



Bericht C 7167

Wärmestrategie Aarau

Entwicklung der Wärmeversorgung und Energienetze zur Umsetzung der Klimaziele und des kommunalen Energieplans bis 2050

Revision 2022 / 01

Im Auftrag der
Eniwa AG und der Stadt Aarau

Düsseldorf, 20.01.2022

RZVN Wehr GmbH

i.A.

INHALTSVERZEICHNIS

1	MANAGEMENT SUMMARY	1
1.1	Ausgangssituation und Zielsetzung	1
1.2	Aktuelle Wärmeversorgung im Versorgungsgebiet von Eniwa	2
1.3	Wärmestrategie Eniwa 2050	4
1.4	Empfehlungen	7
2	AUSGANGSSITUATION	9
2.1	Aufgabenstellung und Zielsetzung	9
2.2	Ausgangssituation	10
2.3	Projekteinordnung und Vorgehensweise	11
3	DATENGRUNDLAGEN	13
3.1	Allgemein	13
3.2	GIS-Daten	14
3.2.1	Gebäudekataster	14
3.2.2	Solarkataster	15
3.2.3	Strassenkataster	15
3.2.4	Zulässigkeit Erdwärme- und Grundwassernutzung	17
3.3	Netzdaten	18
3.3.1	Gasnetz	18
3.3.2	Wärmenetz	18
3.3.3	Stromnetz	18
3.4	Energiedaten	18
3.4.1	Jahresverbrauchsabrechnung	18
3.4.2	Heizungstypologie und Wärmebedarf (GWR-Datensätze)	21
3.5	Klimabereinigung Wärmebedarf	21
3.6	Betriebs- und Klimadaten	22
3.6.1	Ganglinie Strom	22
3.6.2	Klimadaten	22
3.7	Energiezentralen	24
4	AUFBAU CITY-NETZMODELL	25
4.1	Allgemein	25

4.2	Simulationsmodell	26
5	AUSBAUPOTENZIAL WÄRMENETZ.....	30
5.1	Allgemein.....	30
5.2	Rahmenbedingungen.....	30
5.3	Ergebnisse.....	31
5.3.1	Perimeter Aarau und Buchs.....	31
6	SZENARIEN DER WÄRMEVERSORGUNG.....	33
6.1	Zielsetzung der Simulationsszenarien.....	33
6.2	Annahmen und Randbedingungen der Simulation.....	33
6.3	Übersicht der Versorgungsszenarien.....	36
6.4	Ergebnisse.....	37
6.4.1	Szenario 1: „Energieplan Aarau“ – FW-AG 60%.....	37
6.4.2	Szenario 2: „Energieplan Aarau“ – FW-AG 80%.....	39
6.4.3	Szenario 3: „Ausbaupotenzial Fernwärme“ – FW-AG 60%.....	41
6.4.4	Szenario 4: „Wärmestrategie Eniwa 2050“	43
6.4.5	Vergleich der Versorgungsszenarien.....	46
6.4.6	Wirtschaftlichkeit des Fernwärmeausbaus.....	48
7	FAZIT UND AUSBLICK.....	49
7.1	Ausblick Zielerreichung Netto-Null 2050.....	51

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Allgemein

1	AV	Amtliche Vermessung
2	AFS	Amt für Städtebau
3	BAFU	Bundesamt für Umwelt, Schweiz
4	BFE	Bundesamt für Energie, Schweiz
5	Eniwa	Eniwa AG
6	GWR	Eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister
7	PM	Projektmodul
8	RZVN	Rechenzentrum für Versorgungsnetze GmbH
9	JVA	Jahresverbrauchsabrechnung

Energie

1	AG	Anschlussgrad
2	BHKW	Blockheiz-Kraftwerk
3	EWS	Erdwärmesonde
4	FW	Fernwärme
5	G	Gas
6	GW	Grundwasser
7	HEL	Heizöl
8	JAZ	Jahresarbeitszahl
9	MA	Marktanteil
10	NWV	Nahwärmeverbund
11	WKK	Wärme-Kraft-Kopplung
12	WP	Wärmepumpe

1 MANAGEMENT SUMMARY

1.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Hinweis: Alle Aussagen und Diagramme zu CO₂-Emissionen wurden auf der Basis der heutigen CO₂-Emissionsfaktoren berechnet und dargestellt. Wir verweisen an dieser Stelle auf die erwarteten Entwicklungen der Emissionsfaktoren in Kapitel 7.1.

Die neuen Zielvorgaben (u.a. aktuelle Klimastrategie und kommunaler Energieplan Aarau) haben die Eniwa AG (Eniwa) und die Stadt Aarau veranlasst, RZVN mit der Erarbeitung einer **Wärmestrategie Eniwa 2050** im Versorgungsgebiet der Eniwa zu beauftragen. Die Stadt Aarau hat diesbezüglich 2021 eine Klimastrategie veröffentlicht, welche als Basis für den ebenfalls im Jahr 2021 erschienenen kommunalen Energieplan diente. Diese beiden Berichte geben einen klaren Zielpfad in Hinblick auf die CO₂-Emissionen sowie des Energiebedarfs für die Jahre 2030 und 2050 vor. Ebenso wird in der Wärmeversorgung eine klare Entwicklung der zu verwendenden Energieträger zur Deckung des Bedarfs vorgegeben, um das ambitionierte Ziel der CO₂-Neutralität bis 2050 zu erreichen. Es kann zwar ein sehr großer Anteil der CO₂-Emissionen reduziert werden, jedoch wird laut Experten ein kleiner Anteil verbleiben, welcher über Negativemissionen kompensiert werden soll. In der nachfolgenden Abbildung sind die Zielvorgaben der wichtigsten Indikatoren dargestellt, wobei diese aufgrund der besseren Übersichtlichkeit normiert sind.

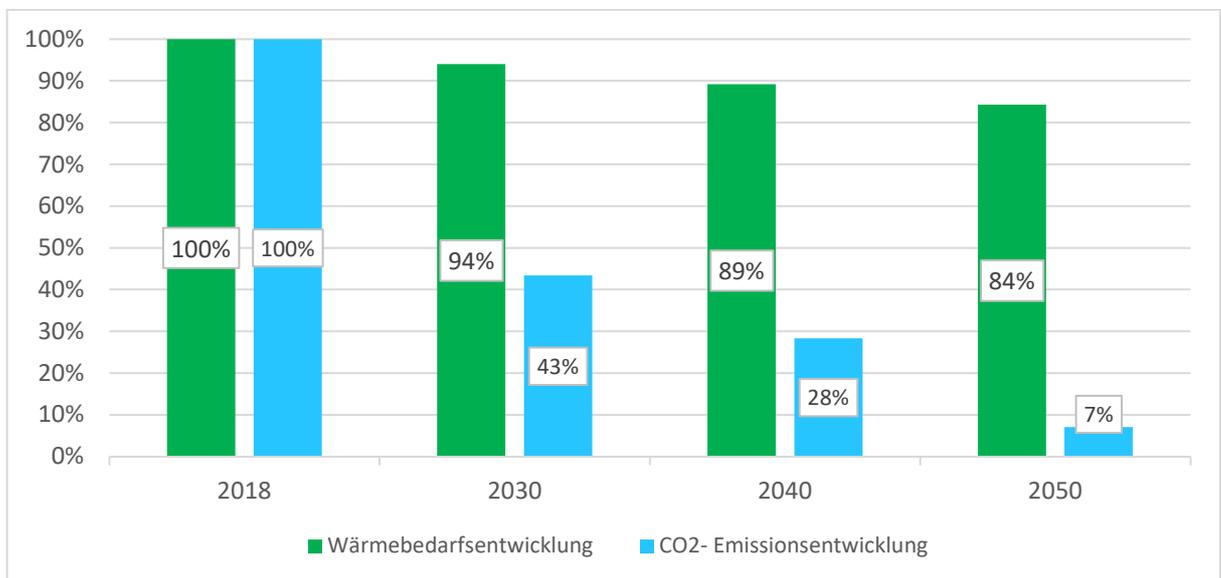


Abbildung 1-1: Meilensteine aus der Klimastrategie und dem kommunalen Energieplan der Stadt Aarau (Quelle: Stadt Aarau, Darstellung angepasst)

Um einerseits die Konsequenzen für die eigene Infrastruktur und das eigene Geschäftsmodell abschätzen zu können und andererseits eine optimale Umsetzungsstrategie für das Versorgungsgebiet (exkl. Wynagas) der Eniwa AG (Eniwa) und das Stadtgebiet Aarau vorzubereiten, wurde in der vorliegenden Untersuchung für Eniwa eine **Wärmestrategie Eniwa 2050** erarbeitet, welche auf

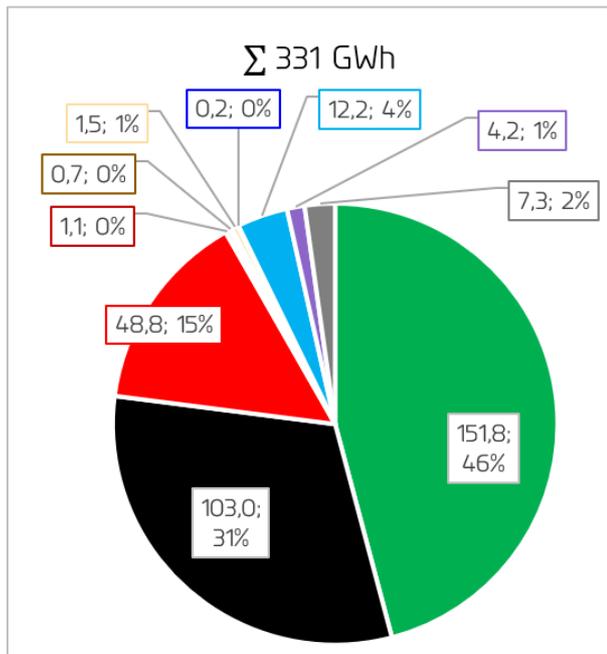
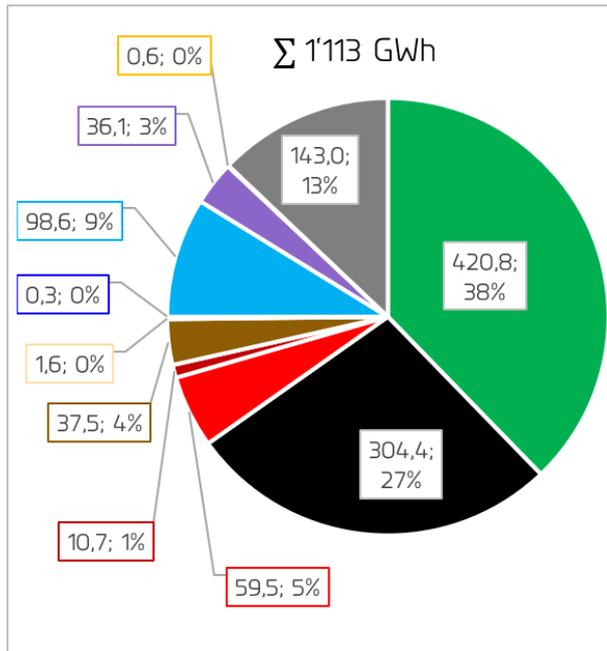
Grundlage der Zielvorgaben aus dem kommunalen Energieplan ein Wärmeversorgungskonzept aufzeigt.

Das Thema Kälte wurde in der vorliegenden Strategie nicht als eigenständiges Thema behandelt. Der Grund sind einerseits fehlende Datengrundlagen wie u.a. Kältebedarf bei Gebäuden sowie der Umstand, dass sich die CO₂-Emissionsentwicklung in aktuellen Studien und Untersuchungen primär auf Technologien bei der Wärmeerzeugung fokussiert. Auf Grund der Zielvorgaben seitens der Stadt – Ausbau Fernwärme- und Fernkälteversorgung auf 160 GWh bis 2050 – wird aber der Bereich Kälte als begleitendes Umsetzungsthema zur Wärme aus Sicht Kundenpotential und im Sinne einer wirtschaftlichen Erschliessung bei der Prüfung berücksichtigt.

1.2 Aktuelle Wärmeversorgung im Versorgungsgebiet von Eniwa

Auf Basis aktueller Energieverbrauchsdaten von Eniwa, Daten des Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR) sowie den Netz- und Katasterdaten wurde ein detailliertes Energiekataster für das Versorgungsgebiet der Eniwa erarbeitet, welches für jedes Gebäude den aktuellen Strom- und Wärmebedarf, die aktuelle Heizungstechnologie, das Solarpotenzial und (soweit bekannt) das Baujahr des Gebäudes und der Heizungsanlage enthält. Abbildung 1-2 zeigt die lokale Verteilung der heutigen Wärmeversorgung als Übersicht im Versorgungsgebiet (exkl. Wynagas) und der Stadt Aarau. Das Versorgungsgebiet (exkl. Wynagas) von Eniwa weist einen Gesamtwärmebedarf^a von ca. 1'113 GWh/a auf. Die Stadt Aarau hat einen Gesamtwärmebedarf^a von 331 GWh/a. Die aus der Wärmeversorgung resultierenden CO₂-Emissionen liegen bei aktuell ca. 255'800 T/a für das Versorgungsgebiet (exkl. Wynagas) und etwa 75'500 T/a für die Stadt Aarau.

