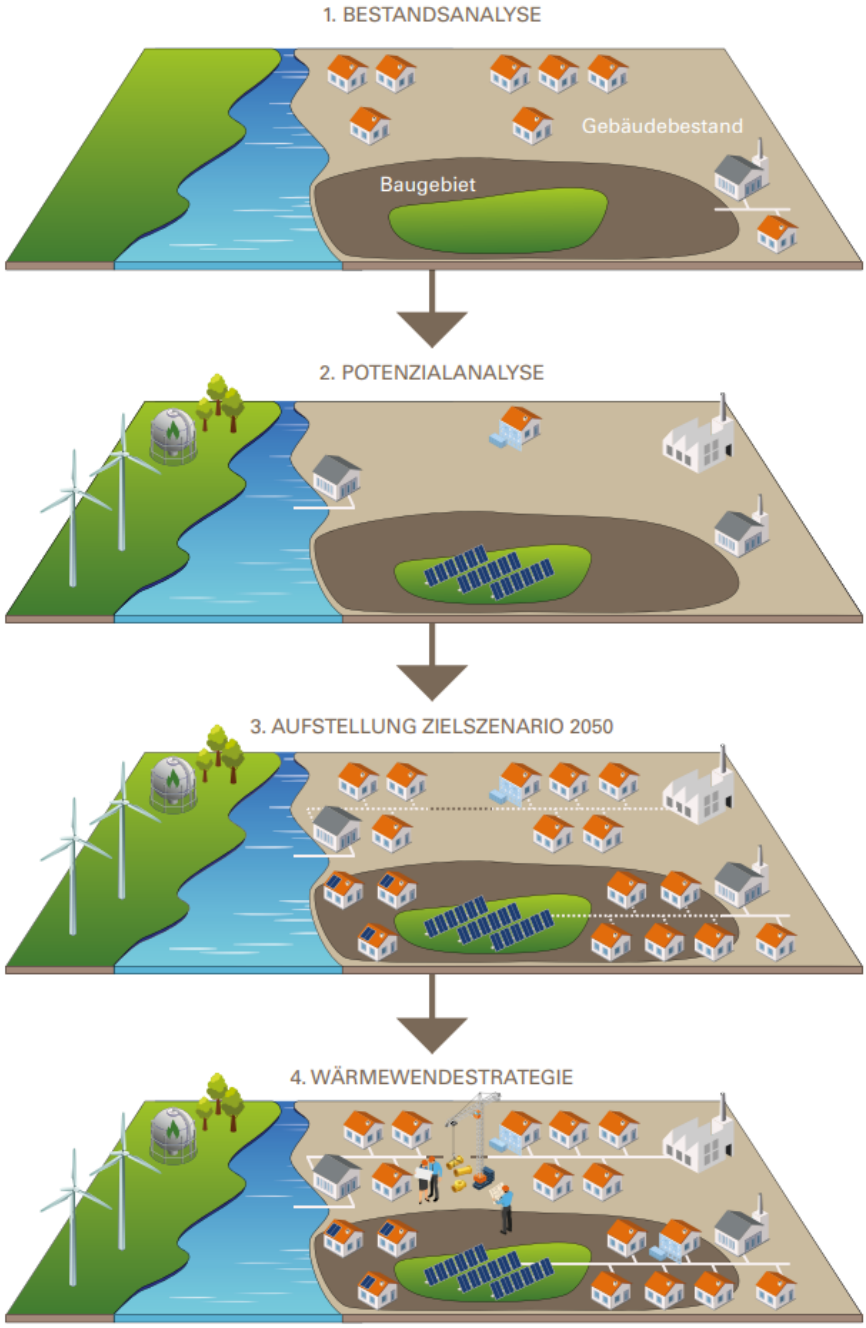


Abbildung 1-1: Graphische Darstellung der Inhalte der Energieleitplanung [3]

[3] (KEA-BW Die Landesenergieagentur, 2020)

1.1 Städtische Rahmenbedingungen

1.1.1 Die Stadt Karlsruhe

Karlsruhe ist mit ca. 309.000 Einwohner*innen nach der Landeshauptstadt Stuttgart und Mannheim die drittgrößte Stadt des Landes Baden-Württemberg. Sie ist Verwaltungssitz des Regierungsbezirks Karlsruhe sowie des Landkreises Karlsruhe und bildet selbst einen Stadtkreis (kreisfreie Stadt). Die Stadt ist Oberzentrum für die Region Mittlerer Oberrhein und für Teile der südlichen Pfalz.

Zahlreiche Behörden und Forschungseinrichtungen mit überregionaler Bedeutung sind in Karlsruhe angesiedelt. Unter den neun Hochschulen der Stadt ist das renommierte Karlsruher Institut für Technologie (KIT) die älteste und größte. Neben großen Infrastruktureinrichtungen wie den beiden Rheinhäfen und der zweitgrößten Raffinerie Deutschlands gibt es eine vorwiegend mittelständisch geprägte Wirtschaft. Karlsruhe ist einer der bedeutendsten europäischen Standorte der Informations- und Kommunikationstechnik.

Zu den größten Arbeitgebern in Karlsruhe zählen neben dem KIT der Energiekonzern EnBW (Energie Baden-Württemberg AG) sowie die Drogeriemarktkette dm und die United Internet AG.

Verkehrstechnisch ist Karlsruhe über drei Autobahnen und mehrere Bundesstraßen gut angebunden. Ebenso hat sich Karlsruhe zu einem wichtigen Bahnknotenpunkt entwickelt. Der Karlsruher Hauptbahnhof ist ein Haltepunkt im europäischen Hochgeschwindigkeitsnetz. Mit den Rheinhäfen Karlsruhe hat die Stadt – nach Mannheim – den zweitwichtigsten Binnenhafen in Baden-Württemberg. [4]

1.1.2 Die geographische Lage von Karlsruhe[5]

Das Karlsruher Stadtgebiet liegt vollständig rechtsrheinisch und überwiegend in der Oberrheinischen Tiefebene. Es umfasst im Osten mit dem Turmberg und den angrenzenden Höhen aber auch den Rand des Hügellands am Übergang vom südlichen Kraichgau zum Nordschwarzwald. Die Stadtteile Durlach, Wolfartsweier, Hohenwettersbach, Grünwettersbach, Palmbach und Stupferich gehören seit Januar 2021 zum Naturpark Schwarzwald Mitte/Nord. Der Rhein, eine der weltweit wichtigsten Wasserstraßen, bildet die westliche Stadtgrenze, an die sich das Bundesland Rheinland-Pfalz anschließt. Die kleinen Rheinnebenflüsse Alb und Pfinz durchfließen im Stadtgebiet vom Schwarzwald bzw. Kraichgau kommend die Ebene nordwestwärts. Die Stadt Karlsruhe wurde abseits von den Überschwemmungszonen der Flüsse auf einer Niederterrasse des Oberrheins (Hochgestade) gegründet, die das Tiefgestade der Rheinauen im Westen und die den Hügeln vorgelagerte Kinzig-Murg-Rinne im Südosten und Osten um mehrere Meter überragt. In den Rheinauen liegen mehrere Rheinaltgewässer und der Baggersee Knielinger See, der mit 80,5 ha Fläche größte Karlsruher See.

---

[4] Stadt & Rathaus: Karlsruhe – [karlsruhe.de]

[5] Stadtinformationen Karlsruhe [unser-stadtplan.de]

Das Stadtgebiet hat eine Fläche von 173,44 km² und dehnt sich in Nord-Süd-Richtung 16,8 km, in Ost-West-Richtung 19,3 km aus. Die Stadtgrenze ist 82,4 km lang, davon sind 11,5 km entlang des Rheins. Bis an die französische Grenze sind es 4 km Luftlinie. Der tiefste Punkt der Stadt ist mit 100 m über N.N. der Rhein beim Ölhafen.

Die Stadt ist Teil des Verdichtungsraums Karlsruhe/Pforzheim, zu dem auch einige Gemeinden des Landkreises Karlsruhe (vor allem die großen Kreisstädte Bruchsal, Ettlingen, Stutensee und Rheinstetten), die Stadt Pforzheim, der nordwestliche Teil des Enzkreises sowie die Stadt Mühlacker und die Gemeinde Niefern-Öschelbronn im nordöstlichen Enzkreis gehören. Innerhalb der Region Mittlerer Oberrhein bildet Karlsruhe eines der 14 Oberzentren Baden-Württembergs, die nach dem Landesentwicklungsplan 2002 ausgewiesen sind. Länderübergreifend ist Karlsruhe Teil der Trinationalen Metropolregion Oberrhein. Zudem gibt es im Eurodistrikt Pamina (Palatinat, Mittlerer Oberrhein und Nord-Alsace) Verflechtungen mit Gemeinden in der Südpfalz und im Unterelsass. Folgende Städte und Gemeinden grenzen an die Stadt Karlsruhe (im Uhrzeigersinn, beginnend im Norden): Eggenstein-Leopoldshafen, Stutensee, Weingarten (Baden), Pfinztal, Karlsbad, Waldbronn, Ettlingen und Rheinstetten (alle Landkreis Karlsruhe) sowie auf der gegenüberliegenden Rheinseite Hagenbach und Wörth am Rhein (beide Landkreis Germersheim in Rheinland-Pfalz).

1.1.3 Darstellung Stadtteile

In der folgenden Abbildung 1-2 ist die Gliederung des Stadtgebiets mit den 27 Stadtteilen dargestellt.

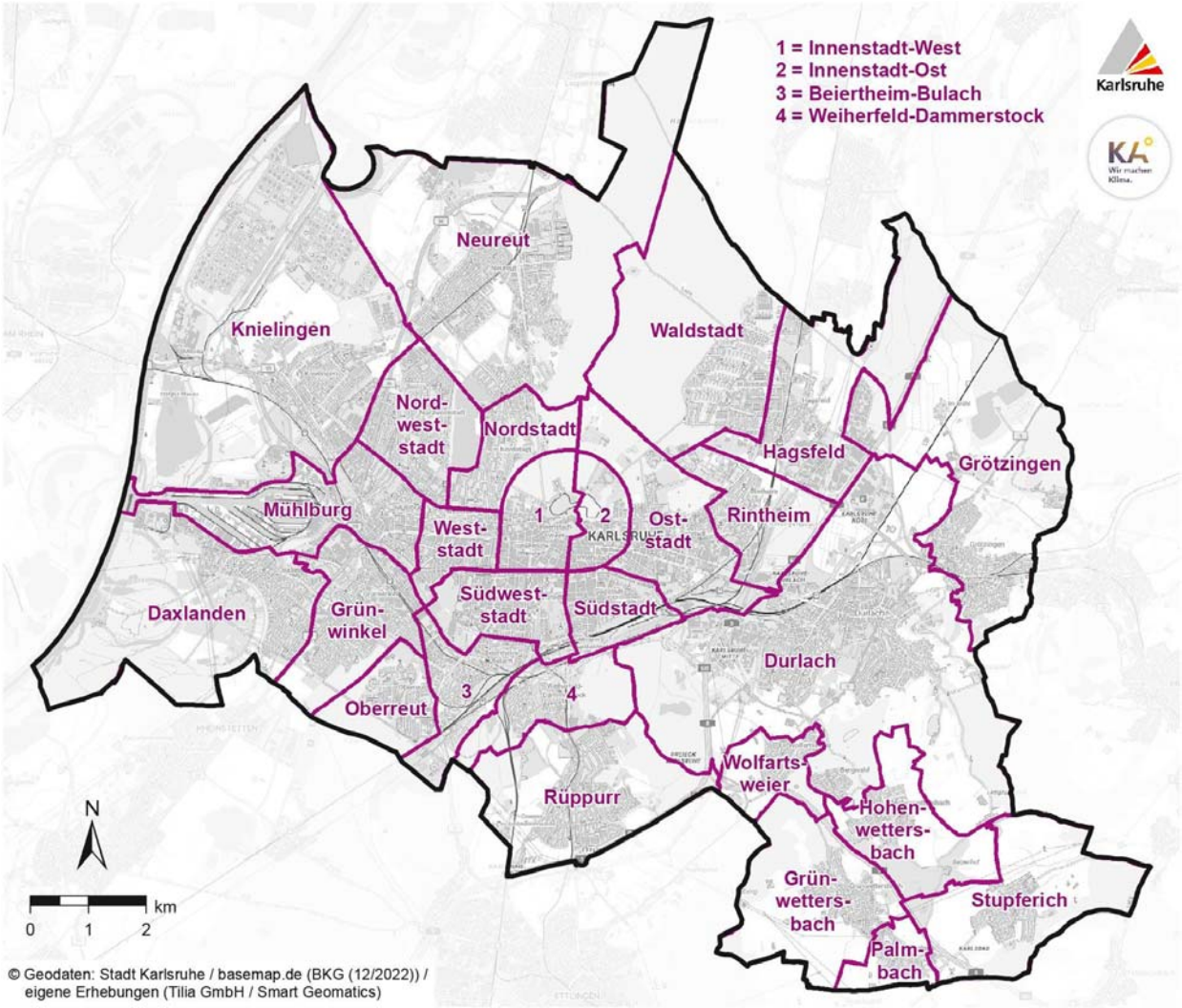


Abbildung 1-2: Darstellung der 27 Stadtteile von Karlsruhe

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Liegenschaftsamt der Stadt Karlsruhe)

1.1.4 Das Klima in Karlsruhe

Karlsruhe ist mit einer Jahresmitteltemperatur von 11,2 °C eine der wärmsten Städte Deutschlands und mit einer durchschnittlichen jährlichen Sonnenscheindauer von 1.805 Stunden auch eine der sonnigsten. Mit 21,4 Hitzetagen und 68,0 Sommertagen pro Jahr (Durchschnitte der Referenzperiode 1981–2010) weist Karlsruhe in beiden Kategorien den jeweils höchsten Wert aller deutschen Wetterstationen aus. Karlsruhe ist eine Stadt mit einer erheblichen Menge an Niederschlägen. Über das Jahr fallen 871 mm Niederschlag (Deutschland Durchschnitt bei 789 mm). Die Niederschläge sind relativ gleichmäßig verteilt (siehe Klimadiagramm). Die Temperatur der vier wärmsten Monate ist über dem 10 °C-Mittel, der wärmste hingegen unter der 22 °C-Marke (Cfb-Klassifikation „Ozeanklima“ nach Köppen-Geiger).[6]

Die geschützte Lage im Oberrheingraben hat zur Folge, dass in Karlsruhe im Sommer oft eine drückende Schwüle herrscht. Die Winter sind dagegen meist mild. Im langjährigen Mittel hat Karlsruhe 60,7 Frosttage und 11,1 Eistage pro Jahr (vgl. Daten des DWD).

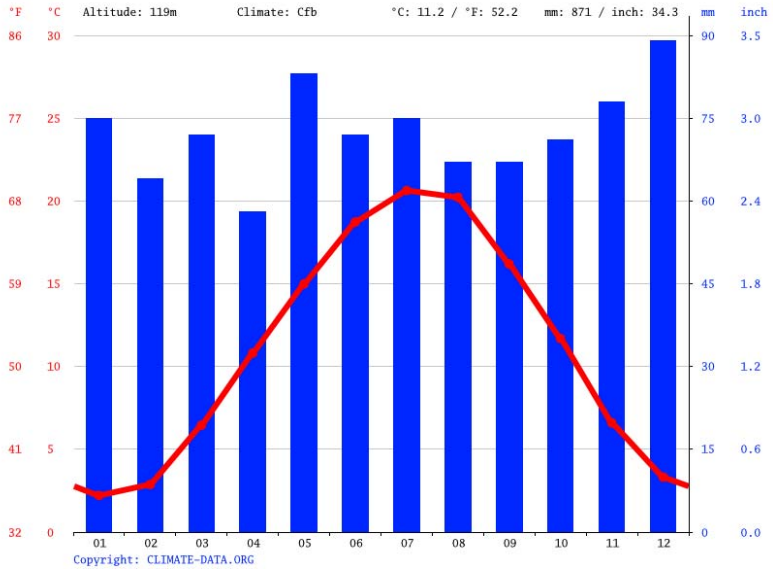


Abbildung 1-3: Klimadiagramm Karlsruhe (Durchschnitt 1991-2021)[7]

Der Schwarzwald beeinflusst das Karlsruher Klima einerseits durch seine schützende Wirkung, andererseits aber auch durch die existierenden Höhenunterschiede zur Rheinebene. Auf der einen Seite führt der Wald zu einer hohen Anzahl an Niederschlägen und auf der anderen Seite schützt er auch vor Unwettern. Insofern treten Wetterereignisse in etwas abgemilderter Form auf. In Bezug auf Energieverbräuche fehlen dadurch Tage mit extremen und länger anhaltenden Kälteeinbrüchen.

[6] Climate Data: Daten und Graphen zum Klima und Wetter in Karlsruhe. Online verfügbar unter www.climate-data.org. Zuletzt abgerufen am 25.07.2023

[7] Ebd.

Als kurzer Mittelgebirgsfluss ist die Alb anfällig für plötzlich auftretendes Hochwasser nach starken Niederschlägen im Nordschwarzwald. Eine Zunahme an Hochwasser ist vor allem in Ettlingen und Karlsruhe-Süd seit 1990 festzustellen[8]. Dies gilt es bei der Nutzung dieser Flusswässer zu berücksichtigen.

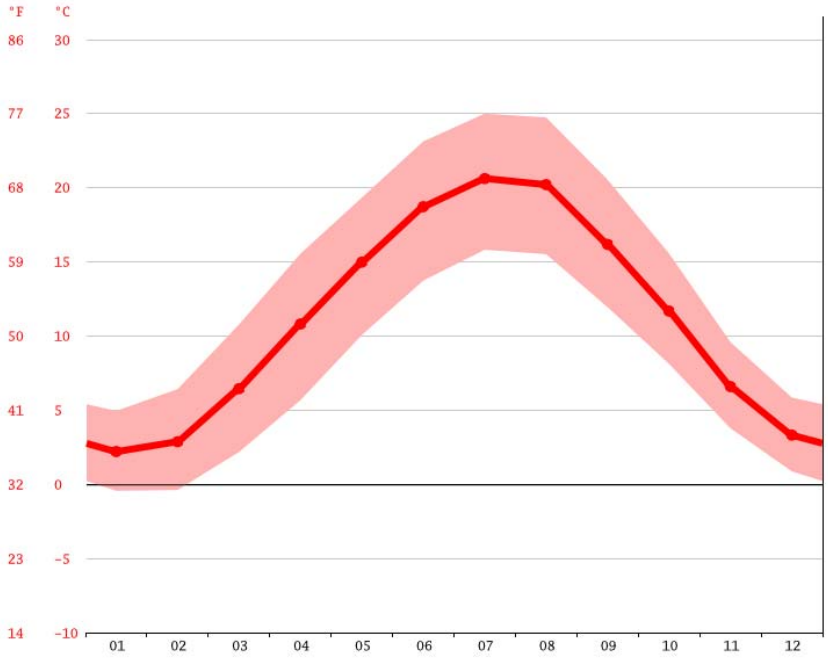


Abbildung 1-4: Durchschnittlicher Temperaturverlauf pro Monat (langjähriges Mittel 1991-2021) [9]

Mit 20,6 °C ist der Juli der wärmste Monat des Jahres. Der kälteste Monat im Jahresverlauf ist mit 2,2 °C im Mittel der Januar. Nachfolgend zeigt Tabelle 1 die unterschiedlichen Klimabedingungen in Karlsruhe.

Tabelle 1: Klimatische Werte in Karlsruhe [10]

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Septem-ber	Oktober	November	Dezem-ber
ø. Temperatur (°C)	2.2	2.9	6.5	10.8	15	18.7	20.6	20.2	16.2	11.7	6.6	3.3
Min. Temperatur (°C)	-0.4	-0.4	2.2	5.7	10.1	13.7	15.8	15.5	12	8.1	3.8	0.9
Max. Temperatur (°C)	5	6.4	10.8	15.6	19.3	23.1	25	24.7	20.6	15.6	9.6	5.9
Niederschlag (mm)	75	64	72	58	83	72	75	67	67	71	78	89
Luftfeuchtigkeit(%)	81%	78%	73%	67%	69%	66%	64%	65%	71%	78%	83%	82%
Regentage (Tg.)	10	9	10	9	10	9	10	9	8	8	9	11
Sonnenstd. (Std.)	3.5	4.6	6.4	9.0	9.9	11.2	11.4	10.2	7.7	5.7	4.1	3.5

[8] Stadtwiki Karlsruhe (2020): Hochwasser am Rhein und anderen Wasserläufen in der Region Karlsruhe. Online verfügbar unter: https://ka.stadtwiki.net/Hochwasser , zuletzt abgerufen am 25.07.2023

[9] Climate Data: Daten und Graphen zum Klima und Wetter in Karlsruhe. Online verfügbar unter www.climate-data.org. Zuletzt abgerufen am 25.07.2023

[10] Ebd.

2. Bestandsanalyse

2.1 Sorgfalt und Datenschutz

Die vorliegende Energieleitplanung wurde nach bestem Wissen und Gewissen sowie mit der gebotenen Sorgfalt erstellt. Alle Zahlenwerte beruhen auf den uns zur Verfügung gestellten Unterlagen und Daten sowie auf eigenen Recherchen. Prognosen sind als hypothetische Annahmen zu verstehen. Sie können sich in Abhängigkeit von grundsätzlichen, nicht oder nur bedingt beeinflussbaren Variablen wie der möglichen Veränderung wirtschaftlicher, gesellschaftlicher und politischer Rahmenbedingungen auf die zu untersuchenden Gegebenheiten auswirken und in der Folge eine neue Einschätzung der Situation nach sich ziehen. Hinweise auf Gesetzgebung, Rechtsprechungen, DIN/EN-Normen und Richtlinien und daraus möglicherweise resultierende betriebliche Konsequenzen haben empfehlenden Charakter.

Zum Schutz personenbezogener Daten werden Daten, die individuell auf einzelne Gebäudeeigentümer*innen zurückzuführen sind, datenschutzrechtlich konform erhoben und behandelt. Personenbezogene Daten werden so behandelt und aggregiert, dass in dem veröffentlichten Energieleit- bzw. Wärmeplan keine Rückschlüsse auf Einzelpersonen oder Betriebe möglich sind. Gemäß der diesem Angebot zugrunde liegenden Leistungsbeschreibung wird in einer zwischen Auftragnehmerin und Auftraggeberin zu unterzeichnenden Datenschutzerklärung festgehalten, dass personenbezogene Daten nur in einem speziell geschützten Serverbereich verarbeitet werden dürfen, auf welchen nur die unmittelbar mit der Datenauswertung befassten Personen Zugriff erlangen.

2.2 Datengrundlagen

Als Datengrundlage für die Bestandsanalyse dienten die von den Stadtwerken Karlsruhe zur Verfügung gestellten Verbrauchsdaten. Für die kommunale Wärmeplanung wurden von den Stadtwerken jahres- und gebäudescharf die Gas- und Stromverbräuche bereitgestellt. Um Schwankungen aufgrund der Corona-Pandemie auszuschließen, wurden als Grundlage für die Bestandsanalyse die Werte aus dem Jahr 2019 zu Grunde gelegt.

Für die nicht-leitungsgebundenen Energieträger wurden die Verbrauchsdaten anhand von Daten der Bezirksschornsteinfeger*innen sowie auf Basis von Standard-Wärmebedarfen ermittelt. Von den Kehrbezirken in Karlsruhe wurden von den jeweiligen Schornsteinfeger*innen gebäudescharfe Daten zu den entsprechenden Wärmeerzeugungsanlagen bereitgestellt. Diese Daten beinhalten das Alter, den genutzten Brennstoff und die Leistungen der Wärmeerzeugungsanlagen. Die Berechtigung zur Erhebung dieser Daten ergibt sich aus dem zum Zeitpunkt der Datenerhebung gültigen Fassung des Klimaschutzgesetzes Baden-Württemberg.

Weiterhin wurden von der Stadtverwaltung Karlsruhe gebäudegenaue Angaben zum Alter und zur Nutzung der Gebäude zur Verfügung gestellt. Darauf aufbauend konnte eine Wärmebedarfsanalyse erstellt werden, welche den jährlichen Endenergiebedarf für Wohngebäude aufzeigt, die über das komplette Stadtgebiet durchgeführt wurde. Auf Basis eines GIS-basierten Analyseverfahrens unter Verwendung bereitgestellter Geodaten inkl. 3D-Gebäudemodell ließen sich für Wohngebäude wesentliche Merkmale wie Gebäudelage, Gebäudehöhe, Anzahl der Stockwerke, Dachform und eine Wohnfläche ermitteln sowie in der Datenbank aktualisieren und ergänzen. Nach diesen Merkmalen und Informationen zu Gebäudebaualter wurden Gebäudetypen auf Basis der Gebäudetypologie des Instituts Wohnen und Umwelt (IWU) abgeleitet – die sogenannte TABULA-Typologie (Typology Approach for

Building Stock Energy Assessment) – und für jeden Gebäudetyp entsprechende energetische Kennwerte zugeordnet. Die TABULA-Typologie ist ein auf europäischer Ebene abgestimmtes Konzept für Gebäudetypologien. Aus der Kombination des Standard-Wärmebedarfs mit den Daten der Schornsteinfeger*innen konnten die geschätzten Verbrauchswerte für nicht-leitungsgebundene Energieträger ermittelt werden. [11]

Dementsprechend wurden bei den Gebäuden, die anhand von leitungsbasiertem Erdgas beheizt wurden, die tatsächlichen Verbrauchswerte zu Grunde gelegt. Bei Gebäuden, die mit nicht-leitungsgebundenen Energieträgern beheizt wurden, wurde der anhand der TABULA-Typologie ermittelte Wärmebedarf angenommen.

Sämtliche dieser Daten und der daraus gewonnenen Informationen unterliegen dem Datenschutz und werden daher in allen Ergebnisdarstellungen dieser Arbeit nur anonymisiert bzw. aggregiert wiedergegeben.

2.3 Einordnung und Darstellung der vorhandenen Gebäude in Gebäudetypen und Baualtersklassen

2.3.1 Hauptnutzungsarten der Gebiete

Auf Grundlage der Angaben aus den Daten des amtlichen Liegenschaftskatasters (Nutzungsart Einzelgebäude) und Nutzungsart der Flurstücke lässt sich der Charakter von Gebieten klassifiziert darstellen. Somit können reine Wohngebiete von Gebieten mit Mischnutzung oder Gewerbegebieten sowie Arealen mit vorwiegend kommunalen Liegenschaften unterschieden werden. Die Gebäude werden dabei den folgenden Kategorien zugeordnet:

- Wohnen / Privathaushalte
- Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD) und Industrie
- Gebiete mit hoher Dichte an öffentlichen Gebäuden
- Gebiete mit hoher Anzahl an denkmalgeschützten Gebäuden

Dies stellt neben der reinen Ermittlung der Wärmebedarfe im Vergleich zu Wärmeverbräuchen eine wichtige Vorarbeit bei zu erwartenden Sanierungsgewinnen bei den Energiebedarfen dar, die sich nur anhand von Energieverbrauchsdaten nicht ableiten lassen. Ferner hilft diese Gebietsauswertung bei der späteren Identifizierung von Schwerpunktgebieten und Maßnahmen.

Die Gebäudetypen im Stadtgebiet wurden hinsichtlich ihrer Nutzung analysiert. Im Stadtgebiet dominieren bei der Gebäudenutzung die Wohngebäude. Von den ca. 54.300 beheizten Gebäuden in

[11] Institut für Wohnen und Umwelt (2022): Gebäudetypologie und Daten zum Gebäudebestand: online abrufbar unter https://www.iwu.de/publikationen/fachinformationen/gebaeudetypologie/, zuletzt abgerufen am 25.07.2023

Karlsruhe entfallen ca. 78 % der Gebäude auf Wohngebäude und ca. 5 % auf Gebäude mit Wohnmischnutzung. Zweitgrößerer Sektor bei der Gebäudenutzung ist der Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie mit 13 %. Etwa 2,5 % der Gebäude werden für öffentliche Zwecke genutzt und die verbleibenden 1 % sind sonstige Nutzungen (inkl. Gesundheits- und Pflegeeinrichtungen bzw. Hotel- und Gastgewerbe). Die Aufteilung wird in Abbildung 2-1 ersichtlich.

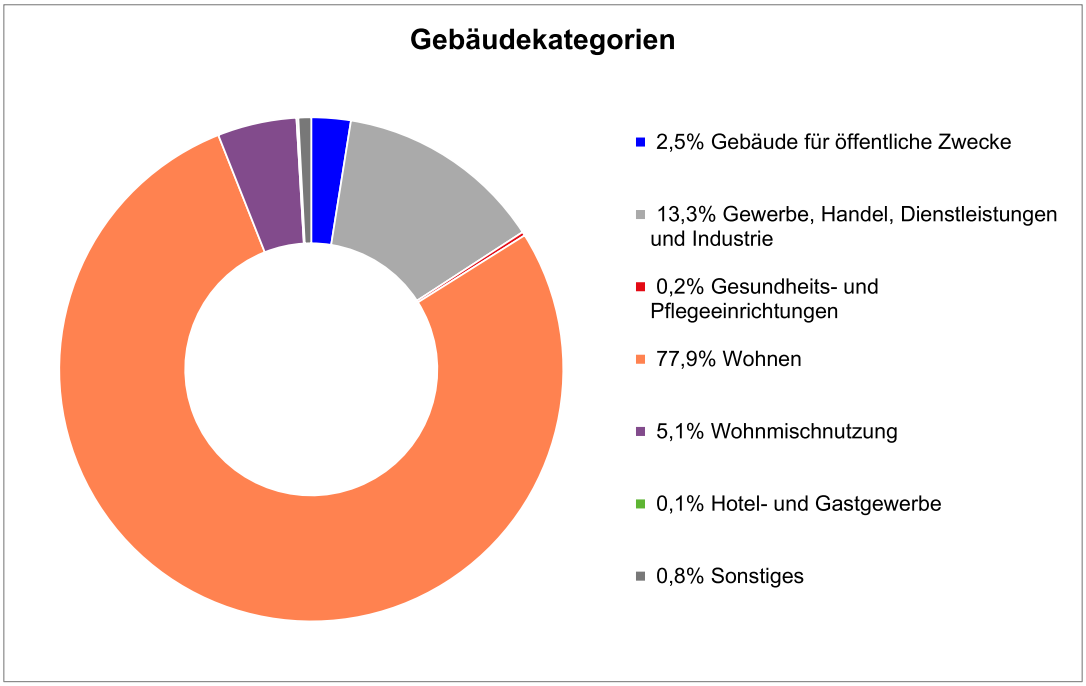


Abbildung 2-1: Verteilung der Gebäudenutzung nach Sektoren

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Liegenschaftsamt der Stadt Karlsruhe)

Des Weiteren wurden die Wohngebäudetypen näher betrachtet. Mehr als ein Drittel der Wohngebäude sind Doppel- bzw. Reihenhäuser, gefolgt von Mehrfamilienhäusern (ca. 28,7 %) und Ein- bzw. Zweifamilienhäusern (19,9 %). Die übrigen Anteile verteilen sich auf sonstige Gebäude mit Wohnraum, Hochhäuser und Wohnblöcke (siehe Abbildung 2-2).

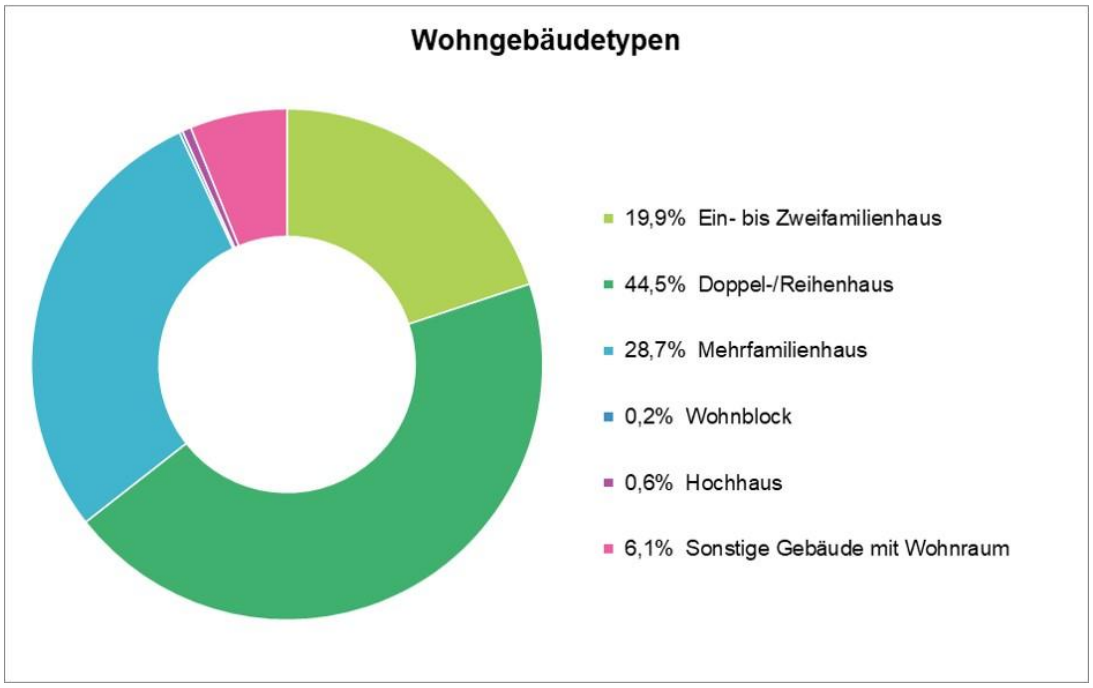


Abbildung 2-2: Wohngebäudetypen

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Liegenschaftsamt der Stadt Karlsruhe)

In Abbildung 2-3 ist die räumliche Verteilung der Gebäudenutzungen beispielhaft für einen Ausschnitt der Stadt zu sehen. Es ist deutlich zu erkennen, dass in diesem Ausschnitt alle Gebäudekategorien dargestellt sind, jedoch der größte Anteil auch hier die Kategorie Wohnen ist.

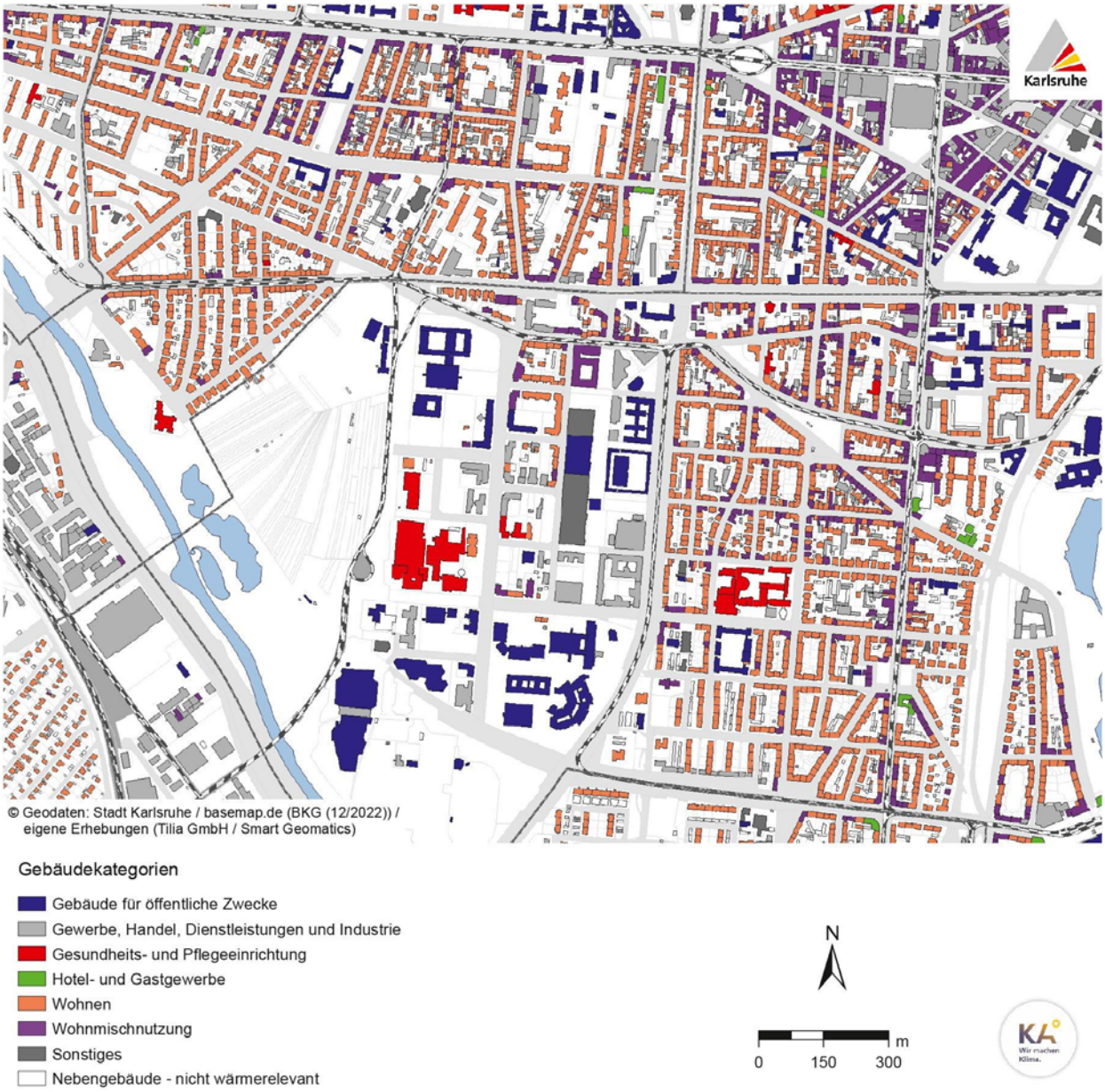


Abbildung 2-3: Verteilung der Gebäudekategorien (Detailansicht)

(Quelle tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Liegenschaftsamt der Stadt Karlsruhe)

Aus Abbildung 2-4 wird ersichtlich, dass im inneren Kern der Stadt Karlsruhe überwiegend Mehrfamilienhäuser und Gebäude mit Wohnmischnutzung gebaut wurden. In den Jahrzehnten nach dem Zweiten Weltkrieg sind immer mehr Wohngebiete entstanden, in denen überwiegend freistehende Ein- bis Zweifamilienhäuser gebaut wurden, die sich eher außerhalb des Stadtkerns befinden. Die Aggregation der Darstellung wurde auf Ebene der Baublöcke der Statistikstelle der Stadt Karlsruhe vorgenommen.

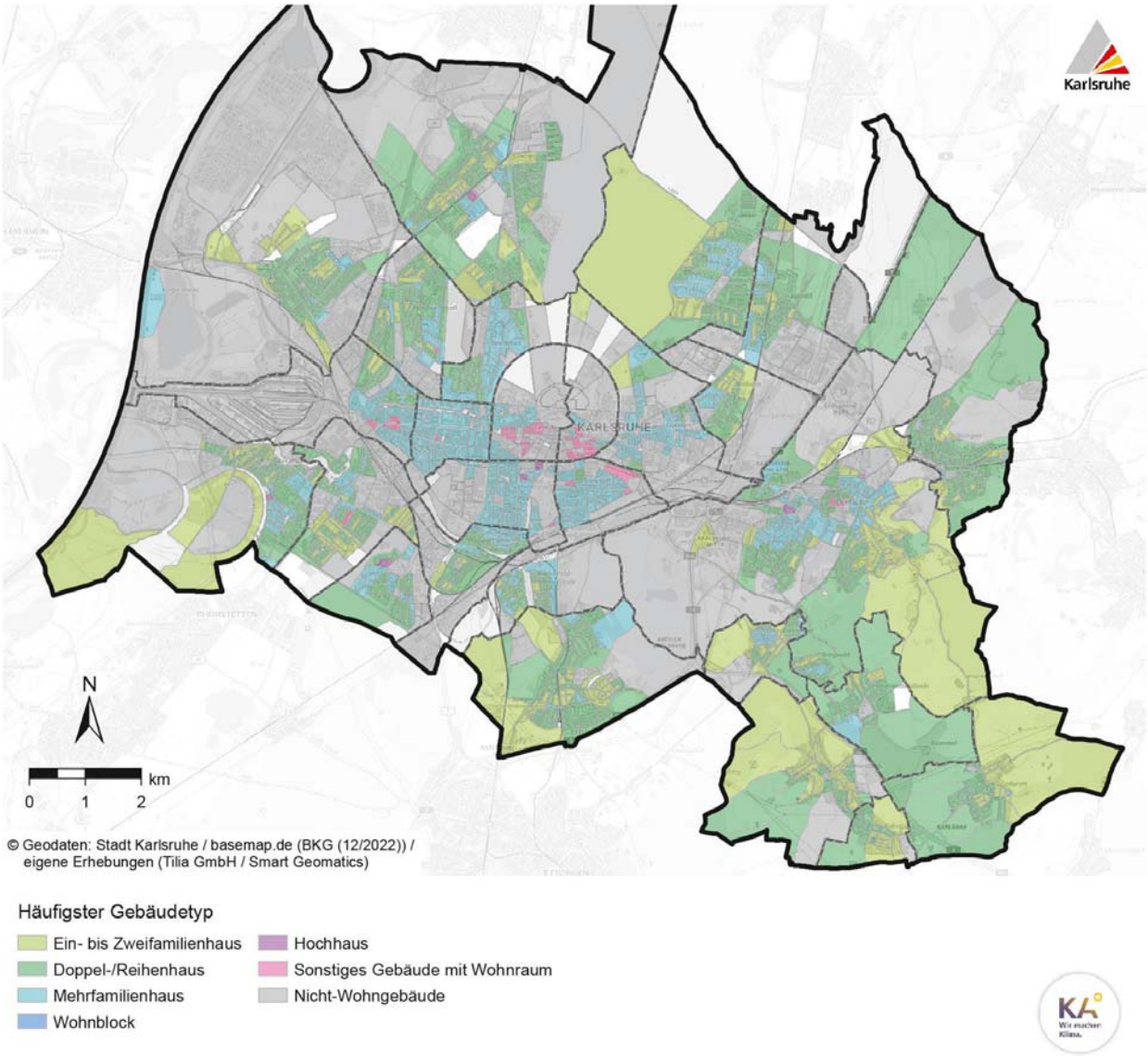


Abbildung 2-4: Geografische Verteilung der Gebäudenutzung nach Sektoren auf Baublockebene

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Liegenschaftsamt der Stadt Karlsruhe)

2.3.2 Siedlungsentwicklung

Zusätzlich zur reinen Darstellung der Gebäudetypen erfolgt eine Klassifizierung des Baualters nach den Epochen der gesetzlichen Energieeinsparungsverordnungen bzw. der IWU-Klassen:

- A bis C bis 1948
- D von 1949 bis 1957
- E von 1958 bis 1968
- F von 1969 bis 1978
- G von 1979 bis 1983 (1.WSchVO)
- H von 1984 bis 1994 (WSchVO 84)
- I von 1995 bis 2001 (WSchVO 95)
- J von 2002 bis 2008 (EnEV 2004)
- K von 2009 bis 2014 (EnEV 2009)
- L von 2015 bis heute (EnEV 2014)

Die Abbildung 2-5 verdeutlicht, dass der größte Teil der Gebäude (ca. 30,5 %) das höchste Baualter aufweist. In den folgenden Zeitabschnitten wurden 22,4 % (von 1949 bis 1957), ca. 19,5 % (von 1958 bis 1968) sowie ca. 8,6 % (von 1969 bis 1978) der Gebäude errichtet. Dies bedeutet, dass etwa 80 % der Gebäude ohne jede geltende Regelung zum baulichen Wärmeschutz errichtet wurden.

Nur 19 % der Gebäude wurden nach 1979 errichtet und fallen damit unter die ab diesem Zeitpunkt geltenden Wärmeschutzverordnungen (WSchVO) und Energieeinsparverordnungen (EnEV).

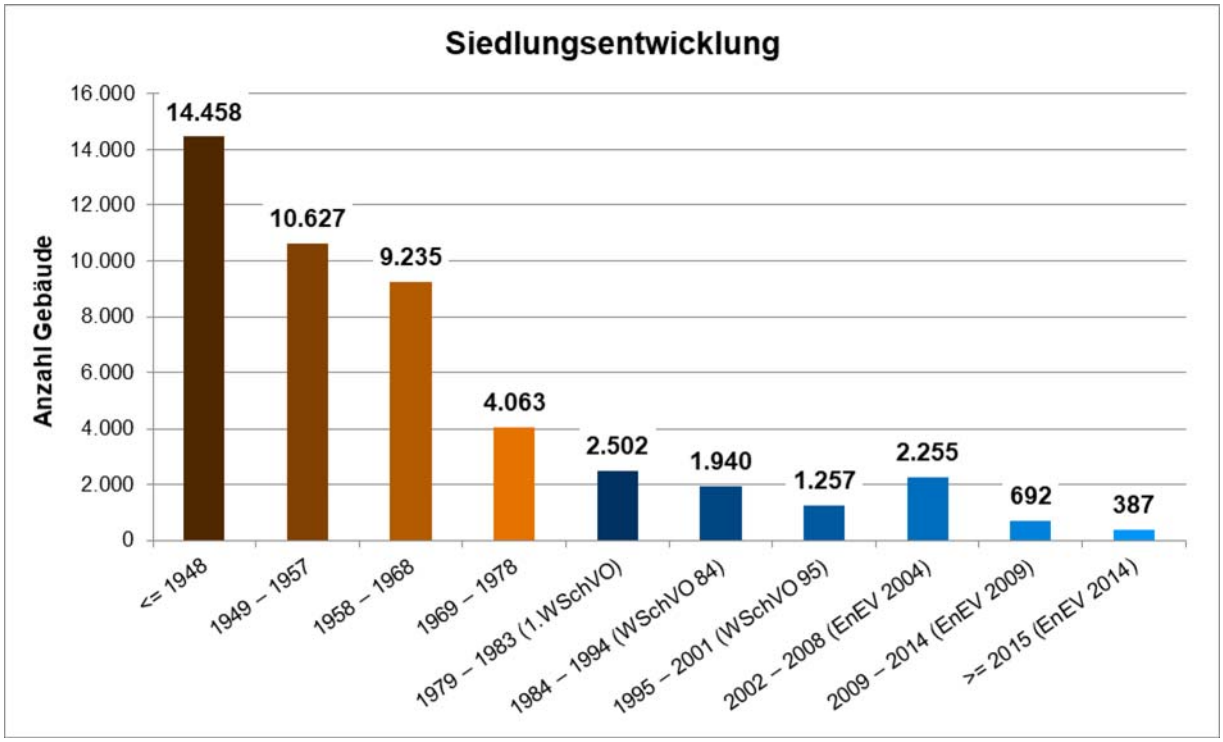


Abbildung 2-5: Verteilung der Errichtungszeiträume der Gebäude

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Amt für Stadtentwicklung der Stadt Karlsruhe)

Die Feststellung, dass ein Großteil der Häuser im Stadtgebiet Karlsruhe vor 1978 erbaut wurde, wird in Abbildung 2-6 bestätigt. Die Siedlungsstruktur zeigt auch, dass Karlsruhe in seinem Kern eine Planstadt mit seinen strahlenförmigen Achsen – abgehend vom Stadtschloss – ist. Im Vergleich dazu erscheint die ältere Stadt Durlach, die sich im Osten befindet und im Jahr 1565 gegründet wurde, „gewachsener“. Die Gründung Karlsruhes ging im Jahr 1715 von der ehemaligen Stadt Durlach und dem Bestreben des Markgrafen Karl Wilhelm aus, dem die Durlacher „Enge“ nicht gefiel. Durlach wurde im Jahr 1938 zur Stadt Karlsruhe eingemeindet.

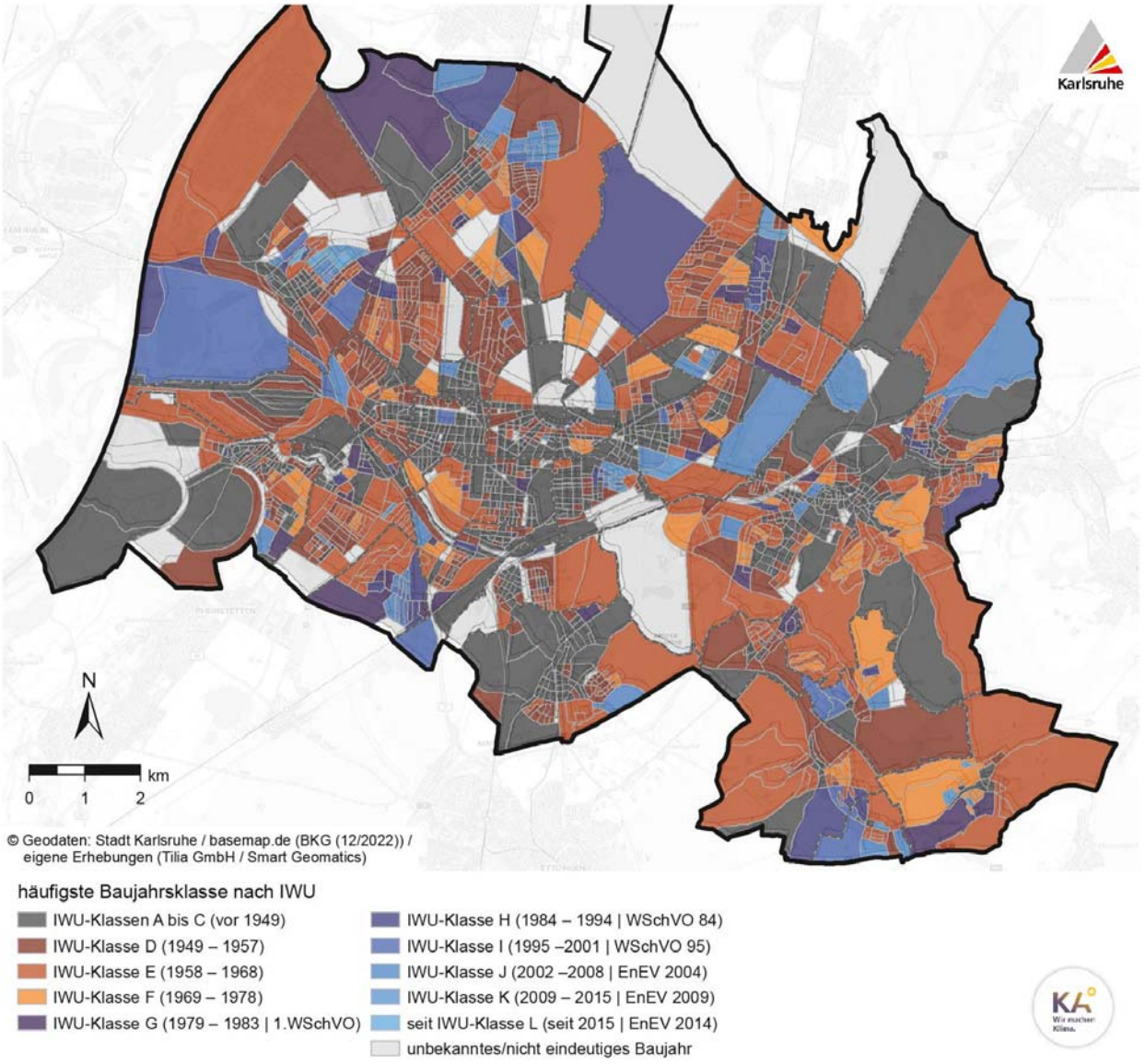


Abbildung 2-6: Kategorisierung der Baualtersklassen auf Baublockebene

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Amt für Stadtentwicklung der Stadt Karlsruhe)

Die nachfolgende Abbildung 2-7 zeigt größere Neubaugebiete, bei denen künftig Entwicklungen anstehen. Dabei handelt es sich um Gebiete, für die bereits Bebauungspläne vorliegen oder sich in Aufstellung befinden sowie Flächen aus dem Flächennutzungsplan 2030. Abgebildet sind sowohl Gebiete mit überwiegender Wohnnutzung als auch Gewerbegebiete. Die Flächen sind über das Stadtgebiet verteilt und weisen im Hinblick auf eine klimaneutrale Energieversorgung unterschiedliche Rahmenbedingungen auf. In den meisten Fällen sind bei den Gebieten mit Wohnungen verdichtete Baustrukturen vorgesehen. Neben diesen größeren Entwicklungen findet in Karlsruhe ein großer Teil der Bautätigkeit im Innenbereich statt. Große Außenentwicklungsflächen gibt es aufgrund der vielen vorhandenen Restriktionen nicht. Insbesondere bei den großen Entwicklungsgebieten ist es wichtig, sich möglichst frühzeitig mit der Frage einer klimaneutralen Energieversorgung auseinanderzusetzen. Der Karlsruher Gemeinderat hat daher im Jahr 2020 umfangreiche Beschlüsse zu Anforderungen zur Umsetzung der Klimaneutralität in Bauleitplanungen sowie Verträgen der Stadt getroffen (Vorlage 2020/0643). Unter anderem werden – sofern sinnvoll – bei neuen Bebauungsplänen frühzeitig Energiekonzepte erstellt, um zu prüfen, wie eine Klimaneutralität erreicht werden könnte.

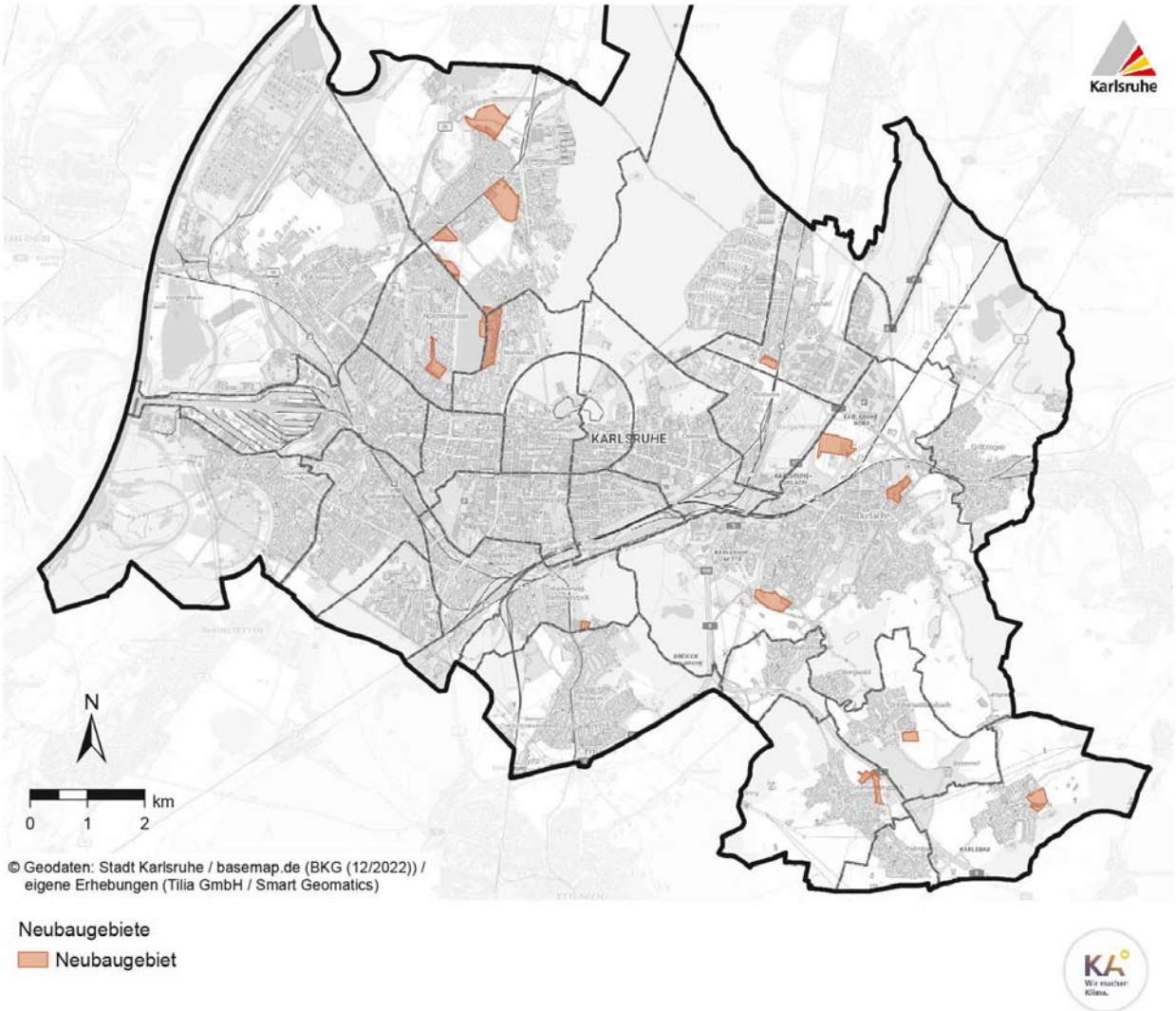


Abbildung 2-7: größere Neubaugebiete in unterschiedlichen Entwicklungsstadien

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Stadtplanungsamt der Stadt Karlsruhe)

2.4 Erfassung des räumlich aufgelösten Wärmebedarfs

Der Gesamtwärmebedarf des Stadtgebiets Karlsruhe betrug im Referenzjahr 2019 ca. 3.150 Gigawattstunden (GWh). Dabei entfiel der größte Teil des Wärmebedarfs auf den Sektor private Haushalte mit 62,5 %, gefolgt vom Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) und Industrie mit 34,5 %. Der Wärmebedarf der kommunalen Liegenschaften liegt bei 3,0 %.

Der hohe Wärmeverbrauch ist auf wenige industrielle Großverbraucher in Karlsruhe zurückzuführen, wo Wärme zur Produktion von Prozessenergie eingesetzt wird. Dies erklärt auch den hohen Wärmeverbrauch von knapp 11.300 Kilowattstunden (kWh) pro Einwohner*in und Jahr. Statistisch werden pro Einwohner*in in Deutschland nur etwa 6.200 kWh zur Wärmebereitung verbraucht (Statistisches Bundesamt, 2022). Folglich gehen etwa 82 % der gesamten Verbräuche des Sektors GHD und Industrie und hier zumeist Erdgas und ein Anteil Fernwärme in wenige große Industriebetriebe. Unter Berücksichtigung dieses Umstandes zeigt sich dann auch eine für Städte dieser Größe recht typische Verteilung des Wärmebedarfs nach Sektoren.

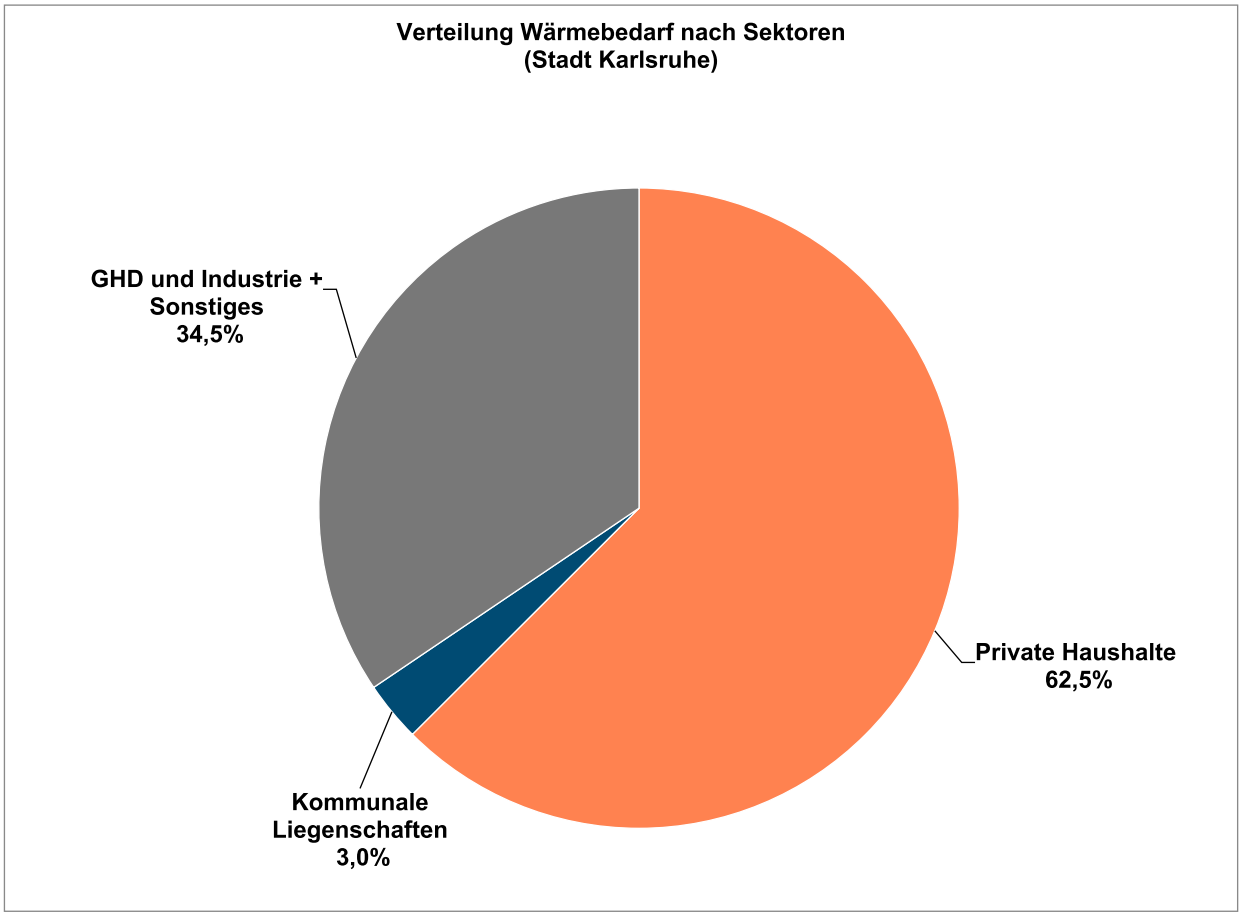


Abbildung 2-8: Verteilung Wärmebedarf nach Sektoren

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Stadtwerke Karlsruhe Netzservice GmbH, Stadtwerke Karlsruhe GmbH, eigene Berechnungen)

2.4.1 Verteilung Endenergiebedarfe

Die nachfolgende Abbildung 2-9 zeigt die Verteilung der Endenergiebedarfe für das Stadtgebiet Karlsruhe. Aus Datenschutzgründen werden die Endenergiebedarfe zu Baublöcken zusammengefasst dargestellt. Es zeigt sich dabei deutlich, dass sich die höchsten absoluten Endenergiebedarfe für Wärme in den Industriegebieten befinden. Dies ist den hohen, für die Produktion benötigten Prozesswärmemengen geschuldet.

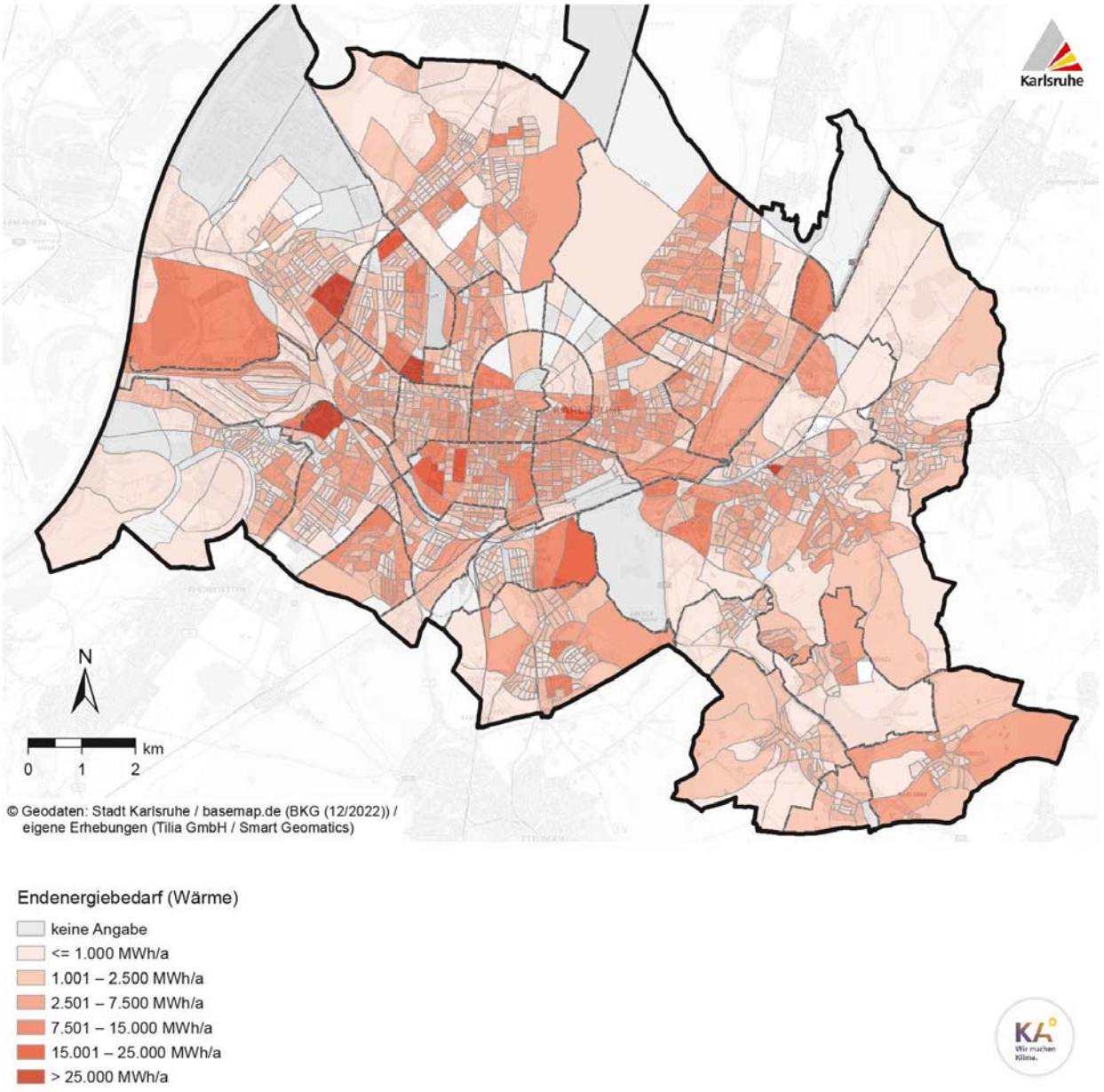


Abbildung 2-9: Endenergieverteilung Stadt Karlsruhe auf Baublockebene

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Stadtwerke Karlsruhe Netzservice GmbH, Stadtwerke Karlsruhe GmbH, eigene Berechnungen)

2.4.2 Verteilung der Energiebedarfe pro m² und Gebäude

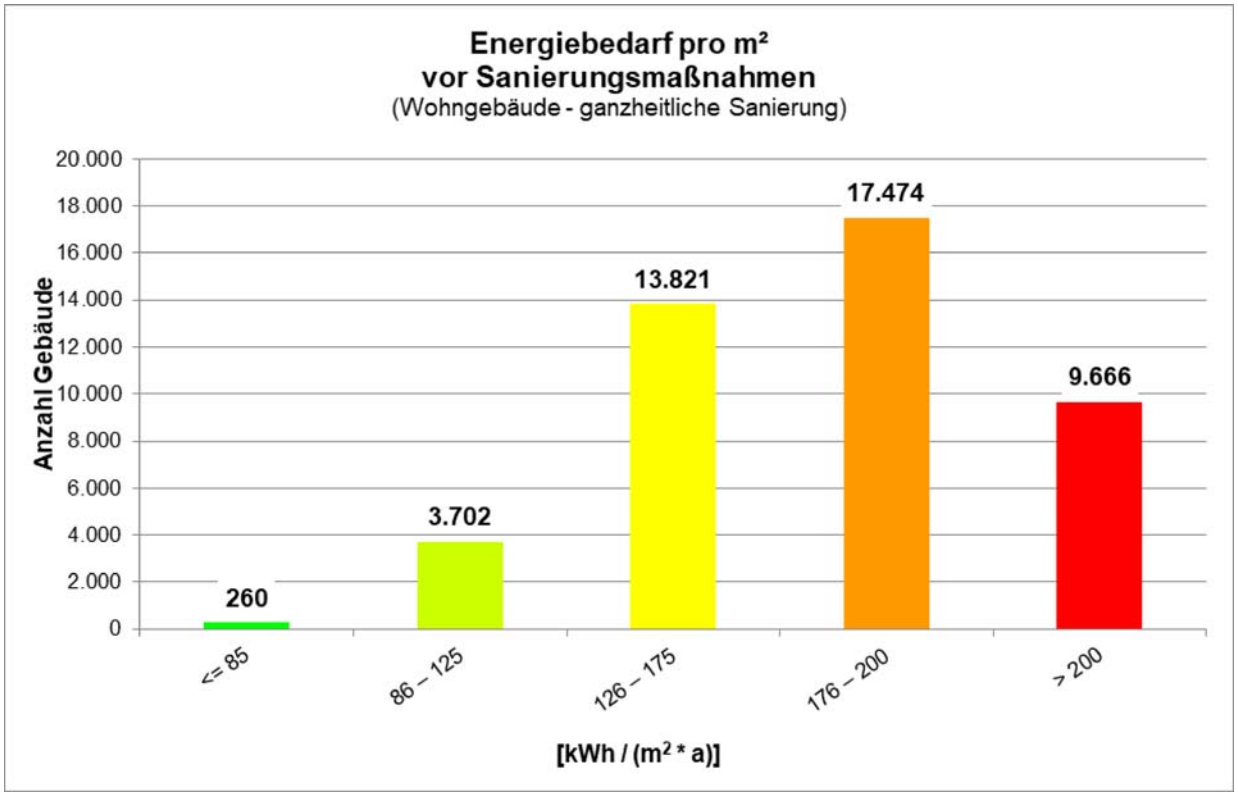


Abbildung 2-10: Verteilung der Energiebedarfe pro m² und Gebäude

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Stadtwerke Karlsruhe Netzservice GmbH, Stadtwerke Karlsruhe GmbH, eigene Berechnungen)

Durch die Errichtungszeiträume von Gebäuden zumeist vor 1978 und ohne zum Zeitpunkt bestehende Wärmeschutzverordnungen wird ersichtlich, dass viele Gebäude wärmeseitig weniger energieeffizient sind. Aus der Abbildung 2-10 wird ersichtlich, dass ca. 89,9 % der Wohngebäude in Karlsruhe einen Energiebedarf von über 125 kWh/m² und Jahr aufweisen. Ein darauf angepasster Sanierungspfad wird in der Potenzialanalyse erörtert. Die kumulierte Wohnfläche in Karlsruhe wurde für das Jahr 2019 mit 14.728.403 m² ausgewiesen. Im Jahr 2019 wurden in Karlsruhe 312.060 Einwohner*innen gemeldet, was eine Wohnfläche pro Einwohner*in von 47,20 m² ergibt. Dies liegt in etwa auf dem Bundesdurchschnitt von 47,7 m² pro Einwohner*in und hat mit der verdichteten Situation in der Kernstadt zu tun.

Das Stadtgebiet Karlsruhe hat eine Fläche von 173,49 km². Daraus folgt eine Einwohner*innendichte von 1.799 Einwohner*innen pro km², was deutlich über dem Bundesdurchschnitt von 233 Einwohner*innen pro km² liegt. Die Situation zeigt Züge einer urbanen Region auf, was auf die Wirtschaftskraft der Gegend zurückzuführen ist. Dies ist gleichzeitig ein Hinweis auf energetisch verdichtete Strukturen, welche wahrscheinlich den Einsatz von Wärmenetzen interessant machen.

2.4.3 Wärmedichte

Um auch einen Überblick über die Wärmedichte in Straßenabschnitten zu geben, wurde der absolute Endenergiebedarf aller (Wohn-)Gebäude an einem Straßenabschnitt mit der Straßenlänge in Bezug gesetzt. Das bedeutet, dass der Endenergiebedarf der Gebäude imaginär auf die Länge eines Straßenzuges umgelegt wird. Somit lassen sich Straßenzüge im energetischen Vergleich darstellen. Das Ergebnis wird in der nachfolgenden Abbildung 2-11 dargestellt. Hier sind die höchsten Wärmedichten in der Innenstadt zu erkennen. Orangefarbene und rot eingefärbte Straßenzüge weisen dabei auf potenziell ausreichende Wärmedichten für Wärmenetze hin. Auch die direkte Umgebung einer Eignungszone sollte aber nach weiteren Potenzialen für Wärmenetze untersucht werden.

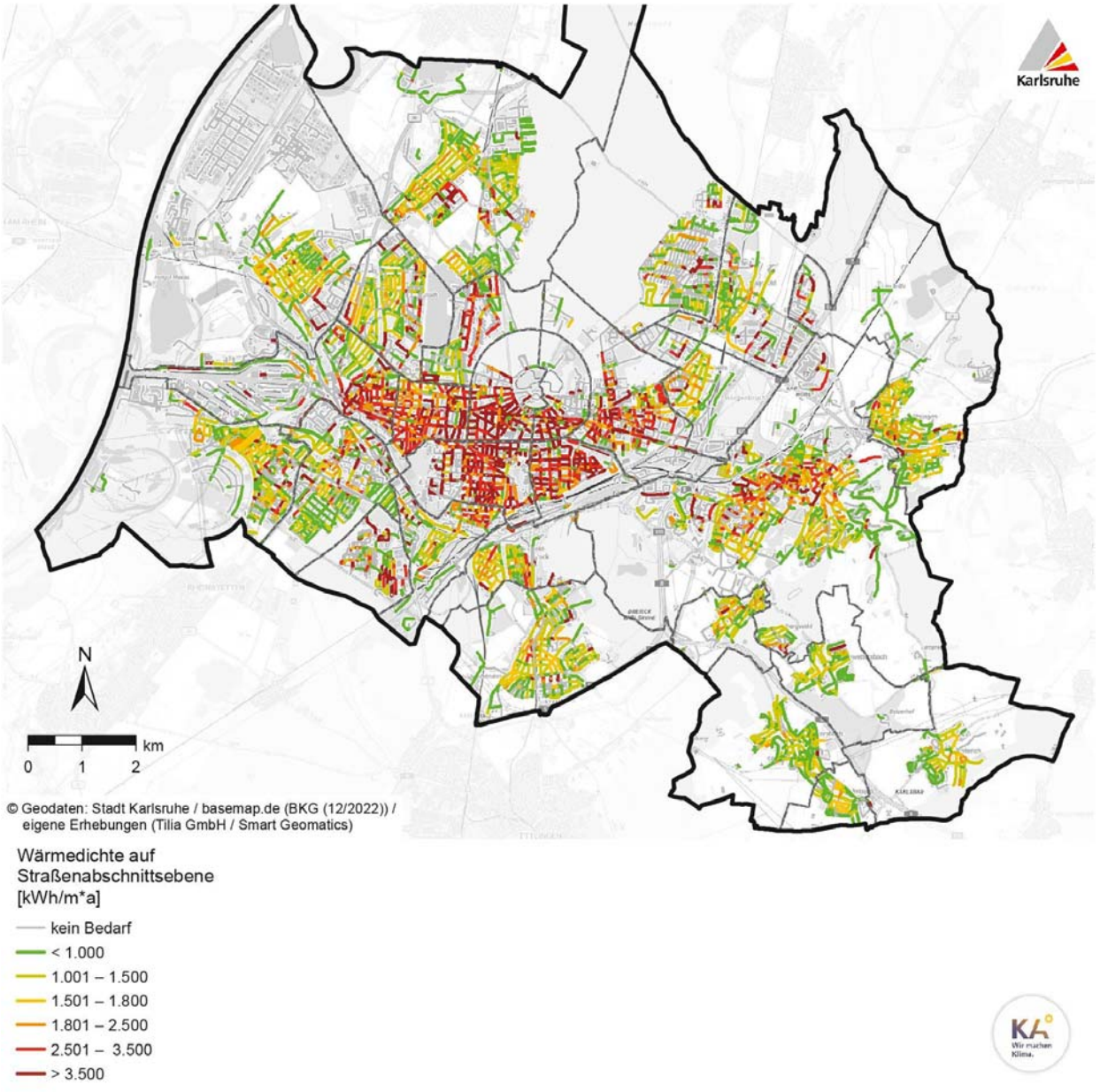


Abbildung 2-11: Wärmedichtenkarte - räumliche Verteilung der Endenergiebedarfe

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Stadtwerke Karlsruhe Netzservice GmbH, Stadtwerke Karlsruhe GmbH, eigene Berechnungen)

2.5 Wärmeerzeugung

2.5.1 Energieträgerverteilung

In der nachfolgenden Abbildung 2-12 wird die räumliche Verteilung der genutzten Brennstoffe zur Wärmeerzeugung für Karlsruhe dargestellt, jedoch in der Genauigkeit, dass der vorherrschende Brennstoff in einem Baublock zu erkennen ist. Die Darstellung zeigt die hohen Anteile Erdgas im Bereich der Wohngebäude und mit Abstrichen des Gewerbes. In der Innenstadt sieht man einen erhöhten Anteil von Fernwärme, die zu einer nachhaltigeren Wärmeversorgung innerhalb der Innenstadt führt. Diese Verteilung zeigt deutlich, dass der größte Anteil der beheizten Gebäude in Karlsruhe noch mit fossilen Energieträgern beheizt wird.

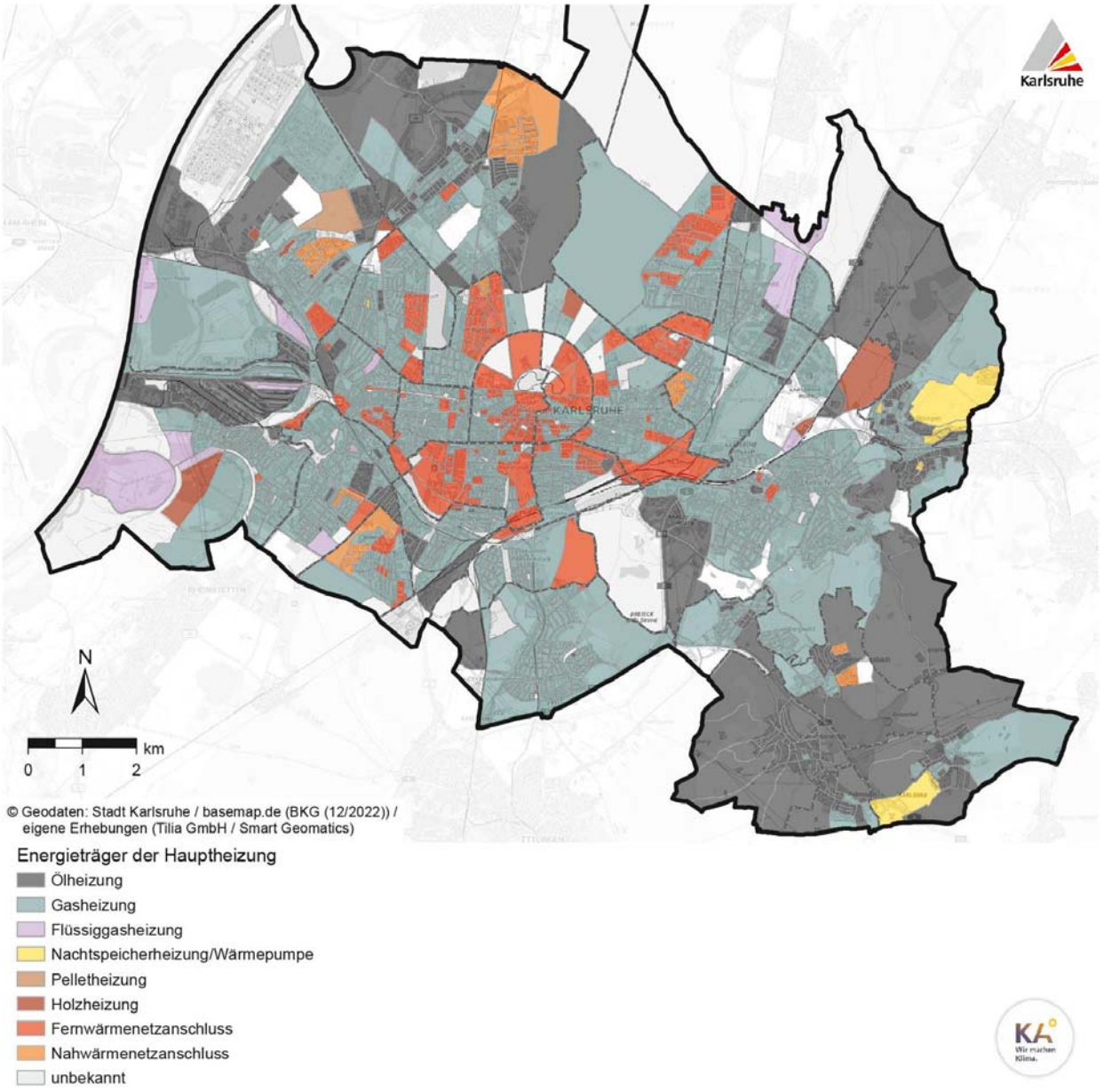


Abbildung 2-12: Räumliche Verteilung der Wärmeerzeugung nach Brennstoffen auf Baublockebene

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Bezirksschornsteinfeger*innen für Karlsruhe)

2.5.2 Energieträgerverteilung nach Verbrauch

Die Verteilung der zur Wärmeerzeugung eingesetzten Energieträger nach Sektoren zeigt sich kongruent zu der Gebäudenutzung im Stadtgebiet (siehe Abschnitt 2.2.2). Der größte Verbrauchssektor in Karlsruhe ist der Wohngebäude-Sektor. Durch die älteren Gebäudestrukturen in den Innenstadtbereichen von Karlsruhe und Durlach liegt dementsprechend der Wärmeverbrauch pro Einwohner*in bei knapp 11.300 kWh. Die Energieträgerverteilung zeigt die für eine Stadt dieser Größe recht typische Verteilung für die Hauptenergieträger Erdgas und Heizöl. Nur im Bereich Fernwärme zeigt sich mit ca. 28 % ein im Vergleich zum Bundesdurchschnitt außergewöhnlich hoher Anteil. Der insgesamt dominierende Gasverbrauch zeigt, dass sich die jahrzehntelang verfolgte Strategie der günstigen fossilen Energieträgerversorgung mit Erdgas im ganzen Stadtgebiet etablieren konnte. Dagegen ist der Anteil von Heizöl wesentlich kleiner und auf den Bereich von Wohngebäuden beschränkt. Dort stehen meistens noch ältere Heizölthermen. Der Anteil liegt bei 9,6 % und findet sich meist in Gebäuden, die zwischen 1949 und 1978 als Ein- und Zweifamilienhäuser errichtet wurden.

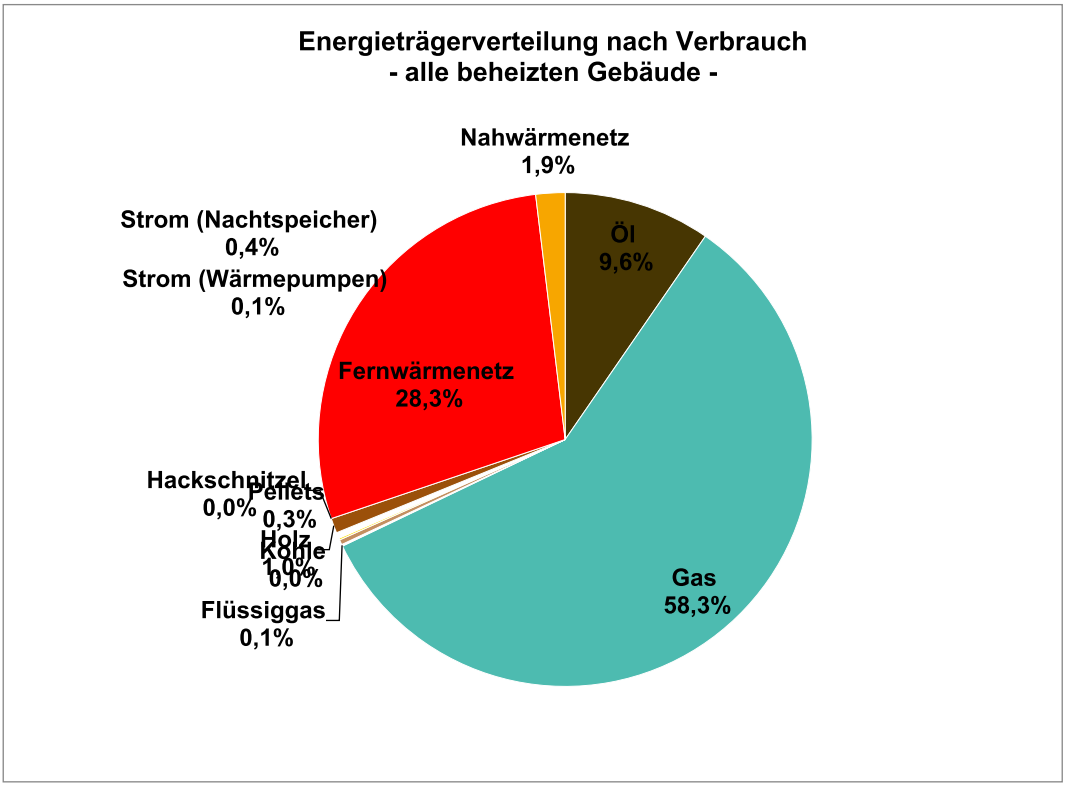


Abbildung 2-13: Energieträgerverteilung (Wärme) nach Verbrauch

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Stadtwerke Karlsruhe Netzservice GmbH, Stadtwerke Karlsruhe GmbH, Bezirksschornsteinfeger*innen für Karlsruhe)

Die Stadtwerke Karlsruhe GmbH (SWK) betreiben ein Fernwärmenetz von 230 km Länge mit mehr als 41.000 angeschlossenen Wohnungen. Die eigenen Erzeugungskapazitäten nutzen Erdgas und Heizöl als Brennstoffe. Darüber hinaus beziehen sie Wärme in erheblichem Umfang aus der Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage (KWK-Anlage) „Rheinhafen-Dampfkraftwerk Block 8“ (RDK 8) der EnBW und Abwärme aus der Mineralölraffinerie Oberrhein („MiRO“) und (seit Februar 2023) auch aus der Papierfabrik

Schwarz (früher Stora Enso). Im Jahr 2021 wurden insgesamt rund 977.000 Megawattstunden (MWh) erzeugt und an die Kunden verteilt. Davon stammten die Wärmemengen aus nachfolgend aufgelisteten Quellen:

- Abwärme MiRO: 464.000 MWh
- Papierfabrik Schwarz (früher Stora Enso): seit 2023 (Erwartung ca. 30.000 MWh/a)
- Bezug aus RDK 8 EnBW: 287.000 MWh
- Eigenerzeugung SWK: 215.000 MWh

Aufgrund des hohen Anteils an Abwärmemengen aus den Industriebetrieben, der keine CO_2-Emissionen für die Wärmeerzeugung verursacht, liegen die spezifischen CO_2-Emissionen der Fernwärme bei sehr günstigen 81g/kWh.

Dies schlägt in der späteren CO_2-Bilanzierung sehr positiv zu Buche.

2.5.3 Energieträgerverteilung nach Heizungsanlagen inklusive Nebenheizungen

Unter Einbezug der Nebenöfen wird deutlicher, dass viele Ein- und Zweifamilienhäuser noch Nebenöfen besitzen. Dies sind fast alle Holzkamine, die bei Bedarf zusätzlich genutzt werden. Sie machen hier einen nicht zu vernachlässigenden Anteil von ca. 18 % des gesamten Aufkommens an Ofenheizungen aus, die mit Holz, Pellets und Kohle befeuert werden.

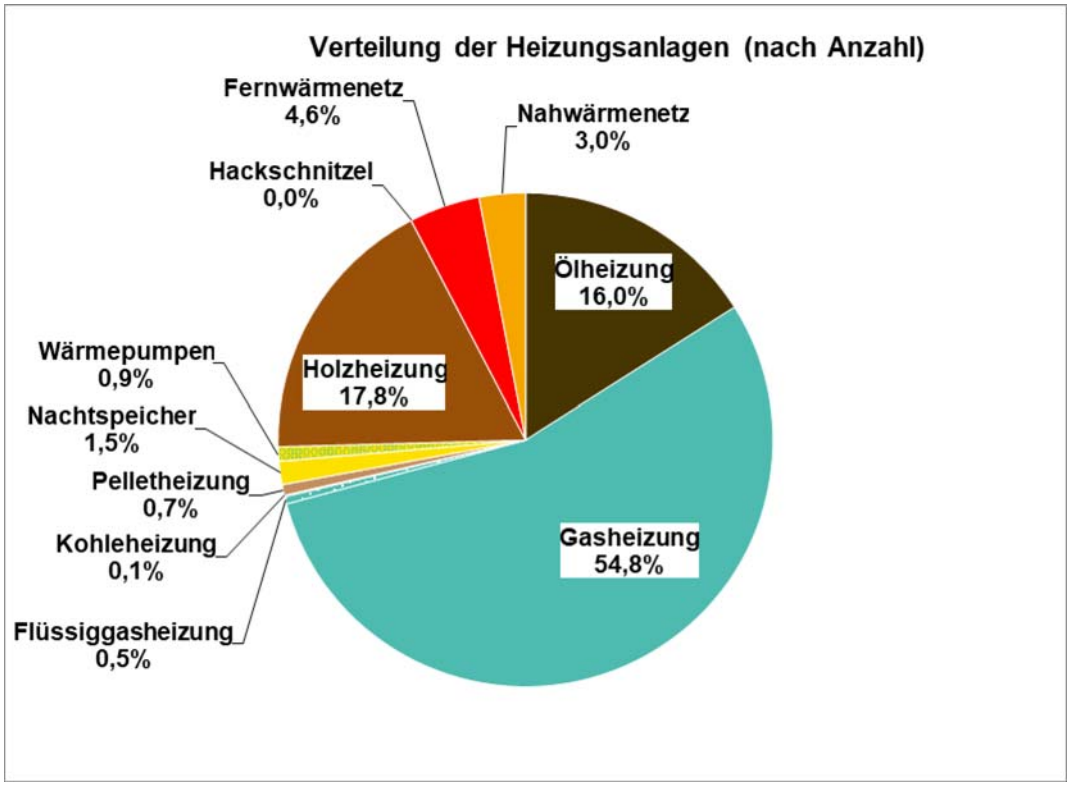


Abbildung 2-14: Verteilung der Heizungsanlagen inklusive Nebenheizungen

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Stadtwerke Karlsruhe Netzservice GmbH, Stadtwerke Karlsruhe GmbH, Bezirksschornsteinfeger*innen für Karlsruhe)

2.5.4 Energieträgerverteilung nach Emissionen

Werden die Brennstoffe nicht nach dem Anteil der Wärmeerzeugungsanlagen, sondern anhand ihres Anteils an den Treibhausgasemissionen im Bereich Wärme ausgewertet, so steigt der Anteil von fossiler Wärmeversorgung (im Wesentlichen Gas und Öl) auf über 86 %. Mit Blick auf den geringen CO_2-Faktor der Fernwärme beträgt ihr Anteil nach CO_2-Emissionen lediglich etwas mehr als 12 %.

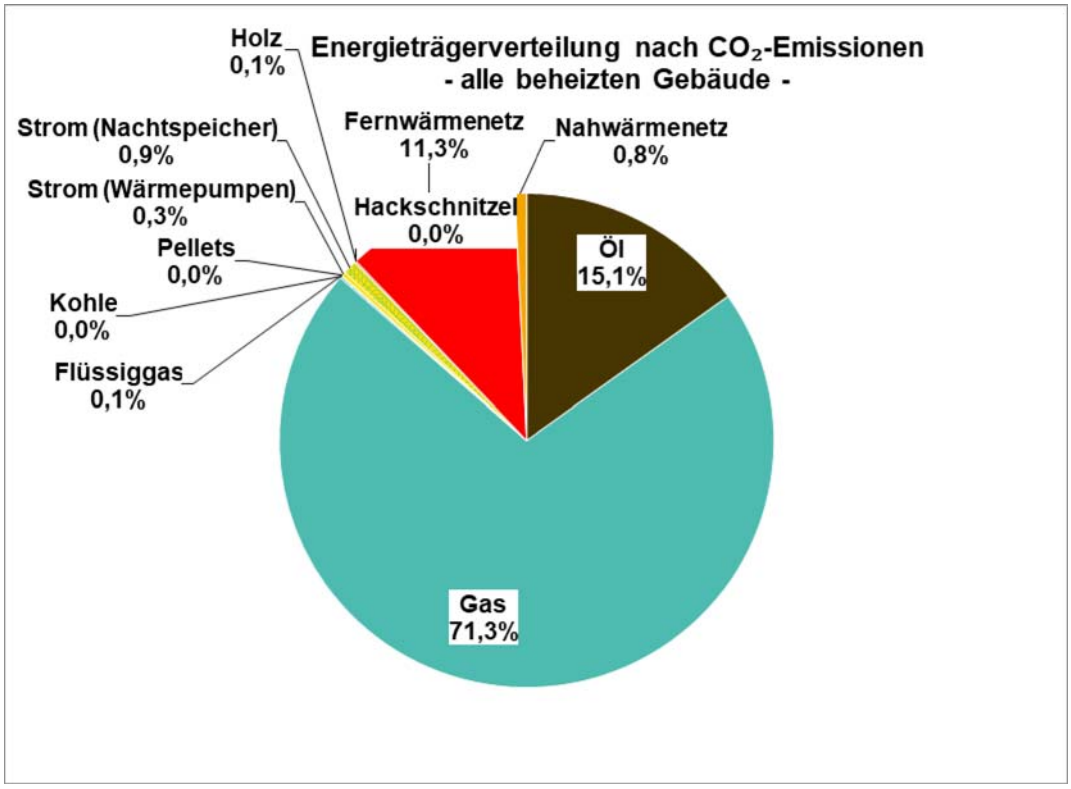


Abbildung 2-15: Energiebilanz nach Sektoren und Energieträger mit THG-Emissionen

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Stadtwerke Karlsruhe Netzservice GmbH, Stadtwerke Karlsruhe GmbH, Bezirksschornsteinfeger*innen für Karlsruhe)

2.5.5 Einbaujahr der Heizungsanlagen

Zusätzlich zu den Brennstoffen der Wärmeerzeugungsanlagen wurden im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung das Baujahr der Wärmeerzeugungsanlagen in Karlsruhe ausgewertet. Das Baujahr der Anlagen wurde aus den Daten der Schornsteinfeger*innen extrahiert und ausgewertet. Bei 32 % der Fälle konnte kein Einbaujahr der Wärmeerzeugungsanlagen ermittelt werden. Grund dafür ist unter anderem, dass bei den strombasierten Wärmeerzeugungsanlagen sowie bei den Wärmenetzen keine Einbaujahr-Daten vorlagen. Bei den Wärmeerzeugungsanlagen, bei denen Daten zum Baujahr vorhanden waren, wurde der größte Teil (72,3 %) vor 2008 eingebaut. Dies bedeutet, dass mehr als zwei Drittel der Anlagen nicht nach neuesten Standards (Brennwerttechnik) betrieben werden und etwa die Hälfte aller Heizungsanlagen älter als 20 Jahre – also demnächst oder akut erneuerungsbedürftig – sind.

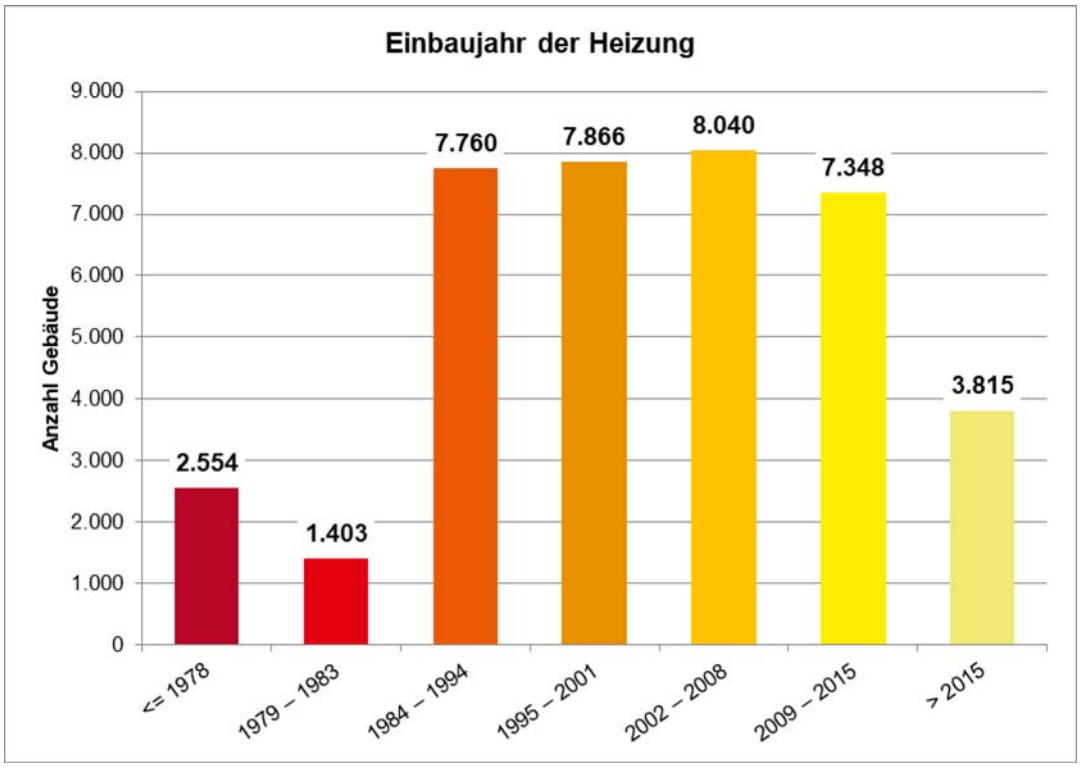


Abbildung 2-16: Einbaujahr der Heizungen

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Bezirksschornsteinfeger*innen für Karlsruhe)

Hier bestehen Effizienzpotenziale von bis zu 25 % des Energieverbrauches, wenn von alten Konstanttemperaturkesseln ausgegangen wird. Dieses typische Bild der Alter von Heizungsanlagen stellt in Karlsruhe keine Besonderheit dar.

Besonders alte Heizungen finden sich erwartungsgemäß und zum großen Anteil auf der Seite der Heizölheizungen und in privaten Wohngebäuden.

2.5.6 Einbaujahr der Gasheizungen

Zur weiteren Betrachtung der Einbaujahre der Gasheizungen und eines zukünftigen Austauschs muss angemerkt werden, dass ca. 30 % der Gasheizungen nach 2008 eingebaut wurden und daher schon mit effizienterer Brennwerttechnik betrieben werden. Gerade in Mehrfamilienhäusern mit Etagen-Gasheizungen kann eine Umstellung auf ein Brennwertsystem inklusive der geplanten Neuregelung des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) eine Herausforderung werden. In der Neufassung des Gesetzes wird voraussichtlich ab dem Jahr 2024 beim Neueinbau einer Erdgasheizung ein erneuerbarer Anteil von 65 % gefordert. Dies zwingt letztlich zum Einbau einer Hybridheizung (Kombination mit Wärmepumpe oder Solarthermie). Hier wäre der Umbau auf Zentralheizungen die beste Alternative und sollte bevorzugt werden. Es wurden noch knapp 17 % Gasheizungen verortet, die keine Angabe zum Alter aufweisen konnten.

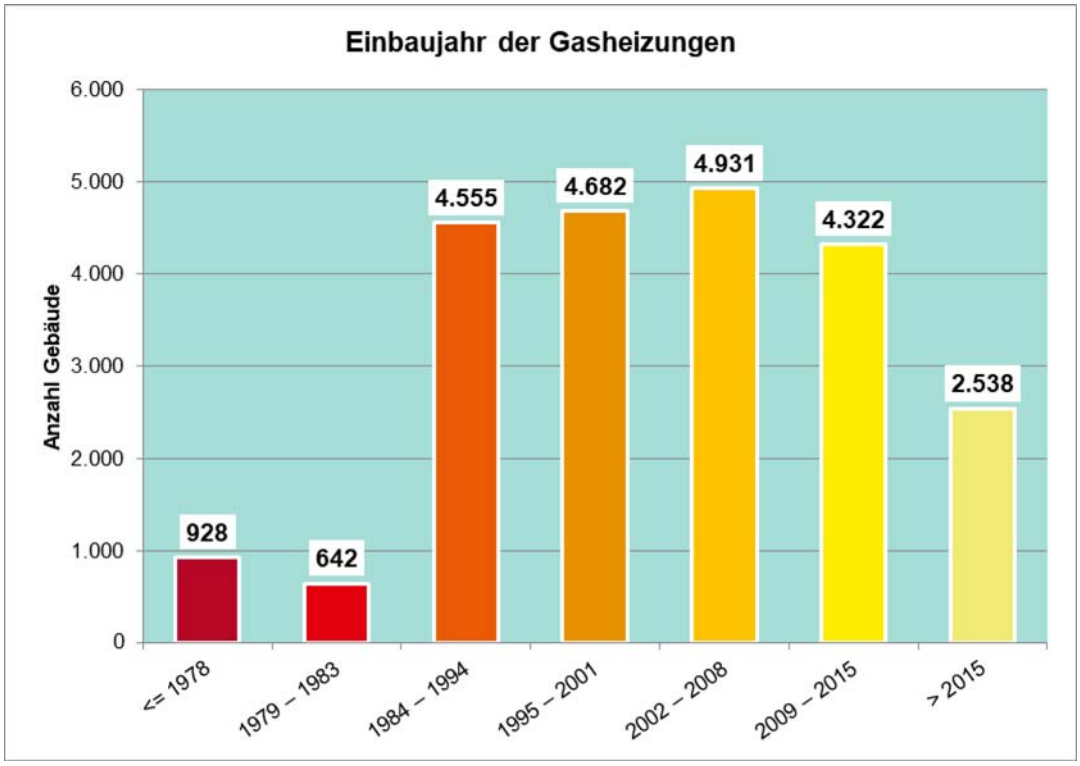


Abbildung 2-17: Einbaujahr der Gasheizungen

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Bezirksschornsteinfeger*innen für Karlsruhe)

2.5.7 Einbaujahr der Ölheizungen

Die meisten Ölheizungen werden in dörflich geprägten Gebieten Karlsruhes in Ein- oder Zwei-Familienhäusern eingesetzt. Wie in der Abbildung 2-18 zu sehen, ist der größte Teil der Ölheizungen älter als 2002 und daher nicht unbedingt mit Brennwerttechnik versehen. Zusätzlich sind die meisten Ölheizungen in Gebäuden installiert, die mit einem hohen Vorlaufheizungssystem arbeiten, z. B. über 70 °C. Hier sollte man in der näheren Zukunft den Fokus auf eine Installation einer 55 °C Niedertemperaturheizung legen, wobei der Einbau von Fußbodenheizungen nicht immer unbedingt nötig ist. Zusätzlich lässt die geplante Neufassung des GEG voraussichtlich eine Kombination von Öl-Brennwerttechnik und einer Wärmepumpe zu. In den meisten Sanierungsfällen mit Ölheizungen sind nicht die Heizungen das Problem, sondern die mangelnde Luftdichtheit und die ungenügende Dämmung der Gebäudehülle.