^a Daten aus Basisjahr 2020 klimabereinigt durch Heizgradtag-Methode (Quelle: [HEV Schweiz](#))



- Erdgas (inkl. Biogas)
- Fernwärme
- Holz
- Heizöl
- Strom-WP (Erdsonde)
- Strom-WP (Grundwasser)
- Strom-WP (Luft-Wasser)
- Stromdirektheizung
- Unbekannt

Abbildung 1-2: Aktuelle Wärmebedarf nach Heizungstyp im Versorgungsgebiet (exkl. Wynagas) von Eniwa (oben) und der Stadt Aarau (unten)

1.3 Wärmestrategie Eniwa 2050

Die entwickelte Wärmestrategie berücksichtigt sowohl die klimapolitischen und strategischen Zielsetzungen der Stadt Aarau als auch die technische Realisierbarkeit (ohne Berücksichtigung der baulichen Voraussetzungen) und den resultierenden finanziellen Bedarf für die notwendigen Infrastrukturanpassungen durch Eniwa. Zudem werden die bestehenden Erweiterungsplanungen des Fernwärmeverteilsystems von Eniwa berücksichtigt.

Die Wärmestrategie wurde durch die iterative Optimierung der Wärmeversorgungsstruktur im Versorgungsgebiet von Eniwa mittels mathematischen Optimierungsverfahren und technischen Simulationen durchgeführt, welche sicherstellen, dass neben der energetischen Betrachtung auch die bereitzustellende Leistung stets korrekt ausgewiesen wird.

Kern der Wärmestrategie Eniwa 2050 ist ein gezielter Ausbau des Fernwärmenetzes von heute ca. 14 km (Versorgungstrassen) über 36 km bis zum Jahr 2030 auf über 50 km im Jahr 2050. Hierdurch kann zusätzlich zu den bestehenden Grundwasser-Wärmepumpen auch die weitgehend CO₂-freie Wärme aus der FEWAG (KVA Buchs) optimal genutzt und an die Gebäude im Stadtgebiet Aarau und Buchs verteilt werden. Die optimale Trassierung auf Basis der Ermittlung wirtschaftlicher FW-Ausbaupotenziale führt dabei zu einer hohen Absatzdichte entlang der Fernwärmetrassen.

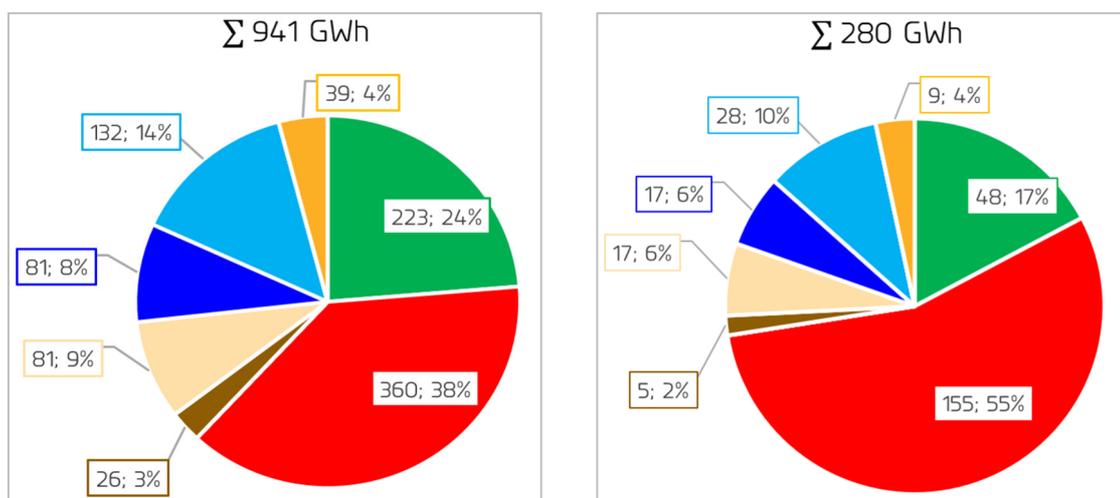


Abbildung 1-3: Zukünftiger Wärmebedarf nach Heizungstyp im Versorgungsgebiet (exkl. Wynagas) von Eniwa (links) und der Stadt Aarau (rechts)

- Erdgas (Biogas)
- Fernwärme
- Holz
- Heizöl
- Strom-WP (Erdsonde)
- Strom-WP (Grundwasser)
- Strom-WP (Luft-Wasser)
- Stromdirektheizung
- Unbekannt

Die klare Strategie der Wärmeversorgung erlaubt, neben der Abstimmung auf die klimapolitischen Ziele der Stadt Aarau, einerseits eine gezielte Kommunikation mit den Wärmekunden und

andererseits eine optimale Ausnutzung der leitungsgebundenen, kapitalintensiven Gas- und Fernwärmeversorgung. Im Rahmen der nachfolgenden Zielnetzplanung Fernwärme wird die vorgeschlagene Trassierung gemeinsam mit Eniwa konkretisiert und validiert.

Jahr	Wärmebedarf [GWh/a]	CO ₂ -Emissionen [T/a]	Gasabsatz ^b [GWh/a]	Fernwärmeabsatz [GWh/a]	Netzlänge FW [km]
2020	1'113	255'800	466	55 ^c	14
2030	1'057 [-5,1 %]	153'700 [-40 %]	379 [-19 %]	208 [+253 %]	42 [+ 200 %]
2050	941 [-15,5 %]	52'300 [-80 %]	247 [-47 %]	360 [+510 %]	50 [+ 250 %]

Tabelle 1-1: Vergleich der Kennwerte zur Wärmeversorgung im Versorgungsgebiet von Eniwa (exkl. Wynagas) 2020, 2030 und 2050 gemäss der Wärmestrategie 2050

Der Wärmebedarfsrückgang beträgt -6 % bis 2030 und -16 % bis ins Jahr 2050 in Bezug zu 2018^d. Die lokale PV- und Solarthermienutzung zur Unterstützung der dezentralen Wärmeversorgung wurde mit 10 % bzw. 1,5 % des Potenzials laut Solarkataster angenommen.^e

^b Gesamttotal Gasabsatz – Netz (inkl. Wynagas), Anteil Wynagas: 63.5 GWh

^c Absatz Eniwa: 46 GWh, Absatz Buchs: 9 GWh

^d Angabe gemäss Klimastrategie und Energieplan der Stadt Aarau (vgl. Abbildung 1-1)

^e Eine Verdopplung der mit PV genutzten Dachflächen von 10% auf 20% hätte im gesamten Versorgungsgebiet (exkl. Wynagas) eine weitere Reduktion der CO₂-Emissionen von -0,7% im Jahr 2050 (bezogen auf 2020) zur Folge.

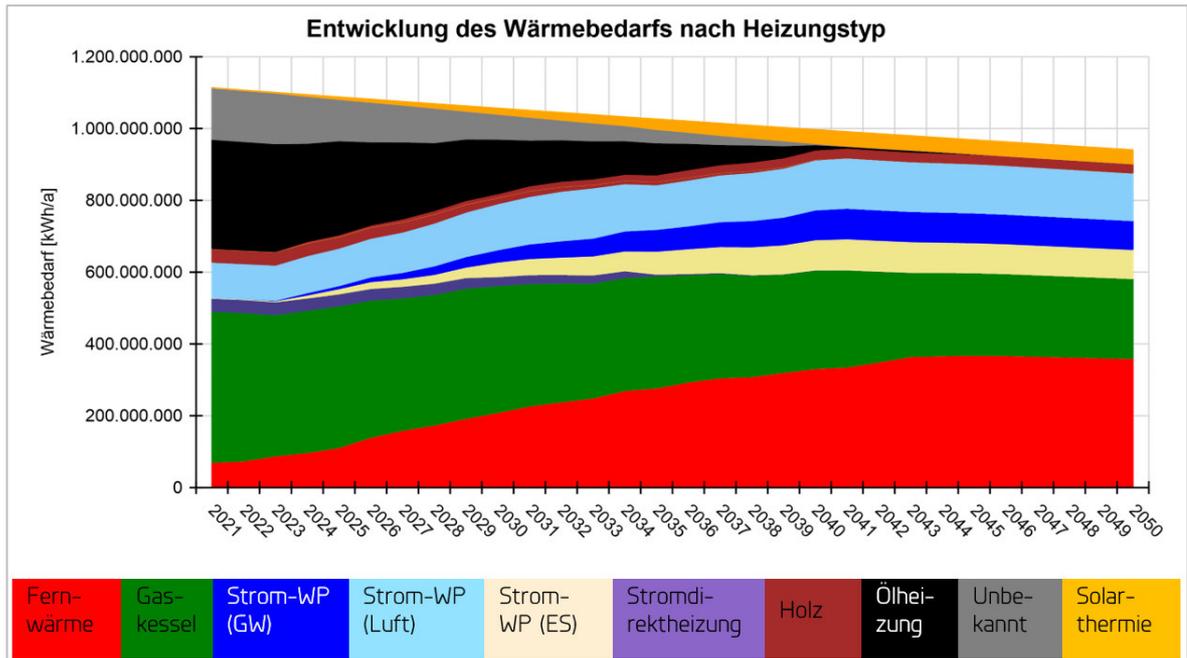


Abbildung 1-4: Der Wärmebedarfsrückgang im gesamten Versorgungsgebiet beträgt ca. 16% bis ins Jahr 2050

Die Wärmestrategie ermöglicht eine Reduktion der CO₂-Emissionen in der Wärmeversorgung um 80 % gegenüber 2020, entsprechend ca. 82 – 85 % gegenüber 1990. Dies entspricht in etwa den nationalen Zielen für die CO₂-Einsparungen bis 2050. Für die Zeit ab 2050 („Netto-Null“) wären weitere Reduktionen erforderlich.

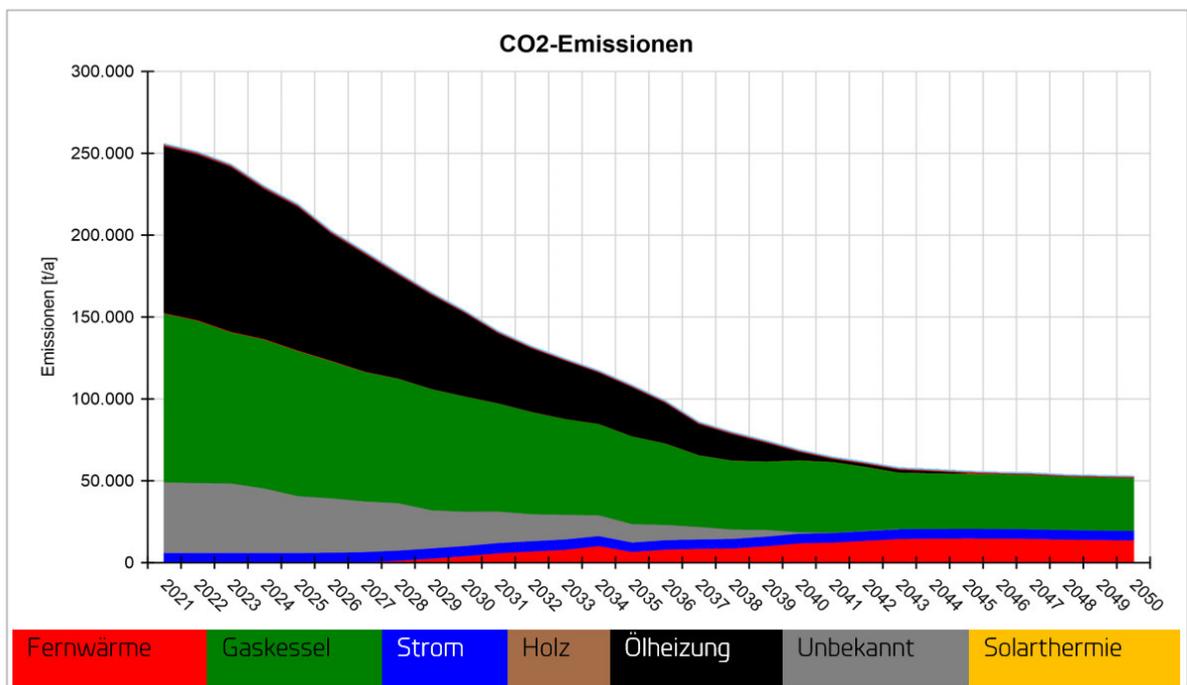


Abbildung 1-5: CO₂-Emissionen bei Umsetzung der Wärmestrategie 2050

1.4 Empfehlungen

Die Zielvorgaben aus der Klimastrategie und dem Energieplan der Stadt Aarau können lediglich in der Sparte Fernwärme (mind. 130 GWh bis 2050) erzielt werden. Eine geforderte Gasabsatzreduzierung um 80 % ist bei realen Heizungstransformationszeitspannen (20 bis 25 Jahre pro Zyklus) auch bei einem starken Fernwärmeausbau nicht zu erwarten. Ebenso ist eine CO₂-Neutralität bei gleichbleibenden Emissionsfaktoren in der zukünftigen Wärmeversorgung in keinem der untersuchten Szenarien ohne den Einsatz von Negativemissionstechnologien zu bewerkstelligen. Eine Erreichung des Ziels „Netto-Null“ wäre ohne Kompensationsmöglichkeiten nur durch einen Bezug weitgehend CO₂-freier Gase (entweder durch Neubewertung von Biogas oder durch CO₂-freie synthetische Gase) oder durch eine Einstellung der Gasversorgung (und Umstellung sämtlicher Gebäude auf Fernwärme und Strom-Wärmepumpen) möglich. In letzterem Fall sind allerdings erhebliche Herausforderungen im Bereich der Versorgung von Bestandsobjekten (insb. denkmalgeschützter Altbau) sowie der generellen Versorgungssicherheit (Kapazität und Stabilität des Stromnetzes; Stromerzeugungslücke im Winterhalbjahr) zu erwarten.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung dienen nun zur weiterführenden Analyse der Auswirkungen der Fernwärme- und Gasabsatzentwicklung auf die bestehende Versorgungsinfrastruktur unter Berücksichtigung thermisch-hydraulischer sowie betriebswirtschaftlicher Aspekte, welche innerhalb des Gesamtprojektes in den Projektmodulen 2 (Zielnetzermittlung Fernwärme) und 3 (Zielnetzermittlung Gas) durchgeführt wird.