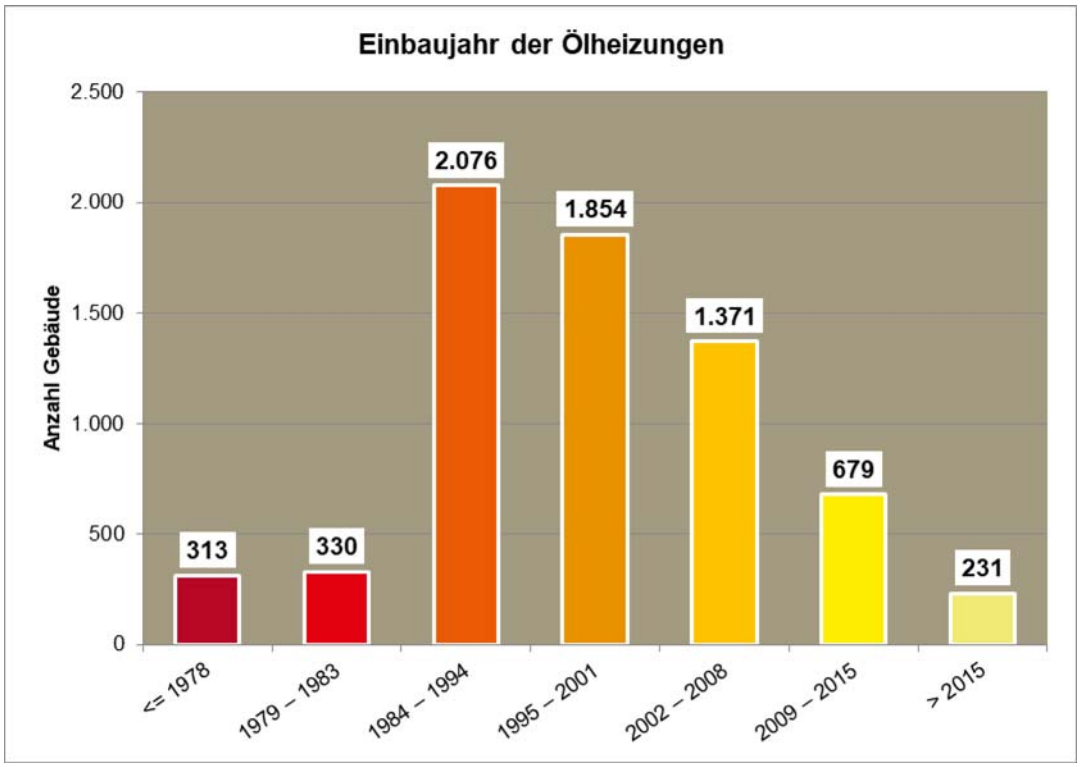


Abbildung 2-18: Einbaujahr der Ölheizungen

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Bezirksschornsteinfeger*innen für Karlsruhe)

2.6 Energie- und CO_2-Bilanz Wärme

Um aus den ermittelten Wärmebedarfen eine Energie- und CO_2-Bilanz (Übersicht über Energiemengen und der daraus verursachten Treibhausgasemissionen) zu erstellen, werden die ermittelten Energiemengen mit den Emissionsfaktoren multipliziert (KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH, 2022). Aus der Berechnung ergibt sich folgende Energie- und CO_2-Bilanz:

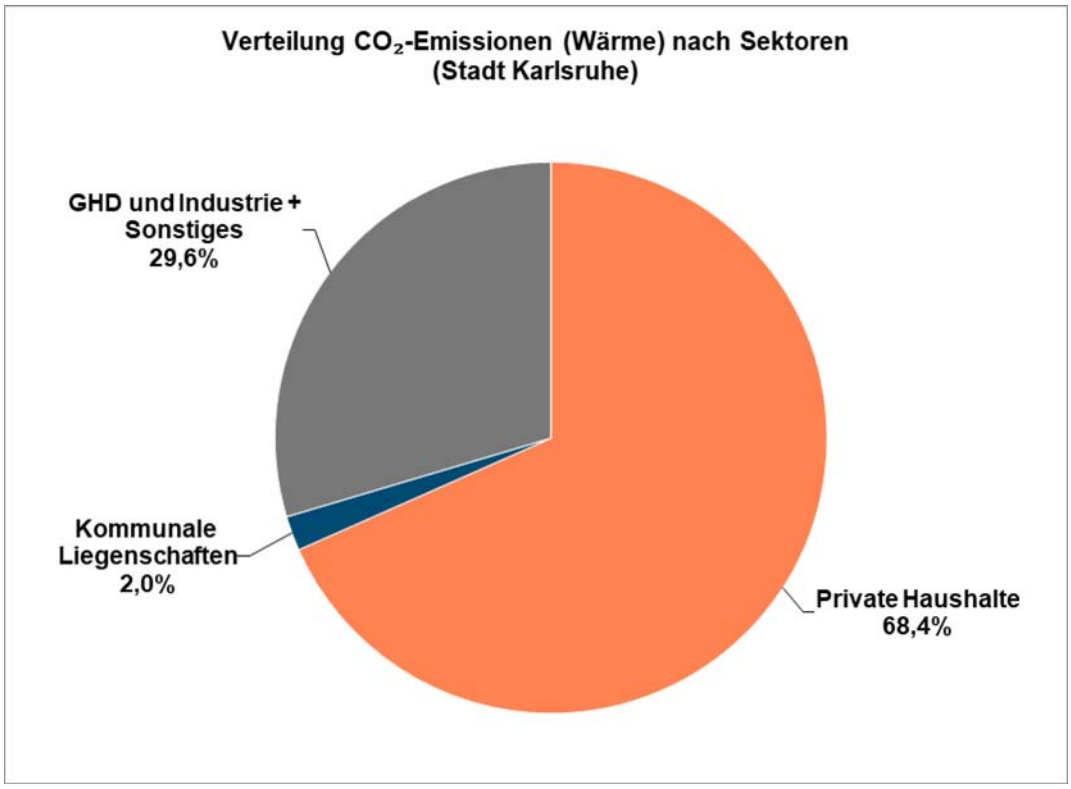


Abbildung 2-19: Verteilung CO_2-Emissionen nach Sektoren im Bereich Wärme

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, eigene Berechnung)

Tabelle 2: CO_2-Emissionen für Wärme nach Sektoren in [t/a]

Sektor	CO_2-Emissionen (Wärme) [t/a]
Private Haushalte	458.293
Kommunale Liegenschaften	13.606
GHD + Industrie + Sonstiges	198.476

Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, eigene Berechnung)

In Abbildung 2-19 wird die sektorale Verteilung der Treibhausgasemissionen abgebildet. Die Aufteilung der Treibhausgasemissionen nach Sektoren ist in etwa analog zum Anteil des Endenergiebedarfs in den einzelnen Sektoren. 68,4 % der Emissionen entfallen auf den Sektor private Haushalte, gefolgt vom Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie mit 29,6 %.

2.7 Ermittlung und Darstellung des Strombedarfs

Analog zur Erfassung und Aufbereitung des Wärmebedarfs wurden die Arbeitsschritte auch zur Erfassung und Aufbereitung des Strombedarfs durchgeführt:

- Erstellung einer Stromdichtekarte aus gebäude- und zählerscharfen Verbrauchsdaten
- Darstellung mit Verbrauchsdaten der öffentlichen Liegenschaften
- Aggregation der Daten zum Gesamtstrombedarf der Kommune nach Wohngebäuden, Nicht-Wohngebäuden und öffentlichen Gebäuden

Aus der Abbildung 2-20 wird deutlich, dass der größte Strombedarf dem Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und der Industrie mit 68 % zuzuordnen ist. Dieser hohe Strombedarf wird durch einige stromintensive Großgewerbestandorte verursacht. Nur etwa ein Drittel des Strombedarfs entfällt auf die privaten Haushalte. Heizstrom wird in dieser Darstellung nicht berücksichtigt, sondern der Wärmebilanz zugeschlagen. Als Teil des Stromverbrauchs erscheint er fast vernachlässigbar.

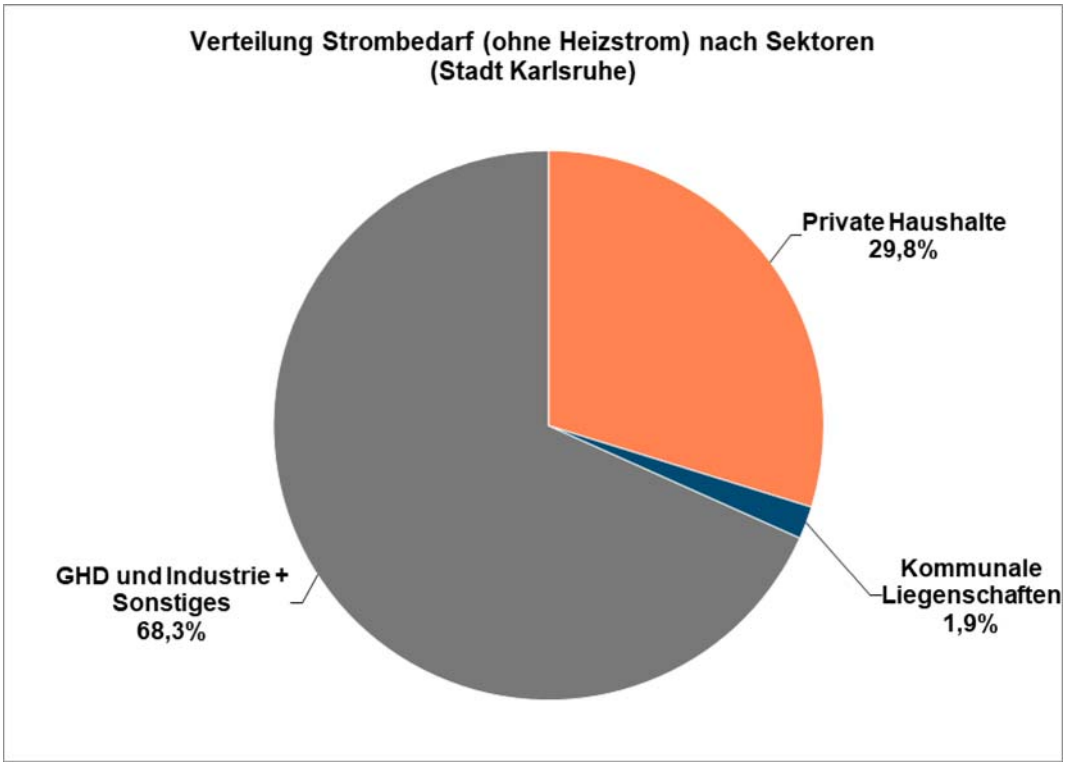


Abbildung 2-20: Verteilung Strombedarf (ohne Heizstrom) nach Sektoren

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten Stadtwerke Karlsruhe Netzservice GmbH)

In der nachfolgenden Tabelle 3 wird deutlich, dass die mit Strom betriebenen Heizungen noch eher eine untergeordnete Rolle im Strombedarf spielen. Die Fachbüros Tilia und Smart Geomatics gehen davon aus, dass die im Strombedarfsvergleich gegenüber den Wärmepumpen eher schlechter dastehenden Nachtspeicherheizungen in den nächsten Jahren aus ökonomischen Gründen voraussichtlich in einem Großteil der Fälle ausgewechselt werden. Auf die Entwicklungen des Strombedarfs in der Zukunft wird in der Wärmewendestrategie eingegangen.

Tabelle 3: Strombedarf in MWh/a

Strombedarf			
Sektor	**Strombedarf (ohne Heizstrom) [MWh/a]**	**Strombedarf (inkl. Heizstrom) [MWh/a]**	**nur Heizstrom [MWh/a]**
Private Haushalte	372.591	384.932	12.340
Kommunale Liegenschaften	24.105	24.208	103
GHD und Industrie + Sonstiges	854.155	855.392	1.238

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Stadtwerke Karlsruhe Netzservice GmbH)

In der nachfolgenden Abbildung 2-21 wird die Verteilung des Strombedarfs inklusive Heizstrom nach Sektoren dargestellt.

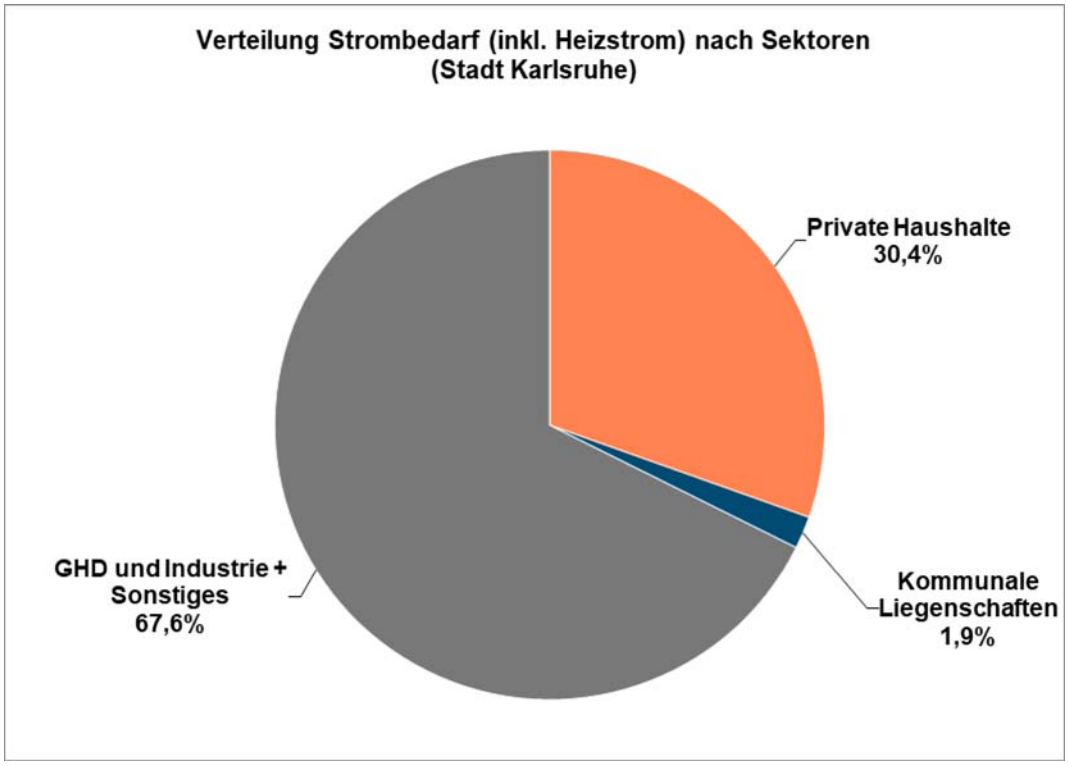


Abbildung 2-21: Verteilung Strombedarf inkl. Heizstrom

(Quelle: Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Stadtwerke Karlsruhe Netzservice GmbH)

2.7.1 Stromdichtekarte

Um einen Überblick über die Stromdichte in Straßenabschnitten zu geben, wird der absolute Strombedarf aller Gebäude an einem Straßenabschnitt mit der Straßenlänge in Bezug gesetzt. Das Ergebnis für das Stadtgebiet ist in Abbildung 2-22 dargestellt. Auch hier sind, ähnlich wie bei der Wärmedichtenkarte (Abbildung 2-11), die höchsten Stromdichten in der Innenstadt von Karlsruhe zu erkennen.

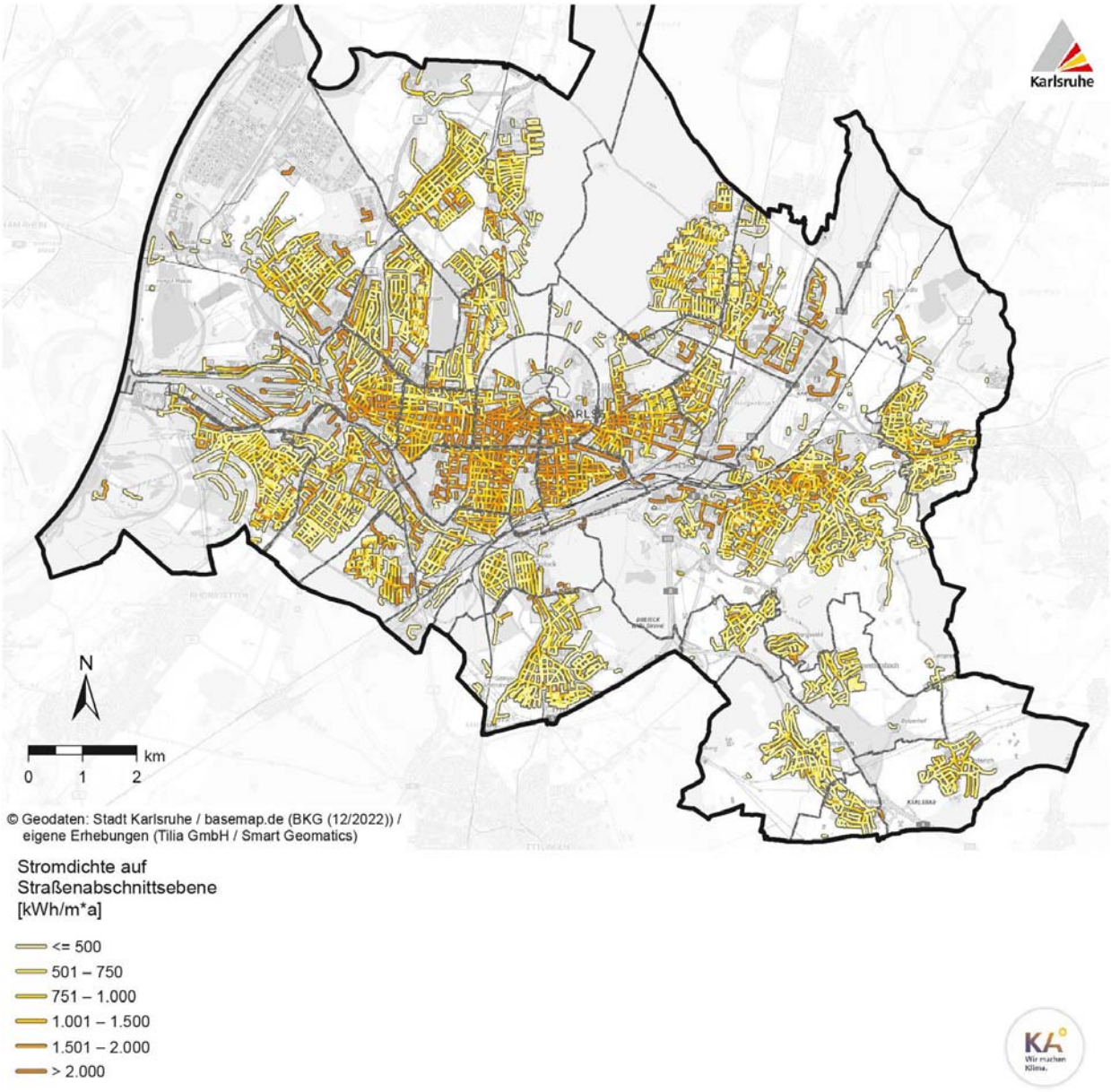


Abbildung 2-22: Stromdichtenkarte - räumliche Verteilung der Endenergiebedarfe

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Stadtwerke Karlsruhe Netzservice GmbH)

2.7.2 Darstellung mit Verbrauchsdaten der kommunalen Liegenschaften

Analog zum Wärmeverbrauch wurde auch der Stromverbrauch bei den kommunalen Liegenschaften der Stadt Karlsruhe bei der Stadtverwaltung abgefragt und entsprechend in die vorliegenden Daten integriert.

Der Stromverbrauch kommunaler Liegenschaften belief sich im Jahr 2019 auf ca. 24 GWh/a. Im Vergleich zum gesamten Stromverbrauch der Stadt mit 1.250 GWh/a ist der Anteil eher gering.

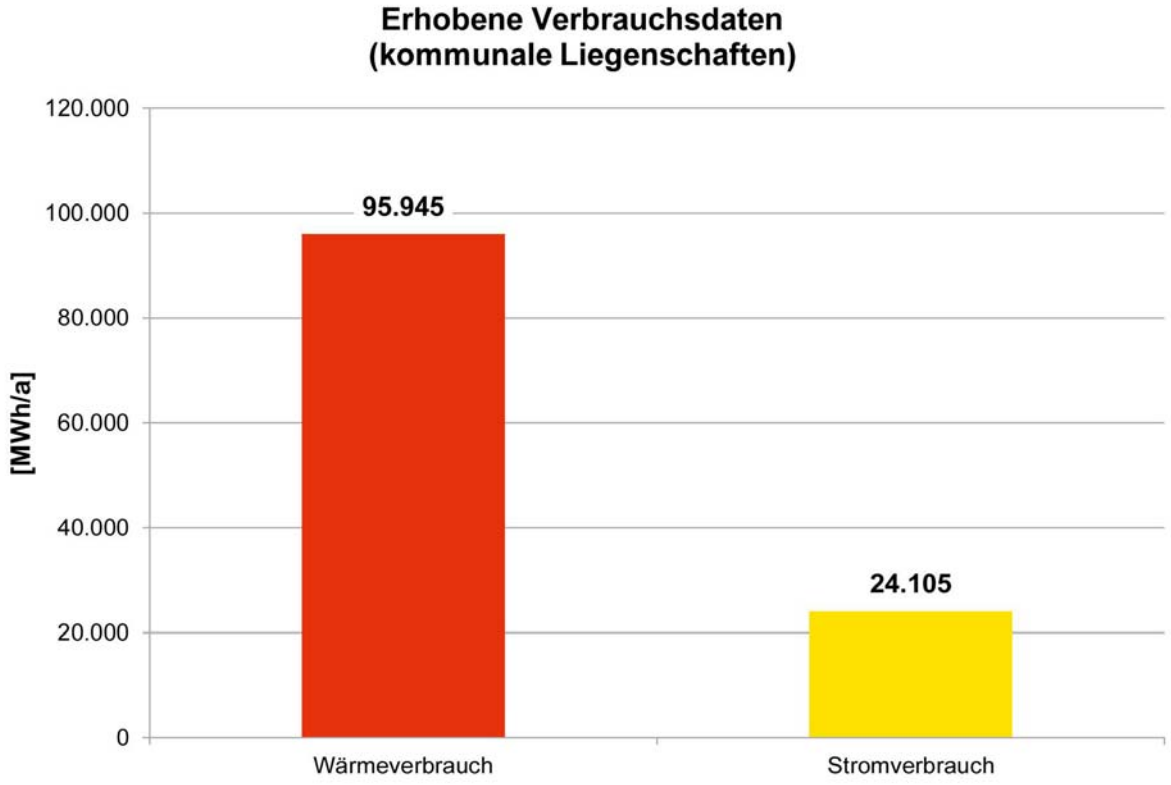


Abbildung 2-23: Wärme- und Stromverbrauch (kommunale Liegenschaften)

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Stadtwerke Karlsruhe Netzservice GmbH)

2.7.3 Verteilung Stromverbrauch kommunale Liegenschaften

In folgender Abbildung 2-24 wird die Verteilung des Stromverbrauchs der kommunalen Liegenschaften auf einer Karte dargestellt.

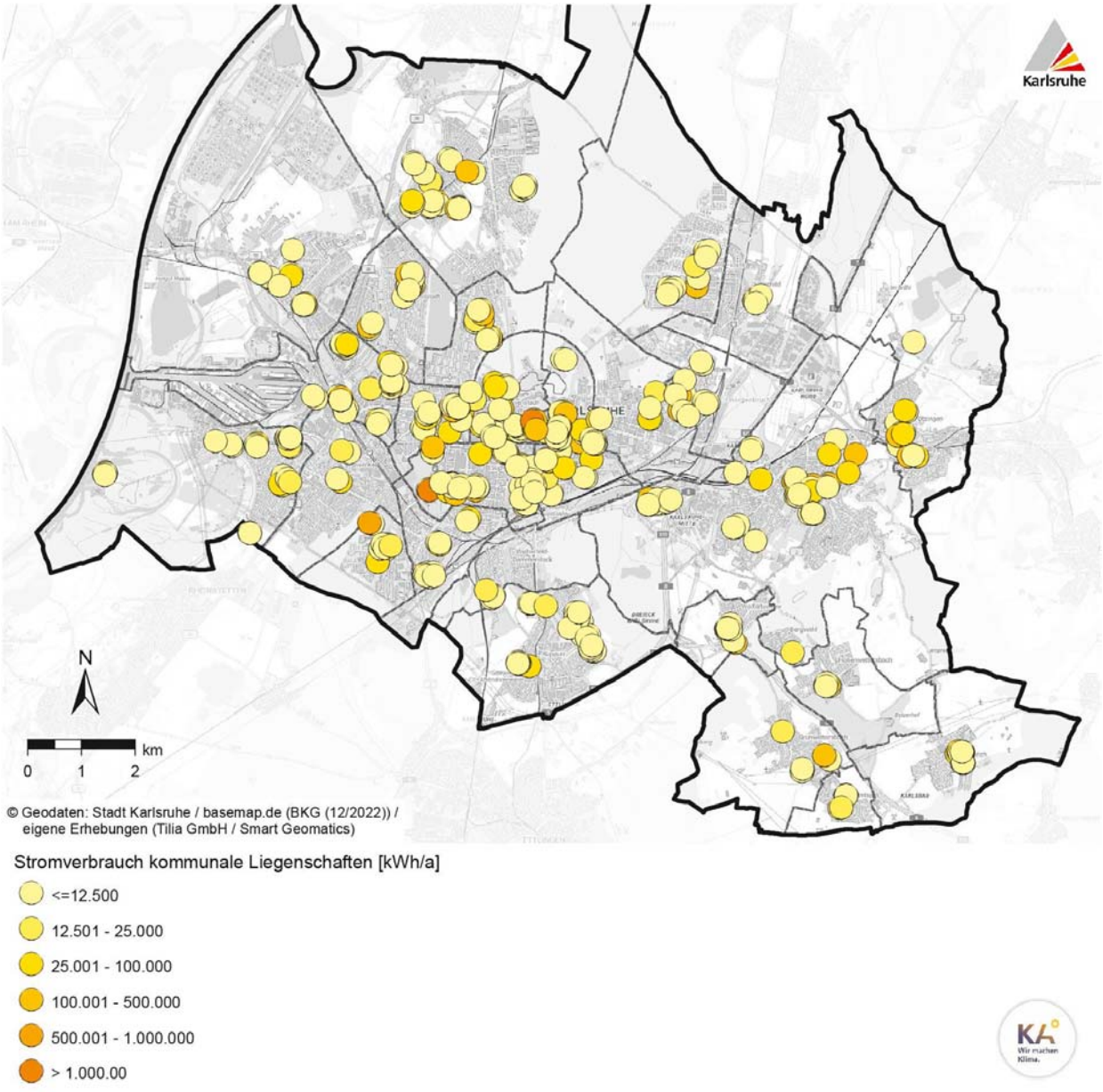


Abbildung 2-24: Stromverbrauch öffentlicher Liegenschaften

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Stadtwerke Karlsruhe Netzservice GmbH)

2.7.4 Ermittlung und Darstellung des Kältebedarfs von Branchen und Gewerbebetrieben

Leider gibt es keine systematischen Datenquellen, die zur Analyse des Kältebedarfs von Branchen und Gewerbebetrieben sowie Industrie zur Verfügung standen.

Daher wurden Fragebögen für die 20 größten strom- und gasverbrauchenden Unternehmen in der Stadt Karlsruhe erstellt, die zum Teil beantwortet wurden. Daraus ergab sich die Erkenntnis, dass es unter anderem im Gewerbegebiet Ottostraße in Karlsruhe mehrere Unternehmen gibt, die einen höheren Kältebedarf vorweisen. Man könnte sogar von einem „Kälte-Hot-Spot“ oder besser von einem „Abwärme-Hot-Spot“ sprechen. Hier wären Überlegungen über eine nachfolgende Machbarkeitsstudie interessant, wie man die Abwärme aus der Kälteerzeugung sinnvoll zur Raumheizung nutzen könnte.

Abbildung 2-25: Industriegebiet Ottostraße mit mehreren Kälteanlagen

(Quelle: Geodaten Stadt Karlsruhe, 2020)

2.8 Stromerzeugung

2.8.1 PV-Erzeugung

Die kumulierte Photovoltaik-Generatorleistung von allen gemeldeten PV-Anlagen in Karlsruhe beläuft sich auf 43.603 KWpeak (kW_p), im Jahr 2019 wurden 28.042 MWh eingespeist. Das Zubauziel bis 2030 laut Klimaschutzkonzept 2030 liegt bei 300.000 kW_p. Der eingesparte Eigenverbrauch von PV-Anlagen kann nicht aufgeführt werden. Unter der Annahme von 1.000 Betriebsstunden pro Jahr je kW_p könnte der Eigenbedarf jedoch vereinfacht und überschlägig als Differenz von 43.603 – 28.042 = 15.561 MWh abgeschätzt werden.

Darunter existiert Stromerzeugung bei den öffentlichen Liegenschaften im Stadtgebiet Karlsruhe. Auf zahlreichen kommunalen Liegenschaften befinden sich Photovoltaikanlagen. Im Jahr 2019 belief sich die kumulierte PV-Anlagengröße auf 4.611 kW_p. Diese erzeugten eine Strommenge für alle kommunalen Gebäude von 3.306 MWh/a. Dies entspricht einem bilanziellen Deckungsbeitrag von ca. 14 %. Obwohl die PV-Generatorleistung mit 4.611 kW_p vergleichbar groß erscheint, ist der Gesamtverbrauch der kommunalen Liegenschaften aber immer noch um 86 % höher. Aus der Berechnung geht kein direkter Eigenverbrauch hervor. Daher wird ein typischer Eigenverbrauchsanteil von 30-40 % angenommen. Um den jetzigen Stromverbrauch der kommunalen Gebäude vollständig decken zu können, müsste also eine kumulierte PV-Generatorleistung von über 33.000 kW_p in den nächsten Jahren installiert werden.

2.8.2 Windkraft

Auf der Mülldeponie West, dem sogenannten Karlsruher Energieberg, stehen zwei Windkraftanlagen mit einer Leistung von jeweils 1,5 MW im Stadtgebiet von Karlsruhe.

2.8.3 Wasserkraft

Zwei Wasserkraftwerke mit jeweils 45 kW Leistung sind im Stadtgebiet Karlsruhe verortet. Ein Standort befindet sich an dem Fluss „Alb“ und der zweite Standort an dem Fluss „Pfinz“ im Osten des Stadtgebiets.

2.9 Energie- und CO_2-Bilanz

Die Energie- und CO_2-Bilanzierung setzt sich direkt aus den vorangehenden Arbeitsschritten der Kumulation der Strom- und Wärmeverbräuche zusammen. Die in den besagten Kapiteln aufgeführten Summenwerte der Verbräuche nach Energieträgern werden in einem nächsten Schritt mit entsprechenden CO_2-Emissionsfaktoren multipliziert und sind in untenstehender Tabelle als Gesamtwerte dargestellt. In der nachfolgenden Abbildung sind noch einmal die Gesamtanteile der einzelnen Verbrauchssektoren für Strom und Wärme kumuliert dargestellt.

Es zeigt sich, dass der absolut größte Verbrauch mit knapp 54,6 % bei den Privathaushalten liegt, der gewerbliche Sektor mit 43,2 % nur geringfügig weniger verbraucht. Kommunale Liegenschaften machen mit 2,2 % des Energieverbrauches nur einen Bruchteil des gesamten Verbrauches aus.

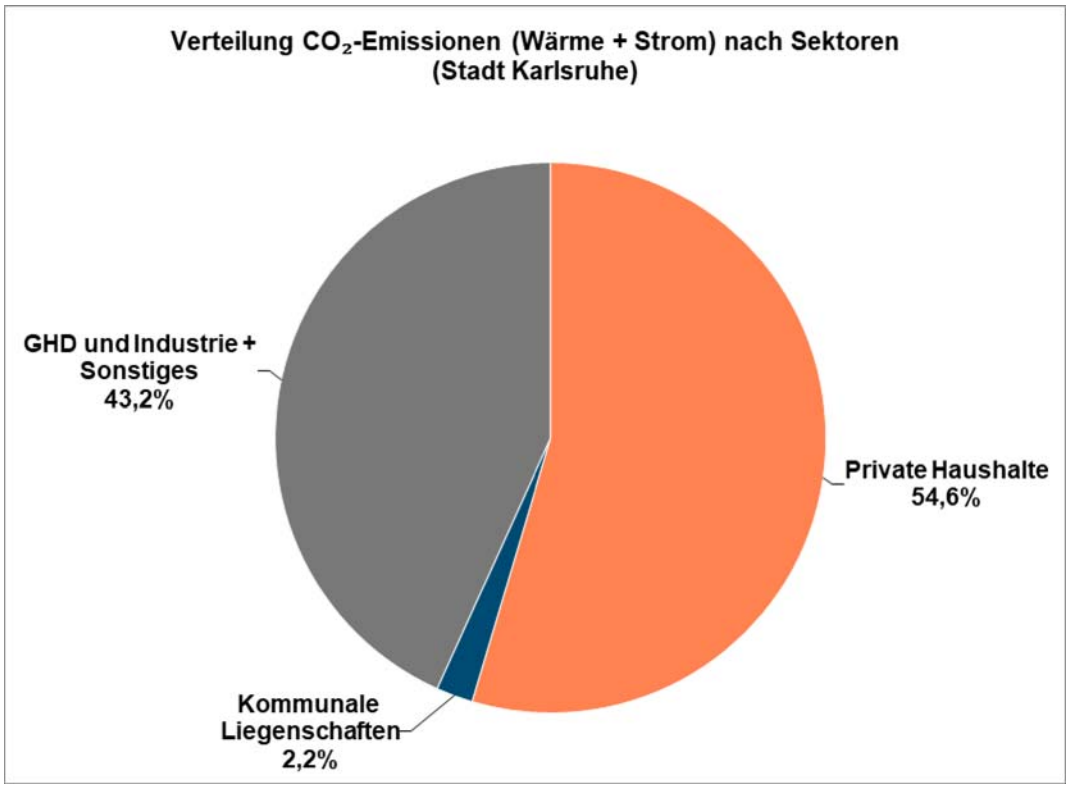


Abbildung 2-26: Energiebilanz nach Sektoren (Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: eigene Berechnung)

Die Gesamtemissionen betragen über 1,165 Mio. t CO_2. Dies entspricht etwa 4 t pro Einwohner*in. Dieser Wert liegt deutlich unter dem Bundesdurchschnitt, entspricht aber großstädtischen Verhältnissen.

Tabelle 4: CO_2-Emissionen für Wärme und Strom

Sektor	CO_2-Emissionen (Wärme) [t/a]	CO_2-Emissionen (Strom) [t/a]	CO_2-Emissionen (Wärme + Strom) [t/a]
Private Haushalte	458.293	178.099	636.391
Kommunale Liegenschaften	13.603	11.522	25.125
GHD und Industrie + Sonstiges	198.476	305.321	503.797
Gesamt	**670.371**	**494.942**	**1.165.313**

(Quelle: eigene Darstellung, Daten: eigene Berechnung)

3. Potenzialanalyse

Im Rahmen der Potenzialanalyse werden die Potenziale der energetischen Sanierung, einer dekarbonisierten Wärme- und Kälteversorgung des Gebäudebestands sowie der Stromversorgung unter Nutzung erneuerbarer Energien und Abwärme im Stadtgebiet Karlsruhe ermittelt und verortet.

3.1 Potenziale zur Senkung des Wärmebedarfs durch Steigerung der Gebäudeenergieeffizienz

Aus der Analyse des Gebäudebestandes wird ersichtlich, dass etwa 81 % des Bestandes vor Inkrafttreten einer staatlichen Regulierung der Gebäudewärmedämmung errichtet wurden. Grundsätzlich bedarf es bei diesen Gebäuden einer nachträglichen Wärmedämmung. Ein Anteil, bei wie vielen Gebäuden dies und in welcher Form bereits stattgefunden hat, lässt sich jedoch seriös nicht abschätzen. Die unsanierten oder früher sanierten Gebäude verbrauchen folglich mehr Wärmeenergie, als es bei nutzungsgleichen Neubauten der Fall ist. Dementsprechend hoch sind also Verbräuche und resultierende CO_2-Emissionen, da zusätzlich zum hohen Wärmeverbrauch bei den meisten dieser Gebäude eine fossile Wärmequelle genutzt wird.

Um die Treibhausgasemissionen zu reduzieren, ergeben sich folglich drei Handlungsfelder, welche zur Bewältigung der Energiewende unabdingbar sind:

- Ersatz von fossilen Energieträgern durch erneuerbare Energien,
- Effizienzsteigerung der Beheizungsanlage durch Anlagenmodernisierungen
- Minderung des Gebäudeenergiebedarfes durch energetische Sanierungen

Prioritär sollte die energetische Gebäudesanierung verfolgt werden, da so nur Energie erzeugt werden muss, die tatsächlich benötigt wird. Natürlich kommt es auch hier auf eine Verhältnismäßigkeit zwischen Sanierungskosten und Energieeinsparung an, sodass die Wirtschaftlichkeit für die energetischen Sanierungen gegeben ist. Im zweiten Schritt sollte die Wärmeerzeugungsanlage möglichst effizient ausgelegt werden, um möglichst geringe Energieverluste zu erhalten und erst im dritten Schritt sollte der verbleibende (unvermeidbare) Bedarf aus erneuerbaren Energien gedeckt werden. Dieses Vorgehen entlastet gleichzeitig bei Anlagen- bzw. Verbrauchskosten, da die Verbrauchsdimensionen kleiner sind. Für die kommunalen Gebäude in Karlsruhe gibt es das kommunale Energiemanagement, das für städtische Gebäude integrierte Sanierungsfahrpläne erstellt und in die Auslegungen der Wärmeversorgungsanlagen mit einbezieht.

Das höchste Energieeinsparpotenzial im Bereich Wärme liegt also bei der Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden durch energetische Sanierungen. Dazu gehört sowohl die Sanierung der Heizungsanlage, in Form des Austauschs durch ein effizienteres Modell sowie die Dämmung von Außenwänden, Fenstern, Dächern und Kellerdecken.

Die Einsparungen, die bei den jeweiligen Gebäuden durch energetische Sanierungen erzielt werden können, variieren je nach Baujahr und Sanierungsstandard. Für das Stadtgebiet Karlsruhe konnten im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung mit Hilfe der Baujahre der Wohngebäude und der Dämm-Standardwerte für Sanierungen der TABULA-Typologie (Institut für Wohnen und Umwelt, 2022) die Einsparungen durch energetische Sanierungen für alle Wohngebäude im Stadtgebiet ermittelt werden.

Für die Gebäude mit anderen Nutzungsarten sind die möglichen Einsparungen durch energetische Sanierungen zu heterogen, als dass dafür verlässliche Angaben gemacht werden können. Ein Beispiel wäre die genaue Abschätzung der Wärmemengen für Prozesse und für die tatsächliche Raumheizung bzw. für die Warmwasserbereitung, die in Wirtschaftsunternehmen nicht standardisierbar zu erfassen ist. Bei diesen Gebäuden sind Einzelfallanalysen notwendig, um die Einsparungen zu bestimmen. Da aber 83 % der Gebäude im Stadtgebiet Karlsruhe Wohngebäude sind, kann mit der Analyse der Wohngebäude ein Großteil des Potenzials im Stadtgebiet abgedeckt werden.

Unter der konservativen Annahme eines Ziel-Gebäudeenergiebedarfes von etwa 70-100 kWh/m²*a (der heute bei der überwiegenden Mehrheit der Gebäude durch Sanierungen erreicht werden kann), ließen sich bei den Wohngebäuden in Karlsruhe durch energetische Sanierungen durchschnittlich ca. 42 % des Wärmebedarfs einsparen. Die exakte Höhe der Einsparung hängt sowohl vom Baujahr des Gebäudes als auch vom Nutzerverhalten ab. Im Einzelfall können noch höhere Einsparungen erzielt werden. Dies geht aber zulasten der Wirtschaftlichkeit der jeweiligen Maßnahmen und wird deswegen wohl nicht in großem Stil umgesetzt werden. Somit sind die genannten Einsparungen ein realistischer Maßstab.

Die Abbildung 3-1 sowie die Abbildung 3-2 zeigen die Einsparungen an Endenergie und Treibhaugasemissionen, die bei den Wohngebäuden im Stadtgebiet Karlsruhe durch energetische Sanierungen möglich sind.

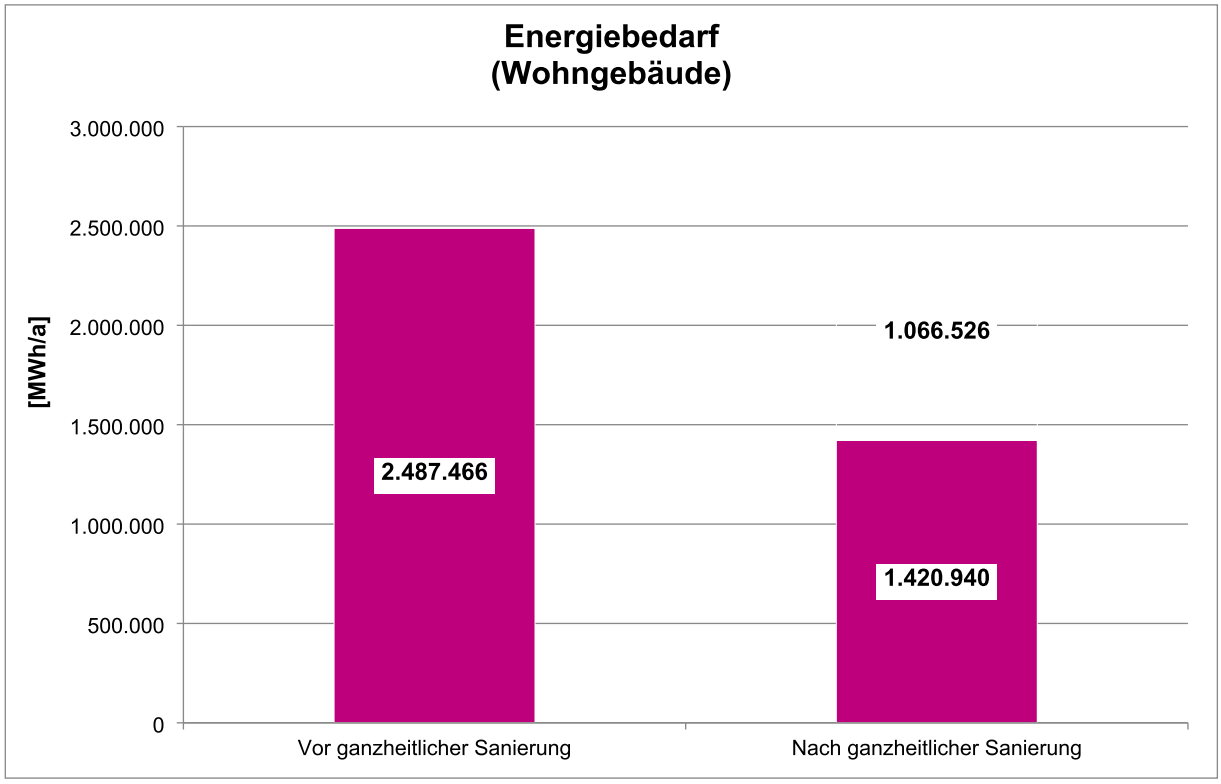


Abbildung 3-1: Energiebedarf der Wohngebäude vor und nach ganzheitlicher Sanierung

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: eigene Berechnung)

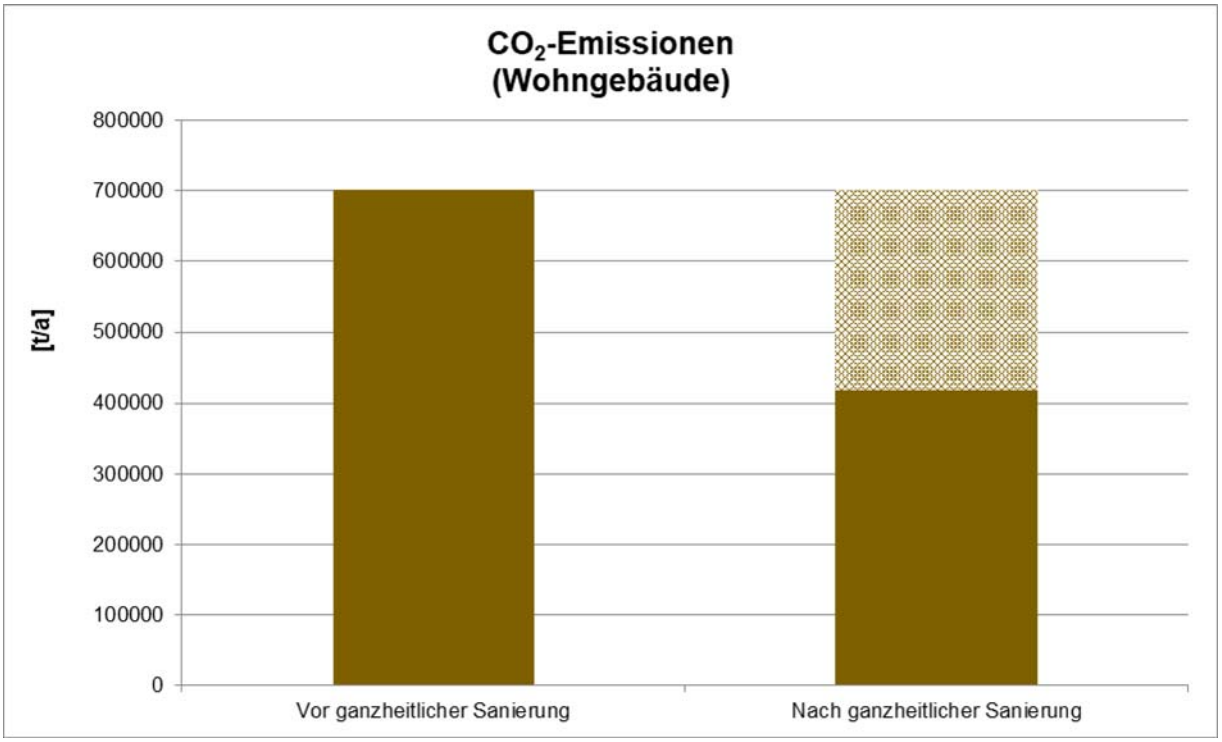


Abbildung 3-2: CO_2 Emissionen der Wohngebäude vor und nach ganzheitlicher Sanierung

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: eigene Berechnung)

Die sogenannte Sanierungsrate gibt an, welcher Anteil der Gebäude durchschnittlich in einem Jahr saniert wird. So impliziert zum Beispiel eine Sanierungsrate von 3 %, dass jährlich 3 von 100 Gebäuden in Karlsruhe saniert werden. Es bräuchte bei der Sanierungsrate dementsprechend 33 Jahre, um alle Gebäude zu sanieren. In der nachfolgenden Abbildung 3-3 sind die berechneten potenziellen Einsparungen durch energetische Sanierungen von Wohnhäusern in Karlsruhe zu sehen. Hierbei wird von einer umfassenden energetischen Sanierung von Heizungsanlage, Dach, Fenstern, Außenwand und Kellerdecke ausgegangen. Die in den Berechnungen angenommenen Sanierungsraten liegen bei 1,6 % (der derzeitigen Sanierungsrate in Baden-Württemberg), 2 %, 4 % und 4,8 % als angenommene Werte, um deren Wirkung zu zeigen. Bei einer Sanierungsrate von 4,8 % wären alle Wohnhäuser bis zum Jahr 2040 saniert.

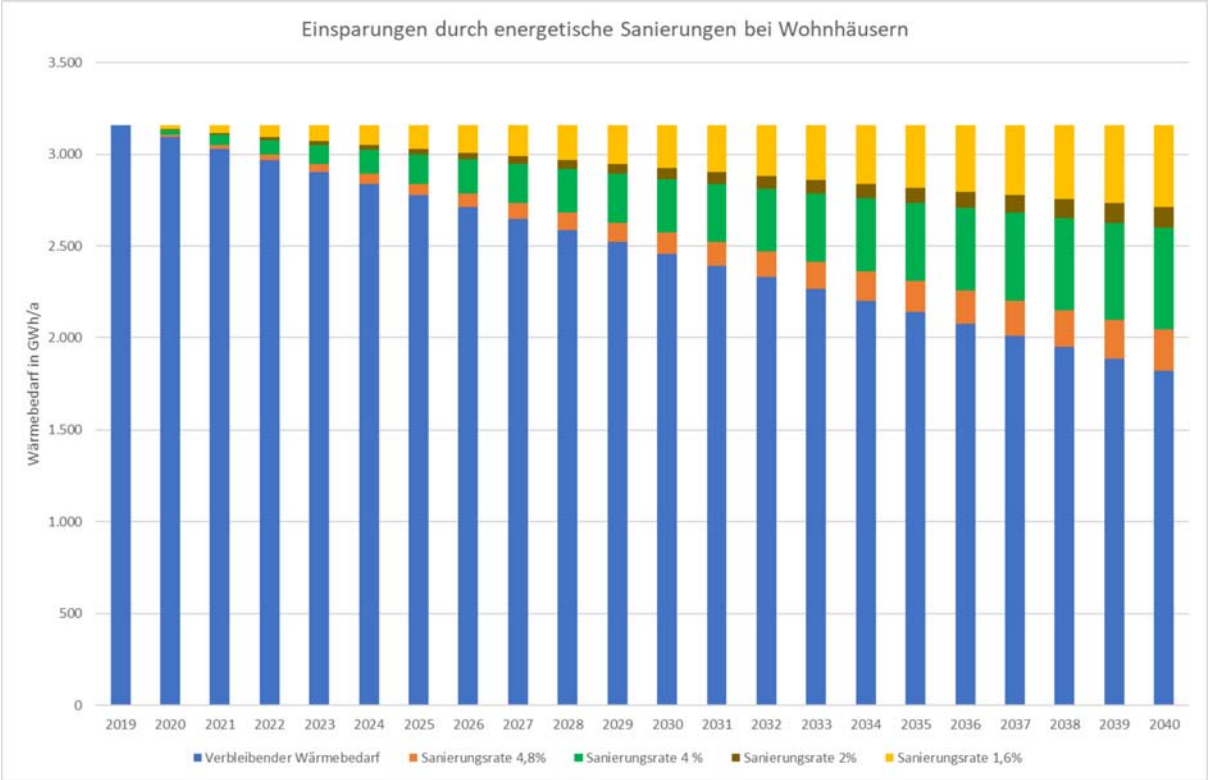


Abbildung 3-3: Effekte bei verschiedenen Sanierungsraten

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: eigene Berechnung)

Auf der Grundlage der beschriebenen Annahmen ergibt sich bis zum Jahr 2040 für die Wohngebäude in Karlsruhe bei einer Sanierungsrate von 1,6 % ein Einsparpotenzial von ca. 446 GWh/a (14 % des Wärmebedarfs), bei einer Sanierungsrate von 2 % ein Einsparpotenzial von ca. 557 GWh/a (18 % des Wärmebedarfs), bei einer Sanierungsrate von 4 % ein Einsparpotenzial von ca. 1.114 GWh/a (35 % des Wärmebedarfs). Bei einer Komplettsanierung bis 2040 und einer daraus resultierenden Sanierungsrate von 4,8 % existiert ein Einsparpotenzial von ca. 1.337 GWh/a (42 % des Wärmebedarfs). Hier bedarf es einer deutlichen Nachjustierung der gesetzlichen Vorgaben sowie der Förderkulisse, um stärkere Anreize für die Gebäudesanierung zu setzen, damit (notwendige) höhere Raten erreicht werden können.

Insgesamt könnten durch umfassende energetische Sanierungen bei Wohngebäuden im Stadtgebiet bis zu einem 284.000t CO_2-Äquivalent ($CO_{2Äq}$) pro Jahr im Vergleich zum Ausgangsjahr 2019 eingespart werden.

Die Wirtschaftlichkeit der energetischen Gebäudesanierung variiert im Einzelfall sehr stark. Häufig lassen sich energetische Sanierungsmaßnahmen mit allgemeinen Sanierungsmaßnahmen verbinden und so die Kosten senken. In der folgenden Tabelle 5 sind deshalb einmal die Gesamtkosten der Baumaßnahme und einmal die Kosten der energetischen Sanierung aufgeführt. Der Tausch der Heizungsanlage sowie weitere bauliche Maßnahmen sind hier nicht berücksichtigt und schlagen extra zu Buche.

Bei der Bewertung der Kostenangaben ist zu beachten, dass sich in 2022 und 2023 in diesem Bereich zum Teil erhebliche Kostensteigerungen ergeben haben, die in diesen Erfahrungswerten noch nicht berücksichtigt werden konnten.

Tabelle 5: Preisspannen für Sanierungsmaßnahmen
(Baukosteninformationszentrum (BKI), 2018), (Carrot Media, 2020), (eccuro GmbH, 2020)

	Kosten/m²	Bezugsfläche	Gesamtkosten Beispielhaus
Außenwanddämmung			
Außenwandbekleidung	156,00 € (min)	Außenwandfläche	20.900 €
Wärmedämmsysteme	97,00 € (Ø)	Außenwandfläche	13.000 €
Gesamtkosten Sanierung	253,00 €	Außenwandfläche	33.900 €
Dach			
Dachkonstruktionen	45,00 € (min)	Dachfläche	4.400,00 €
Kosten Dämmung	75,00 € (min)	Dachfläche	7.300,00 €
Gesamtkosten Sanierung	120,00 €	Dachfläche	11.700,00 €
Kellerdecke			
Deckenkonstruktionen	183,00 € (min)	Bruttogrundfläche	14.800,00 €
Dämmen Geschossdecke	55,00 € (Ø)	Bruttogrundfläche	4.500,00 €
Gesamtkosten Sanierung	218,00 €	Bruttogrundfläche	19.300,00 €
Fenster			
Kunststofffenster	500,00 € (Ø)	Fensterfläche	8.000,00 €
Zusatzkosten Alufenster	280,00 € (Ø)	Fensterfläche	4.500,00 €
Gesamtkosten Sanierung	780,00 €	Fensterfläche	12.500,00 €

Für ein idealtypisches freistehendes Einfamilien-Beispielhaus ist eine Sanierung der Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) mit Gesamtkosten von etwa 34.000 € verbunden. Davon liegen die Kosten für die verbesserte energetische Dämmung bei rund 13.000 €. Zusätzliche Kosten entfallen auf nicht-energiebezogene Baumaßnahmen wie z. B. Verputzen oder Streichen der Fassade. Eine Fassadensanierung ist deshalb grundsätzlich zu empfehlen, wenn eine bauliche Notwendigkeit dafür vorliegt. Laut dem geplanten Gebäudeenergiegesetz (GEG) muss diese Maßnahme voraussichtlich auch durchgeführt werden, sofern es die Bausubstanz zulässt. Allerdings scheuen viele Gebäudebesitzer*innen den Aufwand, bis die Maßnahme dringend notwendig wird. Dies kostet Zeit.

Etwas weniger kostenaufwändig ist die Dämmung des Daches. Hier liegen die Gesamtkosten für unser Beispielhaus bei etwa 12.000 €. Die Zusatzkosten für die energetische Sanierung betragen etwa 7.300 €.

Bei einer ohnehin geplanten Sanierung des Daches sollte eine Begrünung des Daches erwogen werden, sofern es sich um ein Flachdach handelt. Gründächer leisten, neben vielen anderen Vorteilen, im Sommer einen Beitrag zur Gebäudekühlung und im Winter zur Gebäudedämmung. Das ist bei öffentlichen Gebäuden mit Flachdächern bereits Standard.

Eine weitere mögliche Sanierungsmaßnahme ist die Dämmung der Kellerdecke. Hier fallen für das betrachtete Beispielhaus ca. 19.000 € an. Die energetischen Zusatzkosten der Kellerdeckenverkleidung liegen bei 4.500 €. Da häufig im Keller keine Deckenverkleidungen angebracht werden, fallen hier in den meisten Fällen lediglich die Zusatzkosten der energetischen Sanierung an.

Beim Fenstertausch ist die Amortisationszeit gegenüber den restlichen Maßnahmen deutlich länger. In der gezeigten Abbildung werden Holzfenster mit Zweischeiben-Isolierverglasung gegen moderne Kunststoff-/Aluminiumfenster mit 3-facher Isolierverglasung ausgetauscht. Für das Standard-Haus liegen die Gesamtkosten des Tausches bei etwa 12.500 €. Ein Austausch der Fenster ist ratsam, wenn die bisherigen Fenster keine zufriedenstellende Funktion mehr erfüllen (defekte Dichtungen und Beschläge, Trübung der Scheiben etc.).

Die hier beispielhaft gezeigten Maßnahmen können unabhängig voneinander und zeitlich versetzt realisiert werden. Ebenso sukzessive kann der Austausch älterer Heizungsanlagen vonstattengehen. Durch den Ersatz älterer Niedertemperaturkessel durch moderne Brennwerttechnik lassen sich zusätzlich etwa 10 % - 15 % der eingesetzten Brennstoffe einsparen. Wie beschrieben wurde, wird durch die Gesetzgebung die Nutzung von CO_2-armen bzw. CO_2-freien Wärmequellen perspektivisch in eine zentralere Position gerückt. Um unter anderem die Vorgaben des geplanten GEG zu erfüllen, müssen erneuerbare Energien einen Anteil von 65 % an der Wärmebereitstellung eines Gebäudes im Fall des Austausches älterer Heizungsanlagen aufweisen und so den Primärenergiebedarf reduzieren. Dies kann dezentral (beispielsweise durch Nutzung von Solar- bzw. Geothermie, Einsatz von Wärmepumpentechnik) oder zentral geschehen, durch den Anschluss an ein modernes Nahwärmenetz.

Die Vorteile des Anschlusses an ein Nahwärmenetz sind an dieser Stelle hervorzuheben, da die dezentralen Möglichkeiten der CO_2-armen Wärmeerzeugung für den/die Endverbraucher*in zumeist einen höheren technischen und finanziellen Aufwand bedeuten. Probleme könnten in der Kombinationsbeschränkung von Heizungstechniken bestehen (Beachtung der Vorlauftemperatur in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Wärmeabgabefläche) oder auch durch Platz- bzw. statische Herausforderungen (neue Leitungsführung vom Dach zum Erdgeschoss/Keller).

Insgesamt bieten energetische Sanierungen von Gebäuden und Modernisierung bzw. die Modernisierung der Wärmeversorgung die Grundpfeiler der Energieeinsparung in Kommunen. Die technische Umsetzbarkeit der jeweiligen Maßnahmen und die Finanzierbarkeit mit Hilfe der angekündigten Förderprogramme müssen im Einzelfall geprüft werden.

3.1.1 Verteilung Energiebedarf Wohngebäude

Bei der Betrachtung der Verteilung des Gebäudebestandes auf deren Energieeffizienz zeigt sich, dass von den knapp 45.000 Wohngebäuden in der Stadt das Energieeinsparpotenzial durch energetische Sanierungen sehr unterschiedlich ist. Immerhin ein Viertel des Gebäudebestandes hat wärmebedarfsseitig sehr hohe Einsparpotenziale. Sie könnten von einem flächenspezifischen Bedarf von über 200 kWh/m²*a auf etwa die Hälfte reduziert werden (siehe Abbildung 3-4). Hier sollte zuerst gezielt auf die Gebäudeeigentümer*innen zugegangen werden. Ein weiteres Drittel der Gebäude hat immerhin noch Wärmebedarfe von 176-200 kWh/m²*a. Auch diese Eigentümer*innen müssten prioritär angesprochen werden – auch im Eigeninteresse, da die aktuell hohen Energiepreise hier Kosten verursachen, die mit einer Investition in energetische Sanierungen um bis zu 50 % gesenkt werden

könnten. Hierzu bedarf es einer guten Argumentationsgrundlage und eines Kümmernden, der hier gezielt aufklärt und Bedarfsreduktionen nach Sanierung ökologisch und ökonomisch bewerten kann.

Nur durch die Veränderung der nationalen Rahmenbedingungen und einer gezielten Ansprache auch durch die Stadt lassen sich die Sanierungsraten signifikant steigern. Zusätzlich dazu muss eine Umrüstung der Wärmeerzeugungsanlage auf erneuerbare Energien erfolgen. Diese können jedoch deutlich kleiner dimensioniert werden, wenn bei den Gebäuden vorher eine energetische Sanierung erfolgt.

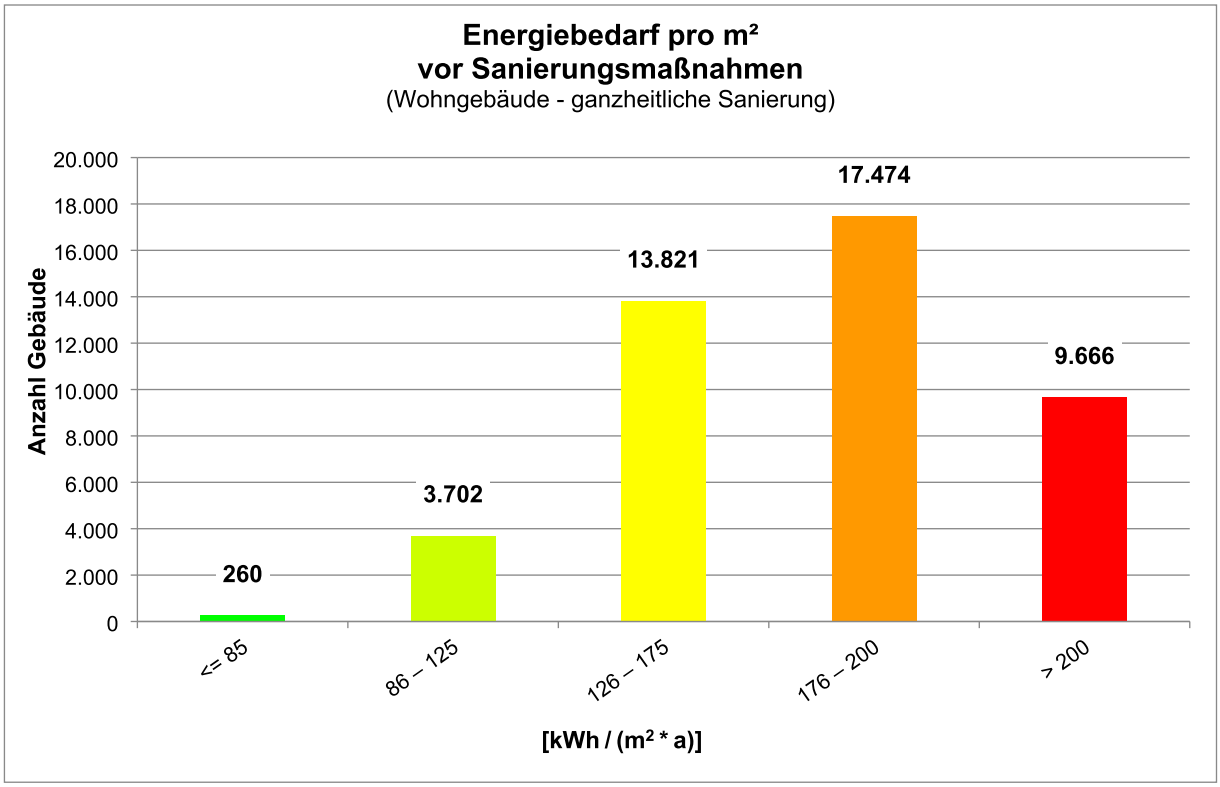


Abbildung 3-4: Verteilung Energiebedarf pro m² vor Sanierungsmaßnahmen

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: eigene Berechnung)

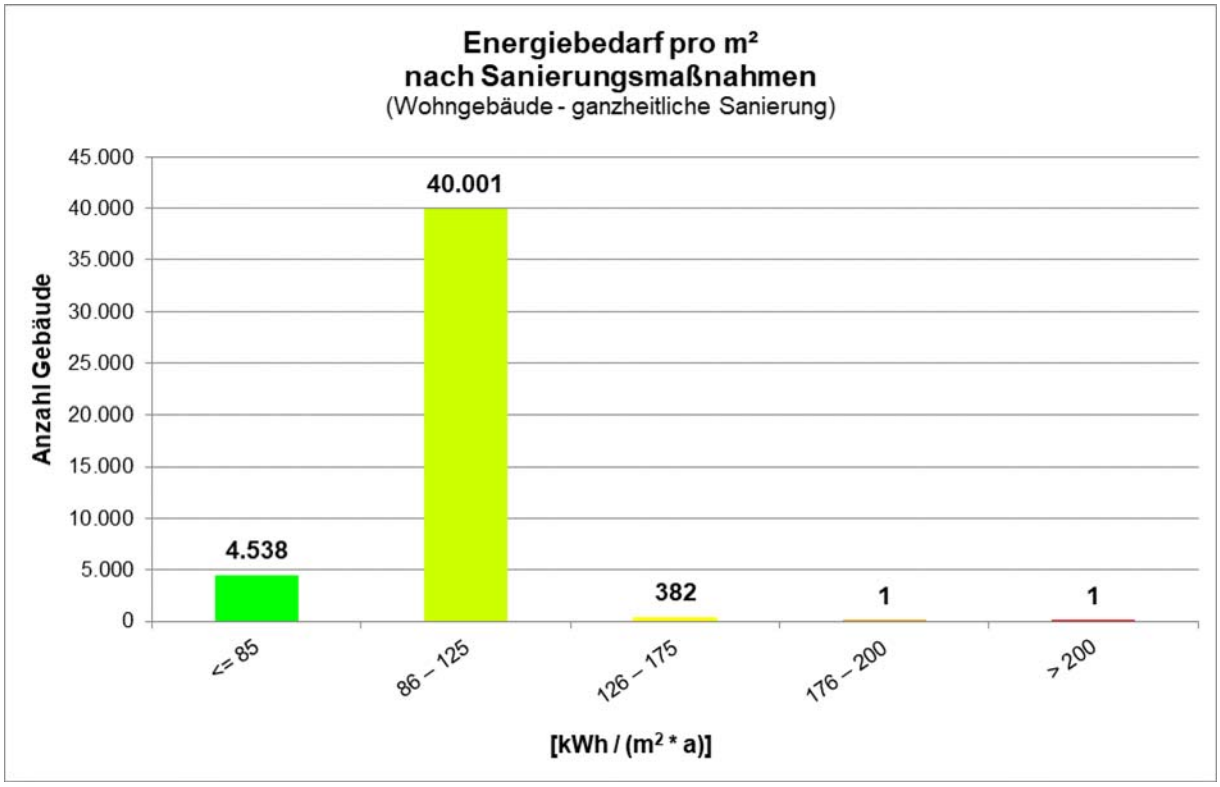


Abbildung 3-5: Energiebedarf Verteilung pro m² nach ganzheitlichen Sanierungsmaßnahmen

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: eigene Berechnung)

3.2 Räumlich verortete Potenziale erneuerbarer Energien zur Wärmeversorgung sowie Abwärme und Kraft-Wärme-Kopplung auf dem Gemarkungsgebiet

Im Folgenden werden die räumlich verorteten Potenziale erneuerbarer Energien für die Wärme- und Kälteversorgung, Abwärme und Kraft-Wärme-Kopplung auf dem Gemarkungsgebiet erläutert und dargestellt. Hierbei sind die verschiedenen Optionen zur regenerativen Deckung des künftigen Wärmebedarfs eingeordnet. Die Priorisierung der Maßnahmen wird im Maßnahmenkatalog vorgenommen. Weiterhin sind die Effekte des Einsatzes effizienter Speichertechnologie in Kombination mit Energiemanagementsystemen dargestellt.

3.2.1 Bioabfall

Nach Angaben der Abfallbilanz des Landes Baden-Württemberg für das Jahr 2019 fallen im Stadtgebiet Karlsruhe ca. 45 kg organische Abfälle pro Einwohner*in an (Ministerium für Umwelt, Klima und Landwirtschaft Baden-Württemberg, 2021).

Hochgerechnet auf das Stadtgebiet Karlsruhe, mit 308.500 Einwohner*innen ergibt das 14.048 t Bioabfall im Jahr. Um das energetische Potenzial des Bioabfalls zu berechnen, wurden als Kennzahlen zu Grunde gelegt, dass pro Tonne Bioabfall 110 m³ Biogas gewonnen werden können (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, 2015) und ein Kubikmeter Biogas über einen Energiegehalt von 6,3 kWh verfügt (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2022). Unter der Annahme dieser Kennzahlen ergibt sich ein energetisches Potenzial von Bioabfällen von ca. 9.735 MWh im Jahr.

Problematisch bei diesem Potenzial ist stets die recht komplizierte Sammellogistik für diese jeweils sehr kleinen Mengen an verwertbarer Biomasse bzw. auch die Bindung der Substrate durch andere Verwertungsoptionen. Daher sollte der Fokus auf Potenzialen liegen, die einfacher zu erschließen sind.

Noch im Zeitraum von 1997 bis 2014 wurde ein Teil (ca. 6.500 t im Jahr) der über die Behältersammlung erfassten Bioabfälle in einer eigenen Nassvergärungsanlage innerhalb des Karlsruher Stadtgebietes verwertet. Da diese Anlage allerdings zwischenzeitlich stark sanierungsbedürftig geworden war, hat der Karlsruher Gemeinderat aufgrund der Ergebnisse eines im Jahr 2014 durchgeführten Bürgerbeteiligungsprozesses (Konsensuskonferenz) die Entscheidung getroffen, die eigene Nassvergärungsanlage stillzulegen und die Bioabfallverwertung künftig extern auszuschreiben.

So wird momentan jeweils die Hälfte der über die Behältersammlung des Eigenbetriebs Team Sauberes Karlsruhe (TSK) erfassten Bioabfälle einer Biovergärungsanlage in Westheim (Rheinland-Pfalz) sowie einer entsprechenden Anlage in Flörsheim-Wicker (Hessen) angedient. Hierzu hält die Stadt Karlsruhe seit 2016 mit einem externen Entsorgungspartner einen Vertrag mit einer 20-jährigen Laufzeit. In beiden Anlagen wird nicht nur Biogas zur Energieerzeugung produziert, sondern auch Kompost und Dünger zur Verwendung in der Landwirtschaft.

Trotz der langfristig angelegten vertraglichen Situation prüft die Stadt unter der Beachtung ökonomischer und ökologischer Parameter kontinuierlich, ob im Rahmen einer regionalen Zusammenarbeit eine alternative Verwertung der erfassten Bioabfälle potenziell möglich erscheint, um künftig eine energetische Nutzung auch wieder in der Region Karlsruhe realisieren zu können.

3.2.2 Geothermie

Geothermie ist die unterhalb der festen Oberfläche der Erde gespeicherte Wärmeenergie, die auch Erdwärme genannt wird. Die Geothermie wird als permanent verfügbare Energiequelle zur Strom- und Wärmeerzeugung angesehen. Es wird zwischen der oberflächennahen und der tiefen Geothermie unterschieden, die beide einen wichtigen Beitrag zum zukünftigen Energiemix leisten werden.

Möglichkeiten zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie:

- Erdwärmesonden
- Erdwärmekollektoren
- Grundwasserwärmepumpen

Während in der oberflächennahen Geothermie Erdwärmekollektoren stets in den obersten frostsicheren Bodenschichten eingebaut werden, können für Erdwärmesonden Bohrungen bis zu 400 m (technisch sinnvoll bis 250m) ausgeführt werden.

Im Fall der oberflächennahen Geothermie mit Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren wird immer ein Wärmeträgermedium benutzt, um die Energie aus dem Erdreich zu entziehen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass die thermische Energie des Grundwassers aus dem Erdreich genutzt wird, um zum Beispiel ein Kältemittel in einer Grundwasser-Wärmepumpe zu erhitzen. Dieses Thema wird im folgenden Kapitel weiter beschrieben.

Die Tiefengeothermie wird im Kapitel 3.2.2.4 dargestellt. Darunter fallen geothermische Bohrungen, die bis zu mehreren tausend Metern tief sein können und im Optimalfall über 100°C heißes mineralisches Tiefengrundwasser zu Tage fördern.

3.2.2.1 Oberflächennahe Geothermie Erdwärmesonden

Die oberflächennahe Geothermie ist grundsätzlich ein gutes, weil platzsparendes Potenzial zur Gewinnung von Raumwärme im Zusammenspiel mit einer Wärmepumpe. Alle hier getroffenen Annahmen sind grobe Mittelwerte, die ausschließlich der Berechnung der möglichen CO_2-Einsparpotenziale dienen. Diese Berechnung geht in das Szenario des Energieleitplans ein. Alle weiteren Details können interessierte Bürger*innen für ihre Grundstücke direkt aus dem ISONG (Informationssystem für oberflächennahe Geothermie) entnehmen:

https://isong.lgrb-bw.de/

Insbesondere im westlichen Stadtbereich des Rheingrabens sind Erdwärmesonden durch die Limitierung der Bohrungstiefe von 12 m bis 46 m aufgrund von wasserwirtschaftlichen Restriktionen im Einzelfall zu prüfen. Im östlichen Bereich des Stadtgebietes sind laut dem LGRB (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau vom Regierungspräsidium Freiburg) dagegen tiefere Bohrungen möglich.

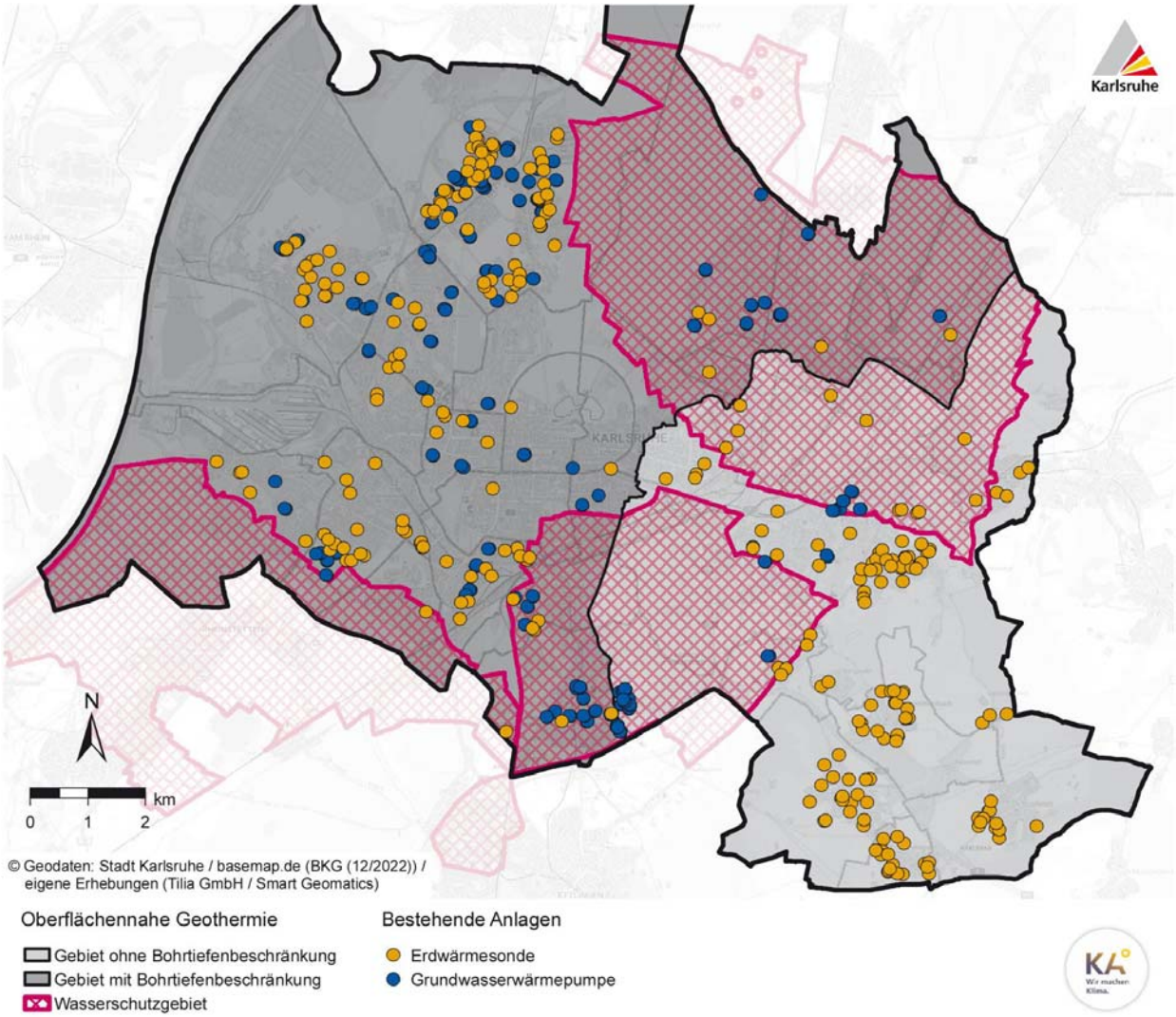


Abbildung 3-6: Bereiche mit und ohne Bohrtiefenbegrenzung, Wasserschutzgebiete, bestehende Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen (Stand 2023)

(Quelle: Smart Geomatics, Daten: LGRB, Stadt Karlsruhe)

In der Abbildung 3-6 sind für die beiden Stadtbereiche auch auf Basis von Erfahrungswerten Annahmen wie Entzugsleistung und Abstand der Erdwärmesonden getroffen.

Annahmen für westlichen Stadtbereich (dunkelgrau) im Rheingraben mit Tiefenbegrenzung:

- 25 Meter angenommene durchschnittliche Tiefenbegrenzung der Bohrtiefe
- 50 W/Bohrmeter Entzugsleistung
- 30% weniger Entzugsleistung im Wasserschutzgebiet
- Abstand der Sonden zueinander: 5 m

Annahmen für östlichen Stadtbereich (hellgrau) in den Höhenstadtteilen ohne Tiefenbegrenzung:

- 150 Meter Bohrtiefe
- 50 W/Bohrmeter Entzugsleistung
- 30% weniger Entzugsleistung im Wasserschutzgebiet
- Abstand der Sonden zueinander: 10 m

Somit ist bei der Berechnung der maximal möglichen Wärmeentzugsleistung und des energetischen Potenzials der Erdwärmesonden auch die mögliche gegenseitige Beeinflussung der Erdwärmesonden berücksichtigt.

In Wasserschutzgebieten sind Erdwärmesonden mit Einschränkungen genehmigungsfähig. Die Einschränkungen beinhalten in der Regel die Verwendung von ausschließlich Wasser als Wärmeträgerflüssigkeit. Im Rahmen der Untersuchung wurde deshalb innerhalb von Wasserschutzgebieten eine Reduktion der Wärmeentzugsleistung von 30 % angenommen. Um dennoch die notwendige Wärmeleistung zur Gebäudebeheizung zu erreichen, muss mit etwa 30 % mehr Erdsondenmetern gerechnet werden.

Die Wasserschutzgebiete innerhalb des Stadtgebietes sind in der Abbildung 3-6 abgebildet.

Ein Praxisbeispiel: Ein saniertes Gebäude mit einer Heizlast von 50 W/m² und 100 m² Nutzfläche hat eine Gebäudeheizlast von 5 kW. Mit einer Wärmepumpe würde dies in etwa eine Leistung von 5-6 kW pro Wohneinheit bedeuten, was für ein energetisch voll saniertes Gebäude knapp ausreichen würde. Bei ca. 1.800 Jahresvollbenutzungsstunden und einer Heizleistung von 5 kW würde das eine theoretisch benötigte Wärmeenergie von 9.000 kWh im Jahr bedeuten. Mit einer effizienten 5 kW Wärmepumpe und einer Jahresarbeitszahl (JAZ) von 4 wäre eine Energieaufteilung von 1,25 kW Strom und 3,75 kW Umweltenergie zu berechnen. Das würde bei einer durchschnittlichen Entzugsleistung von 50 W/m pro Erdwärmesonden bedeuten, dass man Bohrungen von mindestens 75 m benötigt.

Im Karlsruher Stadtgebiet stehen insgesamt knapp 29.000 kleinere Wohngebäude für eine bis drei Familien. Theoretisch könnte jedes dieser Gebäude durch eine Erdwärmesonde mit Wärme versorgt werden, welche dem Untergrund recht gleichmäßig über das Jahr Wärme entziehen kann. Bei allen größeren Gebäuden kann die oberflächennahe Geothermie jeweils nur eine unterstützende Funktion zur Deckung des Wärmebedarfes einnehmen. Daher scheint dieses Potenzial gerade zur ganzjährig benötigten Unterstützung der Warmwasserbereitung ideal. Allerdings bleibt einschränkend zu sagen, dass – ähnlich der Nutzung der Solarthermie – auch die Nutzung der oberflächennahen Geothermie ohne spezielle Hochtemperatur-Wärmepumpe keine besonders hohen Vorlauftemperaturen für die Heizung erbringen kann. Daher sollten im besten Fall die Gebäude dieses Potenzial nutzen, die energetisch saniert und mit Fußbodenheizung ausgestattet sind, oder mit Heizkörpern mit einer Vorlauftemperatur von max. 55 °C beheizt werden können. Mit Hochtemperatur-Wärmepumpen lassen sich auch Temperaturstufen erreichen, welche in unsanierten Bestandsbauten benötigt werden (> 70 °C). Diese Pumpen haben aber einen wesentlich höheren Stromeinsatz und sind etwas teurer als herkömmliche Wärmepumpen.

Insgesamt ergibt sich ein theoretisches Geothermiepotenzial von ca. 261.000 MWh/a. Mit einer effizienten Wärmepumpe und einer Jahresarbeitszahl von 4 besteht das Verhältnis zu ¼ Stromenergie von 87.000 MWh/a und ¾ geothermischer Umweltenergie von 261.000 MWh/a. Das ergibt ein gesamtes theoretisches geothermisches Potential von 348.000 MWh/a.

3.2.2.2 Oberflächennahe Geothermie Erdwärmekollektoren

Aufgrund des hohen Flächenbedarfs und den zusätzlichen Einschränkungen in den Wasserschutzgebieten ist das Potenzial von Erdwärmekollektoren im Stadtgebiet Karlsruhe eher gering. Deshalb wird im Energieleitplan nur daraufhin gewiesen, dass eine Nutzung möglich ist, eine Berechnung der Leistung für die Nutzung im Szenario erfolgt aber nicht. Im Stadtgebiet Karlsruhe sind bis jetzt erst zwei Erdwärmekollektoren-Systeme genehmigt worden, da Erdwärmesonden durch den geringeren Platzbedarf wirtschaftlicher herzustellen sind.

notwendiger Platzbedarf, Fallbeispiel	
beheizte Fläche	120 m²
spez. Bedarf Nutzenergie (Wohnen)	150 kWh/m²
Nutzenergiebedarf (Heizung+TWW)	18.000 kWh
Annahme Verluste WP-Heizung	10%
Endenergiebedarf	20.000 kWh
JAZ	4
Strombedarf	5.000 kWh
Wärme aus Boden	15.000 kWh
Entzugsenergie, spez.	49 kWh/(m²*a)
benötigter Kollektorfläche	**310 m²**

Abbildung 3-7: Einbau von geothermischen Kollektorenfeldern

(Quelle: tilia GmbH)

Die Auslegung eines Erdwärmekollektors wurde anhand der regionalen Gegebenheiten beispielhaft für ein Einfamilienhaus in Karlsruhe berechnet. Dabei wurde ermittelt, dass pro beheiztem Quadratmeter Wohnraum etwa 1,5-2,5 m² Kollektorfläche nötig sind. Diese sollte möglichst unversiegelt und nicht mit größeren Pflanzen bepflanzt sein. Eine andere Herangehensweise besagt, dass pro kW Leistung etwa 25-30 m² unversiegelter Fläche benötigt werden. Bei diesem Gebäude wären etwa 11 kW notwendig. Somit liegt die benötigte Fläche – wie in der Abbildung 3-7 – bei etwa 280-330 m². Folglich ist solch eine Anlage nur bei Gebäuden mit einer Freifläche dieses Ausmaßes möglich. Diese Art der Energiegewinnung eignet sich also in der Regel bei Einfamilienhäusern, da sonst die erforderliche Kollektorfläche die Grundstücksfläche übersteigt. Vorstellbar sind solche Arten der Energiegewinnung also eher in Randlagen, wie z. B. in Hohenwettersbach oder Stupferich, oder ausgeprägten freistehenden Einfamilienhaussiedlungen mit niedriger Verdichtung. Für Gebäude mit mehr beheizter Fläche (Innenstadtgebäude, Bürogebäude, Gewerbegebäude) scheint diese Lösung dagegen nicht angebracht. Energieeffiziente Gebäude sind für den Einsatz von Erdwärmekollektoren besonders geeignet, da hier der Wärmebedarf geringer ist und die Kollektorfläche reduziert werden kann. Folglich besteht die beste Eignung bei Gebäuden, welche annähernd Neubaustandards beim Wärmebedarf aufweisen.

3.2.2.3 Grundwasser als Energiequelle

Als Energiequelle für die Wärmepumpe kommt auch die Nutzung von Grundwasser in Betracht. Für eine Grundwasserwärmepumpe (auch Wasser-Wasser-Wärmepumpe genannt) wird eine Brunnenanlage aus Saugbrunnen und Schluckbrunnen benötigt. Aufgrund der ganzjährigen gleichbleibenden Grundwassertemperatur von ca. 10 °C können Jahresarbeitszahlen (JAZ) von bis zu 6 erreicht werden und daher sind die Grundwasserwärmepumpen sehr effizient. In Karlsruhe sind schon über 150 Grundwasser-Wärmepumpen im Einsatz, gerade bei größeren Gebäuden kann diese Möglichkeit der Energiequelle eine wirtschaftlichere Lösung gegenüber Erdwärmesonden sein. Die größte Grundwasserwärmepumpe im Stadtgebiet Karlsruhe hat eine Heiz- und Kühlleistung von 2,5 MW. Allerdings erfordert die Herstellung einer Grundwasserwärmepumpe eine umfangreiche Einzelfallprüfung. Die Machbarkeit ist unter anderem von den Grundwassereigenschaften abhängig. Schadstoffe oder hohe Eisen-/Mangangehalte können die Machbarkeit einschränken bzw. erhöhten Wartungs- oder Aufbereitungsaufwand verursachen. Außerdem dürfen bestehende Anlagen nicht durch neue Anlagen beeinflusst werden.

3.2.2.4 Tiefengeothermie

Der Oberrheingraben gilt neben dem Molassebecken bei München zu den bevorzugten Regionen für die Nutzung tiefer Geothermie in Deutschland. In Tiefen größer 2.500 m sind wasserführende Schichten mit Temperaturen von 100 bis 160 °C zu erwarten. Aufgrund früherer Bohrungen zur Suche nach Erdöl in den 1960er Jahren existieren gute und sichere Informationen über die Zusammensetzung der Erdschichten. Aufgrund dessen hat die Deutsche Erdwärme GmbH (DEW) bereits 2022 mit Bohrungen in Graben-Neudorf (Landkreis Karlsruhe) begonnen und erwartet in 3.800 m Tiefe Temperaturen von bis zu 160 °C. Das heiße Wasser soll zur Stromerzeugung und könnte auch zur Wärmeerzeugung genutzt werden. Pro Bohrungsdublette erwartet man eine Wärmeleistung von ca. 40 MW, die durchgängig zur Verfügung stehen würden. Somit können bis zu 320.000 MWh Wärme pro Jahr aus einer solchen Tiefenbohrung gewonnen werden. Weitere Bohrungen sind in Karlsruhe-Neureut und im nördlichen Landkreis Karlsruhe geplant. Die EnBW und das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) planen ebenfalls eine Tiefenbohrung. Aufgrund des Zeitbedarfs für die Vorbereitung und die Durchführung der Bohrungen selbst ist abzuschätzen, dass beginnend ca. 2030-2035 zwei bis drei Tiefengeothermieanlagen Wärme für die Versorgung der Stadt Karlsruhe zur Verfügung stellen könnten, entsprechend einer Grundlastwärmelieferung von bis zu ca. 800 GWh/a. Weitere Potenziale könnten in den Folgejahren genutzt werden. Es wäre dann auch zu prüfen, ob und gegebenenfalls wie die Wärme in das Fernwärmenetz der Stadtwerke eingespeist werden kann. Zur vollständigen Nutzung dieser Wärmemenge ist jedoch noch zusätzlich eine saisonale Wärmespeicherung erforderlich[12]. Abbildung 3-8 zeigt das Potenzial im Oberrheingraben für Tiefengeothermie im Gegensatz zu anderen Gebieten in Baden-Württemberg.

[12] Graben-Neudorf | (deutsche-erdwaerme.de)

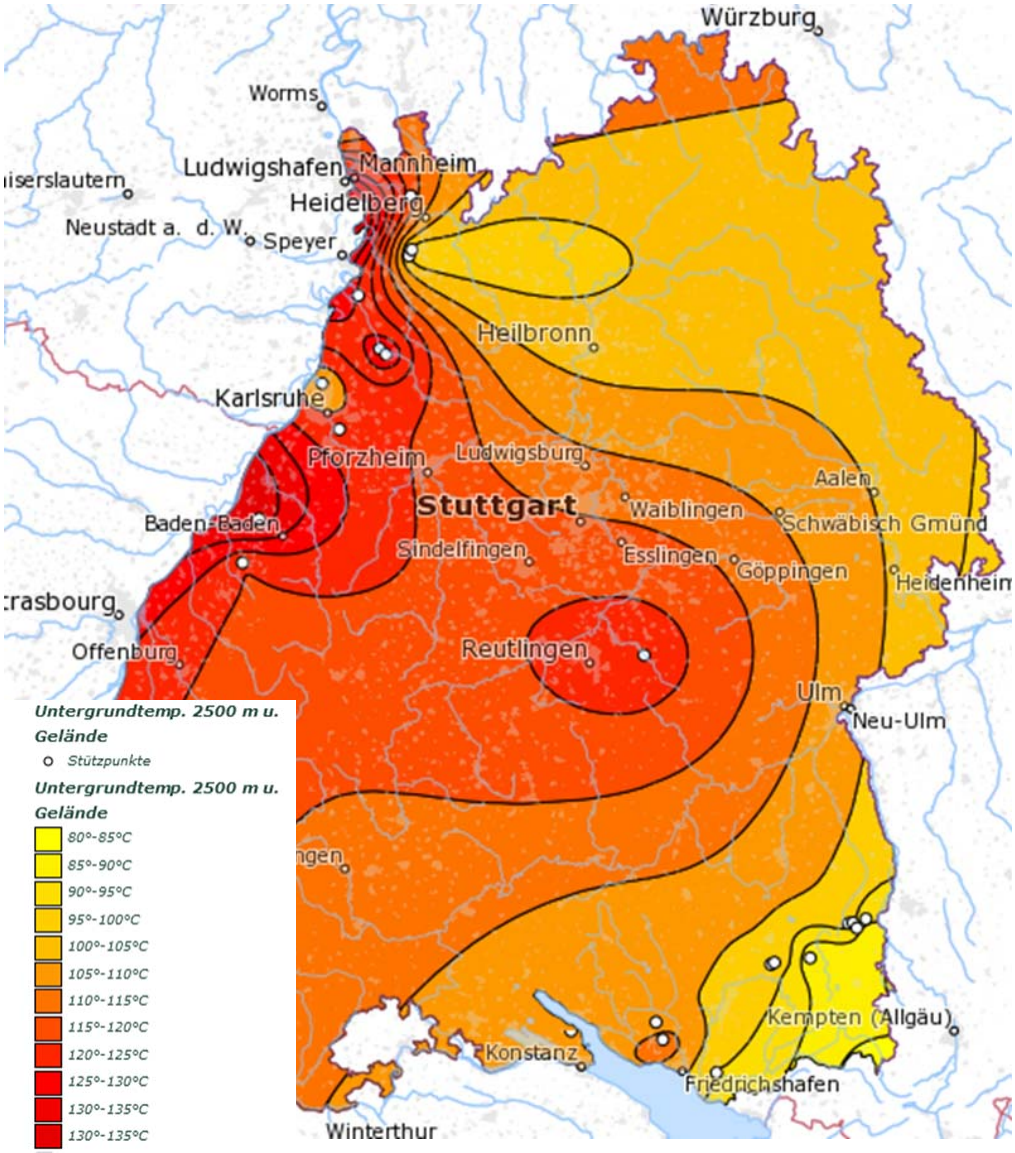


Abbildung 3-8: Ausschnitt geologische Karte Baden-Württemberg (Quelle: LGRB)

3.2.3 Potenzial Umweltwärme aus Gewässern und Abwasser

3.2.3.1 Potenziale Flusswasser

In Karlsruhe existieren mehrere mögliche Standorte, an denen Flusswasser ohne größeren Wasserbau zur Wärmegewinnung genutzt werden könnte. Einmal in der Nähe des Rheinhafens, dann in der Nähe der Alb, der Pfinz und des Pfinz-Entlastungskanals. Da die Flüsse in den letzten Jahren durch den Klimawandel eher zu warm geworden sind, wäre ein Wärmeentzug durch Flusswassernutzung auch für den Fischbestand eine Verbesserung. Technisch gesehen würde man das Wasser aus dem Fluss ableiten, um es dann über Wärmetauscher auszukühlen. Die Kühlung würde über eine Groß-Wärmepumpe geschehen, welche warmes Wasser produzieren könnte, um zum Beispiel ein Fern- oder Nahwärmenetz zu beheizen.

Analog könnte auch dem Rhein Wärme entzogen werden. Das Potenzial wäre immens. Würde man es schaffen, ein Volumen am Rhein von 4 m Höhe, 80 m Länge und 1 m Breite (d. h. 320m^3/h) aus dem Rhein über Großwärmetauscher zu leiten und so den Fluss um 1 °K auszukühlen, könnte eine Kühlungsenergie von ca. 11.740 MWh pro Jahr erzeugt werden, die durch die Wärmepumpe dann auch als Wärme in ein Wärmenetz gespeist werden könnte.

Es bleibt dabei zu beachten, dass der Rhein ein Fluss mit vielen Anrainern ist und Flusswasser auch nur bis zu einem bestimmten Auskühlungsgrad genutzt werden kann. Um eine „Unterkühlung“ zu vermeiden, sollte hier mit Anrainern flussaufwärts und flussabwärts eine energetische Wassernutzung koordiniert und abgestimmt werden, da der Rhein bei Übernutzung ansonsten im Winter vermehrt Eisgang aufweisen könnte. Gerade bezüglich einer Großwasserwärmepumpe in Kombination mit dem Rheinwasser sollte man in den nächsten Jahren die 20 MW Großwasserwärmepumpe in der MVV Mannheim beobachten. Dieses System wäre auch eine gute Möglichkeit, regenerative Energien in der Fernwärme zu nutzen.

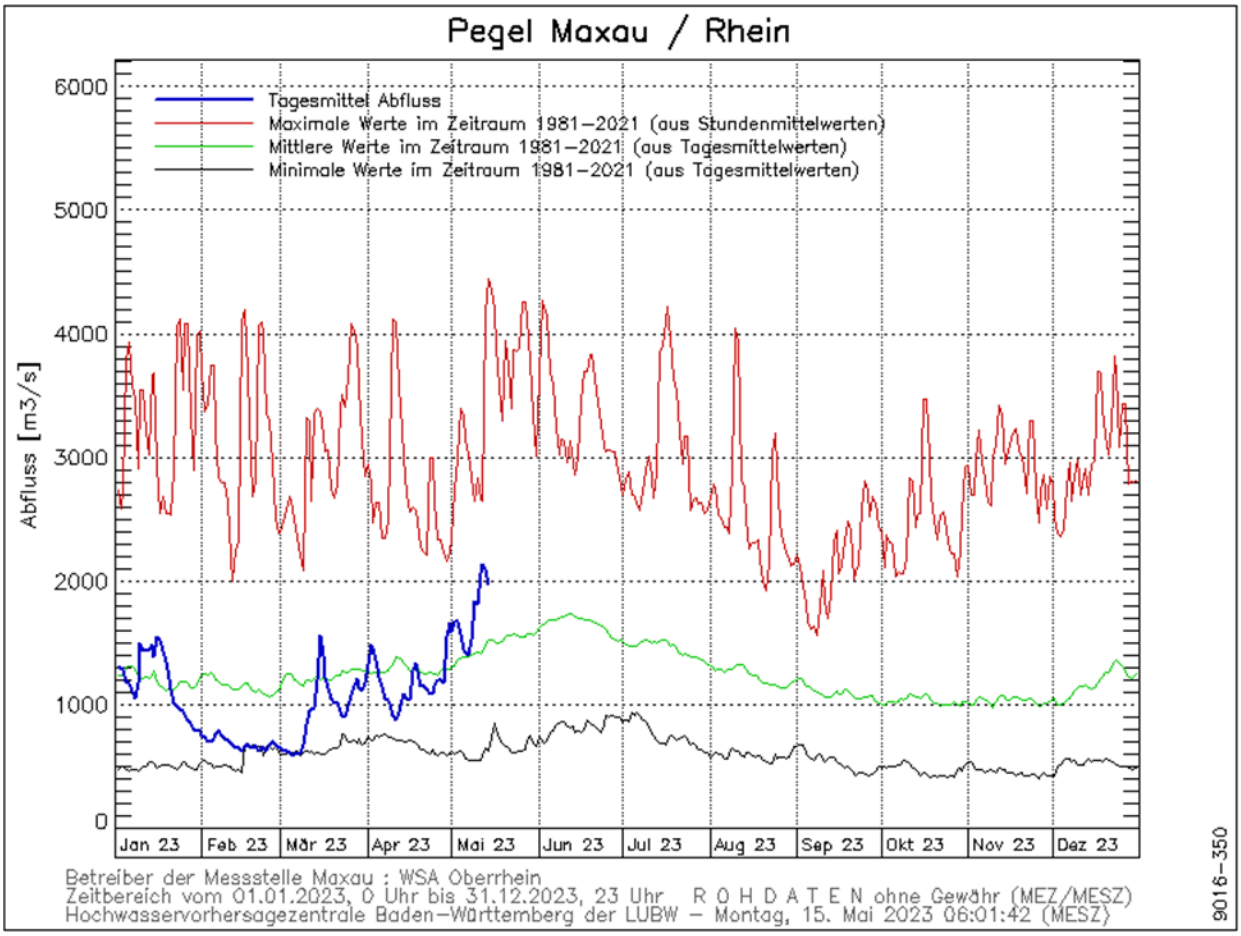


Abbildung 3-9: Pegel Maxau / Rhein Abfluss in m³/s (Quelle: LUBW)

Die im Vergleich zum Rhein kleineren Flüsse Alb, Pfinz und der Pfinz-Entlastungskanal besitzen im Vergleich zum Rhein kleinere Potenziale, Wärme zu liefern, sind aber trotzdem nicht zu unterschätzen und im Bereich der Reitschulschlagsiedlung durchaus betrachtenswert. Leider fehlen ausreichende Messungen zu Wasserabflüssen und Wasserständen in der direkten Nähe von Karlsruhe. Die nächstgelegenen Messungen sind in Ettlingen für die Alb und in Berghausen für die Pfinz.

Tabelle 6: Mittelwert der niedrigsten jährlichen Abflüsse und Wasserstände

Fluss	Standort	Mittelwert niedrigster jährlicher Abfluss	Mittelwert niedrigster jährlicher Wasserstand
Pfinz	Berghausen	0,72 m³/s	0,29 m
Alb	Ettlingen	0,80 m³/s	0,36 m
Rhein	Maxau	638 m³/s	3,84 m

(Quelle: LUBW)

Als zusätzliche Möglichkeit sollte man noch den Abwasserfluss nach der Kläranlage in Karlsruhe nennen, da dieser konstante Temperaturen über dem Gefrierpunkt liefert und mit einem Abfluss von ca. 1 m³/s vergleichbar zu den oben genannten Flüssen ist.

3.2.3.2 Potenziale aus Abwasser

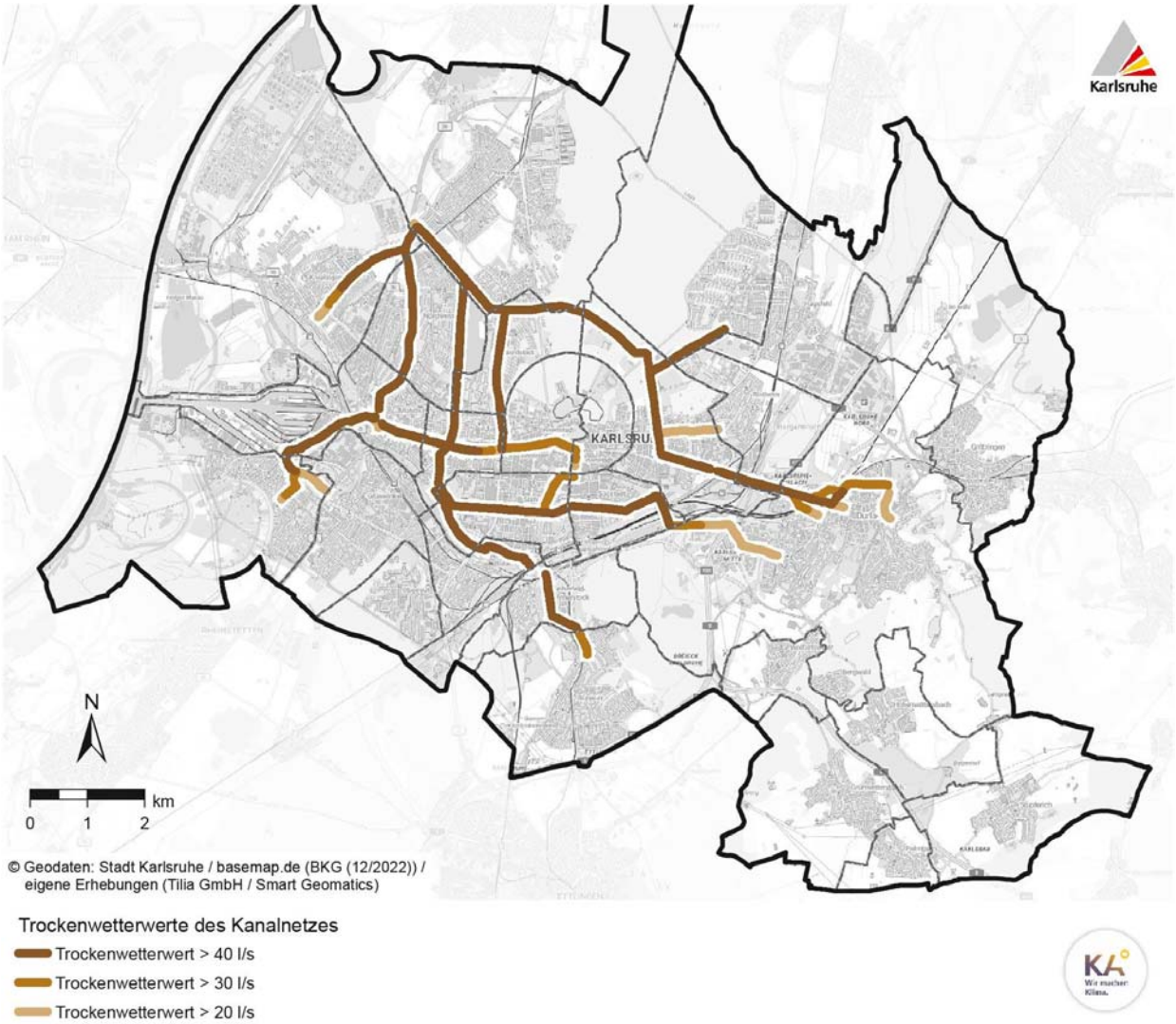


Abbildung 3-10: Trockenwetterwerte Kanalnetz

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Tiefbauamt der Stadt Karlsruhe)

Abwasserwärme eignet sich vor allem bei großen Durchflussmengen im Kanalnetz zur Wärmegewinnung.

Die Überlagerung des Kanalnetzes und des Fernwärmenetzes in Verbindung mit den größeren Neubaugebieten zeigt, dass sinnvolle Orte für die Wärmegewinnung aus Abwasser im Stadtgebiet existieren (Abbildung 3-11). Diese werden in der Abbildung vor allem durch die in dunklem Braun eingefärbten Kanalverläufe angezeigt.