Ausgehend von der vorgestellten **Wärmestrategie Eniwa 2050** und den noch folgenden Untersuchungen der Zielinfrastrukturen in den Sparten Fernwärme und Gas wird zunächst die Erarbeitung eines mit der Stadt Aarau abgestimmten Wärmekonzepts empfohlen, welches die zentralen Eigenschaften der Wärmestrategie

- Versorgungssicherheit (durch Leistungsabsicherung Strom, Gas und Fernwärme)
- Wirtschaftlichkeit (durch optimierten Fernwärmeausbau, evtl. abgestimmte Vorranggebiete und Stabilisierung des Gasabsatzes)
- Nachhaltigkeit (durch Erreichung der Klimaziele)

beibehält.

Darüber hinaus wird empfohlen, gemeinsam mit der Stadt (und ggf. dem Kanton) flankierende Massnahmen zur Umsetzung der Wärmestrategie zu entwickeln, welche Eniwa die notwendige Investitions- und Planungssicherheit geben. Diese Massnahmen könnten beispielsweise umfassen:

- Unterstützung bei der Ausweisung von möglichen Fernwärme-Vorranggebieten in der Bau- und Nutzungsordnung (BNO)
- Abstimmung der Zeitpunkte für Sanierungen und Heizungserneuerungen städtischer / kantonaler Liegenschaften in gemeinsamer Zusammenarbeit aller Stakeholder
- Unterstützung des Fernwärmeausbaus durch planungsrechtliche Vereinfachungen und Vorgaben

- Sinnvolle Fördermassnahmen für die Schaffung von Übergangslösungen bei Verbrauchern, die zu einem späteren Zeitpunkt an die Fernwärme wechseln möchten
- Umsetzung einer abgestimmten Quartier-Kundenkommunikation unter Einbezug der von Eniwa erarbeiteten Fernwärme-Ausbaustrategie
- Evaluierung Negativemissionstechnologien (siehe Abschnitt 7.1).

2 AUSGANGSSITUATION

2.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die neuen Zielvorgaben in der Energie- und Klimapolitik (u.a. aktuelle Klimastrategie und kommunaler Energieplan Aarau) haben die Eniwa AG (Eniwa) und die Stadt Aarau veranlasst, RZVN mit der Erarbeitung einer Wärmestrategie im Versorgungsgebiet von Eniwa zu beauftragen. Diese Wärmestrategie soll einen aus Sicht von Eniwa sinnvollen und auf die Klimaziele von Stadt, Kanton und Bund abgestimmten Transformationspfad der Wärmeversorgung für die Stadt Aarau und die Agglomerationsgemeinden innerhalb des Versorgungsgebiets aufzeigen, um einerseits die betriebswirtschaftlichen Erfordernisse der Eniwa zu berücksichtigen und andererseits den Zielerreichungspfad der politischen Klimaziele in Form von CO₂-Reduktion plausibilisieren. Ziel ist es, eine räumlich hoch aufgelöste und technisch realisierbare Wärmestrategie zu entwickeln, welche die bestehenden Infrastrukturen möglichst gut nutzt und eine Kapitalvernichtung vermeidet.

Anhand verschiedener Technologieszenarien sowie einer Konkretisierung des Energieplans auf Netz- und Trassenebene soll spartenübergreifend aufgezeigt werden, wie die klimapolitischen Ziele in der Energieversorgung für das Versorgungsgebiet der Eniwa realistisch erreicht werden können, welche Infrastrukturen hierfür langfristig vorzuhalten sind und welche Konsequenzen dies für die Investitionen und das Geschäftsmodell des lokalen Energieversorgers bzw. Netzbetreibers hat.

Konkret sollen u. a. nachfolgende Leitfragen beantwortet werden:

- Wie können die Klimaziele in der Energieversorgung erreicht werden?
- Wo lohnt sich die Erweiterung bestehender bzw. der Aufbau neuer Wärmenetze?
- In welchem Zeitraum ist eine Transformation der Wärmeversorgung realistisch?
- Für welchen Leistungsbedarf sind die Strom-, Gas- und Wärmenetze zukünftig auszulegen?
- Welche Versorgungs- und Erzeugungsstrukturen sind aus Sicht des Gesamtunternehmens optimal?
- Wie soll die Versorgungsstruktur im Bereich Gas entwickelt werden (Identifikation von Netzstrukturen, welche mittelfristig, unter Berücksichtigung der Altersstruktur und des Erneuerungsbedarfs, stillgelegt werden können)?

Grundlage des Energie- und Wärmekonzepts für das Versorgungsgebiet der Eniwa bildet ein Energiekataster, welches für jedes Gebäude den Strom- und Wärmebedarf, die aktuell genutzte Heizungstechnologie sowie weitere Kennwerte enthält.

Konkret soll die Wärmestrategie für Eniwa aufzeigen, wie die nationalen, kantonalen und städtischen Klimaziele erreicht werden können und eine Quantifizierung der Auswirkungen beschreiben hinsichtlich:

- Prognose von Absatz / transportierter Energie in den Sparten Strom / Wärme / Gas
- Prognose der Kosten- und Erlösentwicklung für die Sparten Gas und Wärme

- Anpassungsbedarf der Netzinfrastrukturen auf Grundlage der prognostizierten Entwicklung des Leistungsbedarfs.
 - welche Netzstrukturen seitens Eniwa vorzuhalten sind (Topologie, Leistungsbedarf)
 - welcher Investitionsbedarf für den Ausbau der Wärmenetze (und ggf. zugehöriger Produktionsanlagen) zu erwarten ist

Hieraus abgeleitet werden sollen:

- eine Umsetzungsstrategie für die Klimastrategie und den kommunalen Energieplan der Stadt Aarau und ausgewählte Agglomerationsgemeinden (primär Buchs).
- eine konkrete Ausbauplanung für die Wärmenetze auf Trassenebene für Aarau und ausgewählte Agglomerationsgemeinden unter Berücksichtigung der bestehenden Erweiterungsplanung von Eniwa.

Im Rahmen des Gesamtprojekts **Wärmestrategie Eniwa** dienen die in dieser Untersuchung ermittelten Ergebnisse als Grundlage für die weiterführenden Zielnetzermittlungen des zukünftigen Wärmenetzes sowie des Gasverteilsystems von Eniwa.

2.2 Ausgangssituation

Die Stadt Aarau hat 2021 eine Klimastrategie veröffentlicht, welche als Basis für den ebenfalls im Jahr 2021 erschienenen kommunalen Energieplan diente. Diese beiden Berichte geben einen klaren Zielpfad in Hinblick auf die CO₂-Emissionen sowie des Energiebedarfs für die Jahre 2030 und 2050 vor. Ebenso wird in der Wärmeversorgung eine klare Entwicklung der zu verwendenden Energieträger zur Deckung des Bedarfs vorgegeben, um das ambitionierte Ziel der CO₂-Neutralität bis 2050 zu erreichen. Es kann zwar ein sehr großer Anteil der CO₂-Emissionen reduziert werden, jedoch wird laut Experten ein kleiner Anteil verbleiben, welcher über Negativemission kompensiert werden soll. In der nachfolgenden Abbildung sind die Zielvorgaben der wichtigsten Indikatoren dargestellt, wobei diese aufgrund der besseren Übersichtlichkeit normiert sind. Detaillierter wird darauf in Abschnitt 6 eingegangen.

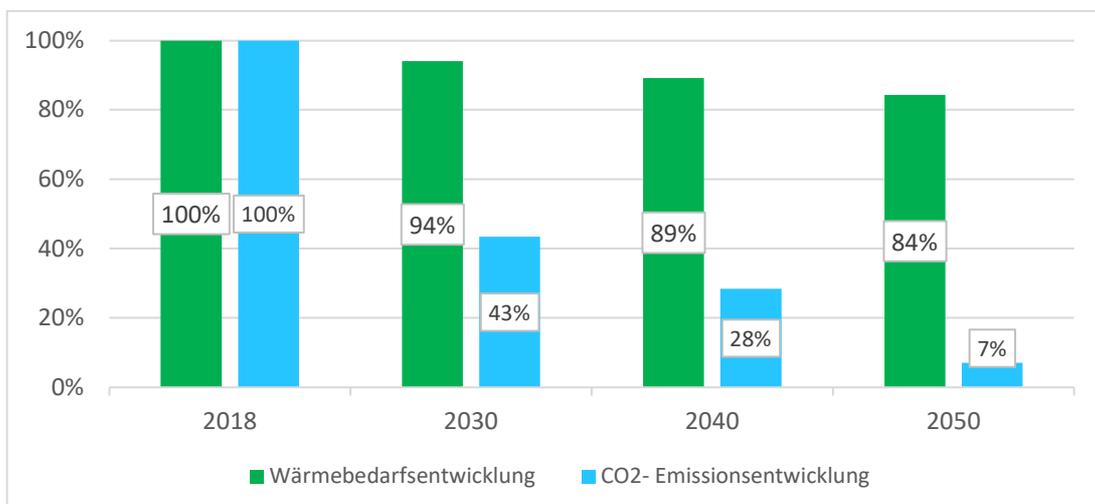


Abbildung 2-1: Meilensteine aus der Klimastrategie und kommunalen Energieplan der Stadt Aarau (Quelle: Stadt Aarau, Darstellung angepasst)

Mit der vorliegenden Untersuchung soll geprüft werden, welche realistische Möglichkeiten für den Energieversorger Eniwa AG im Bereich der Stadt Aarau sowie den umliegenden Agglomerationsgemeinden innerhalb des Versorgungsgebiets bestehen, bestimmte CO₂-Ziele zu erreichen. Zusätzlich sollen die Randbedingungen aufgezeigt werden, unter denen bestimmte Reduktionsziele erreicht werden können.

2.3 Projekteinordnung und Vorgehensweise

Die nachfolgend beschriebene Untersuchung stellt einen Teil der insgesamt mehrteiligen Gesamtuntersuchung zur strategisch-operativen Ausrichtung der Wärmeversorgung im Versorgungsgebiet von Eniwa dar (Abbildung 2-2). Das Gesamtprojekt **Wärmestrategie Eniwa 2050** umfasst die folgenden Projektmodule:

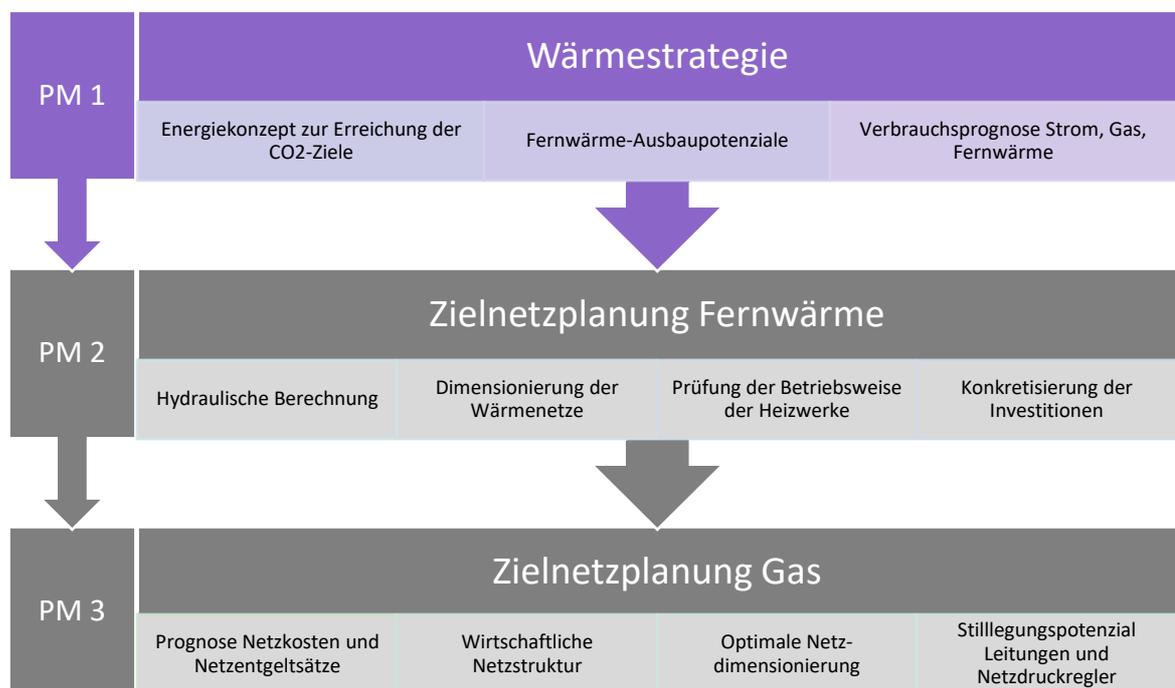


Abbildung 2-2: Einordnung der Wärmestrategie im Gesamtprojekt

Der geplante Ablauf des Projekts ist in Abbildung 2-3 skizziert, wobei der Prozess keinem klaren linearen Muster folgt, sondern einzelne Bestandteile voneinander abhängen und nur iterativ ermittelt werden können.