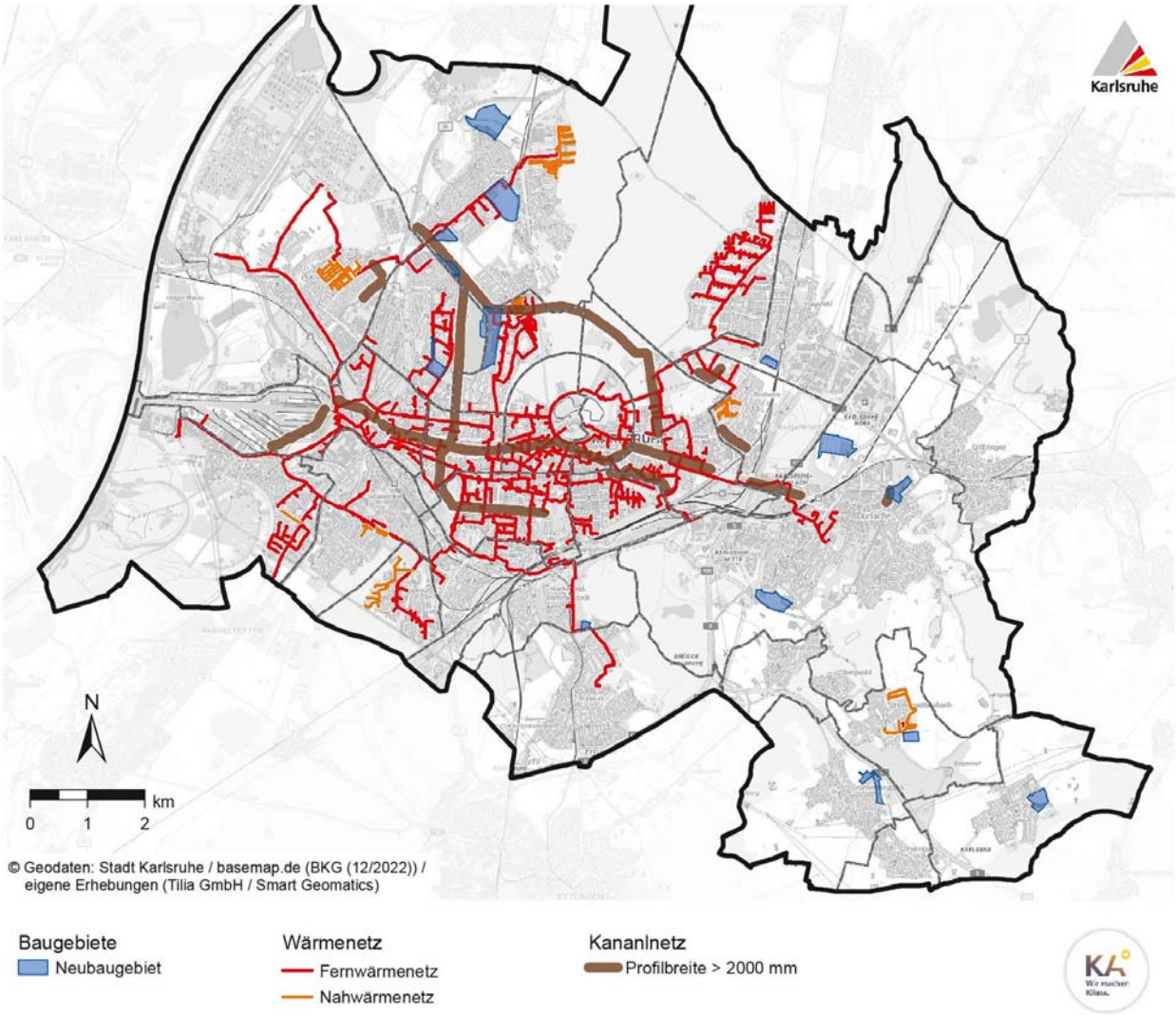


Abbildung 3-11: Überlagerung des Kanalnetzes, des Fernwärmenetzes in Verbindung mit größeren Neubaugebieten

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Stadtwerke Karlsruhe Netzservice GmbH, Stadtwerke Karlsruhe GmbH, Stadtplanungsamt der Stadt Karlsruhe, Tiefbauamt der Stadt Karlsruhe)

Zur Nutzung der Abwasserwärme in Abwasserkanälen gibt es inzwischen ausgereifte technische Lösungen. Daher sollte bei Neubauten oder Gebäudesanierungen in der räumlichen Nähe größerer Abwasserkanäle die Nutzung der Abwasserwärme jeweils geprüft werden. Eventuell ist auch eine Einspeisung ins Fernwärmenetz an einzelnen Standorten wirtschaftlich. In der Kläranlage selbst sind bereits einzelne Anlagen zur Wärmenutzung realisiert worden (Rechenanlage 80 kW, Filtrationsanlage 50 kW). Für eine weitere Nutzung der Wärme aus dem abfließenden, gereinigten Wasser aus der Kläranlage wären die Wirtschaftlichkeit und die technische Machbarkeit zu prüfen. Die Abwärme wird aktuell für die Gebäudeheizung des Klärwerks genutzt. Hinsichtlich der thermischen Verwertung von Klärschlamm und der Nutzung von Klärgas zur Strom- und Wärmeerzeugung für das Klärwerk Karlsruhe gibt es bereits laufende Untersuchungen der Kläranlagenbetreiber. Die gewonnene Energie kann dann entweder für den Energiebedarf der Kläranlage selbst oder für weitere Verbraucher genutzt werden.

3.2.4 Solarpotenzial (Photovoltaik, Solarthermie und PVT-Kollektoren)

3.2.4.1 Übergeordnetes Solarpotenzial

Für den Energieleitplan Karlsruhe wurde das Potenzial für Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen), Solarthermieanlagen und PVT-Kollektoren (Hybrid-Kollektoren, die gleichzeitig Strom und Wärme produzieren) ermittelt. Hierzu wird sowohl das Potenzial auf Dachflächen als auch auf Freiflächen betrachtet.

Für die Ermittlung des Solarpotenzials auf Dachflächen werden alle Dachflächen im Stadtgebiet Karlsruhe auf der Grundlage der Modellierung der Gebäudekubaturen aus der Wärmebedarfsanalyse analysiert. Bei der Analyse werden Dachflächen ausgeschlossen, die nicht für die Erzeugung von Solarenergie geeignet sind, verschattet werden oder aus baulichen oder ästhetischen Gründen nicht für Solaranlagen geeignet sind (wie z. B. Gaubendächer). Bei denkmalgeschützten Gebäuden können in Zukunft wahrscheinlich weniger restriktive Vorgaben doch Dach-Photovoltaik ermöglichen. Hier gilt es, Einzelfallprüfungen durchzuführen. Deswegen werden solche Flächen hier ausgeschlossen. Bei den verbleibenden Dächern wird die Dachneigung, die Ausrichtung und die Flächengröße bestimmt und so das Solarpotenzial ermittelt.

Die im Stadtgebiet Karlsruhe vorhandenen PV-Anlagen erzeugen jährlich ca. 41.963 MWh Energie. Das ermittelte PV-Potential für das Stadtgebiet Karlsruhe liegt bei ca. 19.770 MWh/a für Parkplatz-PV, 21.673 MWh/a für Freiflächen-PV und 988.832 MWh/a Dachflächen-PV. Das solarthermische theoretische Potential (ca. 400 kWh/m²/a) wäre bezogen auf die Fläche etwa doppelt so groß wie das PV-Potential (ca. 200 kWh/m²/a).

Das ermittelte PV-Potential von ca. 1.000.000 MWh jährlich sollte zwingend ausgeschöpft werden. Ein zügiger Ausbau von PV auf öffentlichen und privaten Dächern ist nicht nur wünschenswert, sondern auch erforderlich. Bei der Identifikation der Nutzungspotenziale ist eine sinnvolle Abwägung zwischen der Nutzung von Freiflächen und Dachflächenpotenzialen für Solarthermie oder Photovoltaik beziehungsweise PVT erforderlich. Entsprechend der Gebäudetypologien und bestehenden Heizinfrastruktur bedarf es einer individuellen Betrachtung.

In der nachfolgenden Abbildung 3-12 wird das theoretische technische Solarpotenzial dargestellt, die größte Herausforderung wird darin bestehen, das technische Solarpotenzial auf den Gebäuden komplett zu nutzen.

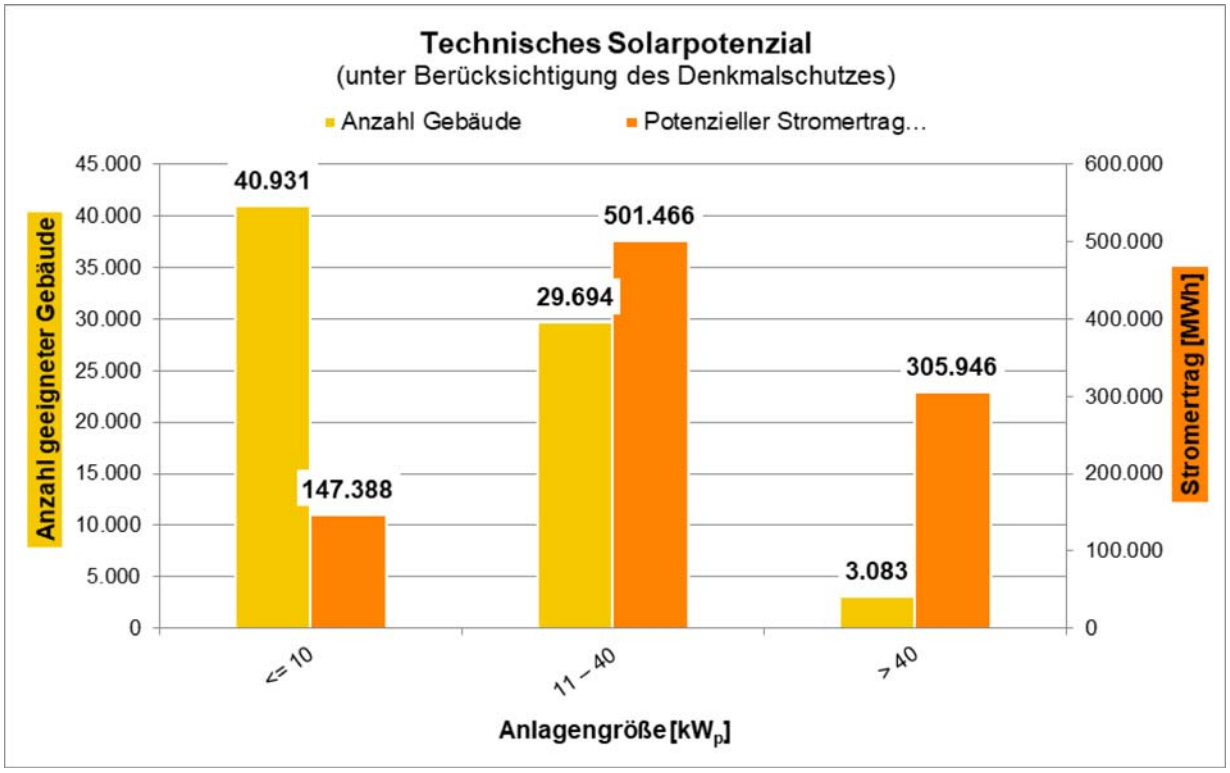


Abbildung 3-12: Technisches Solar-PV-Potenzial

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: eigene Berechnung, LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg)

3.2.4.2 Potenzial PV-Freiflächen und PV-Parkplätze

In den folgenden Karten sind Flächen für mögliche Parkplatz-PV und Freiflächen-PV im Stadtgebiet dargestellt.

Die Karlsruher Energie- und Klimaschutzagentur (KEK) hat eine Studie zur Identifizierung von geeigneten PV-Freiflächen in Auftrag gegeben. Das Ergebnis werden konkrete Steckbriefe sein, mit denen die Stadt Karlsruhe auf mögliche Investor*innen oder Projektentwickler zugehen wird. Mit Abschluss der Studie kann auch das vorhandene Freiflächen-PV-Potenzial sicherer eingeschätzt werden.

Laut § 23 KlimaG BW muss beim Neubau eines solar-geeigneten Parkplatzes mit mehr als 35 Stellplätzen eine Photovoltaikanlage über den geeigneten Stellplätzen errichtet werden.

Für die überschlägige Berechnung des PV-Freiflächenpotenzials wurden die Daten aus dem Energieatlas der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) für das Stadtgebiet Karlsruhe

herangezogen.[13] Die geeigneten Flächen wurden um die verschiedenen Schutzgebiete reduziert und von einer Fachexpertengruppe der Stadt abschließend besprochen.

Zusätzlich zum PV-Potenzial auf den Dachflächen in Karlsruhe kann für die betrachteten potenziellen PV-Freiflächen ein Potenzial von ca. 21.600 MWh/a und für die betrachteten potenziellen PV-Parkplätze von ca. 19.500 MWh/a angegeben werden.

Ein Beispiel zur Nutzung von Parkplatz-PV zeigt die vorhandene Anlage bei der Firma Michelin. Die Anlage erstreckt sich auf einer Fläche von 35.400 m² über dem Mitarbeiter*innen-Parkplatz und auf einzelnen Dächern des Werks. Sie hat eine Leistung von 998,2 kWp und speist seit 2011 jährlich über 900.000 kWh ins Netz der Stadtwerke ein.

Abbildung 3-13: Parkplatz PV bei Michelin in Karlsruhe

(Quelle: ka-news.de[14])

[13] Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW): Ermitteltes PV-Freiflächenpotenzial; Online verfügbar unter: https://www.energieatlas-bw.de/sonne/freiflachen/potenzial-freiflachenanlage, zuletzt abgerufen am 25.07.2023.

[14] ka-news.de (2011): Photovoltaikanlage Michelin, online verfügbar unter: https://www.ka-news.de/fotos/bilddetail/photovoltaikanlage-michelin-cme-672925, zuletzt abgerufen am 25.07.2023.

Die nachfolgende Abbildung 3-14 zeigt die potenziellen Parkplätze für PV-Überdachungen.

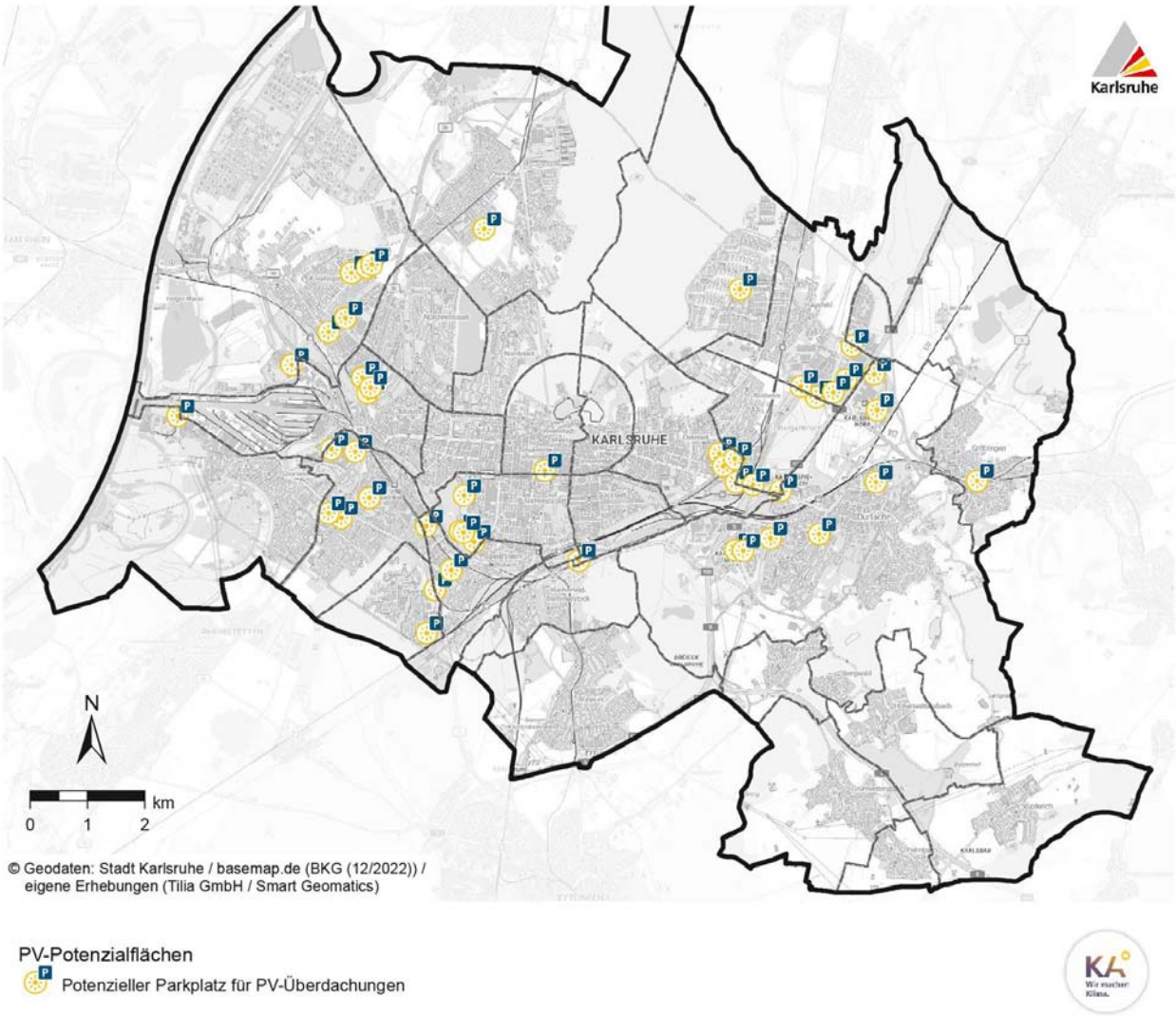


Abbildung 3-14: Potenzieller Parkplatz für PV-Überdachungen

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: eigene Erhebung)

3.2.5 Abwärmepotenzial aus Industrie und Gewerbe

90 % der Fernwärme in Karlsruhe wird bereits aus industrieller Prozessabwärme und aus Abwärme bei der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) erzeugt. Hierbei wird die Abwärme der MiRO (Mineralöl-Raffinerie Mittlerer Oberrhein), des Rheinhafen-Dampfkraftwerks der EnBW und der Papierfabrik Schwarz (früher Stora Enso Maxau) genutzt.

Zusätzlich wurden neben Industrie und Gewerbe auch Rechenzentren, thermische Verwertungsanlagen und unterirdische Bauwerke analysiert. Das bestehende Abwärmekataster der Stadt Karlsruhe konnte ebenfalls einbezogen werden. In Abstimmung mit der Stadt wurden betreffende Unternehmen einzeln angeschrieben und nach verfügbaren Abwärmemengen befragt. Hierzu wurde auf das Formular der KEA-BW zurückgegriffen. Der Umfragerücklauf war mäßig.

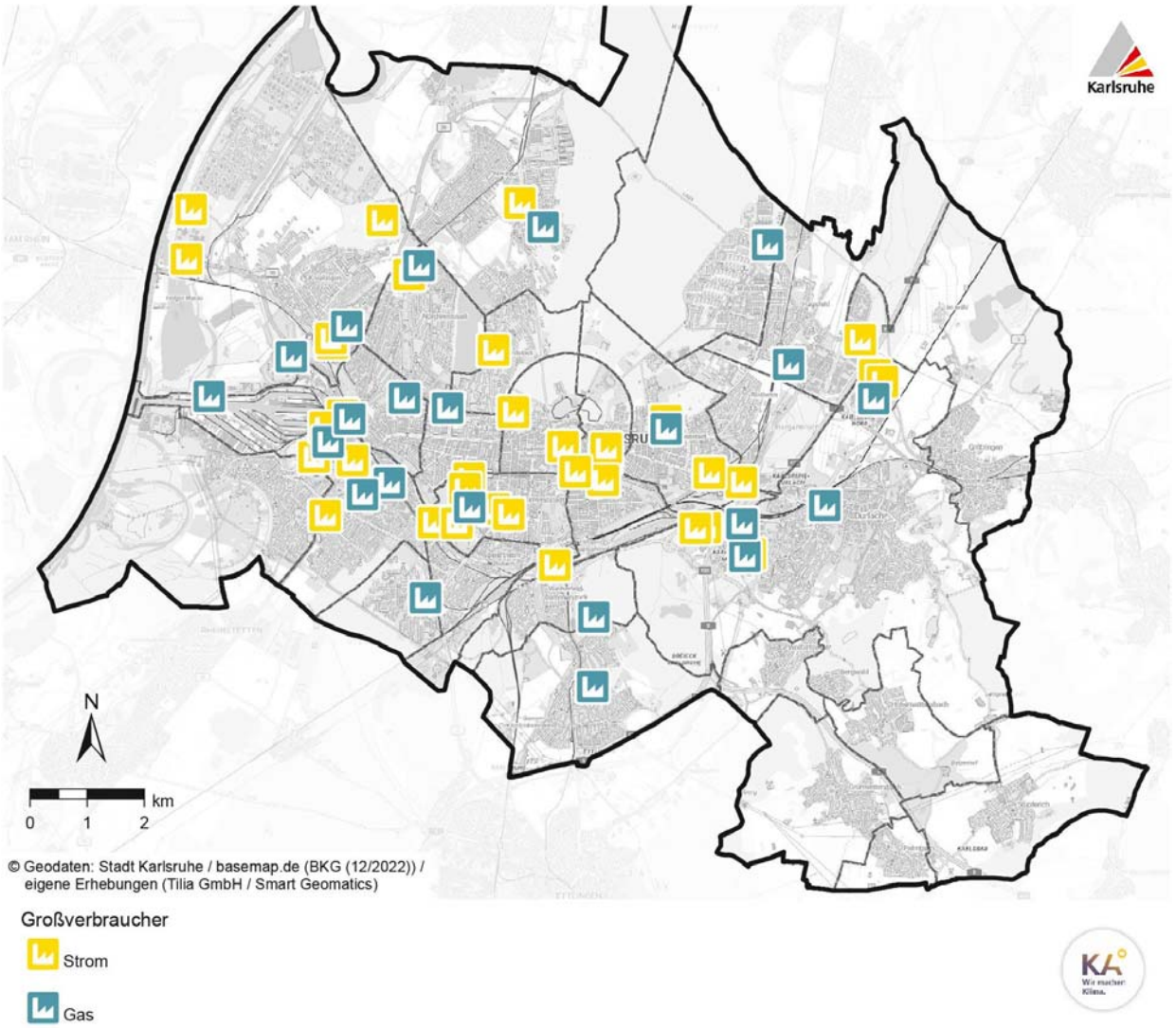


Abbildung 3-15: Industrielle Großverbraucher als Indiz für Abwärme-Potenziale

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: Stadtwerke Karlsruhe GmbH, Stadtwerke Karlsruhe Netzservice GmbH)

Im Ergebnis zeigte sich, dass nur wenige Unternehmen Abwärme-Potenziale angegeben haben. Die Auswertung der Daten und Potenzialanalyse zeigt, dass Abwärme aus einem Rechenzentrum in der

Ottostraße oder der nahegelegenen anderen Kälteanlagen aus dem Industriebgebiet eben jenes Industriegebiet oder ein nahegelegenes Wohngebiet mit Wärme versorgen könnte. Der Kältebedarf des Rechenzentrums beträgt jährlich über 10 MWh.

Es ist jedoch davon auszugehen, dass es weitere industrielle Abwärmepotenziale gibt, die allein durch die Befragungen der ausgewählten Großunternehmen nicht ermittelt werden konnten. Diese im Detail auch bei kleinen Unternehmen zu ermitteln sollte Bestandteil weiterer Analysen sein.

3.3 Räumlich verortete Potenziale erneuerbarer Stromquellen für Wärmeanwendungen und direkte Stromverwendung

Erarbeitung und Darstellung räumlich verorteter Potenziale erneuerbarer Stromquellen für Wärmeanwendungen und direkte Stromverwendung:

a) Photovoltaik

Die ausführliche Potentialanalyse findet sich im Kapitel 3.2.4 Solarpotenzial (Photovoltaik, Solarthermie und PVT-Kollektoren). Insgesamt beträgt das PV-Potential ca. 1.000.000 MWh/a, in der Praxis eher 700-800.000 MWh/a.

b) Windkraft

Der Nachbarschaftsverband Karlsruhe (Träger der Flächennutzungsplanung; zuständig für Karlsruhe und zehn weitere Städte und Gemeinden) hat mit dem Teil-Flächennutzungsplan Windenergie (rechtskräftig seit September 2019) Konzentrationszonen, in denen Windenergieanlagen zulässig sind, ausgewiesen. Das restliche Verbandsgebiet wird als Ausschlussgebiet für die Windkraft formuliert. Für Karlsruhe sind lediglich die Windenergieanlagen auf dem "Energieberg" in Karlsruhe-Mühlburg ausgewiesen. Weitere Konzentrationszonen sind für das Stadtgebiet nicht vorhanden, daher ist mehr Energiegewinnung durch Windkraft zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich. Mit der Planungsoffensive des Landes Baden-Württemberg und der damit einhergehenden Änderung des Klimaschutzgesetzes wird derzeit der Regionalplan Wind seitens des Regionalverbandes Mittlerer Oberrhein fortgeschrieben. Ob für die Stadt Karlsruhe Gebiete für die Windkraft festgelegt werden, bleibt abzuwarten. Hier wird das Ergebnis im September 2025 erwartet.

c) Wasserkraft

Das Wasserkraft-Potenzial der Stadt wird bereits umfänglich ausgeschöpft und aufgrund der fehlenden Erweiterungsmöglichkeiten nicht weiter betrachtet.

3.4 Potenziale zur zukünftigen Stromnutzung und -bedarfsdeckung im Gebäude

3.4.1 Überblick zur Darstellung der Potenziale zur zukünftigen Stromnutzung und -bedarfsdeckung im Gebäude

Der Energieverbrauch in Gebäuden macht in vielen Ländern, insbesondere in Deutschland, einen erheblichen Teil des Gesamtenergieverbrauchs aus. Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes (Destatis) ist die Steigerung der Effizienz des Energieverbrauchs und damit auch des Stromverbrauchs in Gebäuden daher ein wichtiger Weg, um den Gesamtenergieverbrauch und die Treibhausgasemissionen zu senken. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Nachfrage nach Elektrizität in Gebäuden in Zukunft weiter steigen wird. So wird beispielsweise mit der zunehmenden Verbreitung von Elektrofahrzeugen die Integration von Ladestationen immer beliebter und auch der Einsatz anderer elektrischer Geräte wie Wärmepumpen und elektrischer Warmwasserbereiter nimmt zu, wodurch der Strombedarf in Gebäuden steigt.

Um diese steigende Stromnachfrage zu befriedigen, ist es wichtig, die Effizienz der Stromnutzung in Gebäuden weiter zu verbessern. Dies kann durch eine Vielzahl unterschiedlicher Strategien erreicht

werden. Nach Angaben nationaler Umweltbehörden, wie dem Umweltbundesamt, sind dies fünf mögliche Entwicklungen, die hervorgehoben werden können:

- **Verbesserte Isolierung und Abdichtung:** Die Verringerung von Wärmeverlusten durch Wände, Fenster und Dächer kann den Energiebedarf zum Heizen und Kühlen von Gebäuden und damit auch den Verbrauch von strombasierter Wärmeversorgung (z. B. Wärmepumpen) senken. (vgl. 3.1 Potenziale zur Senkung des Wärmebedarfs durch Steigerung der Gebäudeenergieeffizienz)
- **Innovative, energieeffiziente Geräte:** Der Einsatz von energieeffizienten Geräten, Heiz- und Kühlsystemen sowie Beleuchtungsanlagen kann den Stromverbrauch erheblich senken. In dem Maße, in dem sich diese Technologien durchsetzen, wird der Gesamtstrombedarf in Gebäuden auch in Zukunft weiter reduziert. Beispielsweise ermöglicht die Umstellung auf LED-Beleuchtung eine Energieeinsparung von über 70 % im Vergleich zu herkömmlicher Beleuchtung.
- **Verstärkter Einsatz erneuerbarer Energiesysteme:** Da die Kosten für erneuerbare Energiequellen weiter sinken, kann die Installation von Systemen zur Nutzung erneuerbarer Energien wie Sonnenkollektoren, Erdwärme, Wasserkraft und Windturbinen dazu beitragen, dass Gebäude ihren eigenen Strom erzeugen, wodurch die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen und der Gesamtstrombedarf aus dem Netz verringert werden. (vgl. Kap. 3.2 Räumlich verortete Potenziale erneuerbarer Energien zur Wärmeversorgung sowie Abwärme und Kraft-Wärme-Kopplung auf dem Gemarkungsgebiet)
- **Intelligente Gebäudetechnik:** Gebäudemanagementsysteme können zur Optimierung des Energieverbrauchs und zur Verringerung von Abfällen eingesetzt werden, ebenso wie Fortschritte in der Gebäudeplanung, die zu energieeffizienteren Gebäuden mit geringerem Stromverbrauch führen können. Beispielsweise kann die Verwendung von Materialien, die Gebäude besser isolieren oder die Wärme reflektieren, dazu beitragen, den Heiz- und Kühlbedarf zu senken, was wiederum den Gesamtstrombedarf verringert.
- **Entwicklung von Reaktionsstrategien zur Steuerung der Stromnachfrage:** Dies kann den Einsatz intelligenter Geräte und Gebäudesysteme beinhalten, die ihren Energieverbrauch als Reaktion auf Veränderungen im Stromnetz anpassen können, oder die Einführung von nutzungsabhängigen Preissystemen, um die Energienutzung in Zeiten geringer Nachfrage zu fördern.
- **Entwicklung von Energiespeichertechnologien:** z. B. Batterien oder thermische Speichersysteme, um überschüssige erneuerbare Energie für die Nutzung in Zeiten hoher Nachfrage zu speichern. Dies kann dazu beitragen, die Schwankungen der erneuerbaren Energiequellen auszugleichen und es einfacher machen, sich auf sie als primäre Stromquelle zu verlassen.

Insgesamt ist es schwierig, genau vorherzusagen, wie sich diese Faktoren auf den künftigen Stromverbrauch und die Nachfrage in Gebäuden auswirken werden, zumal die Studien von einer Vielzahl von Faktoren wie technologischen Fortschritten, Veränderungen im Verbraucherverhalten und politischen Entscheidungen abhängen, doch ist es wahrscheinlich, dass eine Kombination aus der verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien und energieeffizienter elektrischer Geräte und Anlagen die Zukunft der nachhaltigen Stromnutzung in Gebäuden bestimmen wird. Mit Blick auf die Zukunft ist es wahrscheinlich, dass sich die Effizienz von Geräten mit dem technologischen Fortschritt und der Verschärfung der gesetzlichen Normen weiter verbessern wird.

3.4.2 Potenzial des Austauschs von Elektrogeräten gemäß typischer Verwendungszeiten

Nach Angaben des deutschen Umweltbundesamtes kann die Umrüstung auf effizientere Geräte im Vergleich zu älteren, ineffizienten Modellen bis zu 50 % Energie einsparen. Diese Schätzung basiert auf dem typischen Nutzungsverhalten von Geräten in Deutschland, das je nach Gerät und Haushalt variiert. So führen beispielsweise Geräte, die häufiger oder länger genutzt werden, in der Regel zu größeren Energieeinsparungen als Geräte, die weniger häufig verwendet werden. Darüber hinaus können die potenziellen Energieeinsparungen durch die Aufrüstung von Geräten je nach Nutzungsverhalten in vielen Fällen erheblich sein.

Diese Schätzung basiert auf dem typischen Nutzungsverhalten von Kühlschränken in Deutschland. In ähnlicher Weise kann die Umrüstung auf LED-Beleuchtung zu Energieeinsparungen von bis zu 80 % im Vergleich zu herkömmlichen Glühbirnen führen. Darüber hinaus kann die Umrüstung auf eine effizientere Waschmaschine zu Energieeinsparungen von bis zu 50 % im Vergleich zu einem älteren Modell führen, abhängig von den verglichenen Modellen und dem typischen Nutzungsverhalten der Waschmaschine.

Es sei darauf hingewiesen, dass die tatsächlichen Energieeinsparungen durch die Umrüstung auf effizientere Modelle von einer Reihe von Faktoren abhängen, wie z. B. dem Alter und der Effizienz des zu ersetzenden Geräts, dem örtlichen Klima und der Größe des Geräts. Als Anhaltspunkt für einen Austausch auf der Grundlage der typischen Nutzungsdauer findet sich im Folgenden eine Liste mit einigen allgemeinen Schätzungen der Lebensdauer von Geräten in Deutschland:

- Kühlschränke: Diese Geräte haben eine durchschnittliche Lebensdauer von 13-15 Jahren.
- Geschirrspülmaschinen: Geschirrspüler halten in der Regel durchschnittlich 9-12 Jahre.
- Wäschewaschmaschinen: Waschmaschinen halten in der Regel durchschnittlich 8-12 Jahre.
- Warmwasserbereiter: Diese Geräte haben eine durchschnittliche Lebensdauer von 8-12 Jahren.
- Fernsehapparate: Fernsehgeräte haben eine durchschnittliche Lebensdauer von 5-7 Jahren.

Um eine Entscheidung über den Ersatz eines der oben genannten Geräte auf der Grundlage der typischen Lebensdauer zu treffen (obwohl einige Modelle länger halten können), ist daher eine gründliche Analyse der oben genannten Faktoren erforderlich, um die potenziellen Energieeinsparungen und die Amortisationsdauer der Umrüstung auf ein effizienteres Modell zu ermitteln, was quantitativ so gut wie unmöglich scheint.

Als Faustregel gilt, dass man bei der Entscheidung, ob ein Gerät ersetzt werden soll, das Alter und den Zustand des Geräts berücksichtigen sollte. Wenn ein Gerät alt ist oder Anzeichen von Funktionsstörungen aufweist oder wenn seine Energieeffizienz deutlich geringer ist als die neueren Modelle auf dem Markt, sollte man den Austausch gegen ein neueres, energieeffizienteres Modell in Betracht ziehen. Funktioniert das Gerät hingegen noch einwandfrei, kann es kostengünstiger sein, es so lange zu verwenden, bis es aufgrund seines Alters oder einer Fehlfunktion ersetzt werden muss. Der Austausch alter, energieineffizienter Geräte gegen neuere, effizientere Modelle würde definitiv dazu beitragen, den Energieverbrauch und die Betriebskosten zu senken und so die Umwelt zu schonen und die wirtschaftliche Belastung durch ein Gerät mit hohem Verbrauch zu verringern.

3.4.3 Potenzial eines beschleunigten Austauschs von Elektrogeräten – Szenarien für die Geschwindigkeit der Umrüstung

Ein paralleles Szenario zu einem Standardaustausch auf der Grundlage typischer Nutzungszeiten ist hingegen der beschleunigte Austausch. Dies wirft eine Reihe von Fragen auf, die den Weg zu einem besseren Verständnis der Maßnahmen ebnen, die zu ergreifen sind, wenn neue elektrische Haushaltsgeräte zum Zwecke der Energieeinsparung in Betracht gezogen werden. Es existieren mehrere potenzielle Szenarien, die einen beschleunigten Austausch von Elektrohaushaltsgeräten als Lösung vorantreiben könnten, z. B: [15]

1. **Staatliche Anreize oder Vorschriften:** Die Regierungen könnten Anreize bieten, alte Geräte durch energieeffizientere Modelle zu ersetzen, oder die Mindeststandards für die Energieeffizienz von Geräten regeln. Dies könnte durch Steuergutschriften, Rabatte oder andere finanzielle Anreize geschehen, oder durch die Festlegung von Mindeststandards für die Energieeffizienz, die Geräte erfüllen müssen, um verkauft werden zu können.
2. **Programme der Versorgungsunternehmen:** Versorgungsunternehmen könnten auch Anreize oder Finanzierungsprogramme anbieten, um Kunden dabei zu helfen, ihre alten Geräte durch energieeffizientere Modelle zu ersetzen.
3. **Stärkeres Bewusstsein der Verbraucher:** Wenn den Verbraucher*innen die Vorteile energieeffizienter Geräte, wie niedrigere Energierechnungen und geringere Treibhausgas-emissionen, bewusster gemacht werden, sind sie vielleicht eher bereit, ihre alten Geräte durch effizientere Modelle zu ersetzen. Dies könnte durch Aufklärungskampagnen oder Marketingmaßnahmen erreicht werden.
4. **Höhere Standards für die Geräteeffizienz:** Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Effizienzstandards für Geräte zu erhöhen, was die Hersteller dazu verpflichten würde, effizientere Geräte zu produzieren als bisher. Dies könnte durch staatliche Vorschriften oder Industrienormen geschehen.

Es ist auch erwähnenswert, dass technologische Entwicklungen möglicherweise eine Rolle dabei spielen könnten, das Potenzial für einen beschleunigten Geräteaustausch zu erhöhen, da dies für die meisten Verbraucher ein gutes „Geschäft“ ist. Wenn beispielsweise neue, energieeffizientere Technologien auf breiter Front verfügbar werden, könnten die Verbraucher eher bereit sein, ihre alten Geräte durch neuere, effizientere Modelle zu ersetzen, vor allem wenn sie auf attraktive Weise vermarktet werden.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass mehrere Faktoren zu berücksichtigen sind, wenn es darum geht, zu entscheiden, ob Geräte entsprechend den typischen Nutzungszeiten ausgetauscht werden sollen oder ob ein beschleunigter Austausch von Geräten aus Gründen der Energieeinsparung erfolgen soll. Einige der wichtigsten Überlegungen sind:

- **Alter und Effizienz des Geräts:** Wenn ein Gerät alt und energieineffizient ist, kann es sinnvoll sein, es durch ein neueres, effizienteres Modell zu ersetzen, auch wenn es noch einwandfrei funktioniert. Ist das Gerät hingegen neu und energieeffizient, muss es möglicherweise nicht ersetzt werden.

[15] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie – BMWi (2019): Energieeffizienzstrategie 2050. Online verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffiezienzstrategie-2050.pdf?__blob=publicationFile&v=12, zuletzt abgerufen am 25.07.2023.

- **Kosten:** Der Austausch von Geräten kann teuer sein, daher ist es wichtig, die Kosten für den Austausch gegen die möglichen Einsparungen bei den Energie- und Betriebskosten abzuwägen.
- **Bequemlichkeit:** Wenn ein Gerät noch einwandfrei funktioniert, kann es bequemer sein, es weiter zu benutzen, bis es aufgrund seines Alters oder einer Fehlfunktion ersetzt werden muss.

4. Zielszenario

4.1 Rahmenbedingungen für Szenarien zur zukünftigen Entwicklung der Energieversorgung

Um das Ziel, die zukünftige Klimaneutralität in Karlsruhe bis 2040 zu erreichen, wird in den nachfolgenden Kapiteln ein mögliches Szenario für eine klimaneutrale Energieversorgung untersucht. Um als Grundlage für die Szenarien den zukünftigen Wärmebedarf zu ermitteln, werden zuerst die Effekte von Sanierungsraten beleuchtet. Im Anschluss wird untersucht, wie der verbleibende Wärmebedarf mit erneuerbaren Energien gedeckt werden kann.

4.1.1 Reduzierung der Energiebedarfe

Bei der Sanierungsrate wird von einer umfassenden energetischen Sanierung von Heizungsanlage, Dächern, Fenstern, Außenwand und Kellerdecke ausgegangen. In Karlsruhe liegt die Sanierungsrate höher als im Bundesdurchschnitt bei etwa 1,6 % gemäß dem Landeswert Baden-Württembergs. Die Sanierungsrate bezieht sich auf die Anzahl der Gebäude, die jedes Jahr saniert werden. Ein Grund für die höhere Sanierungsrate in Baden-Württemberg sind die höheren Förderanreize in Baden-Württemberg. Daher wurden in den Berechnungen die angenommenen Sanierungsraten verwendet:

- 1,6 % Standard-Sanierungsrate,
- 2,0 % Leichte Erhöhung der Standard-Sanierungsrate,
- 4,0 % Ambitionierte Verdoppelung der Sanierungsrate,
- 4,8 % Maximal benötigte Sanierungsrate

Bei einer maximal benötigten Sanierungsrate von 4,8 % wären alle Wohngebäude bis zum Jahr 2040 saniert. Aufgrund der Typologie der Wohngebäude in der Stadt Karlsruhe kann durch die Sanierung aller Gebäude eine Einsparung von 42 % des aktuellen Wärmebedarfes erreicht werden.

Der verbleibende Rest des Verbrauches muss durch die Nutzung erneuerbarer Energien in Verbindung mit modernen Heizungsanlagen erbracht werden.

Abbildung 4-1 zeigt die Einsparung des Wärmebedarfs bei Wohngebäuden und den verschiedenen Sanierungsraten.

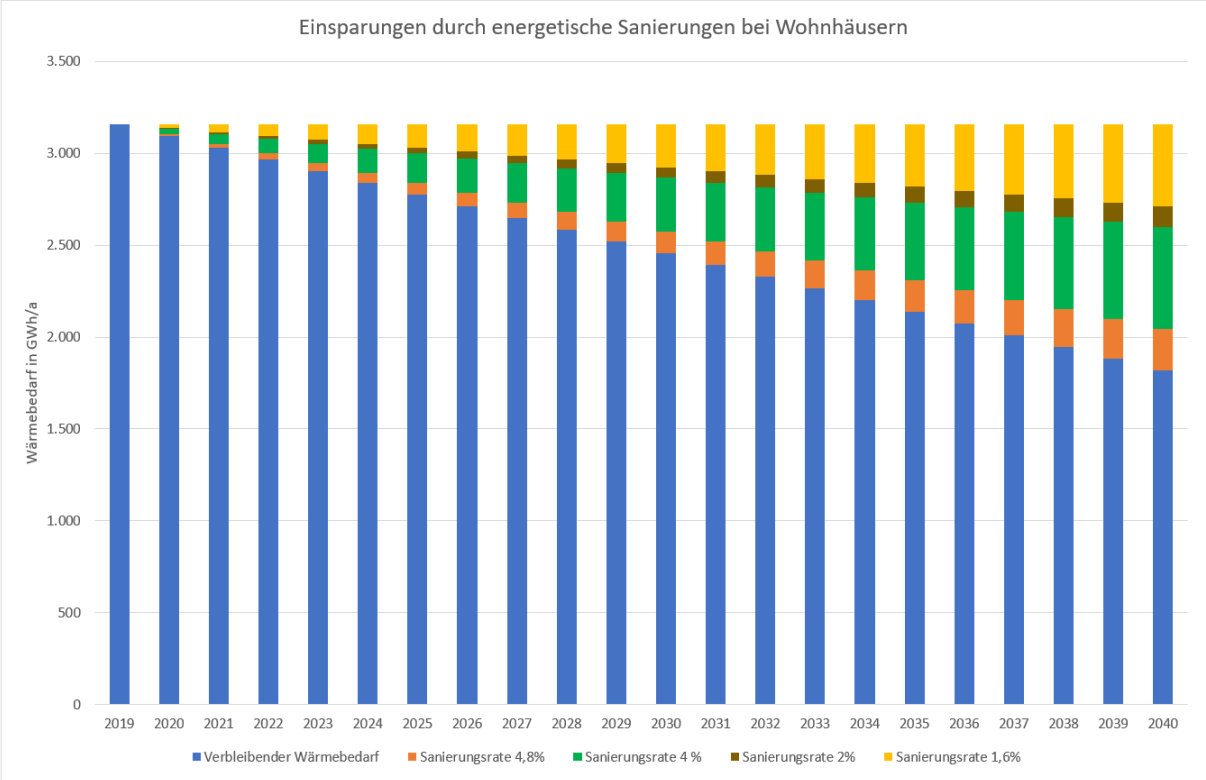


Abbildung 4-1: Einsparungen durch energetische Sanierungen in Karlsruhe

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: eigene Berechnung)

4.1.2 Dekarbonisierung der Energieversorgung

Die Dekarbonisierung der Energieversorgung ist ein wichtiger Schritt hin zu einer nachhaltigen und klimaneutralen Zukunft. Sie bezieht sich auf den Übergang von fossilen Brennstoffen wie Kohle, Öl und Gas zu erneuerbaren Energiequellen wie Sonnen-, Wind- und Wasserkraft. Die Reduzierung des CO_2-Ausstoßes ist dabei ein zentraler Aspekt der Dekarbonisierung. Inwieweit Biogas und klimaneutraler Wasserstoff dann eine Rolle spielen werden, wird sich ökonomisch lösen, wobei zur Spitzenlast-Abdeckung z. B. in der Fernwärmeversorgung klimaneutraler Wasserstoff eine Möglichkeit wäre, schnell Wärme zu liefern.

Die Entwicklung des deutschen Strommixes ist stark abhängig vom weiteren Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung in Deutschland. Eine Kurzstudie von Fritsche und Greß aus dem Jahr 2020[16] bietet eine eindeutige Rechengrundlage an, die zur Berechnung der zukünftigen CO_2-Emissionen in Deutschland für

[16] Fritsche und Greß (2020): Kurzstudie – Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2019 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050. Bericht für die HEA - Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V.; online verfügbar unter: https://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/Kommunaler_Klimaschutz/Wissensportal/IINAS_2019_KEV_und_THG_Strom-2018_und_2020-2050-final.pdf, zuletzt abgerufen am 25.07.2023

die Jahre 2019-2050 genutzt wurde. Aus Abbildung 4-2 wird ersichtlich, dass sich der regenerative Ausbaupfad der Bundesregierung weiter erhöhen muss, um das ambitionierte Ziel Klimaneutralität 2045 in Deutschland zu erreichen. Der CO_2-Emissionswert des Stroms im Jahr 2040 mit 151 kg pro MWh ist immer noch zu hoch, um das Ziel Klimaneutralität 2040 zu erreichen. Um das Ziel zu erreichen, müssten die CO_2-Emissionswerte von 2050, die mit 32 kg pro MWh ausgewiesen werden, schon im Jahr 2040 vorhanden sein, um mit Hilfe der Elektrifizierung der Sektoren Wärme, Energie und Mobilität ein klimaneutrales Ergebnis zu erzielen. [17]

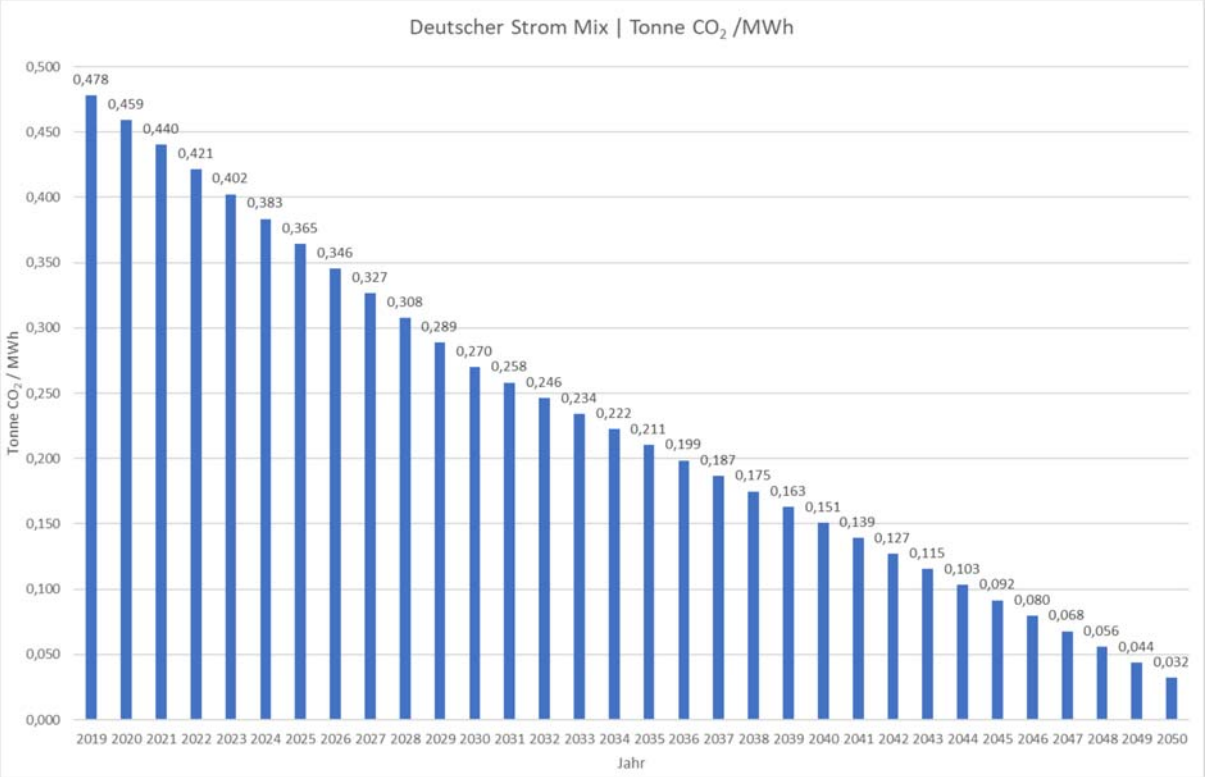


Abbildung 4-2: Entwicklung des deutschen Strommixes[18]

(Quelle: tilia GmbH, Daten: Fritsche und Greß, 2020)

4.1.3 Ausbau erneuerbare Stromerzeugung

Im Bereich des Stromverbrauches lässt sich nicht davon ausgehen, dass verbrauchte Mengen auf absehbare Zeit absinken werden, selbst wenn Effizienzpotenziale, wie die Nutzung effizienterer Geräte und effizienterer Prozesse realisiert werden können. Das Gegenteil ist nach heutiger Sicht der Fall. Der Stromverbrauch wird durch die ansteigende Zahl von Elektrofahrzeugen samt zugehöriger

[17] IINAS, 2021: GEMIS: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 5.0, IINAS, 2021.

[18] Fritsche und Greß (2020): Kurzstudie – Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2019 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050. Bericht für die HEA - Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V.

Ladeinfrastruktur und durch die massive Steigerung der Anzahl von Wärmepumpen ebenfalls massiv ansteigen.

Die Nutzung aller bestehenden Potenziale wird nötig sein, um 2040 den weitgehend klimaneutralen Strommix zu erreichen. Der aktuelle Strombedarf in Karlsruhe wurde mit 1.270 GWh/a beziffert. Dem gegenüber steht das größte verfügbare Potenzial erneuerbarer Energien, die Photovoltaik, mit nur etwa 1.000 GWh/a. Alle weiteren Stromerzeuger (Windkraft, Wasserkraft und Biomasse) können aufgrund von Flächenrestriktionen und anderen Gegebenheiten nur unwesentlich zur weiteren Stromerzeugung beitragen. Mit dem erforderlichen Zubau von Wärmepumpen für Wärmenetze und zur direkten Gebäudebeheizung wird der Strombedarf massiv ansteigen. Allein für eine Versorgung der Wärmepumpen mit Strom würde der Bedarf um weitere rund 800 GWh/a anwachsen. Dies ist nur mit großen Stromimporten auf das Stadtgebiet Karlsruhe zu bewältigen. Der zusätzlich geschätzte Stromaufwand für die E-Mobilität wird in den nachfolgenden Kapiteln dargestellt.

Die von der HEA - Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V. veröffentlichte Studie von Fritsche und Greß im Jahr 2020[18]. sieht noch einen geringeren Ausbau der erneuerbaren Energie in Deutschland vor, als die neueste Studie vom Bundesverband Erneuerbare Energien (BEE). Diese Studie wird von der Bundesregierung als Grundlage zur klimaneutralen Energieerzeugung in Deutschland gesehen und sieht im Jahr 2030 schon einen verbesserten deutschen Strom Mix mit einem 80 %-Anteil von klimaneutraler Energieerzeugung vor. Würde das so der Fall sein, wäre es eine starke Verbesserung gegenüber der Entwicklung des deutschen Strommixes, wie in der Abbildung 4-2 gezeigt wurde. Diese Verbesserung konnten die Fachbüros Tilia und Smart Geomatics wegen der Vorgaben zu den Emissionsfaktoren der KEA BW im Zielszenario nicht berücksichtigen. Sie gehen aber davon aus, dass sie eine Erleichterung zur Erreichung der Ziele darstellen würden.

In der neuesten Studie des Bundesverbands Erneuerbare Energien (BEE) zum neuen Strommarktdesign werden Szenarien zu Stromentwicklungen aufgezeigt, welche einen Weg zur Erfüllung der gesetzten Klimaneutralität bis 2050 beschreiben. Bei ambitionierten Schritten wäre es sogar möglich, diese vor 2045 zu erreichen, so das Fazit der Studie. Die Studie wurde durch die Fraunhofer Institute für Energiewirtschaft und Netzbetrieb (IEE) und Solare Energiesysteme (ISE) erarbeitet und von der Kanzlei Becker Büttner Held juristisch geprüft.[19]

Die Strommarktdesignstudie behandelt die Betriebswirtschaftlichkeit der erneuerbaren Energien und Flexibilitäten, indem sie auf die Hauptfragen der Umsetzung zur Klimaneutralität eingeht: Die Gewährleistung der Versorgungssicherheit, die Finanzierung bzw. Förderung des Ausbaus, sowie den wirtschaftlichen Betrieb von erneuerbaren Energien samt den benötigten Flexibilitäten und die erfolgreiche Sektorenkopplung (siehe Abbildung 4-3).

[19] Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. – BEE (2021): BEE Studie Strommarktdesign. Online verfügbar unter: http://klimaneutrales-stromsystem.de/#seight, zuletzt abgerufen am 25.07.2023.