Abbildung 2-3: Schematische Darstellung der Vorgehensweise der integrierten Energieplanung und Simulation

3 DATENGRUNDLAGEN

3.1 Allgemein

Das Simulationsmodell basiert zum einen auf einer Trassendarstellung der Gas-, Strom- und Wärmenetze, zum anderen auf den Einzelgebäuden mit ihrem Strom- und Wärmebedarf. Die benötigten und genutzten Datenquellen gehen aus nachfolgender Auflistung hervor und werden in den anschließenden Kapiteln näher erläutert:

- Gebäudekataster (Gebäudegeometrie und -adressen)
- Hausanschlussdaten
- Solarkataster
- Strassenkataster
- Energienetze
- Jahresverbrauchsabrechnung der Sparten Gas, Wärme und Strom
- Gebäudespezifische Daten (inkl. Heizungstypologie und theoretischer Energiebedarf → GWR)
- Erzeugungsanlagen
- Gebiete mit zulässiger Erdsonde- bzw. Grundwassernutzung
- Betriebs- und Klimadaten

3.2 GIS-Daten

3.2.1 Gebäudekataster

Für das Untersuchungsgebiet liegt ein georeferenzierter Datensatz aller Gebäudeflächen mit Adressangaben vor, wobei im Perimeter Aarau und der direkt angrenzenden Agglomerationsgemeinden teilweise das Wärmesystem, respektive Energieträger bzw. Heizungstyp, enthalten sind. Ergänzt wurde der Datensatz durch das externe Adressverzeichnis^f, um Lücken der Adressangaben zu füllen und die EGD (Eidgenössische Gebäudeidentifikationsnummer) hinzuzufügen. Als Basis des Gebäudekatasters dient die Gebäudegeometrie auf die das Adressverzeichnis über die geografische Lage (Koordinaten innerhalb Gebäudegeometrie) gemappt werden.

Benennung	Quelle	Anzahl
Wärmekataster	Eniwa AG	48'379 ^g
Gebäudegeometrie		
Adressverzeichnis	Bundesamt für Landestopografie swisstopo	58'797

Tabelle 3-1: Datensätze des Gebäudekatasters

Hausanschlüsse/Energieträger

Zusätzlich zu den vorhandenen Gebäudeinformationen gemäss dem Gebäudekataster aus Abschnitt 3.2.1 sind weitere gebäudebezogene Daten vorhanden, die in Beziehung mit der angeschlossenen Energieinfrastruktur (Heizungstyp und Energieträger) der Gebäude stehen, die sog. Hausanschlusskoordinaten der Sparten Strom, Gas und Wärme (Kälte). Diese georeferenzierten Hausanschlussdatensätze enthalten neben der Adresse eine individuelle Anschlussobjektnummer gemäss der JVA (Energieplandaten_20210310.xlsx). Im Datensatz der Sparte Strom sind bereits Verbrauchswerte teilweise hinterlegt und somit eindeutig zugewiesen, welche direkt in das Gebäudekataster übernommen werden können.

^f Adressverzeichnis vom Bundesamt für Landestopografie – swisstopo

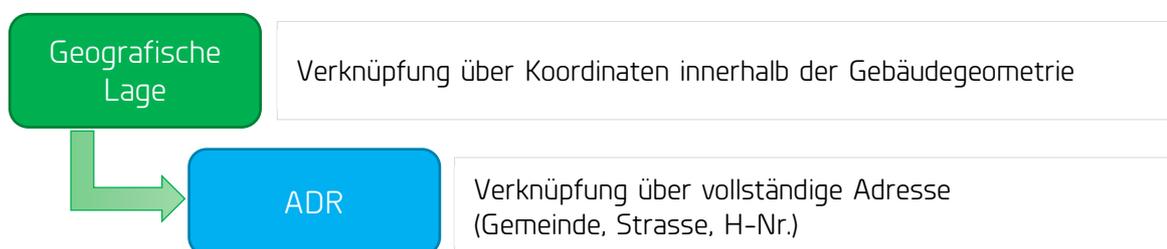
^g Gebäudeflächen mit Daten im Versorgungsgebiet; ursprünglich im Wärmekataster erfasst: 60'635 (inkl. Zofingen, Walterswil)

Benennung	Quelle	Anzahl
Hausanschlüsse Strom	Eniwa AG	15'639
Hausanschlüsse Gas	Eniwa AG	6'729 ^h
Hausanschlüsse Wärme	Eniwa AG	165 ⁱ
Hausanschlüsse Kälte	Eniwa AG	56

Tabelle 3-2: Datensätze der energetischen Hausanschlüsse

Dieser Datensatz wird in erster Linie zur eindeutigen Zuweisung des Heizungstyps, respektive Energieträger, auf die Gebäude herangezogen (Ausnahme Sparte Strom → zusätzliche Übernahme Verbrauch aus Attribut). Zudem wird mit dem Attribut „Anschlussobjektnummer“ das Gebäudekataster mit einer eindeutigen Zuweisungsnummer ergänzt, um im Anschluss die realen Verbrauchsdaten aus der JVA eindeutig auf die jeweiligen Gebäude zuzuordnen (s. Abschnitt 4.2).

Die Zuordnung auf das Gebäudekataster erfolgt mit folgender Logik:



3.2.2 Solarkataster

Das Solarkataster ist aus externer Quelle vom Bundesamt für Energie (BFE) bezogen und dient als zusätzliche Datenquelle für den theoretischen Heizwärmebedarf, Warmwasserbedarf sowie die summierte Globalstrahlung (Solarertrag) eines Gebäudes. Aufgrund der nicht validierten Datenqualität der Wärmebedarfsangaben im Solarkataster, finden Heizwärme- und Warmwasserbedarf nur Anwendung, wenn keine Werte aus den von Eniwa übermittelten Datensätze für das jeweilige Gebäude vorhanden sind bzw. nicht zugeordnet werden können.

3.2.3 Strassenkataster

Das Strassenkataster wird benötigt, um ein flächendeckendes Trassenmodell zu erstellen, welches die Struktur der Energienetze annähert und eine spartenübergreifende Analyse gewährleistet. Bezogen wurde das Strassenkataster vom Geoportal des Bundesamtes für Landestopografie swisstopo.

Benennung	Quelle	Länge	Anzahl
Strassenkataster	Bundesamt für Landestopografie swisstopo	1'059 km	8'954

Tabelle 3-3: Informationen des Strassenkatasters

^h 5'660 in Betrieb / 36 Gemeinschaftsanschlüsse / 200 Parzelleneinführungen / 833 ausser Betrieb oder vorbereitet

ⁱ 132 in Betrieb / 3 Gemeinschaftsanschlüsse / 30 vorbereitet

Vom gesamten Strassenkataster sind 3'369 Abschnitte mit einer geografischen Länge von 300,2 km gasversorgt und 160 weitere Abschnitte mit einer geografischen Länge von 14,5 km fernwärmerversorgt. Diese Zuordnung erfolgte durch geometrische Verschneidung der Trassen mit den vorhandenen GIS-Netzdaten, wobei die Versorgungsleitungen (exkl. Hausanschlussleitungen) herangezogen wurden.

3.2.4 Zulässigkeit Erdwärme- und Grundwassernutzung

Auf Basis der vom BAFU definierten Schutzzonen für das Grundwasser (von Eniwa erhalten), wurde die Zulässigkeit von Wärmepumpen zur Energienutzung aus Grundwasser oder Erdwärme festgelegt. Innerhalb dieser Zonen, welche in Abbildung 3-1 dargestellt sind, ist die Verwendung dieser Technologie zur Wärmeversorgung nicht zulässig.

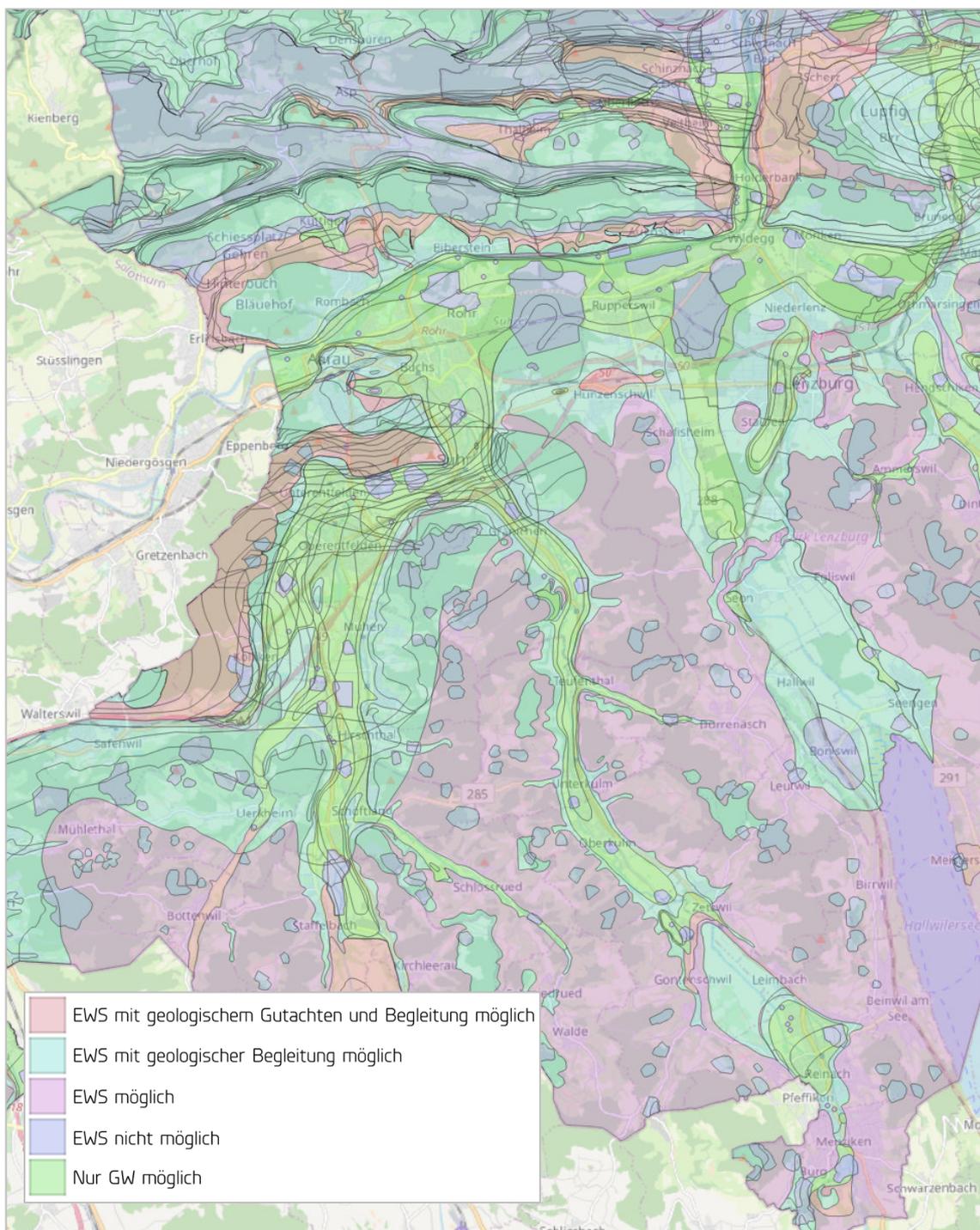


Abbildung 3-1: Übersichtsplan der vom BAFU definierten Schutzzonen für Grundwasser

3.3 Netzdaten

3.3.1 Gasnetz

Das vollständige Gasversorgungsnetz wurde als Shape-Datei geliefert. Durch geometrische Verschneidung mit den Trassenverläufen ist in dem Trassenmodell hinterlegt, welche Strassenabschnitte heute durch das Gasnetz versorgt sind. Sofern das Baujahr in der Datei angegeben war, wurde dies in das Modell übertragen.

Für die Zuteilung wurden lediglich die Versorgungsleitungen (exkl. Hausanschlüsse) verwendet, welche eine physische Netzlänge von 291,1 km (inkl. Wynagas) gemäss dem gelieferten GIS-Datensatz aufweist. Da die geografische Länge im Trassenmodell (Strassenverläufe) 300,2 km (keine Abbildung von parallelverlegten Leitungsabschnitten) beträgt, ist im Simulationsmodell der Längenfaktor für Gas auf 0,97 eingestellt, um die tatsächliche Netzlänge zu berücksichtigen.

3.3.2 Wärmenetz

Die bestehenden Wärmenetze im Versorgungsgebiet von Eniwa wurde ebenfalls als Shape-Datei geliefert und analog zum Gasnetz in das Trassenmodell importiert. Hier wurden ebenfalls nur die Versorgungsleitungen berücksichtigt. Eine physische Trassenlänge von 13,9 km gem. dem gelieferten GIS-Datensatz steht der geografischen Länge im Trassenmodell von 14,5 km gegenüber. Es ergibt sich ein Längenfaktor vergleichbar mit dem Gasnetz von 0,96. Neben dem Bestandsnetz ist auch die Erweiterungsplanung von Eniwa in der Untersuchung berücksichtigt.

3.3.3 Stromnetz

Da jedes Gebäude durch Strom versorgt ist, wird flächendeckend für jede Trasse angenommen, dass diese eine Stromleitung aufweist. Nichtsdestotrotz hat dies keinen direkten Einfluss auf die Durchführung der hier beschriebenen Wärmestrategie.

3.4 Energiedaten

3.4.1 Jahresverbrauchsabrechnung

In den nachfolgenden Abschnitten werden alle Verbrauchsdaten aus der JVA (Energieplandaten_20210310.xlsx) kurz dargestellt und deren Nutzung erläutert.

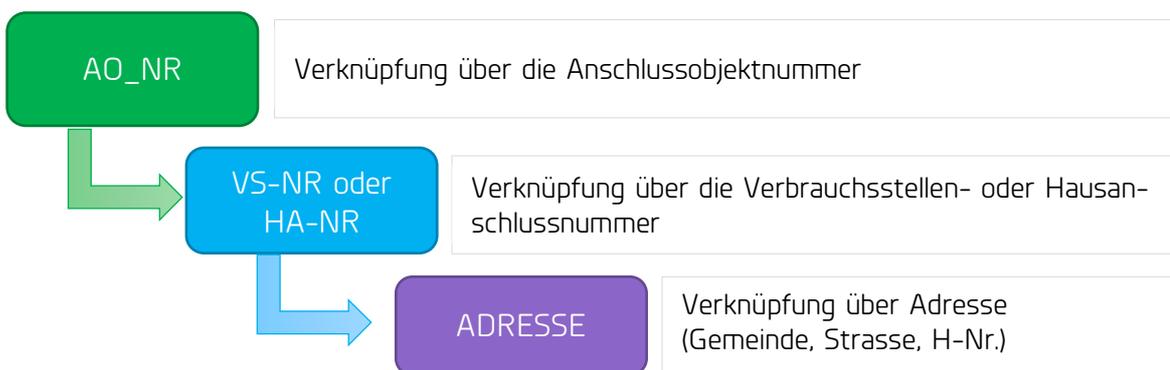
3.4.1.1 Stromverbrauch

Die Stromverbrauchsdaten aus der JVA (Strom_Verbrauch_2018_2019 .xlsx) umfassen 38'497 Datensätze der durch Eniwa versorgten Gemeinden mit einem Gesamtverbrauch von 411 GWh. Wie in Abschnitt 3.2.1 bereits erwähnt liegt zudem ein georeferenzierter Datensatz (STROM_Verbraucher.shp) vor (15'639 Stk., 282 GWh).

Benennung	Quelle	Summe	Anzahl
Jahresverbrauch Strom	Eniwa AG (JVA)	411 GWh	38.497
Hausanschlüsse Strom	Eniwa AG	282 GWh	15'639

Tabelle 3-4: Zusammenfassung Jahresverbrauchsdaten Strom für das Jahr 2019

Beide Datensätze wurden für den Import der Stromverbrauchsdaten genutzt, wobei im ersten Schritt der georeferenzierte Datensatz aufgrund der höheren Genauigkeit herangezogen wurde. Im nächsten Schritt wurden die Anschlussobjektnummer und Hausanschlussnummer (enthalten im Gebäudekataster nach der ersten Verschneidung, s. Abschnitt O) in die JVA übertragen. Nun ist eine Zuordnung der Verbräuche aus der JVA mit folgender Logik möglich:



In den Gemeinden, welche nicht durch Eniwa mit Strom versorgt werden, sowie in Fällen mit Datenlücken in Eniwa versorgten Gemeinden, wurde der Strombedarf im Nachgang gemäss nachfolgender Logik ergänzt:

1. Zuweisung Strombedarf aus Nachbargebäude:

Bei Objekten mit mehreren Gebäudeeingängen oder durch interne Verteilung versorgten Gebäuden liegt häufig der Stromanschluss in einem Gebäude (z. B. Hausnummer 14) und der Wärmebedarf / Gasanschluss in dem Nachbargebäude (z. B. Hausnummer 16). Diese zusammengehörenden Gebäude werden identifiziert und der Wärme- und Strombedarf einem der beiden Gebäudeteile zugewiesen.

2. Nutzung Verhältnis von Strom- zu Wärmeverbrauch:

Für die Gebäude in den nicht durch Eniwa versorgten Gemeinden wurde der Strombedarf als Funktion aus dem Wärmebedarf geschätzt, gemäss folgender Logik:

- Ermittlung des spezifischen Verhältnisses für Standardverbraucher (exkl. Industriekunden) → Ergebnis (Median von 13'000 Stk.): $\text{Strom} \triangleq 0,35 \times \text{Wärmebedarf}$ (35 %)
- Anwendung auf alle Gebäude mit Wärmebedarf, aber fehlendem Strombedarf sofern nicht gem. Punkt 1 gekennzeichnet

3.4.1.2 Gasverbrauch

Die Gasverbrauchsdaten aus den Energieplandaten für das Jahr 2020 umfassen 5'676 Datensätze mit einem Gesamtwärmeverbrauch von 422 GWh für das gesamte Gasversorgungsnetz inkl. Wynagas. Die im Original gelieferten Daten wurden um die meisten Prozessgaskunden reduziert, um dem Raumwärmebedarf als Zielgröße zu entsprechen. Durch diese Reduktion ergibt sich ein verbleibender Gasverbrauch von ca. 360 GWh. Auf das Versorgungsgebiet exkl. Wynagas entfallen davon ca. 313 GWh.

Benennung	Quelle	Summe	Anzahl
Jahresverbrauch Gas	Eniwa AG (JVA)	360 GWh	5'676 ^j

Tabelle 3-5: Zusammenfassung Jahresverbrauchsdaten Gas für das Jahr 2020 (inkl. Wynagas)

3.4.1.3 Fernwärme-/Kälteverbrauch

Die Verbrauchsdaten für die Fernwärmekunden bestehen aus 135 Datensätzen mit einer Gesamtwärmemenge von 46,3 GWh. Der Datensatz des Kälteverbrauchs weist insgesamt 44 Verbraucher mit einer Energiemenge von 9,0 GWh auf.

Benennung	Quelle	Summe	Anzahl
Jahresverbrauch Wärme	Eniwa AG (JVA)	46,3 GWh	135
Jahresverbrauch Kälte		9,0 GWh	44

Tabelle 3-6: Zusammenfassung Jahresverbrauchsdaten Wärme und Kälte für das Jahr 2020

Die Zuordnung der Verbräuche zu den Gebäuden erfolgte nach dem gleichen Verfahren wie für die Gas- und Stromverbrauchsdaten (s. vorherige Abschnitte).

3.4.1.4 Strom-Heizungen

Die Verbrauchsdaten aus der JVA für stromversorgte Heizungen (Wärmepumpe, Stromdirektheizung) bestehen aus 5'391 Datensätzen, wobei 3'670 als Wärmepumpe und die restlichen 1'721 als Stromdirektheizungen deklariert sind. Die Besonderheit hierbei ist, dass die ausgewiesene Energiemenge für die Wärmepumpen (49,4 GWh) nur den Stromanteil darstellen. Deshalb wird hier die Leistung herangezogen, welche mit einer JAZ von 3,0 und 1'800 Vollbenutzungsstunden multipliziert wird (s. Abschnitt 4.2).

Benennung	Quelle	Summe	Anzahl
Direktheizung	Eniwa AG (JVA)	28,6 GWh	1.721
Wärmepumpe	Eniwa AG (JVA)	49,4 GWh (Strom)	3.670

Tabelle 3-7: Zusammenfassung Jahresverbrauchsdaten Strom-Heizungen für das Jahr 2020

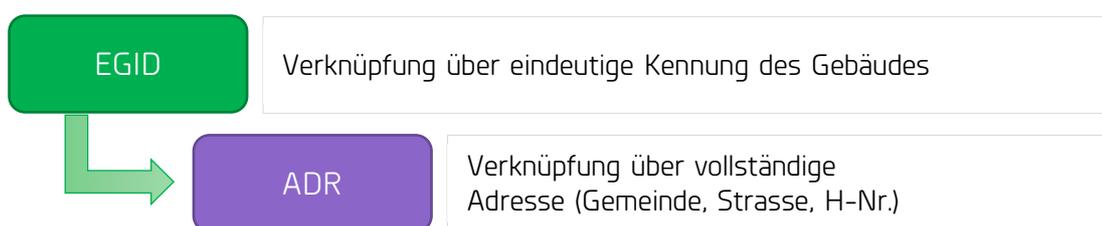
Die Zuordnung der Verbräuche erfolgte anschliessend analog zu den anderen Verbrauchsdaten aus den vorherigen Abschnitten.

^j Gesamtzahl der Datensätze inkl. Prozessgaskunden, in der Summe wurden Prozessgaskunden abgezogen

3.4.2 Heizungstypologie und Wärmebedarf (GWR-Datensätze)

Der Wärmebedarf sowie der Heizungstyp von Gebäuden, bei denen keine Zuordnung gem. Abschnitt 3.4.1 möglich war, kann nur anhand gebäudespezifischer Informationen und Daten bzgl. der Heizungstechnologie ermittelt werden. Hierfür stellt Eniwa einen GWR-Datensatz zur Verfügung, welcher das Gebiet der Stadt Aarau und den umliegenden Agglomerationsgemeinden abdeckt. Der dort hinterlegte Wärmebedarf (Heiz- und Warmwasserbedarf) wurde nach der Methodik des Energiespiegel Aargau ermittelt und kann direkt in das Modell importiert werden^k.

Die Zuordnung der gebäude- und heiztypspezifischen Kenndaten wurde analog zur Logik aus den vorangegangenen Abschnitten durchgeführt, wobei hier die EGID verwendet wird:



3.5 Klimabereinigung Wärmebedarf

Die in dieser Untersuchung verwendeten Daten zum Verbrauch bzw. Bedarf in der Wärmeversorgung basieren auf dem Jahr 2020. Um eine Vergleichbarkeit zu anderen Jahren, Standorten und vor allem eine realitätsnähere Verbrauchsstruktur zu haben, werden diese Verbrauchs- und Bedarfsdaten klimabereinigt. In gemeinsamer Abstimmung mit Eniwa und der Stadt Aarau wurde sich auf die Referenz-Heizgradtage gem. dem Mittelwert der letzten 10 Jahre am Standort Aarau geeinigt. Dieser Wert beträgt 3'047 und ist im Vergleich zum Jahr 2020 mit 2'873 um ca. 6 % höher.^l Der Klimabereinigungsfaktor ist daher 1,06 und wurde linear auf alle Verbrauchsdaten aus dem Jahr 2020 angewendet. Wichtig ist hierbei, dass der im Energieplan der Stadt Aarau verwendete Wert mit 3'310 angesetzt ist und deshalb eine Vergleichbarkeit bzgl. der Absolutwerte nur bedingt gewährleistet ist, da die Werte im Energieplan hierdurch ca. 8,5 % höher sind. Abweichungen in den Ergebnissen sind hierdurch bezogen auf die absoluten Emissionen zu erwarten sowie in geringem Masse auf das Erweiterungspotenzial für den Fernwärmeausbau. Die Emissionsreduktion (in Prozent) ändert sich durch die angepasste Klimabereinigung nicht.

^k Aufgrund eines älteren Datenstandes des GWR und teilweise unvollständigen Energiedaten (vgl. Energieplan S. 14/46) wurde der Wärmebedarf der Ölheizungen in Aarau für die Simulation auf den Wert aus dem Energieplan skaliert.

^l [Quelle](#): Angabe gem. HEV Schweiz (Hauseigentümerverband)

3.6 Betriebs- und Klimadaten

3.6.1 Ganglinie Strom

Die Lastganglinie der Stromeinspeisung wurde auf Basis der von Eniwa übermittelten Jahresganglinie in stündlicher Auflösung in das Modell übernommen. Die Werte sind normiert im Modell hinterlegt.