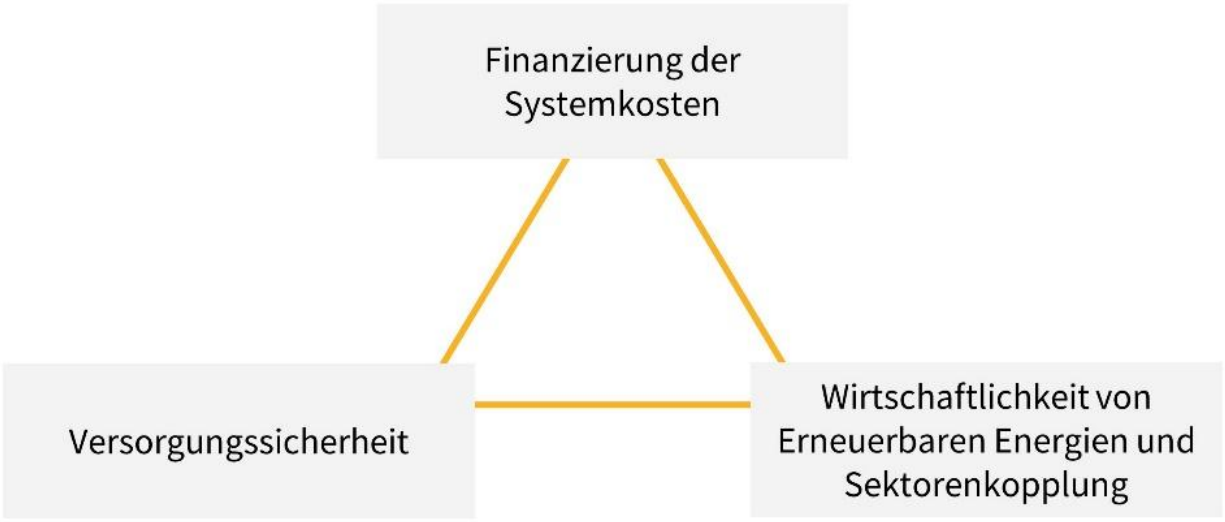


Abbildung 4-3: Ziele der Strommarktdesignstudie des BEE

(Quelle: Bundesverband Erneuerbare Energie e.V., 2021)

Der Kohleausstieg ist durch das Kohleausstiegsgesetz deutschlandweit geregelt und mit verpflichtenden Fristen hinterlegt. Spätestens 2038 sollen die letzten Kohlekraftwerke stillgelegt werden. Zudem wird auch auf die stetige Zunahme an benötigter elektrischer Energie für mehr elektrifizierte Industrieprozesse, Wärme und Elektromobilität berücksichtigt. Nach diesen Prognosen wird die Versorgungssicherheit, unter Annahme des Verbrauchs und der Flexibilitäten, gewährleistet werden können.

Die Sektorenkopplung und damit eine Dekarbonisierung der Wärmeversorgung wird in den Szenarien der BEE-Studie in verschiedenen Varianten berücksichtigt, darunter auch mit einer möglichen Begrenzung der Elektrolyse-Kraftwerke. Es werden diverse steuerbare und nicht steuerbare Technologien zur Wärmeerzeugung betrachtet. Die Einschätzung der Annahmen für die simulierten Jahre wurden von den jeweiligen Spartenverbänden der erneuerbaren Energien getätigt.

Die Studie wurde im November 2021 veröffentlicht und könnte als politscher Wegweiser für die neue Regierung Deutschlands gedient haben. Die EEG-Novelle, welche seit Beginn 2023 in Kraft getreten ist, soll die notwendige Förderung zur Umsetzung erbringen. Laut dieser sollen bis 2030 mindestens 80 % des Stromverbrauchs in Deutschland aus erneuerbaren Energien stammen. Das bedeutet fast eine Verdoppelung des Anteils am Gesamtstromverbrauch.[20]

In Abbildung 4-4 sind die Kernergebnisse der BEE-Strommarktdesignstudie im Überblick dargestellt.

[20] Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (2023): Ausbau erneuerbarer Energien beschleunigen. Online verfügbar unter: https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/novelle-eeg-gesetz-2023-2023972, zuletzt abgerufen am 25.07.2023.

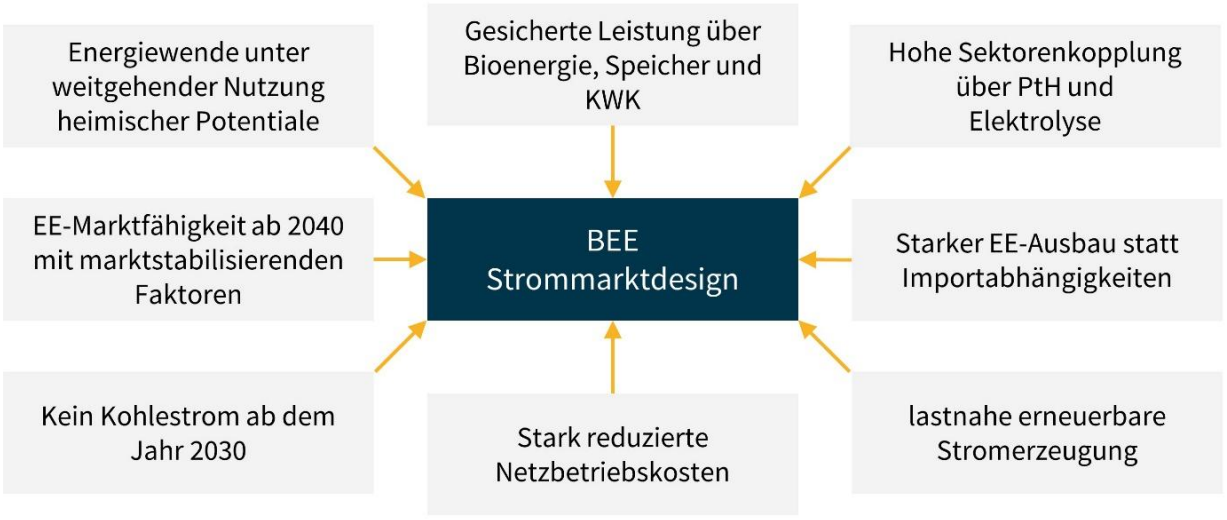


Abbildung 4-4: Kernergebnisse des BEE

(Quelle: Bundesverband Erneuerbare Energie e.V., 2021)

Die Ergebnisse der BEE-Studie belegen die national umsetzbare Energiewende. Sie zeigen Lösungen auf, welche stark vom Ausbau der EE abhängig sind. Die politischen und äußeren Rahmenbedingungen haben sich in den letzten Jahren positiv in diese Richtung entwickelt. Durch den russischen Krieg gegen die Ukraine ist die Unabhängigkeit der Versorgung immer mehr in den Fokus gerückt. Dadurch wird nicht nur der generelle Ausbau von erneuerbaren Energien gefördert, sondern auch die Nutzung der heimischen Potentiale. Diese Nutzung ist ein signifikanter Teil der Dezentralisierung von Erzeugungsstrukturen und damit von der Umsetzung der Energiewende im regionalen Kontext. Hierbei wird vor allem ein Augenmerk auf den Ausbau von Wind- und Photovoltaikanlagen gelegt. Für den privaten Haushalt wird, sektorübergreifend, von einer steigenden Durchdringung von elektrisch betriebenen Wärmepumpen sowie Elektrofahrzeugen ausgegangen.

Nachfolgend wurden die errechneten, maximal möglichen Energieerträge aus der Windkraft und den Photovoltaikanlagen (Tabelle 8) für die Jahre 2030, 2040 und 2050, zusammengetragen. Auffällig ist hier der stetige und starke Anstieg.

Tabelle 7 : Errechneter bundesweiter Energieertrag aus Wind, für die Jahre 2030, 2040 und 2050

	2030	2040	2050
Wind onshore	252 TWh	407 TWh	564 TWh
Wind offshore	78,3 TWh	151,9 TWh	209,4 TWh
Wind gesamt	330,3 TWh	558,9 TWh	773,4 TWh

Tabelle 8 : Errechneter bundesweiter Energieertrag aus PV-Anlagen, für die Jahre 2030, 2040 und 2050

	2030	2040	2050
PV-Dachflächenanlagen	138,5 TWh	217,1 TWh	265,6 TWh
PV-Freiflächenanlagen	52,3 TWh	107,3 TWh	153,3 TWh
PV gesamt	190,8 TWh	324,4 TWh	418,9 TWh

Tabelle 9: Errechneter kumulierter bundesweiter Energieertrag aus Wind und PV, für die Jahre 2030, 2040 und 2050

	2030	2040	2050
Wind gesamt	330,3 TWh	558,9 TWh	773,4 TWh
PV gesamt	190,8 TWh	324,4 TWh	418,9 TWh
Wind + PV gesamt	521,1 TWh	883,3 TWh	1.192,3 TWh

(Quelle: Die Tabellen wurden anhand der Daten aus den Quellen erstellt.[21])

Die nachfolgende Abbildung 4-5 zeigt die bundesweite Stromerzeugung im Jahre 2019. Aufgrund der Corona-Krise ab dem Jahr 2020 wurde das Jahr 2019 zur Grundlage der Datenerhebung genutzt. Eine Gegenüberstellung dieser Energiedaten aus dem Jahr 2019 zu der voraussichtlichen erneuerbaren Energieerzeugung im Jahr 2030 zeigt deutlich, dass im Jahr 2030 mehr erneuerbarer Strom produziert werden soll, als im Jahr 2019 an Strom insgesamt produziert wurde. Aufgrund der Dekarbonisierung der Sektoren Wärme und Mobilität wird sich die Nutzung von Strom in den nächsten Jahren erhöhen.

[21] Bundesverband Erneuerbarer Energien & Bundesregierung

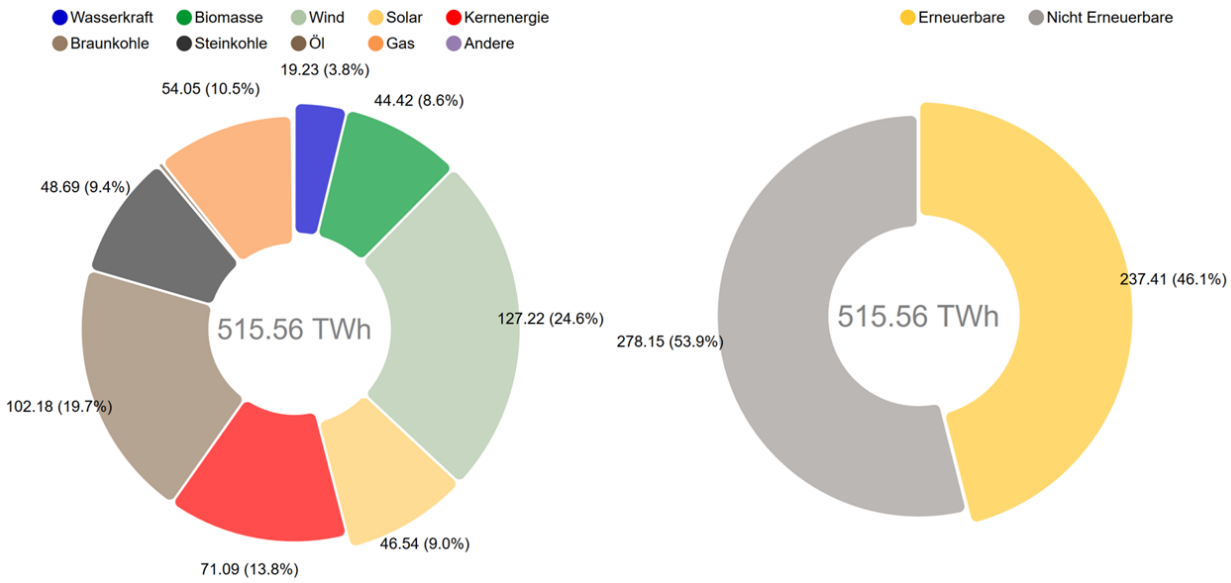


Abbildung 4-5: bundesweite Stromerzeugung (Quelle: www.Agora-Energiewende.de)

4.1.4 Fernwärmeausbau & Dekarbonisierung

Die Fernwärme in Karlsruhe besitzt durch die Nutzung von Abwärme schon geringe CO_2-Emissionswerte: Stand 2019: 81g/kWh, Stand 2023: 78 g/kWh. Zu einer weiteren Reduzierung der CO_2-Emissionen bestehen Pläne der Stadtwerke und der EnBW hinsichtlich z. B.

- Bau von Großwärmepumpen (z. B. MiRO, Hafen) und Pufferspeichern zur Glättung der Mittel- und Spitzenlasterzeugung
- Neue KWK-Anlagen, H_2-ready, falls das RDK als Mittel- und Spitzenlasterzeuger wegfällt
- Umstellung der Spitzenlasterzeuger auf grünes Gas oder Wasserstoff
- Umstellung des RDK nach frühzeitigem Kohleausstieg 2028 auf Wasserstoff (abhängig von Entscheidungen bei EnBW)

Zusätzlich sind aus gutachterlicher Sicht folgende Maßnahmen geeignet:

- Einbindung von Wärme aus Tiefengeothermie (min. 40 MW, ab 2030 denkbar und mit den vorhandenen Grundlastwärmequellen kombinierbar)

Damit sollen die spezifischen CO_2-Emissionen der Fernwärme im Jahr 2040 auf annähernd Null sinken. Der Einfachheit halber gehen das Szenario und die Berechnung von einem linearen Absinken der spezifischen CO_2-Emissionen von 2019 bis 2040 aus.

In der folgenden Abbildung ist die Entwicklung dargestellt.

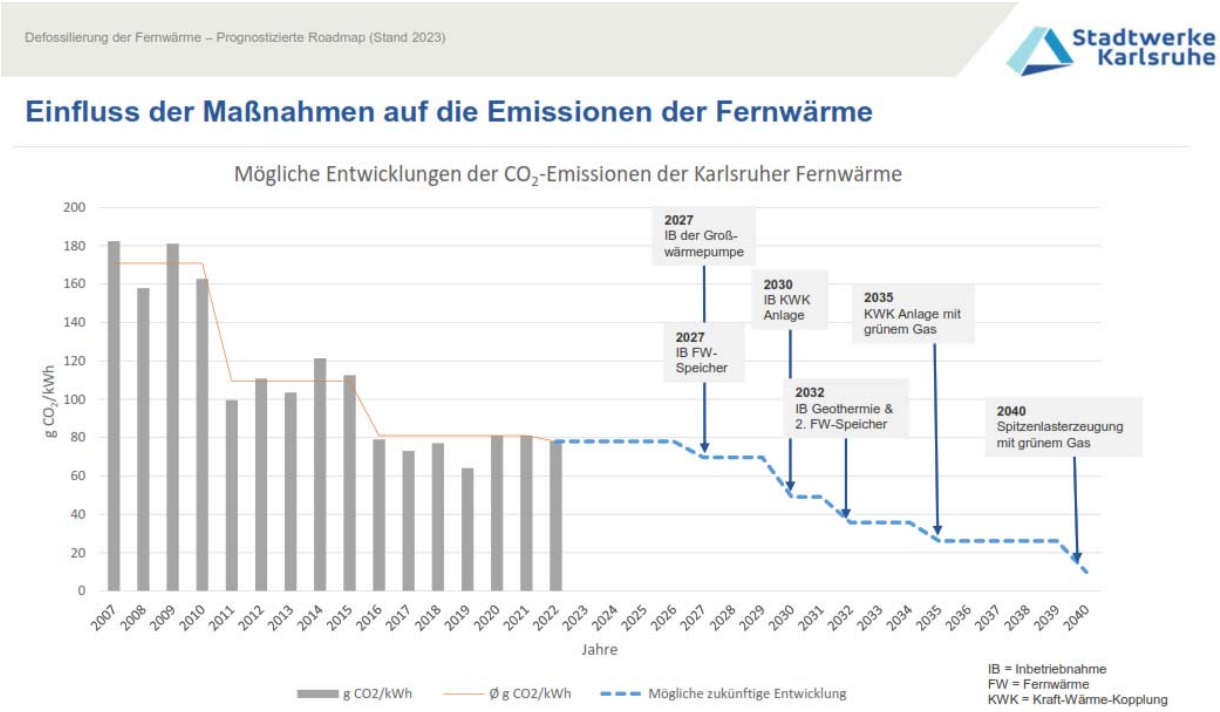


Abbildung 4-6: Mögliche Entwicklungen der CO_2-Emissionen der Karlsruher Fernwärme (Quelle: Stadtwerke Karlsruhe GmbH)

Im Zuge dessen soll in zentralen Lagen der Stadt auch eine weitere Anschlussverdichtung entlang bestehender Trassenverläufe stattfinden. An einigen Stellen soll das Fernwärmenetz auch durch den Neubau von Trassen erweitert werden. Allerdings sind die Erweiterungsmöglichkeiten des Bestandsnetzes sowohl durch Nachverdichtung als auch durch den Bau neuer Trassen nicht unendlich.

Sowohl die bereits vorhandenen Leitungskapazitäten als auch zu geringe Straßenquerschnitte und bereits belegter Untergrund mit Bestandsleitungen behindern den Ausbau. Der Ausbau des Fernwärmenetzes muss daher unter Berücksichtigung des Fortschritts der energetischen Sanierungen vorangetrieben werden. Zum aktuellen Zeitpunkt kann von den Stadtwerken Karlsruhe aber noch keine konkrete Aussage über die zukünftige Ausbauplanung gemacht werden und entsprechend noch nicht darüber informiert werden, wo neue Wärmetrassen zur Verfügung stehen werden. Insofern muss der Ausbau des Fernwärmenetzes detailliert geprüft werden und unter Umständen für anschlusswillige Kund*innen Sonderlösungen gefunden werden.

4.1.5 Analyse der Entwicklung des Strombedarfs vor dem Hintergrund eines steigenden Strombedarfs im Handlungsfeld Mobilität

Der vermehrte Einsatz von Elektromobilität wirkt sich ebenfalls auf die Entwicklung des Strombedarfs aus. Dieser erhöhte Strombedarf ergibt sich auf Basis folgender Daten und Annahmen:

- Fahrleistung je PKW: 20.000 km/Jahr [22]
- Fahrleistung je PKW: 54,8 km/Tag
- Durchschnittsverbrauch: 15 kWh/100 km
- Gesamtverbrauch: 3.000 kWh/Jahr/E-PKW

Zur Ermittlung der Entwicklung des Strombedarfs in den kommenden Jahren wird der Bestand an E-PKW in Deutschland als Grundlage angenommen. Das realistische Zielszenario beschreibt, dass bis zum Jahr 2030 14 bis 15 Millionen E-Personenfahrzeuge in Deutschland zugelassen sind.[23] Der Personenfahrzeugbestand in Karlsruhe wird prozentual der Entwicklung des bundesdeutschen Trends zugrunde gelegt. Die zwei Szenarien „Pessimistisch“ und „Optimistisch“ bilden die Extrementwicklungen. Innerhalb dieses Korridors wird der Fahrzeugbestand angenommen.

Tabelle 10: Bestand E-Fahrzeuge in Karlsruhe

Bestand E-Fahrzeuge Karlsruhe	2020[24]	2025	2030	2035
Realistisch	**1.134**	**9.076**	**41.123**	**73.597**

[22] Kraftfahrt-Bundesamt (2023): Verkehr in Kilometern – Inländerfahrleistung (VK), Entwicklung der Fahrleistungen nach Fahrzeugarten seit 2016, online verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Umwelt/umwelt_node.html?yearFilter=2020, zuletzt abgerufen am 25.07.2023.

Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (2023): Nicht weniger fortbewegen, sondern anders. Online verfügbar unter: https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/nachhaltige-mobilitaet-2044132, zuletzt abgerufen am 25.07.2023

[24] Kraftfahrt-Bundesamt (2023): Datenreihe PKW-Bestand 2020, zuletzt abgerufen am 25.07.2023

Pessimistisch	1.134	8.225	23.256	41.123
Optimistisch	1.134	14.181	57.006	94.159

(Quelle: eigene Darstellung, Daten: Kraftfahrt-Bundesamt, 2023)

Basierend auf der jährlichen Fahrleistung und dem Durchschnittsverbrauch in Verbindung mit dem zu erwartenden PKW-Bestand ergibt sich folgende Verbrauchsermittlung für die E-Mobilität.

Tabelle 11: Verbrauch E-Fahrzeuge in Karlsruhe [MWh]

Verbrauch E-Fahrzeuge Karlsruhe [MWh]	2020	2025	2030	2035
Realistisch	**3.403**	**27.227**	**123.370**	**220.790**
Pessimistisch	3.403	24.674	69.768	123.370
Optimistisch	3.403	42.542	171.017	282.476

(Quelle: tilia GmbH, Daten: Kraftfahrt-Bundesamt, 2023)

Für das Jahr 2030 wurde ein Energieverbrauch in Höhe von 123.370 MWh ermittelt. Dieser Annahme ist zugrunde gelegt, dass die Entwicklung des E-PKW-Bestandes in Karlsruhe der des bundesdeutschen Trends entspricht.

4.2 Beschreibung und Vorgehen Analyse auf Quartiersebenen (Flächenhafte Darstellung der klimaneutralen Bedarfsdeckung)

Um Szenarien für eine klimaneutrale Wärmeversorgung für das gesamte Stadtgebiet zu erstellen, wurde das Stadtgebiet Karlsruhe in 120 Eignungsgebiete unterteilt. Ein Eignungsgebiet ist jeweils ein Teil des Stadtgebietes, in dem räumlich zusammenhängend ähnliche Wärmedichten und bauliche Gegebenheiten vorherrschen. Ziel ist hier, aufgrund der für den Bestand und die Zukunft ermittelten Wärmedichten und -entwicklungen, zu entscheiden, welche Art der Wärmeversorgungsinfrastruktur sich in einem Gebiet künftig am besten eignet. Diese Analysen sollen auch als Grundlage dienen, um für die weitere Umsetzung des Energieleitplans Quartiere für eine weitere intensive Energieversorgungsplanung nach den Kriterien des KfW-Programms Nr. 432 „Energetische Stadtsanierung“ zu identifizieren.

Die 120 ermittelten Eignungsgebiete wurden in einem nächsten Schritt anhand der folgenden Kriterien bewertet:

- Wärmedichte: Gebiete mit einer Wärmedichte von über 1.400 kWh/Trm/a (Trm = Trassenmeter) sind potenziell für ein Wärmenetz geeignet, bei Wärmedichten darunter wird in der Regel vorerst eine dezentrale Wärmeversorgung empfohlen
- Baujahre der Wärmeerzeugungsanlagen: Sind die Heizungsanlagen in dem Gebiet überwiegend älter als 30 Jahre, so ist dies ein Kriterium für den Aufbau eines Wärmenetzes
- Ankerkunden: Befinden sich Großverbraucher oder viele kommunale Gebäude in dem Gebiet, so bietet das eine geeignete vertriebliche Grundlage für ein Wärmenetz

- Nähe Bestandsnetz: Ein Bestandsnetz kann einfacher erweitert werden und bietet so eine gute Basis für ein Wärmenetz

Jedes der 120 Eignungsgebiete wurde nach den genannten Kriterien untersucht. Anhand der Ergebnisse wurden die Eignungsgebiete in drei Kategorien unterteilt (Eine Erläuterung zur Auswahl findet sich auf den Folgeseiten):

- Eignungsgebiet Typ I Fernwärme (Nachverdichtung und weitere Erschließung): Diese Gebiete werden als Erweiterung des Fernwärmebestandsnetzes angesehen. Ein Großteil der Gebäude ist bereits an ein Wärmenetz angeschlossen. Der Anschluss weiterer Gebäude in diesem Gebiet und die Erschließung weiterer Areale müssen geprüft werden.
- Eignungsgebiet Typ II Nahwärme (Anschluss / Aufbau eines Nahwärmenetzes): Hier wird nach heutigem Informationsstand empfohlen, den Aufbau eines Nahwärmenetzes in den nächsten Jahren voranzutreiben.
- Eignungsgebiet Typ III Einzelheizung (in der Regel Wärmepumpenlösungen): Hier wird empfohlen, dass die Gebäude mit dezentralen Wärmeerzeugungsanlagen versorgt werden. Je nach Entwicklung des Gebiets und Interesse von Abnehmern, kann es aber auch hier zum Aufbau von Wärmenetzen kommen.

In den ausgewiesenen Eignungsgebieten kann nicht mit einer vollständigen und flächendeckenden Versorgung mit einer bestimmten Art der klimaneutralen Wärmeversorgung gerechnet werden. Zur weiteren Umsetzung wird empfohlen, insbesondere in den Typ I und II-Gebieten weiterführende Untersuchungen durchzuführen, wie z. B. Machbarkeitsstudien, die mit der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) gefördert werden.

Folgende Abbildung 4-7 zeigt die räumliche Übersicht der Eignungsgebiete. Dabei sind

- 30 Gebiete Eignungsgebiete für den Typ I Fernwärme,
- 16 Gebiete Eignungsgebiete für den Typ II Nahwärme sowie
- 74 Gebiete Eignungsgebiete für den Typ III Einzelheizung.

Zur Ermittlung der Eignungsgebiete wurde folgendes Vorgehen angewendet:

- Gebiete mit einheitlichen Energieträgern, z. B. mit einem hohen Anteil des Energieträgers Öl,
- Gebiete mit einheitlichen Baujahren, z. B. Bebauung, die nicht älter als 1991 ist (aufgrund der damals einsetzenden Pflicht zur Wärmedämmung weisen diese Gebäude geringere Transmissionswärmeverluste auf und können mit geringeren Vorlauftemperaturen geheizt werden, somit ist der Einsatz von Wärmepumpen möglich oder der Aufbau von kalten Nahwärmenetzen. Diese beziehen die Wärme häufig aus Erdsondenbohrungen und weisen durch

das niedrigere Temperaturniveau weniger Leitungsverluste auf als herkömmliche Wärmenetze.[25])

- Betrachtung von Gebieten mit einheitlicher Wärmedichte,
- Für den Fall, dass eine Erweiterung der vorhandenen Fernwärmeversorgung auf Kapazitätsgrenzen beim Wärmetransport stößt, wurde in der Karlsruher Innenstadt in Betracht gezogen, möglichst die Rücklauftemperatur der Fernwärme zu nutzen, um jeweils kalte Nahwärmenetze bzw. Niedertemperaturnetze zu entwickeln. Die technische Lösung der Wärmeversorgung, z. B. Anbindung an den Rücklauf mit Spitzeneinspeisung aus dem Vorlauf, zentrale Wärmepumpe für das Sekundärnetz, dezentrale Wärmepumpen in jedem Gebäude, etc. ist in Abhängigkeit der jeweiligen Randbedingungen auszuwählen.

[25] Energieagentur Rheinland-Pfalz GmbH (Hrsg.), 2021: Leitfaden Kalte Nahwärme – Ein Zukunftskonzept der kommunalen Energieversorgung. Online verfügbar unter: https://www.energieagentur.rlp.de/fileadmin/user_upload/Waermewende/Leitfaden_Kalte_Nahwaerme.pdf, zuletzt abgerufen am 25.07.2023.

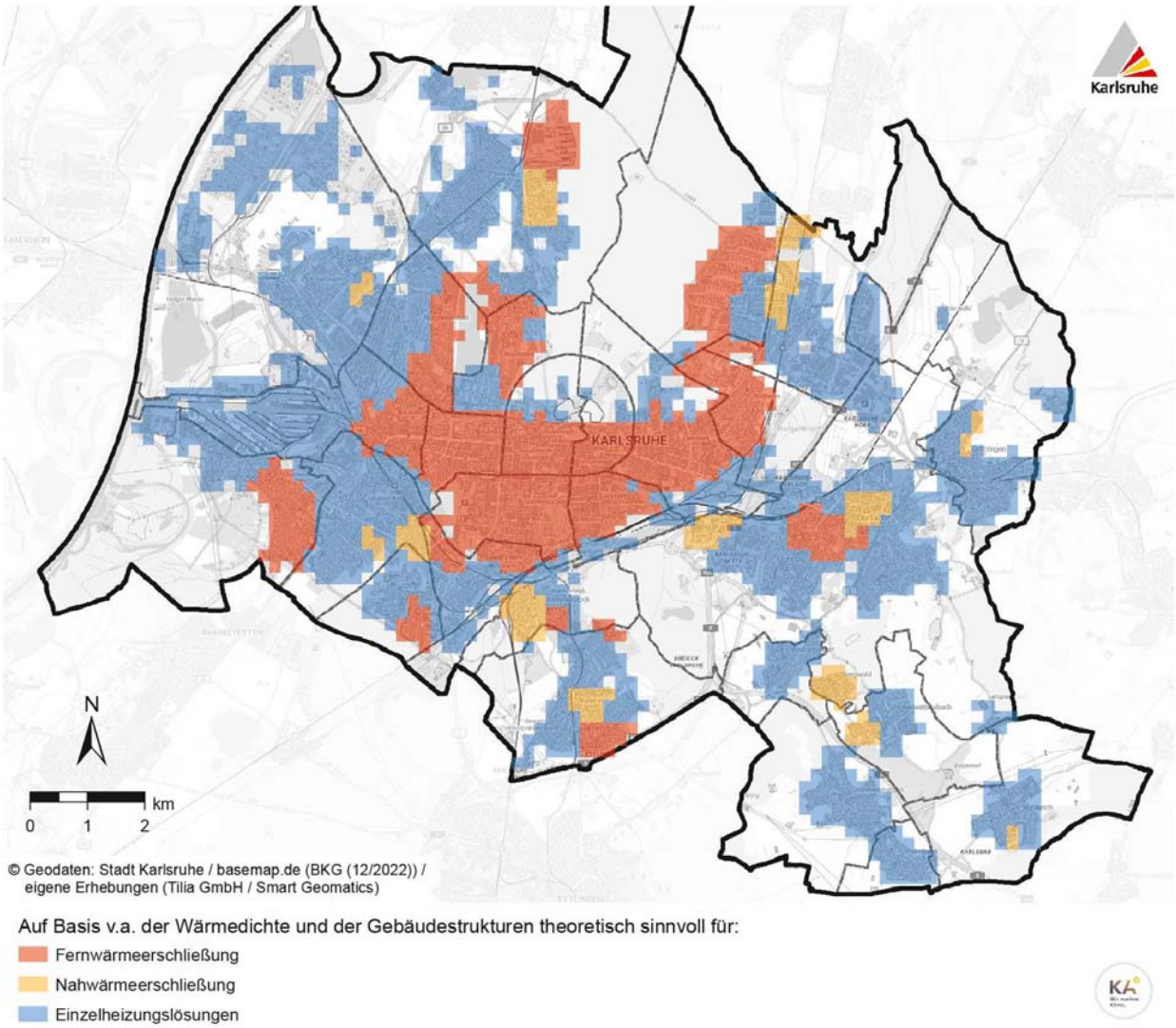


Abbildung 4-7: Eignungsgebiete der Stadt Karlsruhe (Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: eigene Berechnung)

4.2.1 Eignungsgebiet Typ I Fernwärme

Karlsruhe hat ein weit ausgebautes Fernwärmenetz (vgl. Abbildung 4-8), welches bereits heute einen niedrigen CO_2-Anteil von 81 kg/MWh (Stand 2019) aufweist. Die Strategie der Stadtwerke zur Dekarbonisierung führt in Zukunft zu weiter sinkenden spezifischen CO_2-Emissionen, im Jahr 2040 auf annähernd Null. Es wird vorgeschlagen, die rot markierten Gebiete in Abbildung 4-7 bevorzugt für den Ausbau bzw. die Ergänzung des städtischen Fernwärmenetzes zu betrachten. Dabei sind mögliche Restriktionen aufgrund vorhandener Fernwärmekapazitäten, örtlichen Randbedingungen, Wirtschaftlichkeit etc. zu klären.

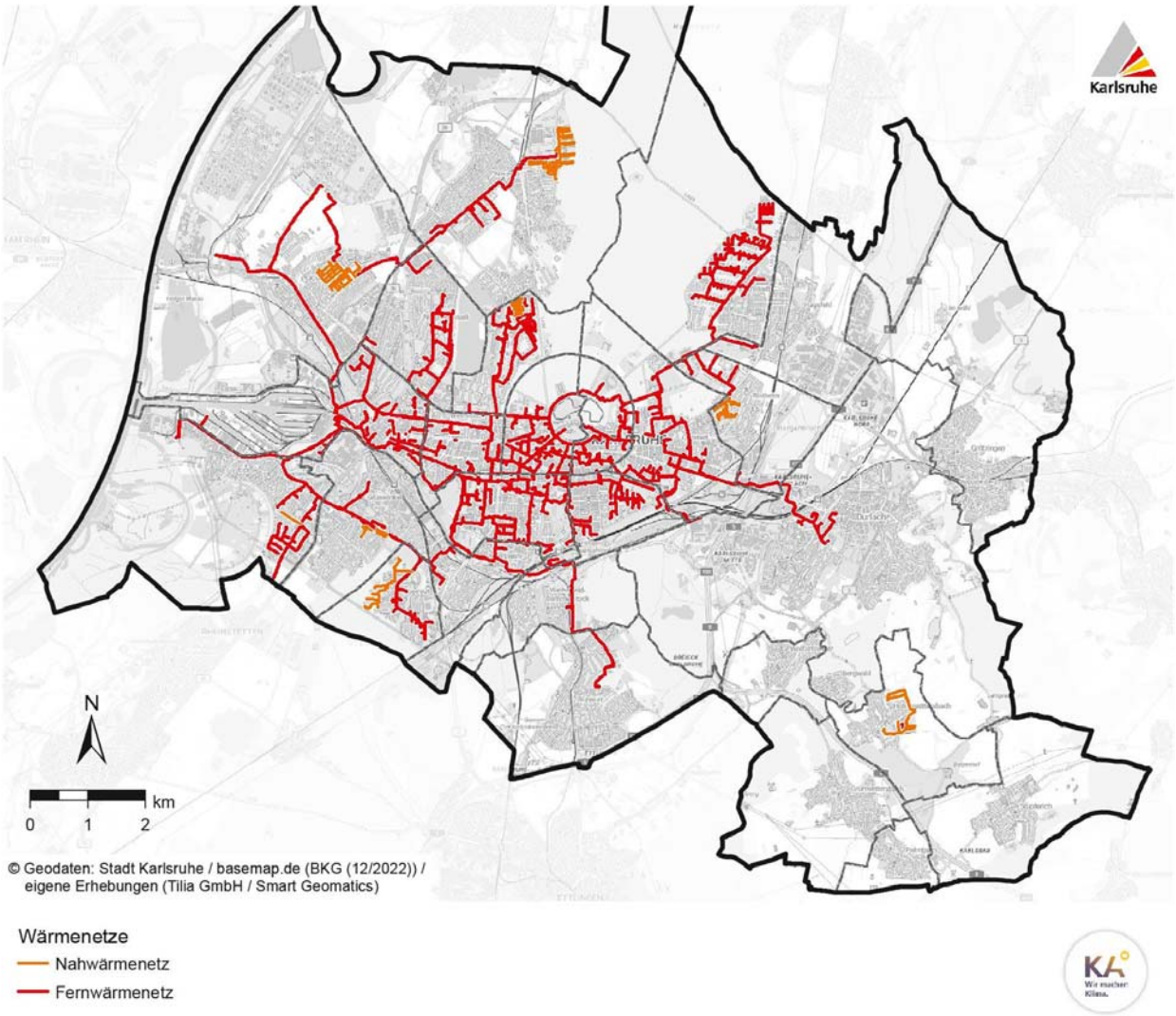


Abbildung 4-8: heutiges Fernwärmeleitungsnetz Karlsruhe (2023) (Quelle: Stadtwerke Karlsruhe GmbH)

4.2.2 Eignungsgebiete Typ II Wärmenetze

Abbildung 4-9 zeigt die näher betrachteten Eignungsgebiete für Wärmenetze im Stadtgebiet. Dies sind in der Regel Gebiete, die weiter entfernt von freien Kapazitäten des Fernwärmenetzes liegen und deshalb nicht mit Fernwärme erschlossen werden können.

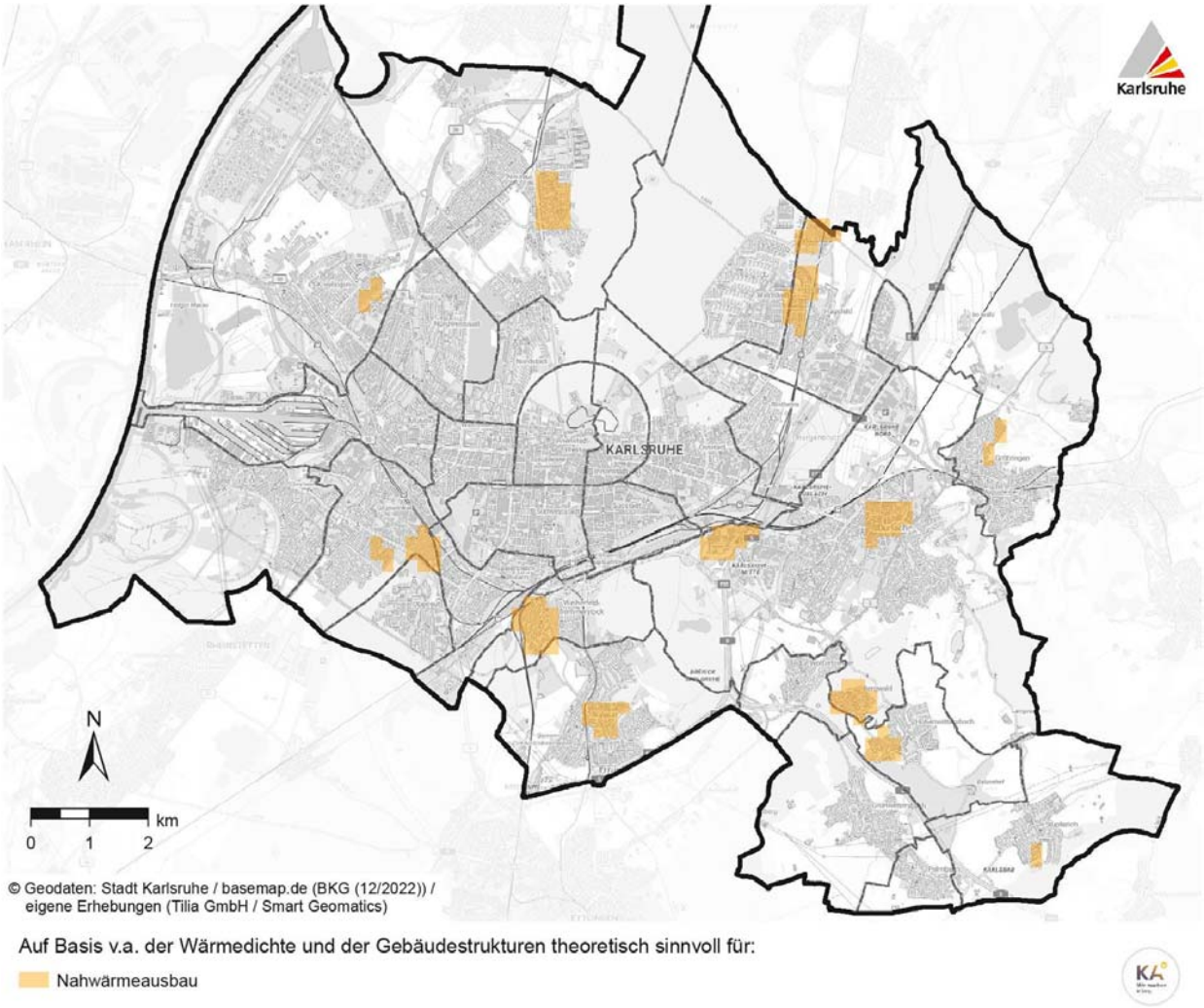


Abbildung 4-9: Eignungsgebiete Nahwärmenetze - Stadtgebiet Karlsruhe

(Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: eigene Berechnung)

4.2.3 Eignungsgebiet Typ III Einzelheizung

Die identifizierten Potenziale zur dezentralen Versorgung von Gebäuden werden ebenfalls aufbereitet und explizit ausgewiesen. Auch hier werden Eignungsgebiete für die Versorgung verschiedener erneuerbaren Energien ermittelt und grafisch aufbereitet. Als Grundlage für die Ermittlung der geeigneten dezentralen Wärme- und Kälteversorgung werden, analog zu der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Wärmenetze, die Wärmepreise von dezentralen Versorgungsoptionen anhand von Investitions- und Verbrauchskosten der Wärmeversorgungsoptionen berechnet und miteinander verglichen. Aufgrund der Diskussionen zum Einsatz von Biomasse und der

Anrechnung zur Reduzierung von CO_2-Emissionen wird in den Einzelheizungsgebieten nicht mit Biomasseheizungen gerechnet.

4.2.4 Herausforderungen beim Wärmenetzausbau

Erfahrungsgemäß erfolgt der Ausbau der Fernwärmenetze in größeren Städten meist erst dann, wenn aus früheren Zeiten bereits Leitungen im Straßenraum verlegt sind, z. B. Wasser, Abwasser, Strom, Telekommunikation, Erdgas etc. Der Einbau von Fernwärmeleitungen in diesen Straßen, insbesondere wenn die Straßenbreite schmal ist und/oder Rücksicht auf vorhandenen Baumbestand genommen werden muss, ist dann oft eine besondere Herausforderung bzw. wird im ersten Ansatz als “unmöglich” bezeichnet.

Die Verlegung von Fernwärmeleitungen ist dennoch möglich, wenn sie von allen Beteiligten, insbesondere von der Kommune, unterstützt wird.

Dabei hat es sich bewährt, dass alle Beteiligten in einem kontinuierlichen Austausch sind. Dabei sollten neben den Stadtwerken als kommunalem Fernwärmenetzbetreiber, auch die beteiligten städtischen Ämter (u. a. aus den Bereichen Tiefbau, Straßenbau, Wasser, Abwasser, Stadtplanung, Gartenbau) und externe Betreiber anderer Leitungen (z. B. Telekom) einbezogen werden. Eine Positionierung der Stadt Karlsruhe würde helfen, um der Fernwärme im Vergleich zu konkurrierenden, kommunalen Zielsetzungen eine höhere Priorität einzuräumen. Bei frühzeitiger Abstimmung unter den Beteiligten können Baumaßnahmen mit einem Fernwärmeausbau kombiniert werden, was zu Kosteneinsparungen und Erleichterungen bei der Trassenplanung führt.

Aufbauend auf dem ELP könnte ein Konzept für den koordinierten Fernwärmeausbau im öffentlichen Raum erstellt werden. Dabei würde die Entwicklung eines strategischen Bauprogramms durch das Tiefbauamt eine zentrale Rolle spielen, um das Mitverlegen von Wärmeleitungen als Planungskriterien zu berücksichtigen. Eine besonders geeignete Vorgehensweise ist der koordinierte Ausbau und Anschluss ganzer Straßenzüge bzw. -abschnitte während der Sommermonate, der auf Straßenzugebene als eine zusammenhängende, koordinierte Tiefbaumaßnahme durchgeführt wird. Diese Vorgehensweise verspricht sowohl für die ausführenden Parteien (Stadtwerke, Tiefbauamt, etc.) als auch für die Karlsruher Bürger*innen die kostengünstigste und mit minimalen Einschränkungen verbundene Lösung.

Bei speziellen Fernwärmebaumaßnahmen hat es sich ebenfalls bewährt, diese mit allen Beteiligten möglichst frühzeitig abzustimmen. Wenn dann dennoch Schwierigkeiten bei der Trassenplanung auftauchen, ist es hilfreich, wenn alle Beteiligten die ihnen gegebenen Ermessensspielräume voll ausschöpfen. Auch das Umverlegen vorhandener Leitungen oder das Reduzieren von Abstandsvorgaben sollten in gemeinsamen Gesprächen mit allen Akteuren diskutiert werden. Auch hier kommt u. U. der Stadt eine Schlüsselrolle zu.

Weitere Hindernisse liegen bei der Erschließung von Wärmenetzen im privaten Raum. Mit dem Ausbau einer Wärmeinfrastruktur durch Dritte (z. B. mit genossenschaftlicher Struktur) könnte dieser Prozess deutlich vereinfacht und beschleunigt werden. Zudem wäre eine Erschließung von Arealen möglich, welche durch die Stadtwerke nicht wirtschaftlich oder aufgrund von Kapazitätsengpässen zu realisieren sind.

Hilfreich ist es auch, wenn die Akzeptanz eines Fernwärmeausbaus im jeweiligen Quartier durch vorgeschaltete Informations- oder Werbemaßnahmen erhöht werden kann. Diese Kampagnen müssen

nicht zwingend durch die Stadtwerke selbst, sondern können auch durch geeignete andere, z. B. städtische Bereiche oder die Energieagentur übernommen werden. Dadurch wird erreicht, dass bereits im Vorfeld der Baumaßnahme eine große Zahl von Fernwärmekund*innen gewonnen werden kann, die dann in einem Zug angeschlossen werden.

Wenn größere technische Anforderungen dennoch dazu führen, dass zusätzliche Kosten entstehen, die nicht im Budget der Fernwärmeversorgung untergebracht werden können, besteht die Möglichkeit, zusätzliche Mittel über Förderung (Stadt, Land, Bund etc.) einzuwerben. Zudem können Sekundärnetze mit einer anderen Preisgestaltung als im übrigen Fernwärmenetz gebildet werden.

4.2.5 Analyse und Beschreibung der Entwicklung der Gasversorgung für 2030 und 2040

All diese Maßnahmen haben erhebliche Auswirkungen auf die Bedeutung der bestehenden Erdgasnetzstrukturen, die durch den Ausbau der erneuerbaren Wärmeerzeugung an Bedeutung verlieren. Dennoch werden Gasnetze in Zukunft einen nützlichen Zweck erfüllen können, wenn auch nicht mehr zur dominanten Versorgung von Kleinverbraucher*innen. Hier liegt der Fokus eher auf der Versorgung von KWK-Anlagen, Brennstoffzellen und größeren Industriebetrieben mit energetisch aufwendigen Prozessen und hohen Prozesstemperaturen.

Unter dem Eindruck der zunehmenden Abgabenbelastung von Erdgasverbräuchen (Stichwort CO_2-Abgabe) und der Ziele der Klimaneutralität im Jahr 2040, erscheint das bestehende Erdgasnetz einem starken Wandel unterworfen. Bis zum Jahr 2026 existiert ein Preiskorridor zur CO_2-Abgabe, der dann bei etwa 60 €/t CO_2 liegen soll. Bei einem CO_2-Gehalt von 202 g/kWh Erdgas bedeutet dies einen Preisaufschlag von etwa 1,2 ct/kWh (netto) bezogenes Erdgas. In Wärme umgewandelt (Wirkungsgradverluste und Berücksichtigung Faktor Heizwert) bedeutet dies einen Preisaufschlag von etwa 1,8 ct/kWh (brutto), den ein*e Endverbraucher*in für die bezogene Wärmeenergie zahlen muss.

Nach dem Jahr 2026 soll die Preisbildung anhand von CO_2-Zertifikaten stattfinden. Der Preis wird deutlich über 60 €/t CO_2 liegen. Dies führt zu sehr hohen Endkundenpreisen, die das Erdgas als Heizstoff für Raumwärme aus dem Markt bringen. Dies und die verringerte Versorgungssicherheit samt dem im Entwurf des GEG diskutierten Neuinstallationsverbots für reine Erdgasheizungen werden schon im Jahr 2030 dazu führen, dass die Nachfrage für Erdgas bei den Gebäudeeigentümer*innen stark nachlässt, insbesondere wenn der Einbau einer Wärmepumpe oder der Anschluss an ein Wärmenetz möglich sind. Biomethan und Holz werden zur Substitution von fossilem Erdgas nicht in ausreichender Menge zur Verfügung stehen.

Dies hat zur Folge, dass das Gasnetz als Versorgungsinfrastruktur für Raumwärme unattraktiv wird und es bis dahin nicht genügend klimaneutrales Methangas geben wird, das – wie Wasserstoff – aus Strom und aus Biomethan gewonnen werden müsste. Da davon ausgegangen werden muss, dass schon regional aus Strom erzeugter Wasserstoff zu Gestehungskosten von über 15 ct/kWh führt und synthetisches Erdgas noch einmal aus Wasserstoff methanisiert werden müsste und Netzentgelte, Umlagen und Investitionen sowie Wartung und Instandhaltung dazu kämen, erklärt sich der Vorteil der Wärmepumpe bzw. des Wärmenetzes zur Deckung des Raumwärmebedarfes von selbst.

Folglich wird das Erdgasnetz der Zukunft noch Abnehmer*innen dienen können, welche höhere Temperaturen (>100-140°C) benötigen, die in der Regel nicht mit einer Wärmepumpe hergestellt werden können. Dies betrifft fast ausschließlich Produktionsprozesse in Unternehmen. Hier wäre dann noch die Frage, ob Unternehmen eher zu Biomethan tendieren oder eher zu Wasserstoff, was wohl auch von Verfügbarkeiten und letztlich dem Endkundenpreis abhängt. Zudem wäre dann noch die Frage zu klären, wie die Netzentgelte für das Erdgasnetz auf immer weniger Abnehmer*innen wirken und ob das nicht das letzte K.O.-Kriterium für das Erdgasnetz im Vergleich zu Wasserstoff ist.

Es lässt sich lediglich konstatieren, dass für Wasserstoff im Vergleich zu Methan eine Veredelungsstufe weniger anfällt und dass ein Wasserstoffnetz vermutlich zielgerichteter hin zu Industriekunden bzw. (LKW-)Tankstellen errichtet werden würde – ohne dabei „Altlasten“ wie Gas-Netzentgelte zu tragen. Als Fazit ließe sich dann prognostizieren, dass nur noch wenige größere Industriebetriebe Methan brauchen werden und die meisten anderen Stränge des Erdgasnetzes und insbesondere des Verteilnetzes obsolet werden. Zur Spitzenlastabdeckung mit Methankesseln könnten Heizhäuser zukünftig auch noch am Erdgasnetz angeschlossen bleiben, falls eine Umstellung auf Wasserstoff nicht die günstigere Variante ist.

Auf die Entwicklung des Erdgasnetzes bezogen bedeutet dies, dass Investitionen abseits der Versorgungsstränge für das Großgewerbe mit Prozessenergiebedarfen auf das notwendige Minimum beschränkt werden und jetzigen Erdgaskunden frühzeitig Alternativen dazu angeboten werden sollten, um deren Energieversorgung auch in Zukunft zu gewährleisten. Die Alternativen wären in verdichteten Lagen Wärmenetze, da Flächen für den Wärmeentzug für alternativ denkbare Sole-Wasser- oder Wasser-Wasserwärmepumpen fehlen und Luftwärmepumpen in kalter Witterung zu unnötig hohen Stromverbräuchen sowie Schallemissionen führen würden. In weniger verdichteten Lagen können dezentrale Wärmepumpen sowie im Einzelfall Holzheizungen oder reine solarthermische Anlagen inklusive Saisonalspeicher Alternativen sein.

4.2.6 Ausblick Wasserstoffnutzung

Es wird prognostiziert, dass die Implementierung von Wasserstoff im Sektor Wärme in Baden-Württemberg vor 2040 nicht wahrscheinlich ist, da die Produktion und der Transport des Wasserstoffs vor der Nutzung erfolgen müssen. Unternehmen wie RWE und Equinor haben Pläne, die Produktion von Wasserstoff in den kommenden Jahren durch die Erzeugung von „blauem“ Wasserstoff aus Erdgas durch Kohlenstoff-Abspaltung zu erhöhen und zu entwickeln. Ein Beispiel hierfür ist die Erzeugung von blauem Wasserstoff in Norwegen, welcher durch eine spezielle H_2-Pipeline nach Deutschland transportiert wird. [26]

[26] RWE AG: RWE und Equinor vereinbaren strategische Partnerschaft für Versorgungssicherheit und Dekarbonisierung. Online verfügbar unter: https://www.rwe.com/presse/rwe-ag/2023-01-05-rwe-und-equinor-vereinbaren-strategische-partnerschaft/ , zuletzt abgerufen am 25.07.2023.

Der abgespaltene Kohlenstoff wird durch CCS-System (Carbon Capture and Storage System) in Bodenschichten gespeichert. Parallel dazu wird ein H_2-Pipeline-Netz in Deutschland aufgebaut, das den Knotenpunkt in der Nordsee anbinden wird. Grüner Wasserstoff, der durch Elektrolyse mit Strom aus erneuerbaren Energien in Norwegen und Deutschland produziert wird, kann dann ebenfalls durch das H_2-Pipeline-Netz transportiert werden.