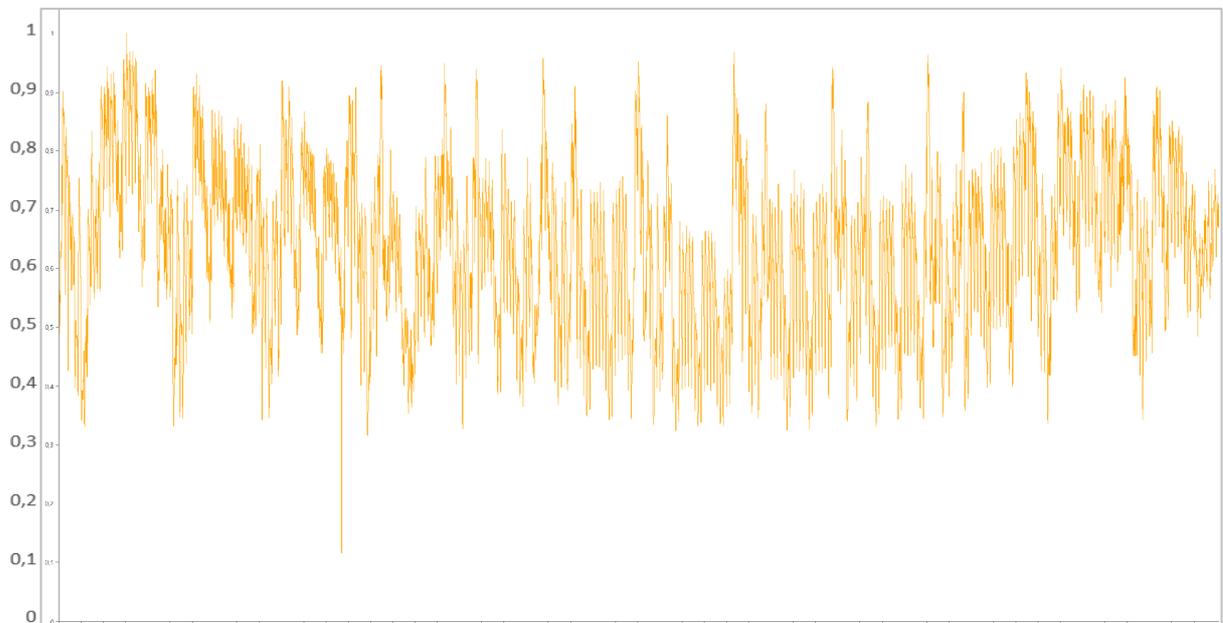


Abbildung 3-2: normierte Jahresganglinie der Stromeinspeisung von Eniwa

3.6.2 Klimadaten

Die Klimadaten sind als stündliche Ganglinien der Jahre 2019 und 2020 im Modell hinterlegt, wobei in dieser Untersuchung lediglich das Betrachtungsjahr 2020 herangezogen wird. Datenquelle hierbei sind die aufgezeichneten Messdaten an der Messstation in Aarau/Buchs und über meteoSwiss bezogen. Während für die Temperatur die Absolutwerte in °C hinterlegt sind, wurde die Ganglinie der Globalstrahlung normiert.

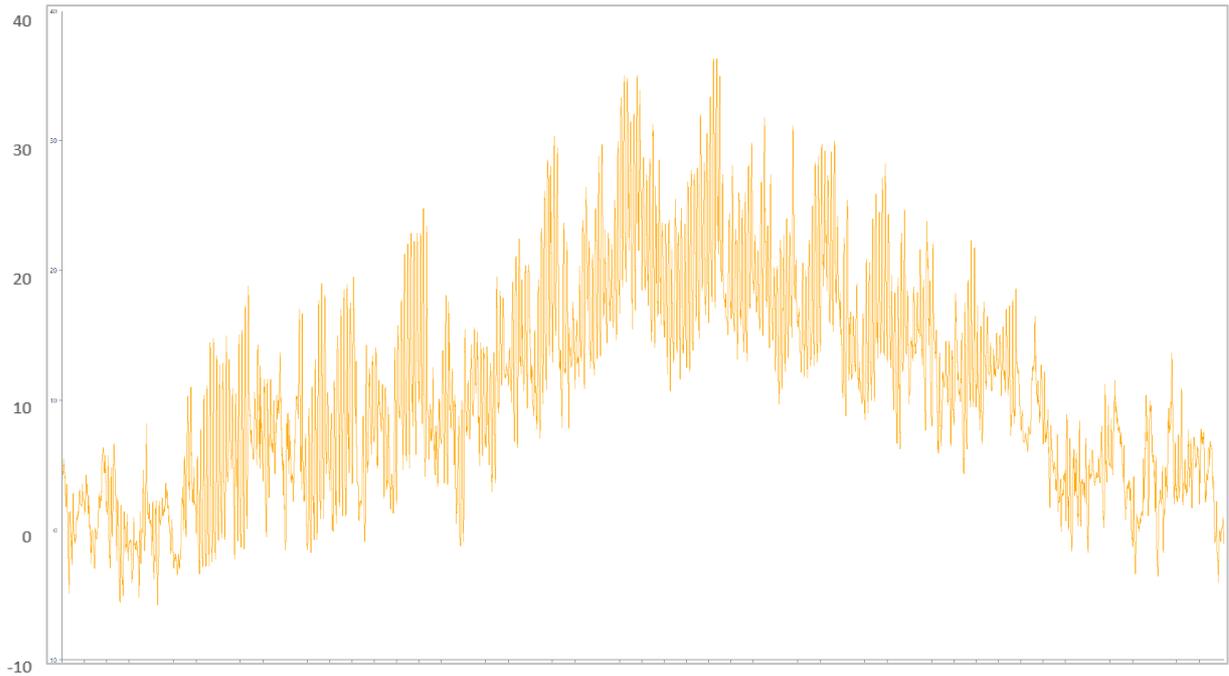


Abbildung 3-3: Jahresganglinie der Temperatur in Aarau/Buchs – 2020

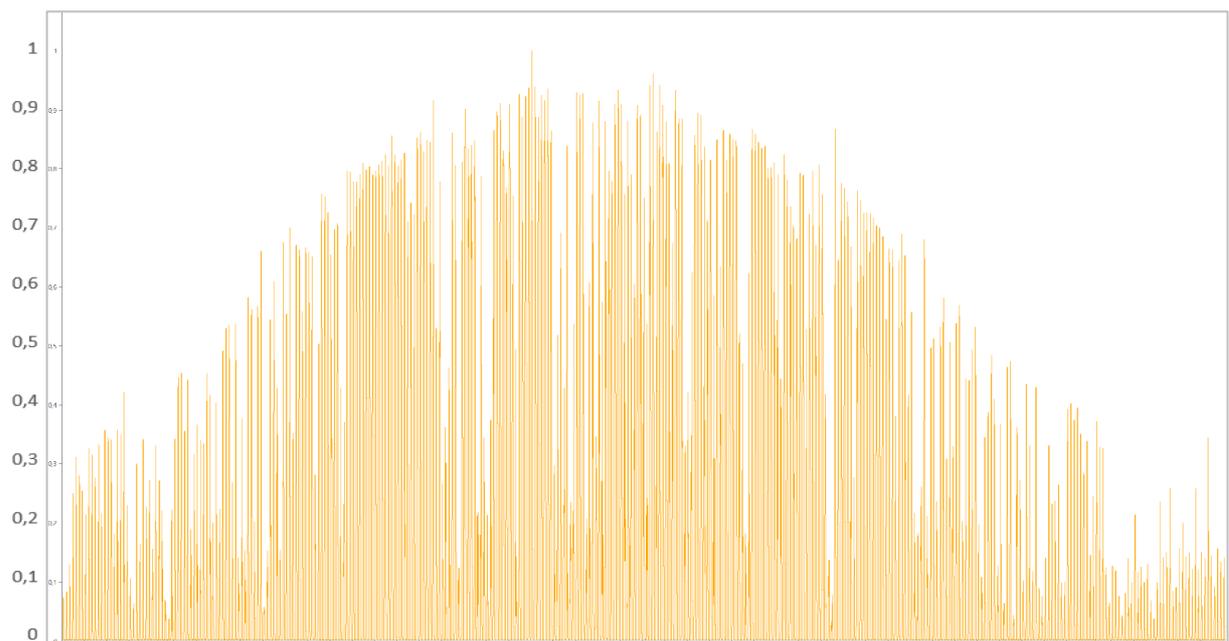


Abbildung 3-4: normierte Jahresganglinie der Globalstrahlung in Aarau/Buchs – 2020

3.7 Energiezentralen

Im Versorgungsgebiet von Eniwa existieren bereits Energiezentralen für die Fernwärmeversorgung im Bestandsnetz und es sind kurz- und mittelfristig weitere in Planung im Rahmen der strategischen Netzentwicklungsplanung Fernwärme. Nachfolgend sind die uns bekannten Energiezentralen aufgeführt.

Name	Technologie/Energieträger	Nennleistung [MW]	Inbetriebnahme	Bemerkung
EZ Kasino	Grundwasser-WP Gas-SLK	2,4 3,4	2013	Bestand
EZ Torfeld	Grundwasser-WP Gas-SLK	6,9 7,4	2015	Bestand
EZ KSA	KVA-Tauscherstation Gas/Öl-SLK	6,9 10,0	k.A.	für Eigenversorgung des KSA wird ersetzt durch EZ KSA Neu
EZ KSA Neu	KVA-Tauscherstation Gas-SLK	11,0 10,0 + 5,0	2024	Planung, 5 MW als Redundanz
EZ Buchs	KVA-Tauscherstation	9,0 (+4.5)	2022	Planung, zusätzlich 4,5 MW möglich
EZ Telli	Gas-SLK	5,0 (+ 5,0)	2023/24	Planung, zusätzlich 5,0 MW möglich
EZ Schachen	Grundwasser-WP	offen	offen	Planung

Tabelle 3-8: Übersicht Energiezentralen (Bestand + Planung) im Versorgungsgebiet Aarau/Buchs

Zusätzlich zu den von Eniwa betriebenen Energiezentralen existieren extern betriebene Heizwerke, welche unterschiedliche Wärmeverbünde im Versorgungsgebiet von Eniwa versorgen.

Weitere Informationen zur Entwicklung und der aktuellen strategischen Planung sind ab Abschnitt 5 (Ausbaupotenzial Fernwärme + Szenarien der Wärmeversorgung) zu finden.

4 AUFBAU CITY-NETZMODELL

4.1 Allgemein

Das nachstehende Schema zeigt, welche Daten und Informationen in das Simulationsmodell des CityCockpits einfließen. Der Grossteil wurde im vorangegangenen Abschnitt dargestellt.

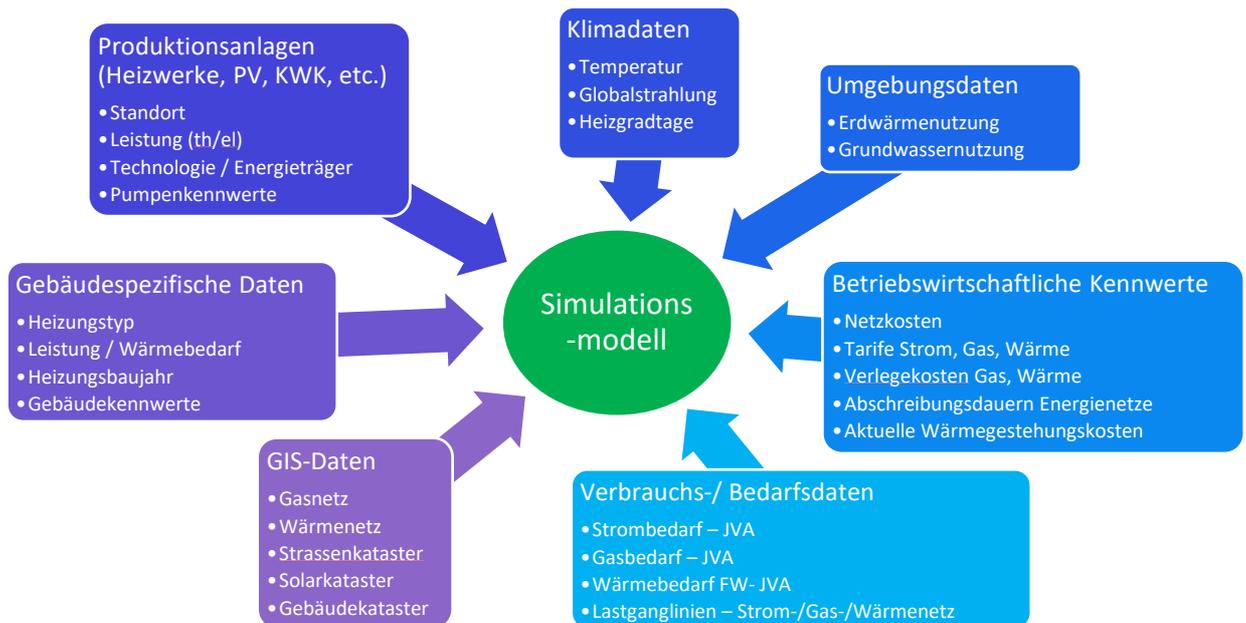


Abbildung 4-1: Komponenten des Simulationsmodells in der Software CityCockpit

Das aktuelle Modell ist durch folgende Kennwerte charakterisiert:

- Anzahl Trassenabschnitte 8'954
- Trassenlänge 1'059 km
 - davon gasversorgt 300,0 km
 - davon fernwärmeversorgt 14,5 km
- Anzahl Gebäude 47'128
 - davon mit Strom- und Wärmebedarf 27'793

Die hohe Anzahl von Gebäude ohne Strom- oder Wärmebedarf (41 %) ist im Wesentlichen auf die fehlende Dokumentation des Gebäudetyps und Unschärfen bei der Zuordnung zurückzuführen. Ein Großteil dieser Gebäude sind jedoch Nebengebäude (z.B. Hütten, Garagen, Hallen, Trafohäuser etc.) ohne Adresse und EGIID, die in dem GIS-Katasterbestand vorhanden sind, jedoch keine eigene Strom- oder Wärmeversorgung haben.

4.2 Simulationsmodell

Alle beschriebenen Datenquellen aus den vorangegangenen Abschnitten wurden entsprechend der erläuterten Zuordnungslogik mit dem Gebäudekataster (vgl. Abschnitt 3.2.1) verschnitten. Aufgrund der unterschiedlichen Qualität hinsichtlich des jeweiligen Energieverbrauchs/-bedarfs und weiteren gebäudespezifischen Informationen in den Datensätzen, erfolgte die Verschneidung in einer vorher festgelegten Reihenfolge, wobei bei jedem Datensatz immer die Bedingung erfüllt sein musste, dass noch kein Verbrauch/Bedarf im jeweiligen Gebäude aus vorangegangener und höher priorisierten Datenquelle übertragen wurde.

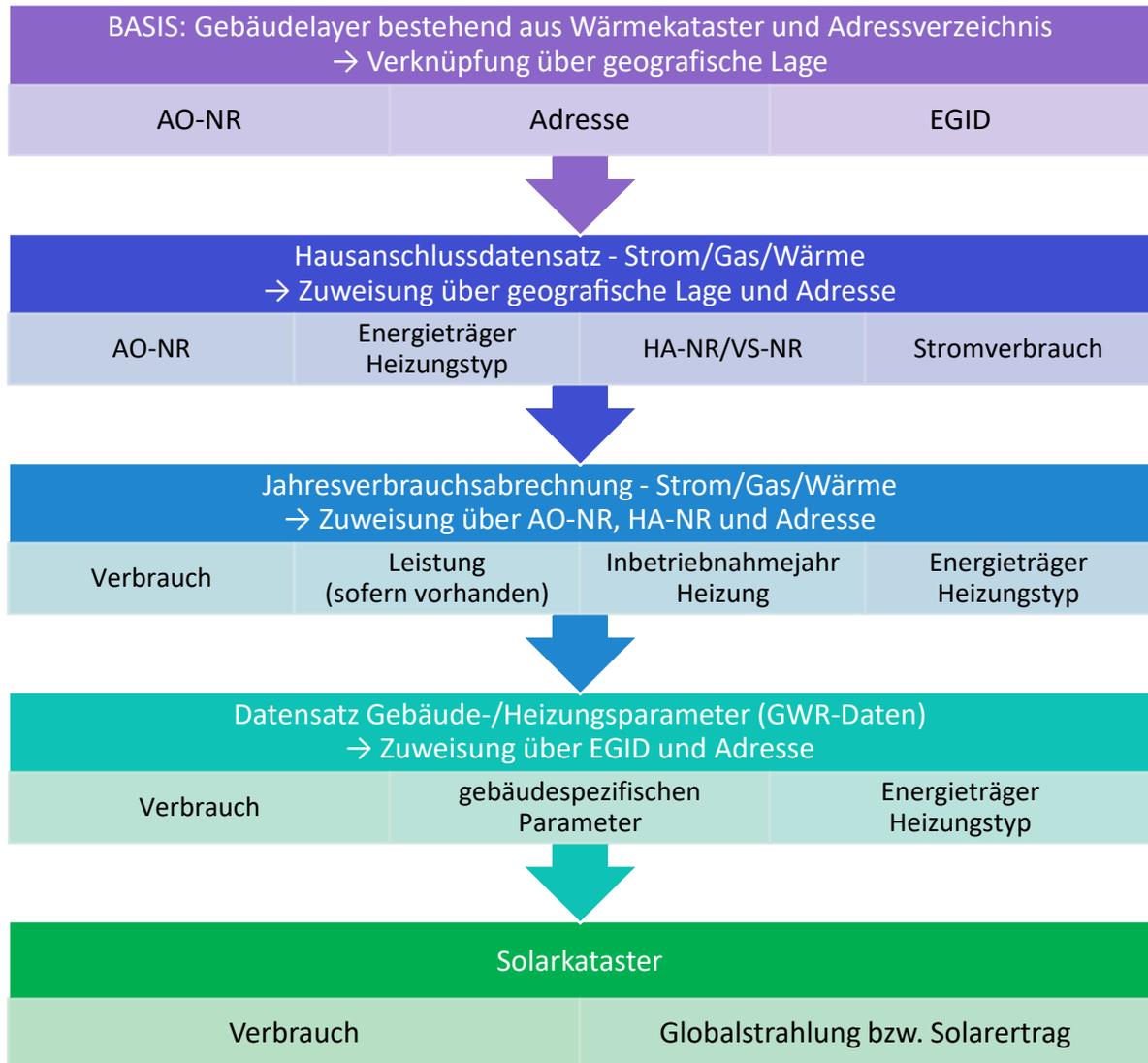


Abbildung 4-2: Rangreihenfolge auf Basis der Datenqualität hinsichtlich gebäudespezifischer Daten

Stromdaten wurden wie in Kapitel 3.4.1.1 beschrieben zugeordnet. Der Wärmebedarf wurde, wenn möglich, über die Jahresverbrauchsabrechnung von Eniwa dem jeweiligen Gebäude zugeordnet. Bei Heizungstechnologien, wo dies nicht möglich war, über empirische Berechnungsansätze laut Tabelle 4-1.

Heizungstechnologie	Ermittlung Wärmebedarf
Gas	Jahresverbrauchsabrechnung
Fernwärme	Jahresverbrauchsabrechnung
Wärmepumpen (wenn Leistung bekannt)	$Q_{th} [kWh_{th}] = P_{el} [kW] \times 300 \% \times 1'800 [h]$ (Elektrische Leistung x JAZ x Volllaststunden)
Ölheizung / Pelletheizung / Wärmepumpen / etc.	1) Nutzung vorhandener GWR-Daten 2) Ermittlung th. Wärmebedarf über Methodik gem. Energiespiegel des Kanton Aargau
Gebäude mit vorhandener Heizungstechnologie, jedoch keine Kenntnisse über Heizungsparameter oder Gebäudeparameter	Wärmebedarf laut Solarkataster (Quelle: Solardach.ch des BFE)
Unbekannt	Wärmebedarf laut Solarkataster (Quelle: Solardach.ch des BFE)

Tabelle 4-1: Ermittlung des Wärmebedarfs je Heizung

Auf Grundlage der heutigen Datenbasis und Rahmenbedingungen herrscht ein Gesamtwärmebedarf von etwa 1'347 GWh/a für das Gesamtversorgungsgebiet von Eniwa (inkl. Wynagas), welcher sich auf 27'793 Gebäude verteilt. Die Wärmebereitstellung entsprechend den Energieträgern sind in absoluter Verteilung in Abbildung 4-3 dargestellt. Bedingt durch fehlende Informationen zur Heizungstechnologie und Gebäudeparameter (speziell in den peripheren Agglomerationsgemeinden) ist ein Gebäudeanteil von 32 % (23 % des Wärmebedarfs) mit dem Heizungstyp „unbekannt“ deklariert, für die in der Simulation angenommen wird, dass diese mit Öl beheizt werden (Worst-Case-Ansatz).

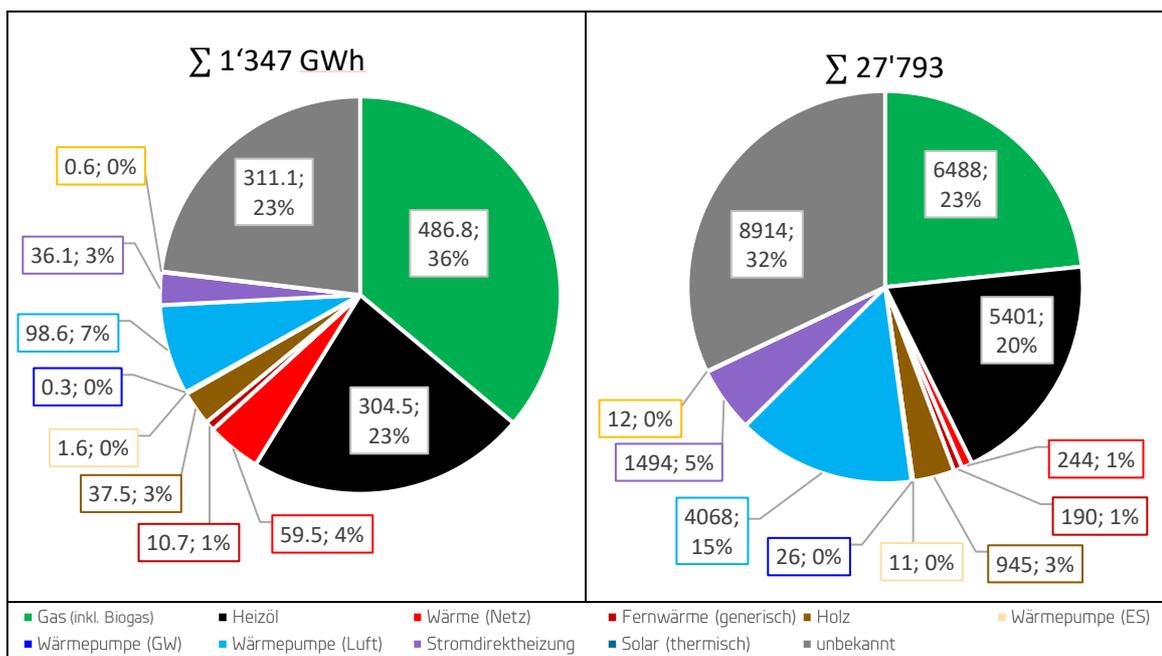


Abbildung 4-3: Verteilung der Energieträger nach Wärmebedarf [GWh] und Anzahl Gebäude im Gesamtversorgungsgebiet von Eniwa

Der Fokus der hier beschriebenen Untersuchung liegt jedoch auf unterschiedlichen Perimetern. Zum einen soll das Versorgungsgebiet „Wynagas“ nicht Bestandteil sein und zum anderen besteht ein Hauptaugenmerk auf der Entwicklung im Stadtgebiet Aarau (s. Abbildung 4-4).

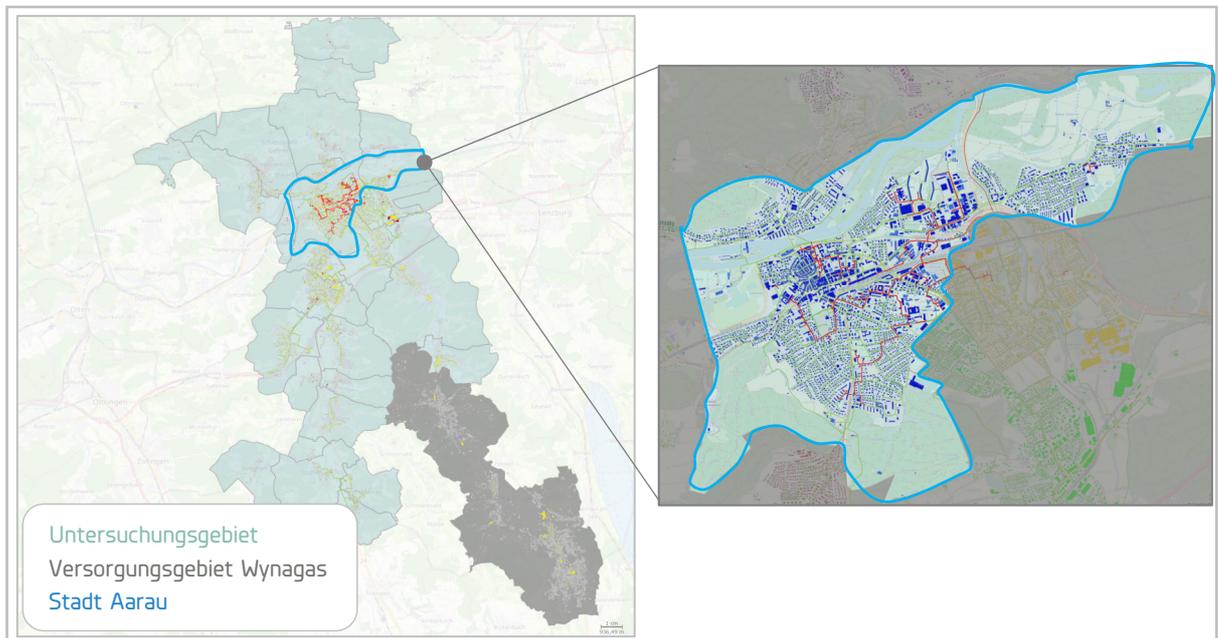


Abbildung 4-4: Fokus der Untersuchung auf das Versorgungsgebiet exkl. Wynagas (links) und der Stadt Aarau (rechts)