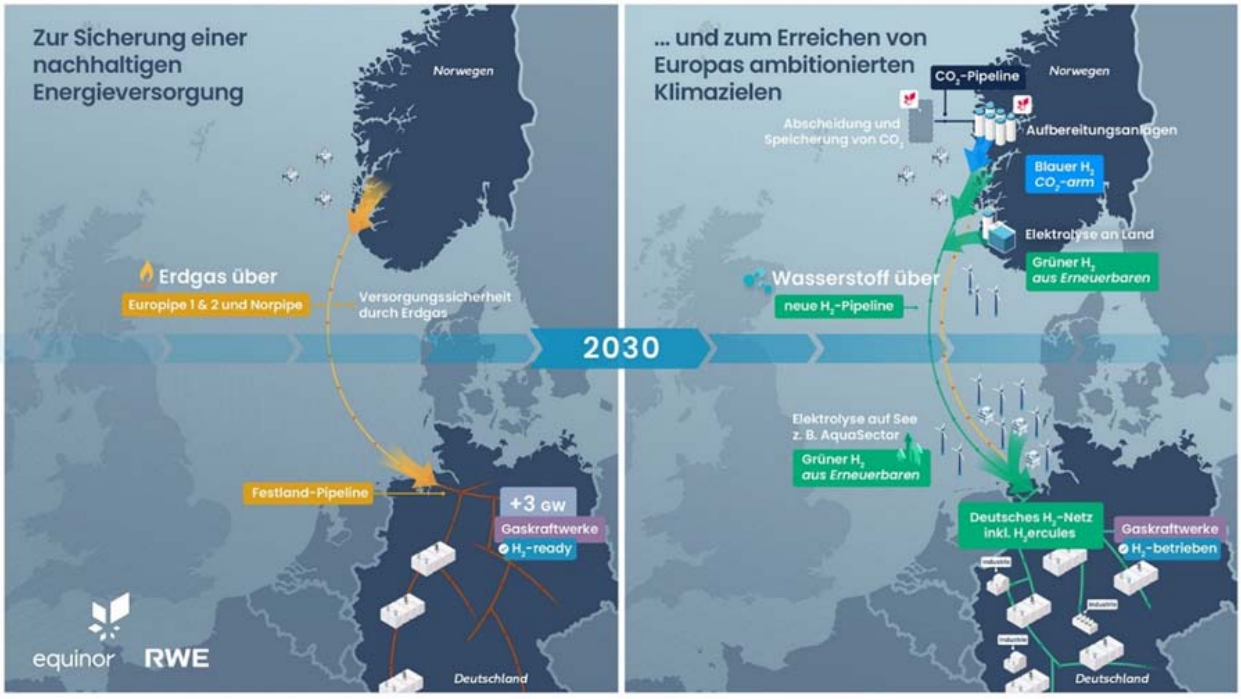


Abbildung 4-10: Wasserstoff-Importe ab 2030 [27] (Quelle: pv-magazine, 2023)

In den Jahren nach 2030 ist geplant, dass eine Pipeline Wasserstoff liefern wird, um Gaskraftwerke und bestimmte Industriezweige zu versorgen und damit eine klimaneutrale Unabhängigkeit von Gas zu erreichen. Durch die Verwendung von Wasserstoff in Gaskraftwerken kann die schwankende Energieerzeugung von erneuerbaren Energien stabilisiert werden. Diese Kraftwerke werden zunächst mit Wasserstoff versorgt, um das Stromnetz stabil zu halten und anschließend die Versorgung der gasabhängigen Schwerindustrie sicherzustellen.

Eine Beimischung von Wasserstoff in das bestehende Erdgasnetz ab 2035 wäre denkbar, um die CO_2-Emissionen im Gasverbrauch zu verringern. Aufgrund technologischer Einschränkungen ist jedoch ein maximaler Wasserstoffanteil von 23 % möglich. Systeme würden dann sukzessive von G20 auf G222 Gas angepasst werden. G20 ist die Bezeichnung für Methan bei einem Reinheitsgrad von mehr als 99,5 Vol. % und G222 für 77 Vol. % Methan und 23 Vol. % Wasserstoff. Die heutigen Gas-Brennwert-Heizungen werden mit dem G222 Gas getestet, wobei das G20 als Brennerprüfgas die Referenz darstellt. Der

[27] pv-magazine (2023): Habeck in Oslo: Wasserstoff-Pipeline von Norwegen nach Deutschland beschlossen. Online verfügbar unter: https://www.pv-magazine.de/2023/01/05/habeck-in-oslo-wasserstoff-pipeline-von-norwegen-nach-deutschland-beschlossen/, zuletzt abgerufen am 25.07.2023.

Brennwert von G222 liegt bei 28,53 MJ/m³ und der des G20 bei 34,02 MJ/m³. Um die gleiche Energiemenge zu erreichen müssten demnach ca. 19 % mehr Kubikmeter Gas-Volumen verbrannt werden. Insgesamt werden durch die Verbrennung von G222 8 % THG-Emissionen verhindert.

Es gibt jedoch Bedenken hinsichtlich der Langzeitstabilität der bestehenden Leitungssysteme, da Wasserstoff zumindest in Hochdrucknetzen die Mikrostrukturen von Metallrohren angreifen und Lecks entstehen lassen kann. Im Gasverteilnetz der SWKN gilt dies so nicht. Trotzdem müsste hier die Regelungslage geändert werden.

Für den Fall, dass grüner Wasserstoff für die energetische Versorgung von Wohnhäusern verwendet wird, müsste dieser zunächst über das Power-to-Gas-Verfahren hergestellt und anschließend über das H_2-Pipeline-Netz transportiert werden. In einem Elektrolyseur wird Wasser durch Zuführung von erneuerbarer Energie in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Dabei entsteht Abwärme, welche bereits genutzt werden kann. Die meisten Wohnhäuser sind nicht auf die Verbrennung von Wasserstoff eingestellt, da H_2 einen anderen Brennwert und andere Brenneigenschaften im Vergleich zu Methan hat und nur bei neuesten Geräten (H_2-ready) die Nutzung von Wasserstoff möglich ist. Daher müsste Wasserstoff im nächsten Schritt über eine Zuführung von Kohlendioxid für die meisten Heizungsanlagen zu Methan umgewandelt werden. Im Anschluss wird das Methan in die Wohnhäuser eingespeist und kann verbrannt werden. Das bei der Verbrennung freiwerdende CO_2 ist genau die Menge CO_2, welche bei der Methanisierung verwendet wurde. Dieses kann schließlich wieder zum H_2 hinzugefügt werden, um den Kreislauf zu schließen. Der Prozess ist CO_2-neutral, da das emittierte CO_2 der Menge entspricht, welche vorher gebunden wurde.

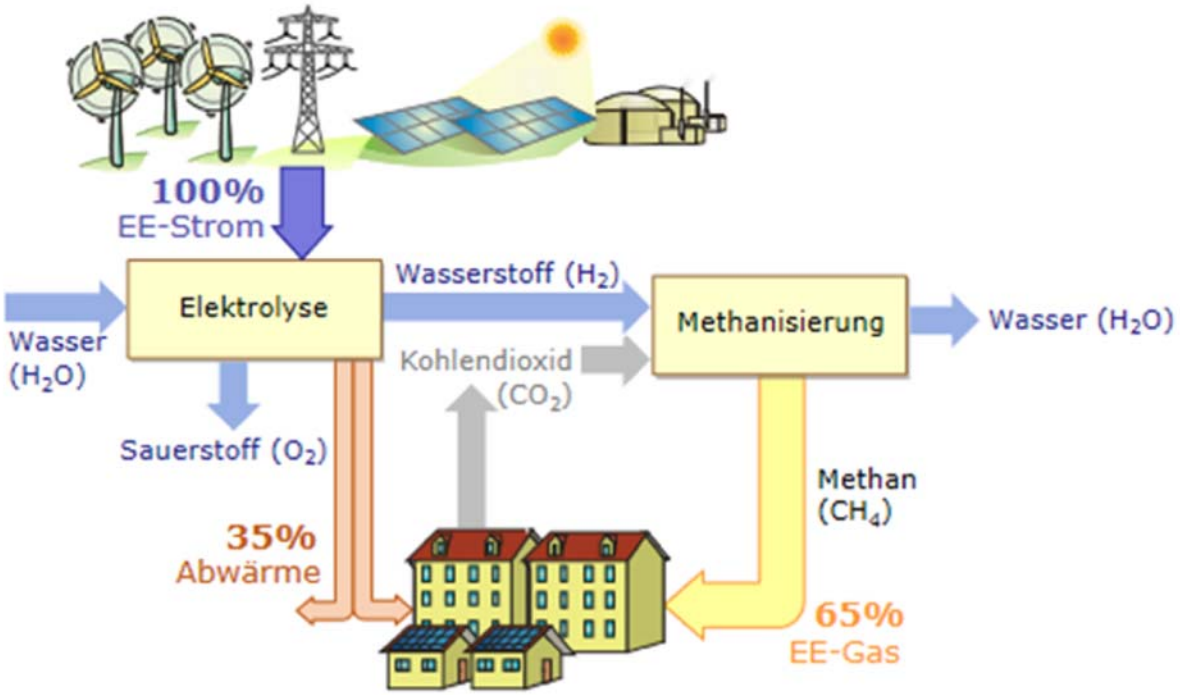


Abbildung 4-11: Prinzip der Substitution von fossilem Erdgas durch aus erneuerbarem Strom erzeugtem Methan (Power to Gas) [28] (Quelle: Prof. Quaschning, Volker, 2016)

[28] Prof. Quaschning, Volker (2016): Sektorkopplung durch die Energiewende. Online verfügbar unter: https://www.volker-quaschning.de/publis/studien/sektorkopplung/Sektorkopplungsstudie.pdf , zuletzt abgerufen am 25.07.2023.

Wird das PtG (Power to Gas) genutzt, um die Wohnhäuser mit warmem Wasser zu versorgen, so muss viel Energie dafür verwendet werden, bedeutend mehr, als würde man ausschließlich mit einer Wärmepumpe arbeiten.

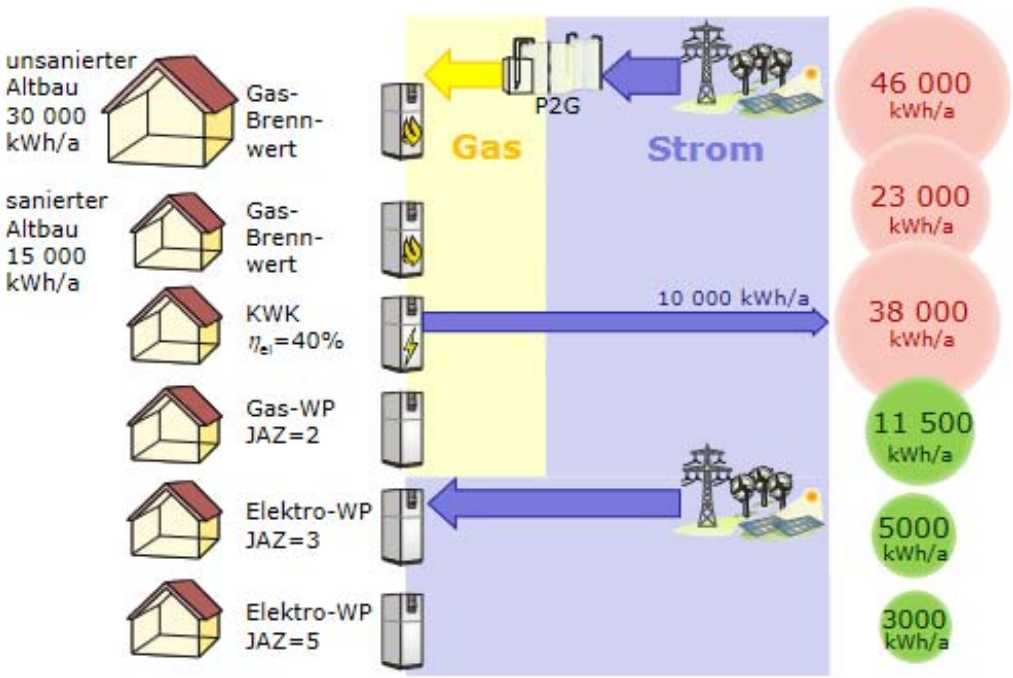


Abbildung 4-12: Effizienz und Strombedarf von strombasierten regenerativen Wärmeversorgungssystemen[29] (Quelle: Prof. Quaschning, Volker, 2016)

Betrachtet man die notwendige Energie, welche benötigt wird, ein Haus zu versorgen, so fällt auf, dass die Hälfte eingespart werden kann, wenn der unsanierte Altbau auf aktuelle Standards umgebaut wird. Ein unsanierter Altbau verbraucht ca. 212 kWh/m²a. Wenn Energiesparmaßnahmen wie Erneuerung der Heizung, Dämmung der Decke des obersten Geschosses, Fassadendämmung oder Erneuerung der Fenster umgesetzt werden, so können 143 kWh/m²a eingespart werden.[30]

Wird ein Einfamilienhaus mit Erdgas geheizt, so werden dafür ca. 23.000 kWh pro Jahr benötigt. Wenn diese Heizung mit PtG betrieben wird, so sind ca. 46.000 kWh notwendig, um es zu versorgen. Wenn die Gasheizung gegen eine Wärmepumpe ausgetauscht wird, so sinkt der Energiebedarf auf 5.000 bis 7.500 kWh pro Jahr (vgl. Abbildung 4-12)[31].

---

[29] Ebd.

[30] Stiftung Warentest (2023): Modernisierung – Welche Maßnahme bringt wie viel?, online verfügbar unter: https://www.test.de/Modernisierung-Aus-Alt-wird-Neu-1563749-1563728/, zuletzt abgerufen am 25.07.2023.

[31] Handelsblatt (2022): Heizkosten sparen – Gasheizung oder doch Wärmepumpe. Online verfügbar unter: https://www.handelsblatt.com/unternehmen/heizkosten-sparen-gasheizung-oder-doch-waermepumpe-was-lohnt-sich-mehr/28600154.html, zuletzt abgerufen am 25.07.2023.

4.3 Beschreibung Zielszenarien

Für die Entwicklung der Szenarien zur Deckung des zukünftigen Energiebedarfs mit erneuerbaren Energien zur Erreichung einer klimaneutralen Wärmeversorgung lassen sich zwei Zielszenarien beschreiben:

- Zielszenario 1: Fortsetzung der bisher bekannten Veränderungen in der bisherigen Geschwindigkeit “wie bisher”
- Zielszenario 2: erhöhte Veränderungen zum Erreichen des Klimaziels, “ambitioniert”

4.3.1 Zielszenario 1 (wie bisher)

Für das Zielszenario 1 wurden folgende Annahmen für alle Eignungsgebiete getroffen:

- Reduzierung des Wärmebedarfs um ca. 9 % durch Dämmung (Sanierung) von Bestandsbauten mit einer Sanierungsrate von 2 % pro Jahr
- Reduzierung der CO_2-Emissionen durch den Umbau von jährlich 4 % der Heizungsanlagen in Wärmepumpen
- Resultierender Anstieg des Strombedarfs durch Zubau von Wärmepumpen

Eignungsgebiete Typ I:

Hier wird angenommen, dass der geplante Ausbau und Umbau der Fernwärme entsprechend der Strategie der Stadtwerke (Erzeugungsstrategie Fernwärme vom 09.05.2022) umgesetzt wird. Dabei erhöht sich der Wärmeabsatz leicht von 870 GWh/a im Jahr 2020 auf 950 GWh/a im Jahr 2040, d. h. um rund 9,1 %, durchschnittlich rund 0,5 % pro Jahr. Unter Berücksichtigung der geplanten Dekarbonisierung der Fernwärmeversorgung würden dann die Emissionswerte linear von 81 g/kWh im Jahr 2020 auf 27g/kWh im Jahr 2040 absinken. Es ist zu beachten, dass diese Grafik vor dem Beginn des Krieges in der Ukraine erstellt wurde und somit die daraus resultierenden politischen und energiewirtschaftlichen Veränderungen noch nicht berücksichtigt sind.

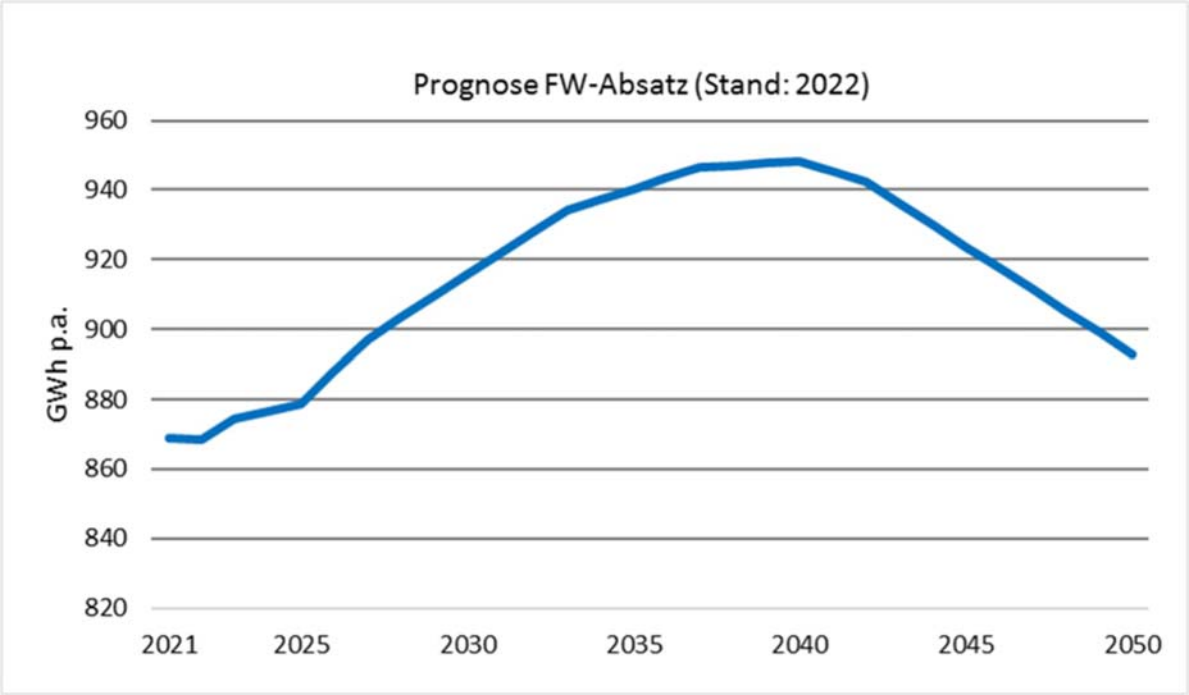


Abbildung 4-13: Stadtwerke Karlsruhe Prognose Fernwärme Absatz (Stand: 2022) (Quelle: Stadtwerke Karlsruhe GmbH)

Eignungsgebiete Typ II:

In diesen Eignungsgebieten erfolgt der Aufbau von Wärmenetzen, die entweder an das Fernwärmenetz der Stadtwerke (direkt oder als Sekundärnetz) angeschlossen werden oder eigenständige Wärmenetze bilden. Bis zum Jahr 2030 wird der Anschluss von 50 % des Wärmebedarfs an das Wärmenetz realisiert. Alle weiteren Gebäude werden noch wie aktuell beheizt. Bis zum Jahr 2040 erhöht sich die Anschlussquote auf 90 % des Wärmebedarfs im Gebiet.

Es wird zudem allerdings davon ausgegangen, dass durch die ansteigenden Preise für fossile Brennstoffe und auch die Neuregelungen des GEG die reine Wirtschaftlichkeitsfrage bei der Umsetzung solcher Netze nicht mehr so dominant erscheint, weil es neben der Wärmepumpe schlicht an alternativen Lösungen für diese Gebiete mangelt.

Eignungsgebiete Typ III:

Bereits vorhandene an Fernwärme angeschlossene Gebäude bleiben angeschlossen, die Fernwärme wird jedoch nicht weiter ausgebaut. Bisherige dezentrale Heizungsanlagen werden entsprechend den Annahmen oben saniert und gegen Wärmepumpen ausgetauscht. Dabei wurden für die Berechnungen nur eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von 3 angenommen, die eher für eine Luftwasserwärmepumpe spricht und für Gebäude mit konventionellen Heizkörpern mit einer Vorlauftemperatur von 55 °C, da ein Umbau auf Fußbodenheizungen in allen Bestandsgebäuden nicht durchsetzbar wäre. Effizientere Wärmepumpen für Geothermie, Grundwasser oder Abwasserwärme würden die Berechnung aufgrund der höheren JAZ noch verbessern. Insgesamt ergibt sich eine Substitution von fossil betriebenen Wärmeerzeugungsanlagen auf 40 % im Jahr 2040.

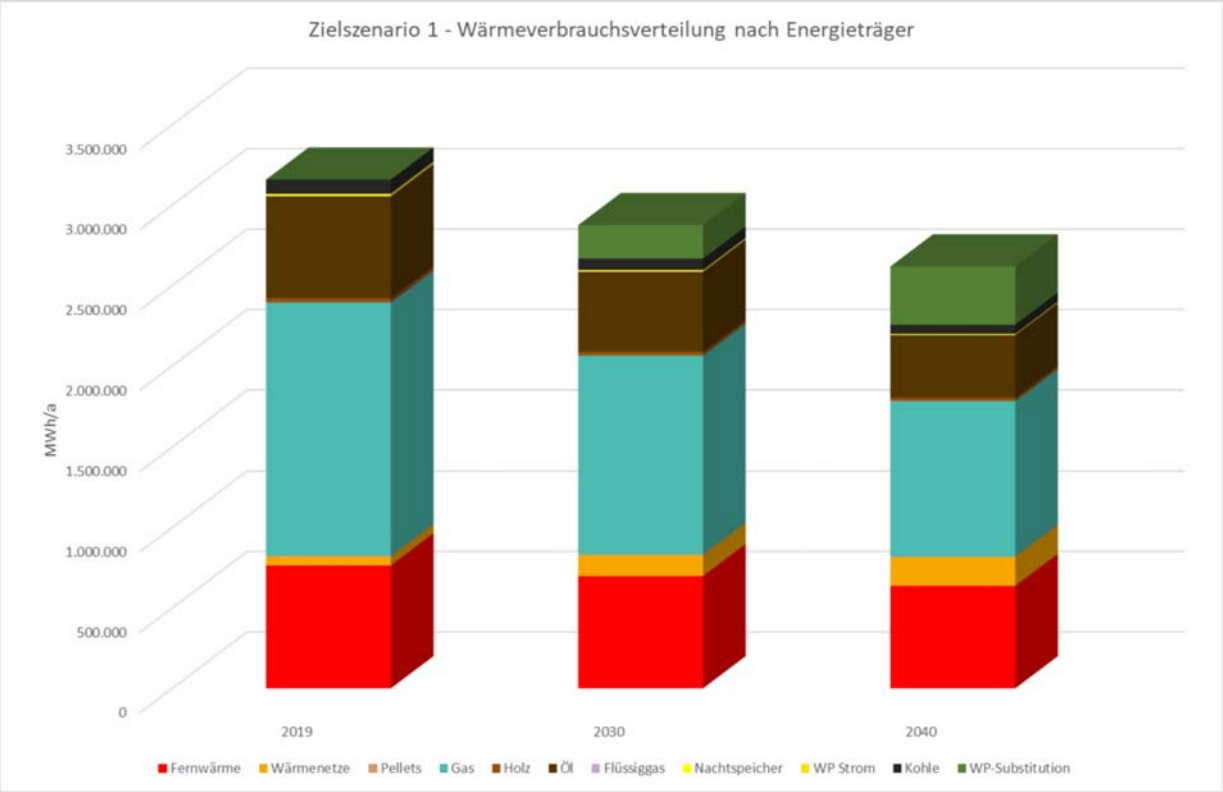


Abbildung 4-14 : Zielszenario 1 Wärmeverbrauchsverteilung (Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: eigene Berechnung)

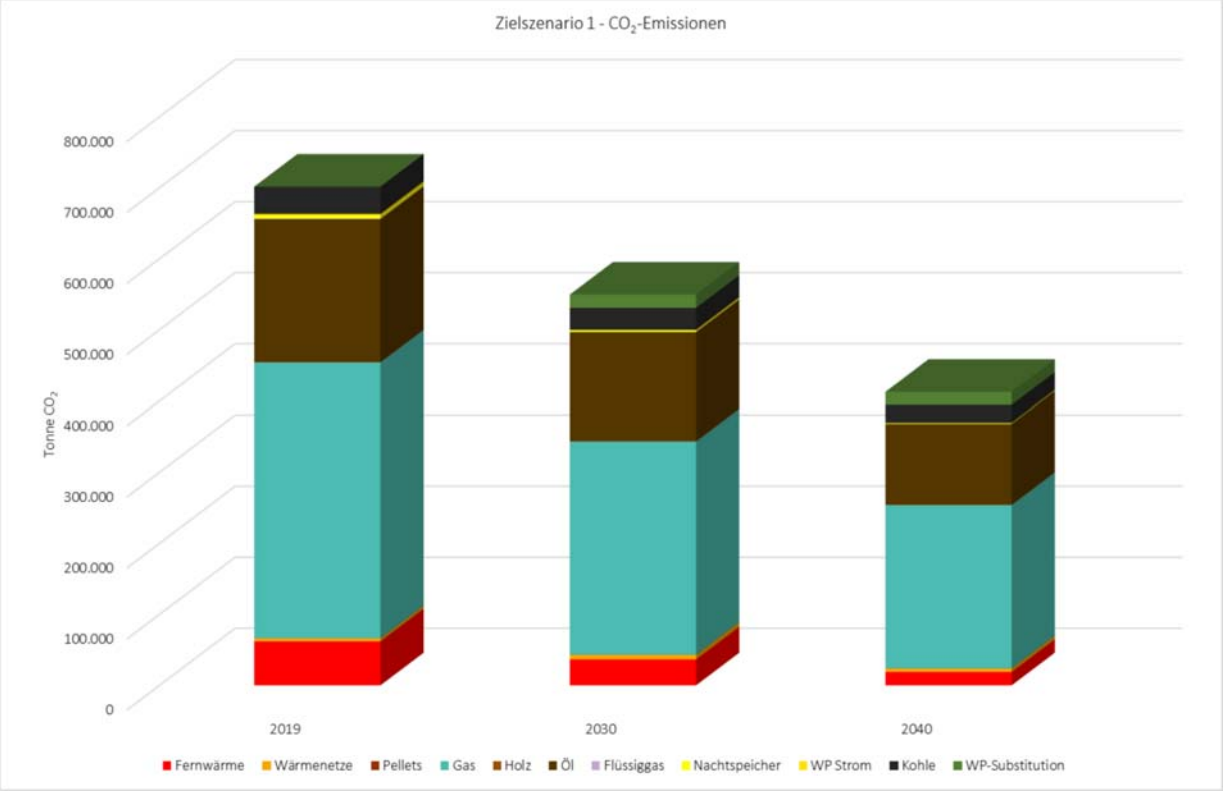


Abbildung 4-15: Zielszenario 1 CO_2-Emissionen (Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: eigene Berechnung)

Aus den Abbildungen 4-14 und 4-15 wird ersichtlich, dass ein „Weiter so“ für die Stadt Karlsruhe ein beträchtliches Verfehlen der Klimaschutzziele zur Folge hat. Die CO_2-Emissionen können mit dieser Vorgehensweise nicht einmal halbiert werden. Das Ziel des Klimaschutzgesetzes BW 2030 sowie der CO_2-Reduzierung von mindestens 90 % bis zum Jahr 2040 ist somit keinesfalls zu erreichen.

4.3.2 Zielszenario 2: Klimaneutralität bis 2040 (ambitioniert und theoretisch)

Im ambitionierten und theoretischen Zielszenario werden folgende Annahmen für alle Eignungsgebiete getroffen:

- Reduzierung des Wärmebedarfs um ca. 42 % durch Dämmung (Sanierung) von Bestandsbauten mit einer Sanierungsrate von 4,8 % pro Jahr
- Reduzierung der CO_2-Emissionen durch den Umbau von jährlich 4,8 % der Heizungsanlagen in Wärmepumpen
- Resultierender Anstieg des Strombedarfs durch Zubau von Wärmepumpen
- Ein Verbot von fossilen Energieträgern schon im Jahr 2040
  (5 Jahre vor dem im vorläufigen GEG 2023 debattierten Bundesverbot im Jahr 2045)

Eignungsgebiete Typ I:

Es wird angenommen, dass der Fernwärmeanschlussgrad auf 90 % gesteigert werden kann, die restlichen 10 % (Fernwärmeanschluss unwirtschaftlich bzw. nicht möglich) werden durch Wärmepumpen substituiert. Die Wärmeabnahme erhöht sich von 850 GWh/a im Jahr 2020 auf 1032 GWh/a im Jahr 2040, was gleichbedeutend mit einem angenommenen Anstieg um 4,3 %/a ist. Die Dekarbonisierung der Fernwärmeversorgung erfolgt gemäß des vorgegeben Entwicklungspfads der Stadtwerke Karlsruhe und beinhaltet Jahr genau die vorgegeben CO_2-Emissionswerte von 81 g/kWh in 2020 bis zum Jahr 2040 auf 27 g/kWh. Eine weitere Verringerung der CO_2-Emmissionswerte im Jahr 2040 sehen die Fachbüros Tilia und Smart Geomatics im Moment noch nicht, da selbst autarke geothermische Kraftwerke mit einem CO_2-Emmissionswert von 27 g/kWh berechnet werden.

Eignungsgebiete Typ II:

In diesen Eignungsgebieten findet ein Aufbau von Wärmenetzen statt, die entweder an das Fernwärmenetz der Stadtwerke (direkt oder als Sekundärmetz) angeschlossen werden oder eigenständige Wärmenetze bilden. Bis zum Jahr 2030 werden 50 % des Wärmebedarfs an die jeweiligen Wärmenetze angeschlossen sein. Der Rest wird von sanierten Gebäuden mit Wärmepumpe gebildet bzw. die alte Heizungsanlage ist noch erhalten. Im Jahr 2040 sind 90 % des Wärmebedarfs an das Wärmenetz angeschlossen. Nur die restlichen 10 % bestehen aus sanierten Gebäuden mit Wärmepumpe.

Ein erhöhter Ausbau der Fernwärme hat zur Folge, dass nahezu alle Gebäude in den Eignungsgebieten Typ I an das Fernwärmenetz angeschlossen werden, d. h. nahezu alle Kund*innen in diesen Eignungsgebieten, die bisher entweder Erdgas- oder Heizöl als Energieträger nutzen, werden auf Fernwärme umgestellt. Dieser ambitionierte Fernwärmausbau im Stadtgebiet wird mit Sicherheit nicht nur auf die in Kapitel 5.2.4 erwähnten Hindernisse stoßen, sondern zusätzliche Herausforderungen mit sich bringen, z. B.

- Koordination zahlreicher Baumaßnahmen im Innenstadtbereich: auch hier können die in 4.2.4. beschriebenen Kooperationen unterstützen

- Es ist zu erwarten, dass dieser Ausbau der Fernwärme an die Grenzen der Transportleistung der vorhandenen Fernwärmeleitungen stößt und eine Erweiterung dieser Kapazität, z. B. durch Verlegung von Parallelleitungen, nur mit sehr großem Aufwand realisierbar ist. In diesem Fall könnten zusätzliche, modernisierte Wohngebiete mit niedrigen Anforderungen an die Temperatur der Wärmeversorgung (Fußbodenheizung) an den Rücklauf der Fernwärme angeschlossen werden und damit zur Reduzierung der Rücklauftemperatur des Fernwärmenetzes bzw. zur Erhöhung der Transportkapazität des Fernwärmenetzes beitragen.

In diesen Fällen ist durch Einzelfallprüfungen zu untersuchen, welches technische Konzept angemessen bzw. sinnvoll ist.

Eignungsgebiete Typ III:

Bereits vorhandene an Fernwärme angeschlossene Gebäude bleiben erhalten. Die Fernwärme wird jedoch nicht weiter ausgebaut. Bisherige dezentrale Heizungsanlagen werden entsprechend den Annahmen oben saniert und gegen Wärmepumpen ausgetauscht. Dabei wurden für die Berechnungen nur eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von 3 angenommen, da die meisten sanierten Gebäude nicht über eine Fußbodenheizung verfügen und mit Konvektionsheizkörpern beheizt werden müssen. In dem Szenario sind alle Gebäude vorzeitig auf Wärmepumpe umgerüstet und es befinden sich keine Heizungen mit fossilen Energieträgern mehr im Stadtgebiet. Dieses Szenario würde das bundesweite Ziel, 2045 klimaneutral zu sein, um 5 Jahre vorziehen, was ein frühzeitiger positiver Einfluss auf den Umbau der fossilen Heizungsanlagen zur Wärmepumpe bedeuten müsste.

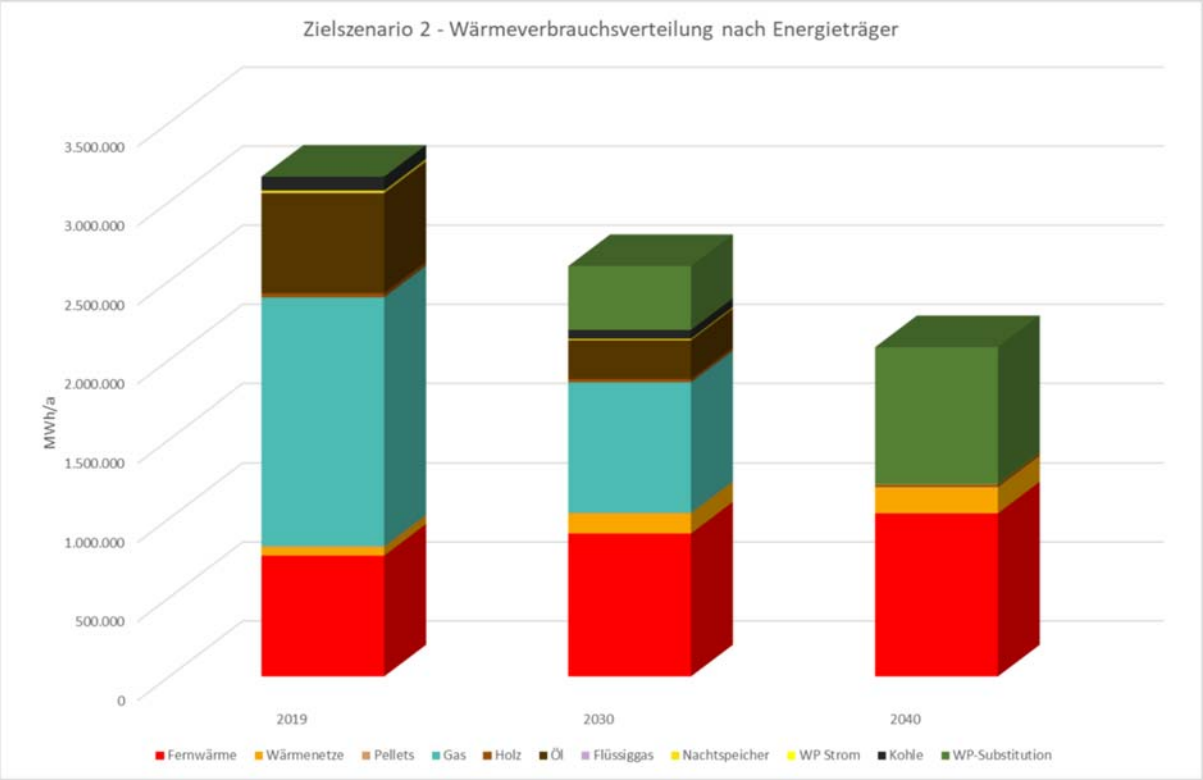


Abbildung 4-16: Zielszenario 2 Wärmeverbrauchsverteilung (Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: eigene Berechnung)

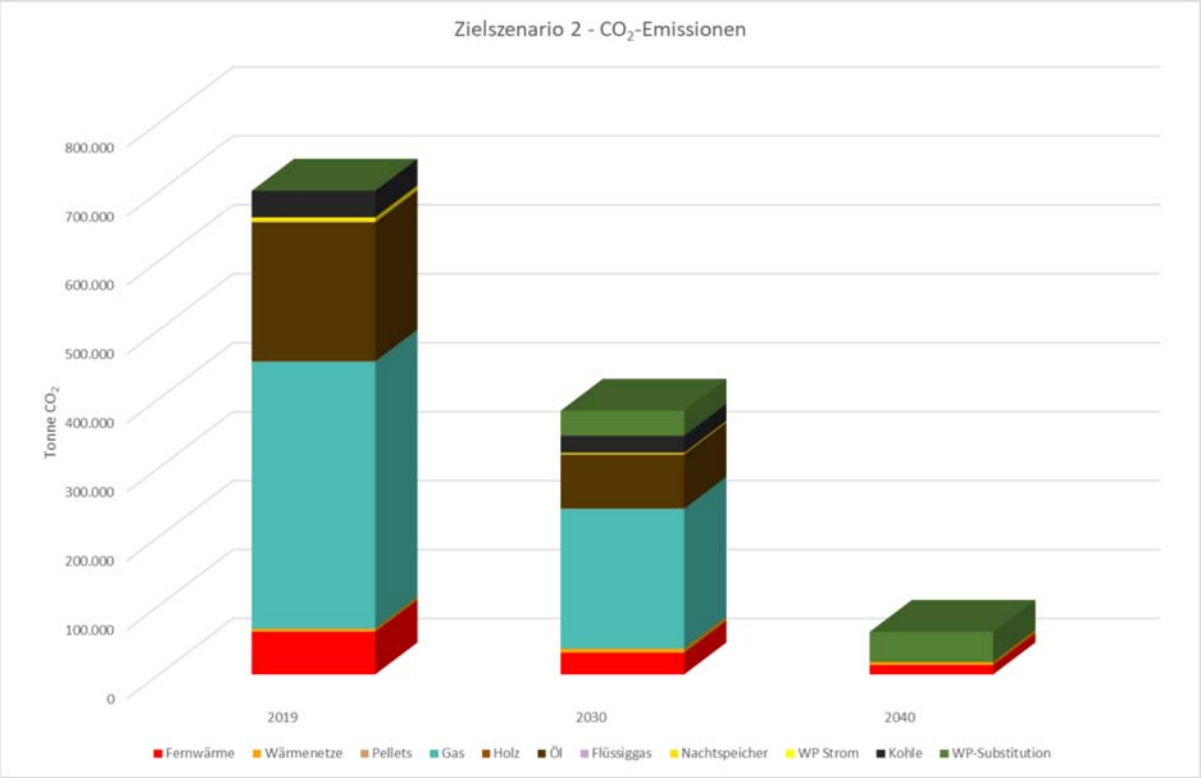


Abbildung 4-17: Zielszenario 2 CO_2-Emissionen (Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: eigene Berechnung)

Aus Abbildung 4-17 wird ersichtlich, dass im Zielszenario 2 eine Klimaneutralität für die Stadt Karlsruhe theoretisch zu erreichen ist. Da in diesem Szenario sehr optimistische Raten im Bereich der Gebäudesanierung und dem Austausch von Heizungsanlagen angenommen wurden, ist eine Erreichung des Zielszenario 2 sehr ambitioniert und nach heutigem Maßstab schwer realisierbar. Denn die Umsetzung ist von vielen Rahmenbedingungen abhängig (wie z.B. Energiepreisentwicklung, Förderbedingungen), die sich dynamisch verändern und nicht allein in der Hand der Stadt Karlsruhe liegen. Dem Kapitel 6 sind daraus abgeleitete Handlungsempfehlungen zu entnehmen.

5. Wärmewendestrategie

Die aus den Szenarien und allen anderen vorangegangenen Schritten abgeleitete Wärmewendestrategie bildet eine räumlich aufgelöste Beschreibung der dafür benötigten zukünftigen Versorgungsstruktur im Jahr 2040 mit einem Zwischenziel für 2030 ab. Dies gelingt durch die Ermittlung von Eignungsgebieten für Wärmenetze und Einzelversorgung.[32]

Die Formulierung eines Transformationspfads zur Umsetzung des kommunalen Wärmeplans, mit ausgearbeiteten Maßnahmen, Umsetzungsprioritäten und Zeitplan für die nächsten Jahre und einer Beschreibung möglicher Maßnahmen für die Erreichung der erforderlichen Energieeinsparung und den Aufbau der zukünftigen Energieversorgungsstruktur ist dafür ein gutes Mittel.[33]

[32] (KEA-BW Die Landesenergieagentur, 2020): Handlungsleitfaden Kommunale Wärmeplanung, S.11

[33] (KEA-BW Die Landesenergieagentur, 2020): Handlungsleitfaden Kommunale Wärmeplanung, S.11

Bei der Auslegung und Ausarbeitung der Maßnahmen wurden folgende Leitfragen berücksichtigt:

- In welchen Baublöcken besteht besonders hohes Potenzial für Energieverbrauchsreduktionen und welche Energiequellen und Technologien können in diesen jeweils zum Einsatz kommen?
- Gebäude, die unter Denkmalschutz stehen, sind entsprechend zu kennzeichnen und es sind auch für diesen Bereich Möglichkeiten aufzuzeigen.
- Welche Quartiere eignen sich als Schwerpunktgebiete (beispielsweise für integrierte Quartierskonzepte)? Wie könnte in diesen Quartieren vorgegangen werden, um die Bedarfs- und Versorgungsstruktur im Sinne des Klimaschutzes zu verändern?
- Die Schwerpunktgebiete aus dem Bestand werden ergänzt durch Steckbriefe zu Möglichkeiten für eine möglichst regenerative Energieversorgung im Rahmen der vorgesehenen Neubaugebiete (Darstellung analog zu den Schwerpunktgebieten im Bestand – es werden an dieser Stelle grobe Angaben zu Vernetzungsmöglichkeiten mit dem Bestand und Potenzialen für erneuerbare Energien erwartet, keine vollwertigen Energiekonzepte)

Auf Basis der Eignungsgebiete wurde ein Maßnahmenkatalog mit 16 Maßnahmen erstellt (vgl. Kapitel 5.1.1 sowie Kapitel 5.1.2). Diese Maßnahmen sollten in einem Zeitraum von ca. zehn Jahren umgesetzt werden können.

Davon wurden fünf Maßnahmen als kurzfristige Maßnahmen priorisiert und können daher bereits jetzt genauer benannt und umschrieben werden (vgl. 5.1.1 Startermaßnahmen).

5.1 Maßnahmenkatalog

5.1.1 Startermaßnahmen

Startermaßnahmen sind Maßnahmen, mit denen zeitnah, innerhalb von fünf Jahren begonnen werden kann und aufgrund ihrer Priorität zuerst angegangen werden sollten. In der folgenden Abbildung 5-1 sind die Startermaßnahmen im Stadtgebiet gekennzeichnet. Die Beschreibung der jeweiligen Maßnahmen ist auf den Folgeseiten dargestellt.

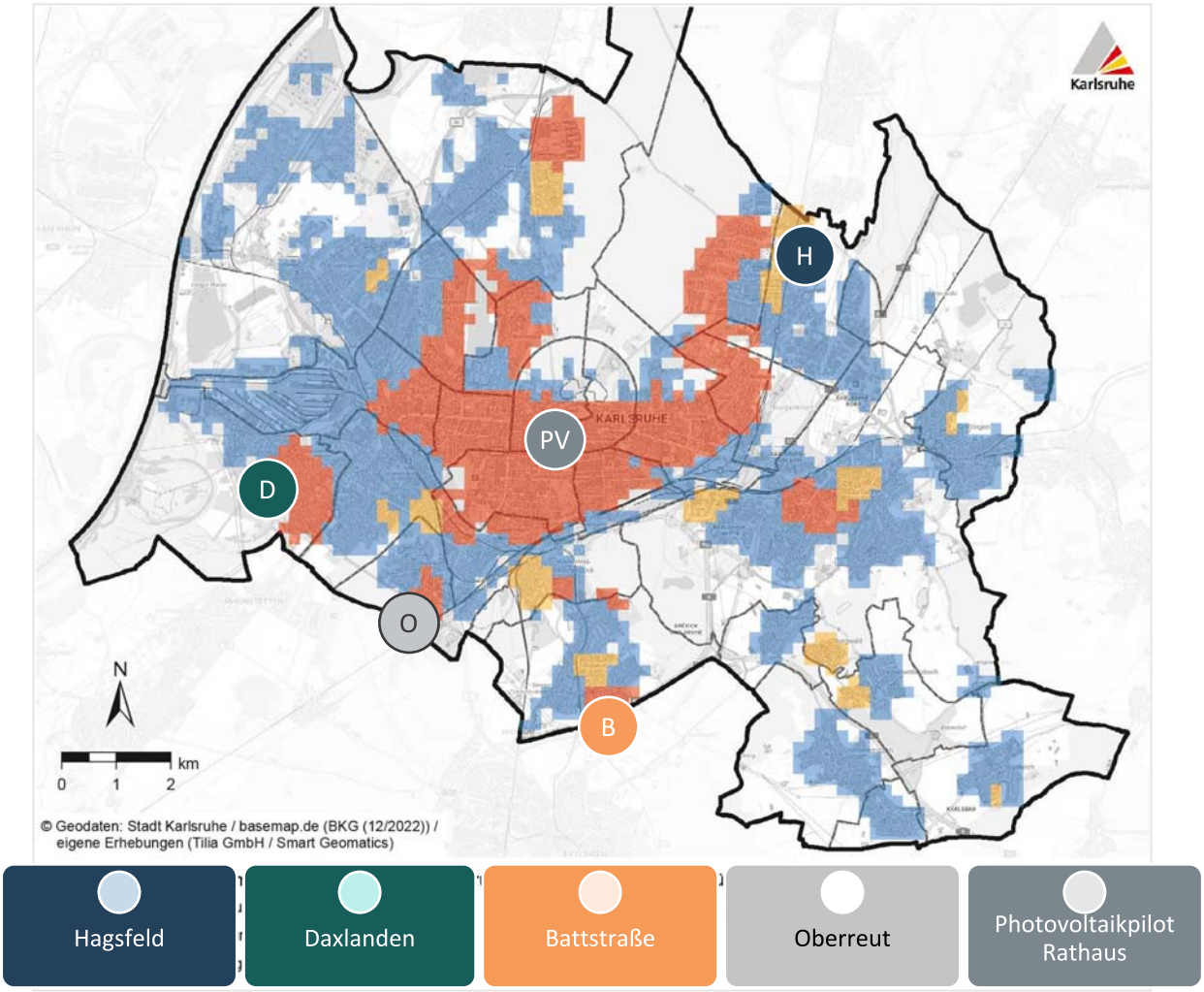


Abbildung 5-1: Darstellung der Startermaßnahmen im Stadtgebiet (Quelle: tilia GmbH / Smart Geomatics, Daten: eigene Berechnung)

5.1.1.1 Maßnahmensteckbrief – Startermaßnahme 1: Hagsfeld

Startermaßnahme 1: Hagsfeld

Kategorie:

Beschreibung des Gebietes und der Maßnahme:

- Wohngebiet aus den 1990er Jahren
- Bisher fast 100 % Erdgas versorgt
- Noch ausreichende Wärmedichte für Wärmenetzanbindung von knapp 1.100 kWh/Trm
- Aufgrund Gebäudealter aktuell vermutlich Zeitfenster für Kesseltausch und daher gute Chancen für Kundenakquise an ein zu errichtendes Wärmenetz trotz vergleichsweise geringer Wärmedichten
- Die alternative Luft-Wasser-Wärmepumpe ist wegen der engen Bebauung schalltechnisch eher schwierig
- Städt. Fernwärme liegt westlich schon an, Rücklaufanbindung (ggfs. mit zentraler Wärmepumpe) zu prüfen

Kennwerte:

- Energiebedarf vor Maßnahme: 17.745.471 kWh/a
- Energiebedarf nach Maßnahme: 13.562.447 kWh/a
- Energieeinsparung: 4.183.024 kWh/a

- CO_2-Emissionen vor Maßnahme: 3.343.523 t/a
- CO_2-Emissionen nach Maßnahme: 366.186 t/a
- Einsparung CO_2-Emissionen: 2.977.337 t/a

Verantwortlichkeit Fachbereich/ Institution:

- Umwelt- und Arbeitsschutz (UA)

Nötige Akteur*innen für eine Umsetzung:

- Stadt, Stadtwerke, KEK
- Gebäude- und Grundstückseigentümer*innen ,
- externes Ingenieurbüro

Schritte zur Umsetzung:

- Machbarkeitsstudie inkl. Umsetzungsplan
- Detaillierte Wirtschaftlichkeitsanalyse
- Nach erfolgreicher Prüfung Entscheidung zur Umsetzung, ggfs. auch in Teilen und Teilabschnitten
- Gegebenenfalls Umsetzung

Wirtschaftlichkeit:
Grobübersicht Investitionen

Investition	Kosten (T€)
6 gewerbl. Gebäudeanschlüsse à 20T€	120 T€
402 Wohnhausanschlüsse à 6T€	2.412 T€
9.269 Trassenmeter Wärmenetz à 2T€	18.539 T€
7.237 Trassenmeter HAL à 1,5T€	10.856 T€
475 Meter Anbindung FW-Trasse à 2T€	950 T€
Gesamt*	**32.877 T€**

Legende: HAL = Hausanschlussleitung; FW = Fernwärme

Grobüberschlag Wirtschaftlichkeit Gestehungskosten

Wirtschaftlichkeit	Annahmen / Kosten
Abschreibungsdauer	50 a
Summe Abschreibung p.a.	658 T€
Leistungspreis pro kWh (netto)	4,72 ct/kWh
Arbeitspreis pro kWh (netto lt. SWKA)	7,13 ct/kWh
Mischpreis Gestehungskosten	**11,85 ct/kWh**

Weitere Informationen:

- Anzahl Anschlüsse: 408
- Gesamte Wohnfläche 103.000 m²

5.1.1.2 Maßnahmensteckbrief – Startermaßnahme 2: Daxlanden

Startermaßnahme 2: Daxlanden

Kategorie:

Beschreibung des Gebietes und der Maßnahme:

- Wohngebiet aus den 1990er Jahren
- Bisher zum Großteil mit Erdgas versorgt, kleiner Ölanteil
- Noch ausreichende Wärmedichte für Wärmenetzanbindung von fast 1.100 kWh/Trm
- Aufgrund Gebäudealter aktuell vermutlich Zeitfenster für Kesseltausch und daher gute Chancen für Kundenakquise FW-Ausbau und Anschluss an Wärmenetzinfrastruktur
- Alternative Wärmepumpe durch enge Bebauung schall- und abstandstechnisch schwierig, daher Aufbau Wärmenetz und Anbindung an Fernwärme
- Städt. Fernwärme liegt nördlich schon an, Kapazität zu prüfen, evtl. nur für einen Teil des Gebietes ausreichend

Kennwerte:

- Energiebedarf vor Maßnahme: 8.597.181 kWh/a
- Energiebedarf nach Maßnahme: 5.244.641 kWh/a
- Energieeinsparung: 3.352.539 kWh/a

- CO_2-Emissionen vor Maßnahme: 1.287.876 t/a
- CO_2-Emissionen nach Maßnahme: 141.605 t/a
- Einsparung CO_2-Emissionen: 1.146.271 t/a

Verantwortlichkeit Fachbereich/ Institution:

- Umwelt- und Arbeitsschutz (UA)

Nötige Akteur*innen für eine Umsetzung:

- Stadt, Stadtwerke, KEK
- Gebäude- und Grundstückseigentümer*innen ,
- externes Ingenieurbüro

Schritte zur Umsetzung:

- Machbarkeitsstudie inkl. Umsetzungsplan
- Detaillierte Wirtschaftlichkeitsanalyse
- Nach erfolgreicher Prüfung Entscheidung zur Umsetzung
- Gegebenenfalls Umsetzung, evtl. auch in Teilen und Teilabschnitten

Wirtschaftlichkeit:
Grobübersicht Investitionen

Investition	Kosten (T€)
4 gewerbl. Gebäudeanschlüsse à 20T€	80 T€
216 Wohnhausanschlüsse à 6T€	1.296 T€
3.252 Trassenmeter Wärmenetz à 2T€	6.503 T€
3.186 Trassenmeter HAL à 1,5T€	4.779 T€
Einbindung FW-Trasse	100 T€
Gesamt*	12.758 T€

Legende: HAL = Hausanschlussleitung; FW = Fernwärme

Grobüberschlag Wirtschaftlichkeit Gestehungskosten

Wirtschaftlichkeit	Annahmen / Kosten
Abschreibungsdauer	50 a
Summe Abschreibung p.a.	260 T€
Leistungspreis pro kWh (netto)	2,82 ct/kWh
Arbeitspreis pro kWh (netto lt. SWKA)	7,13 ct/kWh
Mischpreis Gestehungskosten	9,95 ct/kWh

Weitere Informationen:

- Anzahl Anschlüsse: 220
- Gesamte Wohnfläche 60.532 m²

5.1.1.3 Maßnahmensteckbrief – Startermaßnahme 3: Oberreut

Startermaßnahme 3: Oberreut

Kategorie:

Beschreibung des Gebietes und der Maßnahme:

- Wohngebiet aus den frühen 1990er Jahren
- Bisher zum Großteil mit Erdgas versorgt, Fernwärme in Teilgebieten vorhanden
- relative hohe Wärmedichte für Wärmenetzanbindung von etwa 2.050 kWh/Trm durch hohe Bebauungsdichte
- Aufgrund Gebäudealter aktuell vermutlich Zeitfenster für Kesseltausch und daher gute Chancen für Kundenakquise FW-Ausbau und Anschluss an Wärmenetzinfrastruktur
- Alternative Wärmepumpe durch enge Bebauung schall- und abstandstechnisch schwierig
- Städt. Fernwärme liegt in Teilgebieten an. Die Kapazität des Netzes ist zu prüfen, evtl. nur für einen Teil des Gebietes ausreichend

Kennwerte:

- Energiebedarf vor Maßnahme: 22.911.689 kWh/a
- Energiebedarf nach Maßnahme: 19.074.907 kWh/a
- Energieeinsparung: 3.836.783 kWh/a

- CO_2-Emissionen vor Maßnahme: 2.513.245 t/a
- CO_2-Emissionen nach Maßnahme: 515.022 t/a
- Einsparung CO_2-Emissionen: 1.998.222t/a

Verantwortlichkeit Fachbereich/ Institution:

- Umwelt- und Arbeitsschutz (UA)

Nötige Akteur*innen für eine Umsetzung:

- Stadt, Stadtwerke, KEK und KES
- Gebäude- und Grundstückseigentümer*innen ,
- externes Ingenieurbüro

Schritte zur Umsetzung:

- Machbarkeitsstudie inkl. Umsetzungsplan
- Detaillierte Wirtschaftlichkeitsanalyse
- Nach erfolgreicher Prüfung Entscheidung zur Umsetzung
- Gegebenenfalls Umsetzung, evtl. auch in Teilen und Teilabschnitten

Wirtschaftlichkeit:
Grobübersicht Investitionen

Investition	Kosten (T€)
7 gewerbl. Gebäudeanschlüsse à 20T€	140 T€
387 Wohnhausanschlüsse à 6T€	2.322 T€
5.188 Trassenmeter Wärmenetz à 2T€	10.375 T€
4.424 Trassenmeter HAL à 1,5T€	6.636 T€
Einbindung FW-Trasse	100 T€
Gesamt*	19.573 T€

Legende: HAL = Hausanschlussleitung; FW = Fernwärme

Grobüberschlag Wirtschaftlichkeit Gestehungskosten

Wirtschaftlichkeit	Annahmen / Kosten
Abschreibungsdauer	50 a
Summe Abschreibung p.a.	391 T€
Leistungspreis pro kWh (netto)	2,28 ct/kWh
Arbeitspreis pro kWh (netto lt. SWKA)	7,13 ct/kWh
Mischpreis Gestehungskosten	9,41 ct/kWh

Weitere Informationen:

- Anzahl Anschlüsse: 394
- Gesamte Wohnfläche 137.457 m²

5.1.1.4 Maßnahmensteckbrief – Startermaßnahme 4: Rüppurr-Battstraße

Startermaßnahme 4: Rüppurr-Battstraße

Kategorie:

Beschreibung des Gebietes und der Maßnahme:

- Wohngebiet aus den 1970er Jahren, im Süden und Osten 1990er Jahre, teilweise Kulturdenkmal mit bestehender Erhaltungssatzung
- Bisher zum Großteil mit Erdgas versorgt, deutlicher Ölanteil
- relative geringe Wärmedichte für Wärmenetzanbindung von knapp 750 kWh/Trm, aber hohe Dichte im Norden
- Aufgrund Gebäudealter aktuell vermutlich Zeitfenster für Kesseltausch in beiden Gebäudealterskategorien günstig und daher gute Chancen für Kundenakquise an die Fernwärme
- Alternative Wärmepumpe durch enge Bebauung schall- und abstandstechnisch schwierig
- Fernwärmeanbindung müsste hergestellt werden. Die Anschlusskosten und die Kapazität des Netzes sind zu prüfen, evtl. nur für einen Teil des Gebietes ausreichend

Kennwerte:

- Energiebedarf vor Maßnahme: 16.673.105 kWh/a
- Energiebedarf nach Maßnahme: 9.836.273 kWh/a
- Energieeinsparung: 6.836.832 kWh/a

- CO_2-Emissionen vor Maßnahme: 3.400.869 t/a
- CO_2-Emissionen vor Maßnahme: 265.580 t/a
- Einsparung CO_2-Emissionen: 3.135.289 t/a

Verantwortlichkeit Fachbereich/ Institution:

- Umwelt- und Arbeitsschutz (UA)

Nötige Akteur*innen für eine Umsetzung:

- Stadt, Stadtwerke, KEK
- Gebäude- und Grundstückseigentümer*innen ,
- externes Ingenieurbüro

Schritte zur Umsetzung:

- Machbarkeitsstudie inkl. Umsetzungsplan
- Detaillierte Wirtschaftlichkeitsanalyse
- Nach erfolgreicher Prüfung Entscheidung zur Umsetzung
- Gegebenenfalls Umsetzung, evtl. auch in Teilen und Teilabschnitten

Wirtschaftlichkeit:
Grobübersicht Investitionen

Investition	Kosten (T€)
18 gewerbl. Gebäudeanschlüsse à 20T€	140 T€
459 Wohnhausanschlüsse à 6T€	2.754 T€
6.980 Trassenmeter Wärmenetz à 2T€	13.960T€
15.669 Trassenmeter HAL à 1,5T€	23.503 T€
2.100 Meter Anbindung FW -Trasse à 2T€ (Rüppurr-Schloss)	4.200 T€
Gesamt*	44.777 T€

Legende: HAL = Hausanschlussleitung; FW = Fernwärme

Grobüberschlag Wirtschaftlichkeit Gestehungskosten

Wirtschaftlichkeit	Annahmen / Kosten
Abschreibungsdauer	50 a
Summe Abschreibung p.a.	896 T€
Leistungspreis pro kWh (netto)	5,82 ct/kWh
Arbeitspreis pro kWh (netto lt. SWKA)	7,13 ct/kWh
Mischpreis Gestehungskosten	12,95 ct/kWh

Weitere Informationen:

- Anzahl Anschlüsse: 477
- Gesamte Wohnfläche 89.214 m²

5.1.1.5 Maßnahmensteckbrief – Startermaßnahme 5: PV-Pilot Rathaus

Startermaßnahme 5: PV Pilot Rathaus

Kategorie:

In Karlsruhe existieren die meisten Gebäudedächer bisher ohne Belegung mit PV. Diese Startermaßnahme dient als Basis für künftige PV-Umsetzungen auf kommunalen Gebäuden – auch mit Denkmalschutzauflagen. Ziel der Stadt sollte es sein, das gesamte PV-Potential auszuschöpfen.

Performance-Kennzahlen:

▪ Netzstrombedarf ohne PV	983.006 kWh/a
▪ Erzeugung Solarstrom	168.281 kWh/a
▪ Eigenverbrauch Solarstrom	163.484 kWh/a
▪ Abregelung	0 kWh/a
▪ Netzeinspeisung	4.797 kWh/a
▪ Eigenverbrauchsanteil	97,1 %
▪ Autarkiegrad	16,6 %
Vermiedene CO_2-Emissionen	79.011 kg/a

Kennwerte:

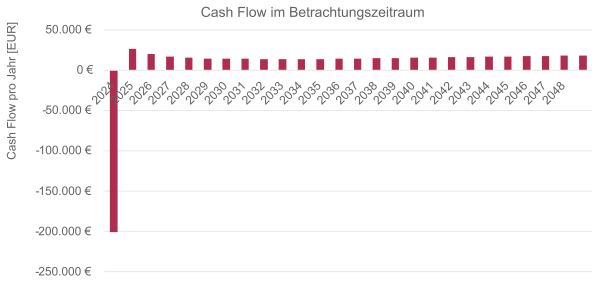
▪ Gesamtverbrauch	983.135 kWh/a
▪ gedeckt durch PV	163.484 kWh /a
▪ gedeckt durch Netz	819.695 kWh/a
▪ Solarer Deckungsanteil:	14,3 %
▪ Einsparung CO_2-Emissionen:	79,0 t/a
▪ Investitionskosten	200.688 € netto
▪ Einsparung über 25 Jahre	400.520 € netto
▪ mögliche Rendite (IRR)	6,37% p.a.
▪ Amortisationszeit	13 a

Verantwortlichkeit Fachbereich/ Institution:

- Amt für Hochbau und Gebäudewirtschaft (HGW)
- Umwelt- und Arbeitsschutz (UA)

Nötige Akteur*innen für eine Umsetzung:

- Amt für Hochbau und Gebäudewirtschaft (HGW)
- Planer*innen, Berater*innen
- Stadtwerke (Stromnetz)
- Anlagenbauer*innen
- Gegebenenfalls Contractor



Schritte zur Umsetzung:

- Gegebenenfalls Machbarkeitsstudie mit Fördermittelprüfung und -allokation sowie detaillierte Wirtschaftlichkeitsanalyse
- Nach erfolgreicher Prüfung Entscheidung zur Umsetzung
- Gegebenenfalls Umsetzung, evtl. auch in Teilen und Teilabschnitten

5.1.2 Weitere Maßnahmen zur Prüfung der Machbarkeit für ausgewählte Eignungsgebiete

5.1.2.1 Maßnahmenvorschlag 1 – Wärmenetz Hardecksiedlung / Pulverhausstraße

Maßnahme 1:

Wärmenetz Hardecksiedlung / Pulverhausstraße

Kategorie:

Beschreibung des Gebietes und der Maßnahme:

- Großes Gebiet innerhalb der Stadt, welches hauptsächlich mit Öl beheizt wird
- Umsetzungsoption: Anschluss an den Rücklauf der Fernwärme, ggfs. mit zentraler Wärmepumpe
- Gegebenenfalls Umsetzung, evtl. auch in Teilen und Teilabschnitten

Kennwerte:

- Energiebedarf vor Maßnahme: 5.195.592 kWh/a
- Energiebedarf nach Maßnahme: 2.775.097 kWh/a
- Resultierende Energieeinsparung: 2.420.495 kWh/a

Weitere Informationen:

- Anzahl Wohngebäude: 183
- Wohnfläche 27.595 m²
- Potenzielle Länge der Hauptleitung des Wärmenetzes: 3.487 m

5.1.2.2 Maßnahmenvorschlag 2 – Wärmenetz Knielingen Ferdinand-Keller-Straße

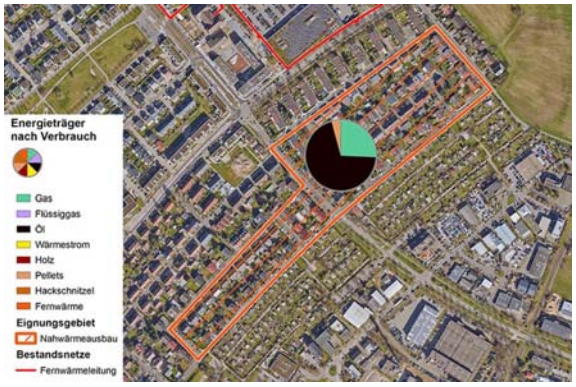
Maßnahme 2:	**Kategorie:**
Wärmenetz Knielingen Ferdinand-Keller-Straße	

Beschreibung des Gebietes und der Maßnahme:

- Grundidee: Angedachter Anschluss an den Rücklauf der Fernwärme wie bei Maßnahme 1 (ggfs. mit zentraler Wärmepumpe), oder Umsetzung einer neuen kalte Nahwärmeleitung.
- Die nahe gelegene Kläranlage könnte die Abwärme über ein Sole-Wasser-Nahwärmenetz liefern.
- Gegebenenfalls Umsetzung, evtl. auch in Teilen und Teilabschnitten

Kennwerte:

- Energiebedarf vor Maßnahme: 3.800.080 kWh/a
- Energiebedarf nach Maßnahme: 2.039.846 kWh/a
- Energieeinsparung: 1.760.234 kWh/a



Weitere Informationen:

- Anzahl Wohngebäude: 111
- Wohnfläche 21.291 m²
- potentielle Länge der Hauptleitung des Wärmenetzes: 1.261 m

5.1.2.3 Maßnahmenvorschlag 3 – Hohenwettersbach

Maßnahme 3:	**Kategorie:**
Wärmenetz Hohenwettersbach	

Beschreibung des Gebietes und der Maßnahme:

- Grundidee: Wohngebiete ab dem Baujahr 1991 oder neueren Baudatums mit einem kalten Nahwärmenetz versorgen.
- Das kalte Nahwärmenetz könnte über eine PVT-Freiflächenanlagen mit darunterliegendem Geothermiefeld erstellt werden.
- Im Kern des Gebiets liegen mehrere kommunale Gebäude, die dann mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe versorgt werden könnten (Erweiterung des bestehenden Fernwärmenetzes prüfen).
- Gegebenenfalls Umsetzung, evtl. auch in Teilen und Teilabschnitten

Kennwerte:

- Energiebedarf vor Maßnahme: 5.331.282 kWh/a
- Energiebedarf nach Maßnahme: 3.346.028 kWh/a
- Energieeinsparung: 1.985.254 kWh/a

Weitere Informationen:

- Anzahl Wohngebäude: 219
- Wohnfläche 34.574 m²
- potenzielle Länge der Hauptleitung des Wärmenetzes: 2.704 m

5.1.2.4 Maßnahmenvorschlag 4 – Dammerstocksiedlung, Denkmalschutzgebäude-Vorzeigeobjekt

Maßnahme 4:	**Kategorie:**
Wärmenetz: Dammerstocksiedlung, Denkmalschutzgebäude-Vorzeigeobjekt	

Beschreibung des Gebietes und der Maßnahme:

- Grundidee: kaltes Nahwärmenetz, Realisierung über die Rücklauftemperatur der Fernwärme oder über nahegelegene Geothermiepotentiale oder Kombination von PVT-Modulen und Nahwärme-Potentiale [Abwasserwärmenutzung].
- Flachdachdämmung inklusive PV-Anlagenpotential, Außendämmung (falls keine denkmalschutzrechtlichen Bedenken bestehen) sowie Erneuerung der Fenster verringern die Transmissionswärmeverluste der Gebäude und die Wärmeverbräuche.
- Gegebenenfalls Umsetzung, evtl. auch in Teilen und Teilabschnitten

Kennwerte:

- Energiebedarf vor Maßnahme: 9.322.788 kWh/a
- Energiebedarf nach Maßnahme: 5.133.206 kWh/a
- Energieeinsparung: 4.189.582 kWh/a

Weitere Informationen:

- Anzahl Gebäude: 258
- Wohnfläche 58.871 m²
- potentielle Länge der Hauptleitung des Wärmenetzes: 3.272 m

5.1.2.5 Maßnahme 5 – Reitschulschlagsiedlung

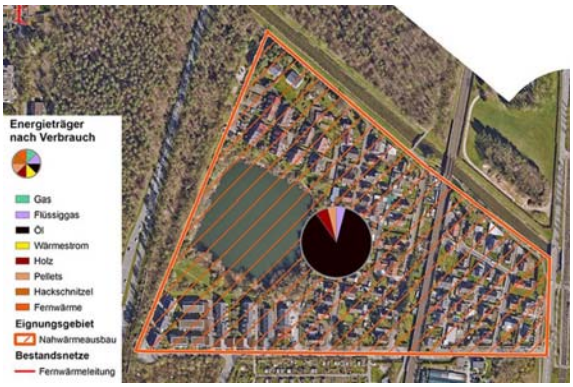
Maßnahme 5:	**Kategorie:**
Wärmenetz Reitschulschlagsiedlung	

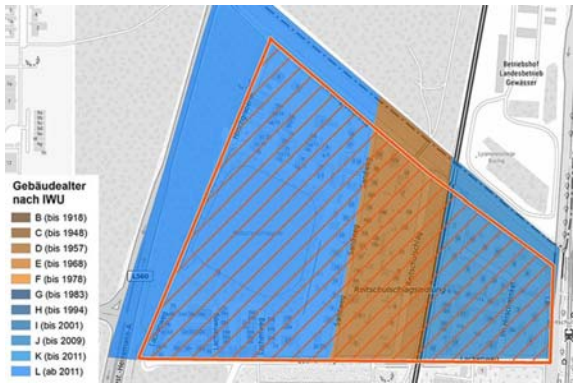
Beschreibung des Gebietes und der Maßnahme:

- Grundidee: überwiegend mit Öl beheiztes Wohngebiet, das mit unterschiedlichen nahegelegenen Potenzialen, einem kalten Nahwärmenetz und dezentralen Wärmepumpen beheizt werden könnte. Mögliche Nutzung der Wärme des Sees oder des Pfinz-Entlastungskanals.
- Gegebenenfalls Umsetzung, evtl. auch in Teilen und Teilabschnitten
- Zu prüfen auf
    - technische Machbarkeit (z. B. Höhe der möglichen Wärmeentnahme, technische Ausgestaltung des Wärmetauschers, Einbaukonzept, Temperatur des Sees/der Pfinz im Jahresverlauf)
    - genehmigungsrechtliche Machbarkeit: z. B. Restriktionen aufgrund der Biotopabmessungen

Kennwerte:

- Energiebedarf vor Maßnahme: 3.519.258 kWh/a
- Energiebedarf nach Maßnahme: 2.024.459 kWh/a
- Energieeinsparung: 1.494.799 kWh/a





Weitere Informationen:

- Anzahl Wohngebäude: 402
- Wohnfläche 103.099 m²
- Potenzielle Länge der Hauptleitung des Wärmenetzes: 8.596 m

5.1.2.6 Maßnahme 6 – Hornisgrindestraße

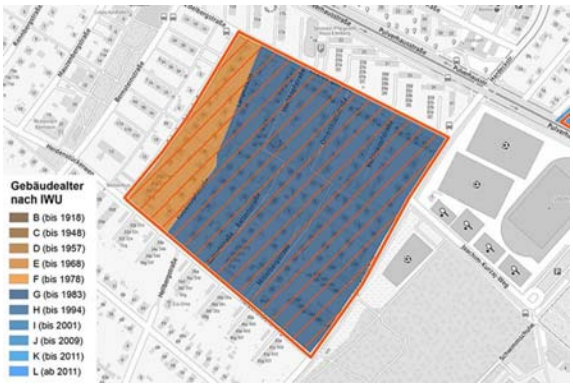
Maßnahme 6:	**Kategorie:**
Wärmenetz Hornisgrindestraße	

Beschreibung des Gebietes und der Maßnahme:

- Grundidee: wie Hardecksiedlung, großes Gebiet innerhalb der Stadt, welches hauptsächlich mit Öl beheizt wird.
- Klimaneutrale Wärmeversorgung über Anschluss an den Rücklauf der Fernwärme (ggfs. mit zentraler Wärmepumpe).
- Nur sollten hier die Gebäude energetisch gedämmt werden, um die Transmissionswärmeverluste zu verringern.
- Luftwärmepumpen sind aufgrund der kleinen Grundstücke und der Abstandsregel problematisch.
- Gegebenenfalls Umsetzung, evtl. auch in Teilen und Teilabschnitten

Kennwerte:

- Energiebedarf vor Maßnahme: 4.172.964 kWh/a
- Energiebedarf nach Maßnahme: 2.333.832 kWh/a
- Energieeinsparung: 1.839.132 kWh/a



Weitere Informationen:

- Anzahl Wohngebäude: 185
- Wohnfläche 23.192 m²
- potenzielle Länge der Hauptleitung des Wärmenetzes: 2.916 m

5.1.2.7 Maßnahme 7 – Neureut Kirchfeldsiedlung

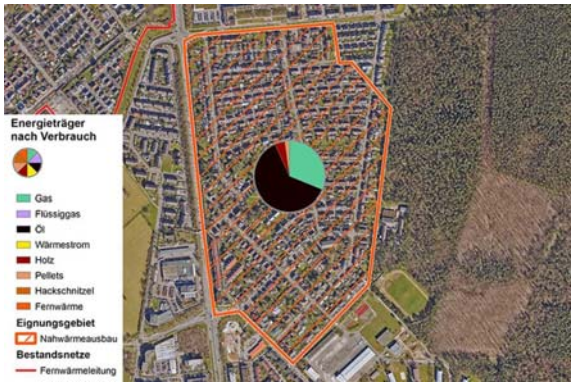
Maßnahme 7:	**Kategorie:**
Wärmenetz Neureut Kirchfeldsiedlung	

Beschreibung des Gebietes und der Maßnahme:

- Ein größeres und dichter bebautes Wohngebiet mit sehr vielen Öl-Heizungen.
- Grundidee: Die nahegelegene Fernwärmeleitung, aber auch die Kläranlage bieten mit mehreren regenerativen Potentialen ausreichende Möglichkeiten, das Gebiet mit einem kalten Nahwärmenetz auszustatten.
- Gegebenenfalls Umsetzung, evtl. auch in Teilen und Teilabschnitten

Kennwerte:

- Energiebedarf vor Maßnahme: 19.293.433 kWh/a
- Energiebedarf nach Maßnahme: 10.408.634 kWh/a
- Energieeinsparung: 8.884.799 kWh/a



Weitere Informationen:

- Anzahl Wohngebäude: 688
- Wohnfläche 104.366 m²
- potentielle Länge der Hauptleitung des Wärmenetzes: 9.027 m

5.1.2.8 Maßnahme 8 – Grötzingen Alte Häldenweg

Maßnahme 8:	**Kategorie:**
Wärmenetz Grötzingen Alte Häldenweg	

Beschreibung des Gebietes und der Maßnahme:

- Grundidee: ein eher dörflich geprägtes, aber neueres Wohngebiet mit geringeren Transmissionswärmeverlusten.
- Aufgrund der dichten Bebauung wäre hier ein kaltes Nahwärmenetz ratsam. Mehrere nahegelegene regenerative Potentiale bieten hierzu viele Möglichkeiten, ein wirtschaftliches Nahwärmenetz zu erstellen.
- Ein Pilotprojekt im Ort könnte mehrere weitere potenzielle Nahwärmegebiete nach sich ziehen.
- Gegebenenfalls Umsetzung, evtl. auch in Teilen und Teilabschnitten

Kennwerte:

- Energiebedarf vor Maßnahme: 4.550.063 kWh/a
- Energiebedarf nach Maßnahme: 2.845.834 kWh/a
- Energieeinsparung: 1.704.229 kWh/a

Weitere Informationen:

- Anzahl Wohngebäude: 144
- Wohnfläche 29.794 m²
- potentielle Länge der Hauptleitung des Wärmenetzes: 1.858 m
- Durch Seethermie aus dem Baggersee in der Nähe von Grötzingen, mit einer Fläche von ca. 350.000 m², könnte Wärme für ein kaltes Nahwärmenetz genutzt werden.
- Die abgeschlossene Deponie, in der Nähe des Fraunhofer Instituts, könnte ein sehr gutes PV-Potenzial liefern. Komplette Fläche über 75.000 m²

5.1.2.9 Maßnahme 9 – Grötzingen / Im Speitel

Maßnahme 9:	**Kategorie:**
Wärmenetz Grötzingen / Im Speitel	

Beschreibung des Gebietes und der Maßnahme:

- Gebiet mit fast ausschließlichem Bestand an Nachtspeicherheizungen.
- Grundidee: Aufgrund der kompakten Wärmedichte und der nahegelegenen regenerativen Potentialen wäre hier eine klimaneutrale Wärmeversorgung durch seethermische Nutzung möglich.
- Gegebenenfalls Umsetzung, evtl. auch in Teilen und Teilabschnitten.

Kennwerte:

- Energiebedarf vor Maßnahme: 6.195.126 kWh/a
- Energiebedarf nach Maßnahme: 4.110.870 kWh/a
- Energieeinsparung: 2.084.256 kWh/a

Weitere Informationen:

- Anzahl Wohngebäude: 85
- Wohnfläche 40.727 m²
- potentielle Länge der Hauptleitung des Wärmenetzes: 1.036 m
- Durch Seethermie aus dem Baggersee in der Nähe von Grötzingen, mit einer Fläche von ca. 350.000 m², könnte Wärme für ein kaltes Nahwärmenetz genutzt werden.
- Die abgeschlossene Deponie, in der Nähe des Fraunhofer Instituts, könnte ein sehr gutes PV-Potential liefern. Komplette Fläche über 75.000 m²

5.1.2.10 Maßnahme 10 – Stupferich / Trollingerstraße

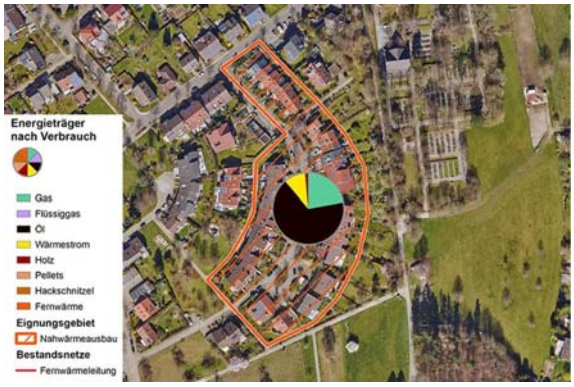
Maßnahme 10:	**Kategorie:**
Wärmenetz Stupferich / Trollingerstraße	

Beschreibung des Gebietes und der Maßnahme:

- Ein kleines kompaktes Gebiet, dass mit mehreren Reihenhäusern eher eine problematische Beheizung für Luftwärmepumpen darstellt.
- Grundidee: Nahegelegene Freiflächen könnten Potentiale für ein klimaneutrales Nahwärmenetz bilden.
- Gegebenenfalls Umsetzung, evtl. auch in Teilen und Teilabschnitten

Kennwerte:

- Energiebedarf vor Maßnahme: 766.777 kWh/a
- Energiebedarf nach Maßnahme: 527.178 kWh/a
- Energieeinsparung: 239.599 kWh/a



Weitere Informationen:

- Anzahl Wohngebäude: 32
- Wohnfläche 5.423 m²
- potentielle Länge der Hauptleitung des Wärmenetzes: 260 m

5.1.2.11 Maßnahme 11 – Durlach Willmar Schwabe / Pfinzstraße

Maßnahme 11:	**Kategorie:**
Wärmenetz Durlach Willmar Schwabe / Pfinzstraße	

Beschreibung des Gebietes und der Maßnahme:

- Grundidee: Abwärme aus dem nahegelegene Willmar Schwabe Industriegebiet, könnte das aus Mitte der 60er Jahre stammende Wohngebiet versorgen.
- Hier wäre ein 5 °C kaltes Nahwärmenetz die passende Kombination.
- Nahegelegene regenerative Potentiale runden das Konzept ab.
- Chance, da aktuell städteplanerische Neuordnung und damit Fassung Energiekonzept.
- In Konzeptevaluation neu zu bewerten.
- Gegebenenfalls Umsetzung, evtl. auch in Teilen und Teilabschnitten

Kennwerte:

- Energiebedarf vor Maßnahme: 5.353.313 kWh/a
- Energiebedarf nach Maßnahme: 3.379.380 kWh/a
- Energieeinsparung: 1.973.933 kWh/a

Weitere Informationen:

- Anzahl Wohngebäude: 103
- Wohnfläche 34.991 m²
- potenzielle Länge der Hauptleitung des Wärmenetzes: 1.336 m

6. Fazit und Ausblick

6.1 Fazit

Die Energieleitplanung ermöglicht eine Vielzahl an Maßnahmen für eine zukunftsgerichtete Stadtentwicklung. Neben der Integration von GIS-Daten werden konkrete Maßnahmen zur Energieeinsparung dargestellt und eine Pfad-Reduzierung der Emissionen bis 2040 aufgestellt. Diese sind Teil eines strategischen Grundgerüsts für das Ziel der Klimaneutralität der Stadt Karlsruhe im Jahr 2040.

Zudem lassen sich folgende Mehrwerte für die Stadt darstellen:

Integration der Pläne leitungsbezogener Energieträger ins GIS der Stadt	Gebäudescharfe IST-Daten für Energieeinsatz und Gebäudealter	Maßnahmenkatalog zur CO_2-Reduzierung	Konkrete, umsetzbare Starterprojekte	„Fahrplan“ zur Reduzierung der Emissionen bis 2040

Als Konsequenz aus der Bestandsanalyse samt den verfügbaren Potenzialen einerseits und der Szenarienrechnung andererseits ergibt sich eine enorme Aufgabe für die Stadt und deren Akteur*innen im energetischen Bereich, die einen tiefgreifenden Umbau des städtischen Energiesystems bedeutet. Um die Ziele erreichen zu können, müssen sämtliche Potenziale zur erneuerbaren Strom- und Wärmeerzeugung in der Stadt erschlossen werden. Hier sind alle Akteur*innen neben den Stadtwerken als lokaler Energieversorger und Netzbetreiber insbesondere die Gebäudeeigentümer*innen gefragt. Für die lokale Energiewende muss auch das Wärmeversorgungssystem einen starken Wandel erfahren, der einen groß angelegten Neuaufbau von Versorgungsinfrastrukturen bedeutet, während bestehende Infrastrukturen, wie das Erdgasnetz, nur noch punktuelle Bedeutung haben werden.

Die größten Potenziale haben in Karlsruhe die Solarenergie sowie die oberflächennahe und Tiefengeothermie. Der Ausbau insbesondere der Fernwärme im inneren Stadtgebiet muss ebenfalls als wichtiges Potenzial gesehen werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Klimaneutralität für die Stadt Karlsruhe bis 2040 sehr schwer zu erreichen ist. In diesem Szenario müssen mit Blick auf die Zielsetzung, die Klimaneutralität bis 2040 erreichen zu wollen, sehr ambitionierte Annahmen getroffen werden. Dazu gehört neben einer sehr hohen Sanierungsquote für Bestandsgebäude auch der schnelle Austausch von fossilen Wärmeträgern wie Öl und Erdgas durch erneuerbare Lösungen wie Nahwärmenetze und Wärmepumpen. Die für die Umsetzung dieser Maßnahmen relevanten Rahmenbedingungen liegen nicht allein in der Hand der Stadt Karlsruhe und unterliegen einer dynamischen und nicht konkret abschätzbaren Entwicklung. Insbesondere erscheint aus städtischer Sicht die – aus fachlicher Sicht zwar sinnvolle – Rangfolge von Maßnahmen zur Gebäudesanierung (zur Reduzierung des Wärmebedarfs) vorrangig vor dem Heizungstausch schwer realisierbar, da die für Komplettsanierungen erforderlichen Investitionsmittel sowohl im privaten als auch im öffentlichen Bereich oft nicht hinreichend zur Verfügung stehen. Die im Zusammenhang mit dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) geplanten Förderprogramme des Bundes könnten mit Hilfe attraktiver Förderanreize (einschließlich des angekündigten Klima-

Geschwindigkeitsbonus bis 2028) unter Umständen einen deutlichen Fortschritt beim Einbau klimafreundlicher Heizungen herbeiführen.

Karlsruhe hat als Großstadt außerdem auf relativ kleiner Fläche einen sehr hohen Energiebedarf. Flächen sind knapp, sodass die Erzeugung von erneuerbaren Energien im Stadtgebiet wohl nicht ausreichen wird, um den zukünftigen Strom- und Wärmebedarf der Stadt zu decken.

Deshalb sollte im Sinne eines Strom- und Wärmeverbunds eine Kooperation mit dem Landkreis Karlsruhe und ggf. der Region angestrebt werden. Auch die bestehende Zusammenarbeit zwischen lokalen Energieversorgern sowie auch zwischen den regionalen Energieagenturen gilt es weiter auszubauen. Hierfür gibt es mehrere mögliche Ansatzpunkte, z. B:

- Zusammenarbeit zwischen den Stadtwerken Karlsruhe und den drei Stadtwerken des Landkreises zur gemeinsamen Umsetzung von Projekten zu erneuerbaren Energien wie Photovoltaik- und Windkraftprojekten, die auch auf Flächen des Landkreises realisiert werden könnten. Die Beteiligung der Stadtwerke an der gemeinsamen BBEK Energie GmbH wurde vom Gemeinderat im Juli 2023 beschlossen.
- Ein Wärmeverbund zwischen Landkreis und Stadt, um die verschiedenen Tiefengeothermieprojekte in der Region zu vernetzen und optimal zu nutzen.
- Für Stadtteile, die direkt an der Grenze zum Landkreis liegen, ist eine Zusammenarbeit im Rahmen von grenzübergreifenden Wärmenetzen denkbar, bei denen beispielsweise eine Fläche im Landkreis über oberflächennahe Geothermiebohrungen zur Wärmegewinnung genutzt wird und die Wärme einem Wohngebiet auf der Gemarkung Karlsruhe zugutekommt.

Die Kosten dieser Neuausrichtung sind hoch und von vielen weiteren Rahmenbedingungen abhängig (Förderbedingungen, Entwicklung Energiepreise u.v.a.m.) und aktuell schwer abschätzbar. Allein die energetische Gebäudesanierung ist ein sehr umfangreiches Unterfangen. Hier sind eine gute Öffentlichkeitsarbeit und eine breite finanzielle Unterstützung von staatlicher Seite erforderlich.

Die Energiewende in Karlsruhe wird in den kommenden Jahren eines der bestimmenden Themen der kommunalen Agenda sein. Die Mitwirkung der gesamten Stadtgesellschaft (Politik und Verwaltung, freie Wirtschaft, Privathaushalte, Wissenschaft) ist notwendig, um die selbst gesetzten sowie die gesetzlich vorgeschriebenen Klimaschutzziele zu erreichen.

6.2 Ausblick

Ausblick zur Umsetzung der Energieleitplanung

Mit der Vorlage der Energieleitplanung liegen umfangreiche Bestandsdaten, Anregungen und konkrete Vorschläge zum Erreichen des Klimaschutzziels 2040 vor. Die damit verbundene Präsenz dieses Themas in der Öffentlichkeit sollte genutzt werden, die Umsetzung der Maßnahmen zu unterstützen und zu beschleunigen. Dazu sind folgende weiterführende Aktivitäten geeignet:

- Kontinuierliche Kommunikation in der Stadt über Maßnahmen zur CO_2-Reduzierung, z. B. über die Einrichtung einer eigenen Homepage oder auch eines neuen Bereichs in der Homepage der Stadt Karlsruhe. Dort können laufend Berichte über umgesetzte Maßnahmen oder auch Ankündigungen für Aktivitäten der Stadt veröffentlicht werden.

- Im Energieleitplan wird ein erheblicher Ausbau der Fernwärmeversorgung angeregt, der über die derzeitigen Planungen der Stadtwerke hinausgeht. Dies kann unterstützt werden durch verstärkte Öffentlichkeitsarbeit, auch durch die Stadt bzw. die KEK. Die Stadtwerke selbst müssen in die Lage versetzt werden, die für den Ausbau erforderlichen Mittel (Investitionsmittel, Planungsleistungen intern/extern, Baukapazitäten etc.) zu bekommen bzw. zu beschaffen.

- Begleitende Kommunikation zum Fernwärmeausbau

    - Kommunikation und Koordination des Fernwärmeausbaus mit allen Betreibern von Leitungen (Fernwärme, Erdgas, Wasser, Abwasser, Telekom, etc.) sowie betroffenen Ämtern der Stadtverwaltung (u. a. Stadtplanungsamt, Gartenbauamt, Umwelt- und Arbeitsschutz)
    - Frühzeitige Kommunikation mit den Bürger*innen in den jeweiligen Eignungsgebieten

- Regelmäßiges Monitoring durch die Stadt Karlsruhe durch Vergleich der tatsächlichen Entwicklung der Daten mit der Prognose des Energieleitplans, „Nachsteuern“ bei erkennbaren Abweichungen vom Plan

Konkrete Schritte (Vorschläge):

- Fortsetzung des Lenkungskreises zum Energieleitplan als Steuerungselement der kommunalen Aktivitäten

- Fortführung und Umsetzung der „Solaroffensive“ durch die KEK

- Beantragen und Durchführen von Machbarkeitsstudien, gefördert durch die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) für die Startermaßnahmen sowie für Maßnahmen beim Fernwärmeausbau. Dieses Förderinstrument sieht eine Förderung von 50 % für vorbereitende Planungen und 40 % für die Realisierung vor.

- Kommunales Programm zum Anheben der Gebäudesanierungsrate

- Fortführung der Beratung zur oberflächennahen Geothermie durch die KEK und den Umwelt- und Arbeitsschutz

- Kleinanlagen-Contracting für dezentrale Wärmelösungen zur Umsetzung von Heizungserneuerungen bei den Bürger*innen, die das aus eigenen Mitteln nicht bewältigen können

6.3 Interaktiver Kurzbericht

Die wichtigsten Ergebnisse des Berichtes werden in einem interaktiven Kurzbericht – einer sogenannten ArcGIS-Story-Map – bereitgestellt. Dies ist eine öffentlich verfügbare Website, bei der Daten zur Bestands- und Potentialanalyse aber auch zu den Maßnahmen in einer interaktiven Karte dargestellt werden.

Abbildung 6-1: Auszug – Interaktiver Kurzbericht

(Quelle: Smart Geomatics Informationssysteme GmbH)

7. Ausblick und Planungen zur Wärmeversorgung in der Stadt Karlsruhe

In den vorangegangenen Kapiteln wurden aus den erhobenen Daten – maßgeblich aus 2019 – und daraus abgeleiteten Berechnungen von den beauftragten Fachbüros Tilia und Smart Geomatics Eignungsgebiete entwickelt, die auf Basis vor allem der Wärmedichte und der Gebäudestrukturen theoretisch sinnvoll für die Erschließung mit Fernwärme, die Erschließung mit Nahwärmenetzen oder für Einzelheizungslösungen sind.

Parallel zur Erarbeitung des Energieleitplans haben die Stadt Karlsruhe und die Stadtwerke Karlsruhe GmbH sowie die Stadtwerke Karlsruhe Netzservice GmbH ergänzend bereits eigene weiterführende Überlegungen gestartet und daraus konkretere Planungen abgeleitet. Diese betreffen insbesondere Ansätze für den Fernwärme-Ausbau, den Wasserstoffnetz-Ausbau sowie die Planung von Machbarkeitsstudien für Nahwärmegebiete und werden im Folgenden erläutert.

Die Planungen der Stadt und der Stadtwerke Karlsruhe GmbH sehen in bestimmten Arealen eine vertiefende Prüfung der weiteren Erschließung mit Fern- bzw. Nahwärme in verschiedenen zeitlichen Prioritäten bis voraussichtlich 2030 vor (Prüfgebiete). Über diesen Zeithorizont hinaus dienen die berechneten Eignungsgebiete von Tilia und Smart Geomatics der Stadt als Planungsgrundlage für weitere Prüfung von geeigneten Maßnahmen auf dem Weg zur klimaneutralen Wärmeversorgung. In Gebieten, in denen aufgrund der Priorisierung der Prüfgebiete innerhalb des jeweiligen Planungshorizontes keine Aussage über die Machbarkeit von Wärmenetzen getroffen werden kann, wird Bürger*innen empfohlen, sich bei Fragen zu individuellen Heizungslösungen an die Karlsruher Energie- und Klimaschutzagentur gGmbH zu wenden. Neben dem Einsatz von Einzelheizungslösungen wie Wärmepumpen können unter Umständen auch eigene kleine Nahwärmenetze im kleineren Gebäudeverbund eine mögliche Lösung sein.

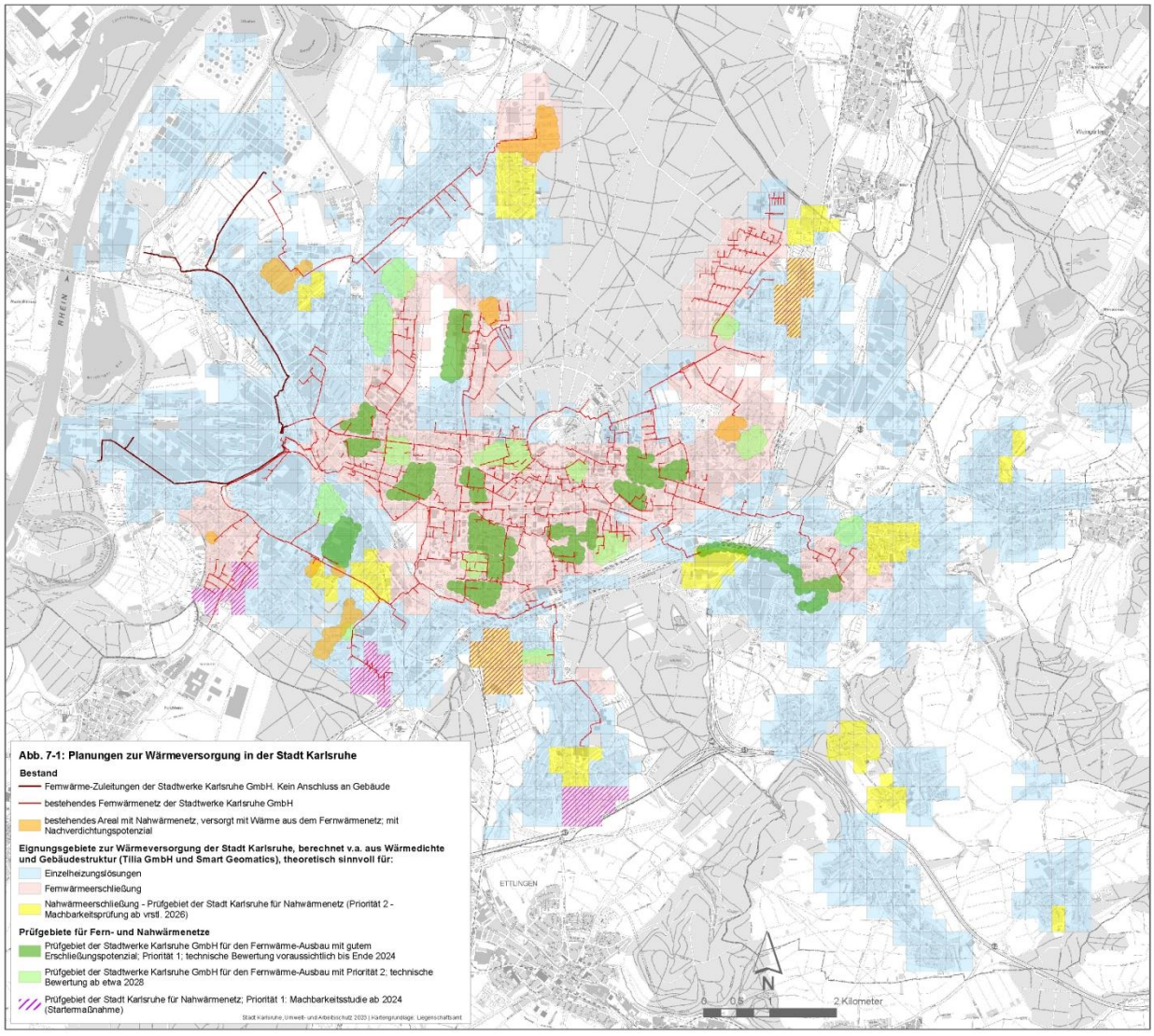


Abbildung 7-1: Planungen zur Wärmeversorgung in der Stadt Karlsruhe

(Quelle: Stadt Karlsruhe, Daten: tilia GmbH / Smart Geomatics, Stadtwerke Karlsruhe GmbH)

7.1 Prüfgebiete für den Fernwärme-Ausbau

Als Prüfgebiete mit erster Priorität wurden seitens der Stadtwerke Karlsruhe GmbH Areale identifiziert, die für einen Ausbau der Fernwärme in den nächsten 5 Jahren geeignet sein könnten.

Diese Areale orientieren sich am vorhandenen Fernwärmenetz und liegen in wenigen Fällen auch innerhalb der rechnerisch ermittelten „Eignungsgebiete Typ III“ (Einzelheizungslösung). Diese Überlagerung und scheinbare Diskrepanz ist vor allem dadurch zu erklären, dass den Stadtwerken viel detailliertere Informationen zu den Gegebenheiten in den einzelnen Gebieten vorliegen, als in die Berechnungen der Eignungsgebiete einfließen konnten. Für einen substanziellen Teil dieser Areale ist der Stadtwerke Karlsruhe GmbH bereits bekannt, dass sie aus technischer Sicht grundsätzlich mit Fernwärme erschlossen werden können oder nur lokal begrenzte Konflikte bestehen, die sich bei gemeinsamer Fokussierung aller Protagonisten auf das Ziel Klimaneutralität für die Stadt Karlsruhe lösen lassen. Der vollständige Abschluss der technischen Bewertung der genannten und in Abb. 7-1 als Gebiete mit gutem

Erschließungspotenzial für Fernwärme bezeichneten Areale ist im Laufe des Jahres 2024 vorgesehen. Es kann also zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht abschließend festgehalten werden, dass die dargestellten Areale vollflächig erschlossen werden können. Für die Umsetzung der tatsächlich möglichen und zur Ausführung kommenden Baumaßnahmen wird aktuell von einem Zeitraum von mindestens weiteren drei bis fünf Jahren ausgegangen.

Wurde in den Gebieten der ersten Priorität die Machbarkeitsprüfung für die Fernwärme abgeschlossen, werden von der Stadtwerke Karlsruhe GmbH Prüfgebiete der zweiten Priorität berücksichtigt, die ebenfalls in Abb. 7-1 dargestellt sind. Die Machbarkeitsprüfungen für diese Gebiete sind für den Zeitraum 2028-2033 anvisiert.

In Abb. 7-1 sind außerdem die Fernwärme-Zuleitungen aus dem Rheinhafen-Dampfkraftwerk der EnBW (RDK), der Mineraloel-Raffinerie Mittlerer Oberrhein (MiRO) sowie aus der Papierfabrik Schwarz (früher Stora Enso Maxau) dargestellt. Die Fernwärme der Stadtwerke Karlsruhe GmbH wird zu 90 % aus der industriellen Prozessabwärme der MiRO und der Papierfabrik Schwarz sowie der Abwärme, die bei der Stromerzeugung aus dem RDK durch Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) entsteht, gewonnen. Die Fernwärme-Zuleitungen speisen lediglich das Fernwärmenetz. Ein Anschluss von Gebieten und einzelnen Gebäuden an diese Leitungen durch eine Abzweigung ist nicht möglich.

Zusätzlich zur weiteren Erschließung von neuen Arealen für das Fernwärmenetz ist der Anschluss weiterer geeigneter Gebäude entlang des bestehenden Fernwärmenetzes oft problemlos möglich (Nachverdichtung). Hierin liegt ebenfalls ein nennenswertes Potenzial zur Erreichung des Ziels der Klimaneutralität der Stadt Karlsruhe bis 2040.

Auch die Versorgung von Nahwärmenetzen über die Fernwärme kann hierzu einen sinnvollen Beitrag leisten. Hierbei werden nicht einzelne Gebäude an das Fernwärmenetz direkt angeschlossen, sondern ganze Areale über eine zentrale Übergabestation mit der Wärme aus dem Fernwärmenetz versorgt. Von dieser Übergabestation aus wird ein eigenes, kleineres Wärmenetz bedient. Die Areale, in denen bereits heute Nahwärmenetze liegen, die von der Stadtwerke Karlsruhe GmbH betrieben werden oder mit deren Fernwärme beliefert werden, sind in der Abb. 7-1 dargestellt. Auch diese Nahwärmenetze können gegebenenfalls weiter ausgebaut werden, indem neue Häuser angeschlossen werden. Ob weitere mit Fernwärme versorgte Nahwärmegebiete entstehen könnten, muss im Einzelfall geprüft werden. Dabei obliegt der Stadtwerke Karlsruhe GmbH die Beurteilung, ob der Anschluss eines Nahwärmenetzes an den Fernwärme-Bestand möglich ist. Ein Vorhabenträger für ein Nahwärmenetz muss für dieses Netz selbst dessen wirtschaftliche Machbarkeit beurteilen. Die technische Machbarkeit wird vorab durch Machbarkeitsstudien geprüft.

Nahwärmenetze können auch über eine von der Fernwärme unabhängige Wärmequelle mit erneuerbaren Energien versorgt werden, was für Gebiete sinnvoll erscheint, die weiter entfernt von einer Fernwärmeleitung liegen. Welche Energieträger in Frage kommen, hängt immer von den Gegebenheiten im betrachteten Quartier ab, von den Gebäudestrukturen sowie von der benötigten Wärmedichte und muss im Einzelfall geprüft werden. Als Wärmequelle kommen beispielweise Geothermie, auch in Kombination mit Hybrid-Modulen (PVT-Module), die neben Strom auch Wärme produzieren können, Solarthermie oder Abwärmepotenziale aus Abwasser und Industrie in Betracht.

7.2 Prüfgebiete zu weiteren Nahwärmenetzen

Der Umwelt- und Arbeitsschutz (UA) der Stadt Karlsruhe wird im Zusammenhang mit den Energiequartieren veranlassen, dass zunächst die Machbarkeitsstudien für die vier Eignungsgebiete, die nach den Berechnungen und Überlegungen der Fachbüros Tilia und Smart Geomatics für Nahwärmenetze in Frage kommen (Startermaßnahmen), erstellt werden. Zu den vier bereits als Startermaßnahmen beschriebenen Eignungsgebieten wird das Gebiet Weiherfeld als weitere Startermaßnahme aufgenommen. In diesem Gebiet ist die Karlsruher Energie- und Klimaschutzagentur (KEK) bereits mit der Energiequartier-Initiative aktiv.

Im Ergebnis werden für folgende fünf Gebiete die ersten Machbarkeitsstudien zu Nahwärmenetzen erstellt (Startermaßnahmen):

- Rüppurr/ Battstraße
- Daxlanden
- Oberreut
- Hagsfeld
- Weiherfeld

Mit der Vergabe wird die KEK beauftragt werden. Hierfür wurden bereits Haushaltsmittel für den nächsten Doppelhaushalt 24/25 beantragt. Die Vergabe ist für 2024 und 2025 geplant. Es soll eine intensive Beteiligung der Anwohner*innen in den Quartieren stattfinden, sobald die Gebiete in den Fokus genommen werden. Auf Basis dieser Machbarkeitsstudien werden dann im Falle eines positiven Ergebnisses Betreiber für die Umsetzung gesucht. Aufbauend auf den Erfahrungen aus den Startermaßnahmen sowie in Abstimmung mit den relevanten städtischen Ämtern und städtischen Gesellschaften ist die Prüfung der übrigen Eignungsgebiete für Nahwärmenetze und gegebenenfalls die Vergabe weiterer Machbarkeitsstudien vorgesehen. Die Prüfgebiete für die Nahwärmenetze sind in Abb. 7-1 dargestellt.

7.3 Prüfansätze für Wasserstoffnetzgebiete

Wie in Kapitel 4.2.6 beschrieben, ist nach derzeitigem Stand der flächendeckende Einsatz von Wasserstoff als Energiequelle für die Wärmeversorgung in der Einzelhausversorgung aus wirtschaftlichen und Energieeffizienz-Gründen nicht sinnvoll.

Vor dem Hintergrund des zwischenzeitlich vorliegenden Entwurfs zur Novellierung des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) sowie des Entwurfs des Wärmeplanungsgesetzes werden künftig auch Potenziale für Wasserstoffnetzgebiete zu prüfen sein. Insbesondere § 71k GEG-RegE sieht vor, dass Hauseigentümer*innen mit einer Heizungsanlage, die sowohl Erdgas als auch 100 % Wasserstoff verbrennen kann (H_2-Ready), bis Ende 2034 weiterhin Gas als Energieträger nutzen dürfen. Dies soll unter anderem gelten, wenn der zuständige Gasverteilnetzbetreiber einen Transformationsplan für die verbindliche, vollständige Umstellung der Versorgung seiner Kunden auf Wasserstoff bis zum Ablauf des 31. Dezember 2034 nach gesetzlich vorgegebenen Maßgaben vorgelegt hat.