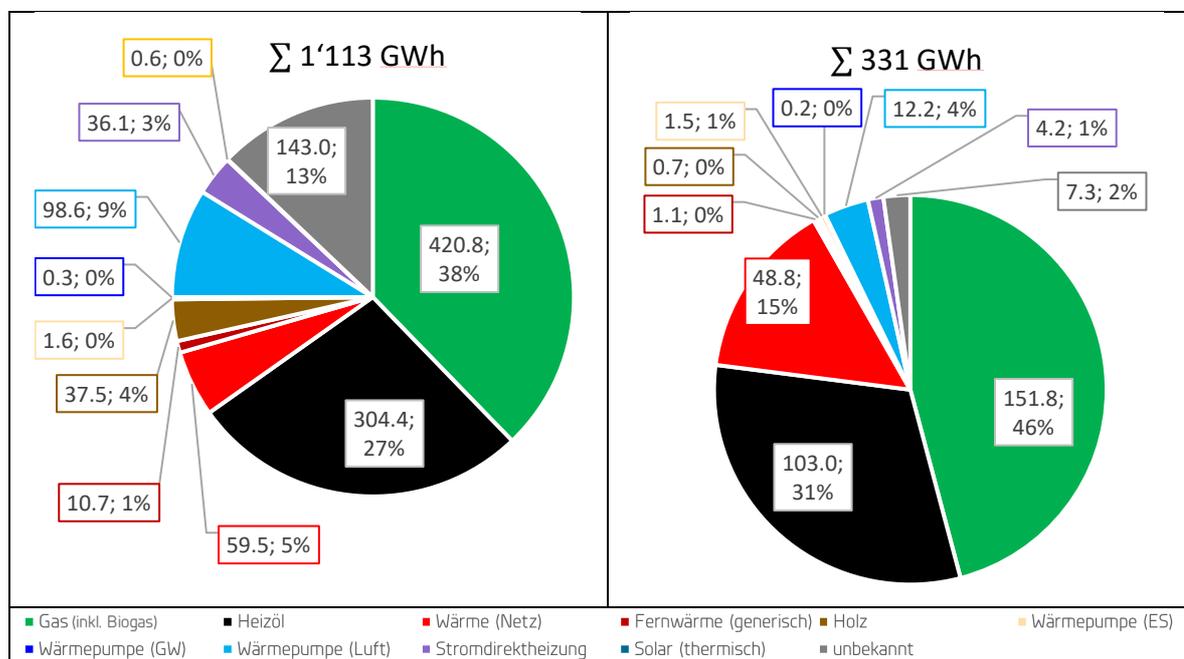


Abbildung 4-5: Verteilung des Wärmebedarfs [GWh] nach Energieträgern im Versorgungsgebiet (exkl. Wynagas; links) und im Perimeter Aarau (rechts)

Komplettiert wird das Simulationsmodell durch das strassenscharfe Trassenmodell, welches die bestehende Energieinfrastruktur darstellt (Strom, Gas, Fernwärme) und ebenso mit dem Energiekataster verknüpft ist. D.h., dass jedes Gebäude dem entsprechenden Strassenzug mitsamt

der Energiedaten zugeordnet ist. Dadurch hat jede Trasse neben der Information der jeweiligen Energieinfrastruktur auch den Wärmebedarf, respektive Wärmebedarfsdichte, als zusätzlichen Parameter.

5 AUSBAUPOTENZIAL WÄRMENETZ

5.1 Allgemein

Aufbauend auf dem regionalen Energiekataster werden zunächst – aufgrund der Wärmebedarfsdichte und weiterer Kriterien (s. Abschnitt 5.2) – wirtschaftlich erschliessbare Potenziale für den Ausbau des Fernwärmenetzes (und ggf. den Aufbau von Nahwärmenetzen) aufgezeigt. Dies geschieht nicht vereinfachend anhand eines Hektarrasters, sondern strassengenau anhand des Trassenmodells.

Somit wird – unter Berücksichtigung der Verdrängung der Gaskunden – aufgezeigt:

- in welchen Strassen neue Nahwärmenetze oder eine Erweiterung des bestehenden Fernwärmenetzes wirtschaftlich sinnvoll ist
- welche Erzeugungskapazitäten die dezentralen und zentralen Wärmeeinspeisungen aufweisen müssen, zur vollständigen Umsetzung des theoretischen Ausbaupotenzials.

Wichtig hierbei ist, dass bei der Untersuchung die bestehende Erweiterungsplanung von Eniwa in der Gesamtbetrachtung mitberücksichtigt wird.

5.2 Rahmenbedingungen

In den durchgeführten Projektsitzungen wurden in gemeinsamer Abstimmung alle relevanten Randbedingungen festgelegt.

Mit den bereits bestehenden und geplanten Energiezentralen (vgl. Tabelle 3-8) besteht eine zukünftige Leistungsbegrenzung bei 84,6 MW. Sollte zur Versorgung des ermittelten th. Ausbaupotenzials eine höhere Leistung notwendig sein, so wird diese Differenz als Annahme durch eine Erweiterung geschlossen.

Zusätzlich zu den Rahmenbedingungen spielt die Wärmebedarfsdichte in den einzelnen Trassenabschnitten eine ausschlaggebende Rolle bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit. Werden alle Wärmeabnehmer bzw. Gebäude in einer Trasse an die zu verlegende Wärmetrasse angeschlossen (\cong Anschlussgrad von 100 %, respektive Vollerschliessung) ist eine Wärmebedarfsdichte von 1'900 kWh/m*a ausreichend, um einen rentablen Betrieb zu gewährleisten. Für die beiden zu untersuchenden Varianten gilt demnach

- Anschlussgrad 60 % und Mindestfernwärmeabsatzdichte 1'900 kWh/m*a erfordert eine Mindestbedarfsdichte der Trasse von 3'150 kWh/m*a
- Anschlussgrad 80 % und Mindestfernwärmeabsatzdichte 1'900 kWh/m*a erfordert eine Mindestbedarfsdichte der Trasse von 2'400 kWh/m*a.

In der Literatur finden sich teilweise Angaben bezogen auf die Anschlussleistung (kW/m). Durch Division mit den Volllaststunden (unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit) kann die hier gewählte Darstellung in die leistungsbezogene Darstellung überführt werden. Unter Annahme einer Volllaststundenzahl (bezogen auf die Anschlussleistung) von ca. 1'800 h/a, entspricht die ermittelte Mindest-Leistungsdichte somit ca. 1 kW/m bei 100 % Anschlussgrad.

Je niedriger der Anschlussgrad, desto zerstückelter und weiter entfernt sind die rentablen Trassenabschnitte zueinander. Dies führt dazu, dass in einigen Bereichen die Erschliessung von rentablen Einzeltrassen durch ein zusammenhängendes Wärmenetz nicht wirtschaftlich ist. Daher kann nicht einfach eine isolierte Betrachtung einzelner Strassenabschnitte erfolgen, sondern es muss eine Gesamtoptimierung durchgeführt werden, welche aufzeigt, in welchen Bereichen ein zusammenhängendes Wärmenetz rentabel erschlossen werden kann. Diese Optimierung berücksichtigt dann beispielsweise auch den Fall, dass zur Erreichung eines wichtigen Gebäudes wie einem Spital auf dem Weg auch „unrentable“ Trassen zu erschliessen sind, sofern die Gesamtwirtschaftlichkeit positiv ist. Diese Gesamtoptimierung wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

5.3 Ergebnisse

Die nachfolgend aufgeführten Ergebnisse verstehen sich als theoretische, wirtschaftliche Ausbaupotenziale und werden im darauffolgenden Projektmodul 2 (Zielnetzplanung Fernwärme) unter thermisch-hydraulischen Randbedingungen angepasst und dimensioniert. Die Untersuchung ist unterteilt in zwei Perimeter:

- Versorgungsgebiet exklusive Bereich Wynagas
- Fokus auf Perimeter Stadt Aarau und Agglomerationsgemeinde Buchs

Die wirtschaftliche Beurteilung erfolgt in den einzelnen Szenarien im Zusammenhang mit der zeitlichen Entwicklung der Heizungstyptransformation (Anschlussgeschwindigkeit). Eine erste Berücksichtigung von aktuellen strategischen Planungen seitens Eniwa sowie der Ausweisung durch technisch sehr aufwändig (und zugleich kostenintensiv) zu erschliessende Gebiete wird in Abschnitt 6.4.4 (Wärmestrategie Eniwa 2050) näher betrachtet.

5.3.1 Perimeter Aarau und Buchs

Da das bestehende Fernwärmenetz sowie die derzeitige Erweiterungsplanung seitens Eniwa im Stadtgebiet Aarau sowie der Agglomerationsgemeinde Buchs ist, wird in diesem Abschnitt das theoretische Ausbaupotenzial in diesem Gebiet separat betrachtet. Das Untersuchungsgebiet ist in Abbildung 5-1 dargestellt.

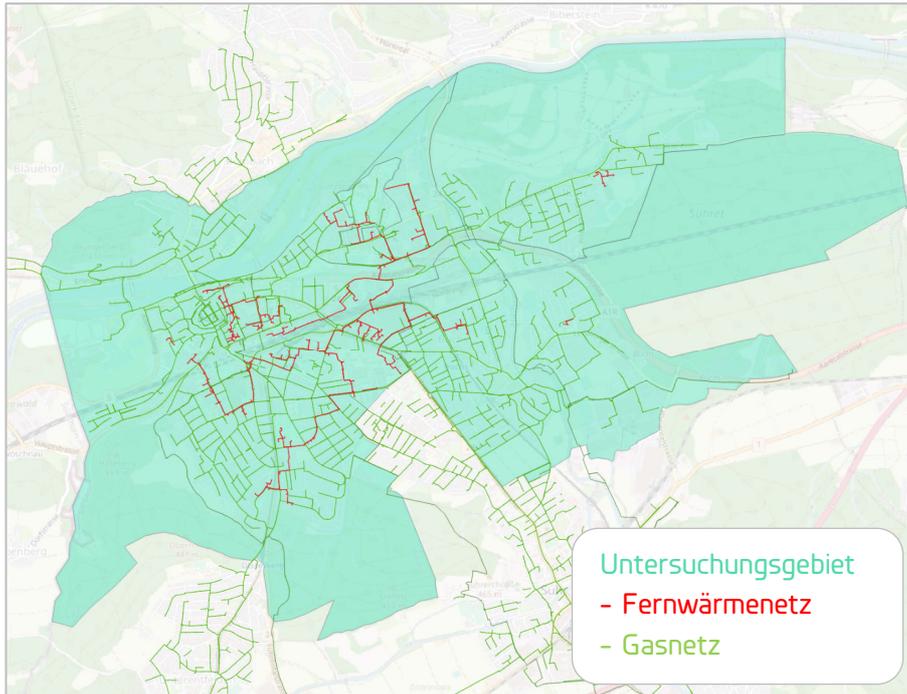


Abbildung 5-1: Übersicht Versorgungsgebiete Aarau und Buchs

Beim Vergleich der beiden Varianten ergibt sich bei geographischer Betrachtung der Trassen eine hohe Übereinstimmung, wobei in der Variante 80 % einige zusätzliche Strassen zur Erschliessung vorgeschlagen werden. Bei einem Blick auf die netzspezifischen Parameter wird die Differenz zwischen beiden Varianten noch deutlicher, da bei 80 % Anschlussgrad eine um ca. 14 km bzw. 30 % grössere Trassenlänge ausgewiesen wird (s. Abbildung 5-2).

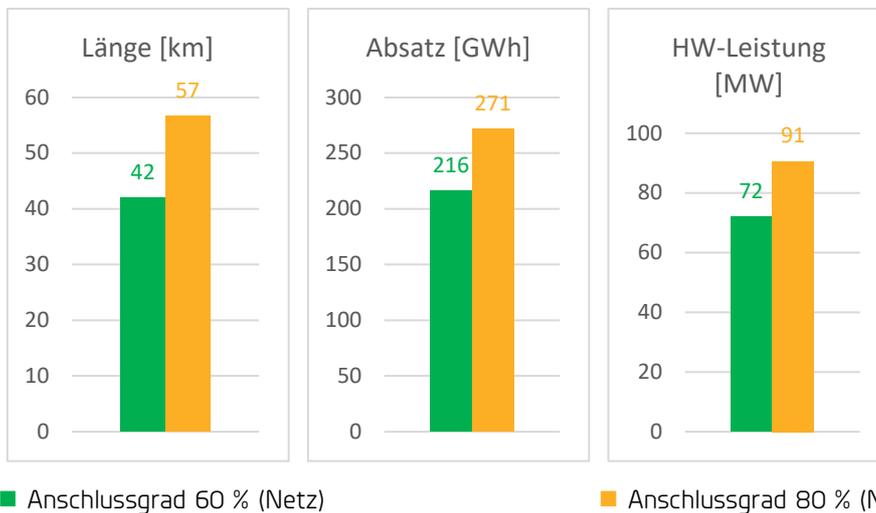


Abbildung 5-2: Parameter des theoretischen Ausbaupotenzials in Aarau und Buchs

6 SZENARIEN DER WÄRMEVERSORGUNG

6.1 Zielsetzung der Simulationsszenarien

Um ein realistisches Bild über die zukünftige Emissionsentwicklungen zu erhalten, müssen die zugehörigen Energie- und Leistungsverteilungen im gesamten Versorgungsgebiet betrachtet werden. Hieraus resultieren dann die notwendigen Netzstrukturen. Daher werden die Ganglinien des zu erwartenden Strom- und Wärmebedarfs jedes Gebäudes auf der Basis von Strom-Lastprofilen und Wärmebedarfs-Lastprofilen in den kommenden Jahren bis zum Jahr 2050 abgebildet.

Sobald die technische Lebensdauer der Heizungsanlage erreicht ist, erfolgt eine mögliche Umstellung auf eine andere Technologie sowie eine mögliche Nutzung der Solarenergie in Form von PV- oder Solarthermie-Anlagen auf dem Dach des jeweiligen Gebäudes. Gleichzeitig wird unterstellt, dass der Wärmebedarf aufgrund von Sanierungsmassnahmen trotz Zuwanderung im Mittel kontinuierlich reduziert werden kann.

Jedes Gebäude wird einer Energietrasse zugeordnet, die in der Nähe des Gebäudes verläuft, und kann durch

- Fernwärme
- einen Erdgaskessel
- einen Ölkessel
- einer Pelletheizung
- eine Wärmepumpe

energetisch versorgt werden. Die Errichtung eines Erdgaskessels setzt voraus, dass in der Strasse eine Erdgasleitung verlegt ist. Ein Anschluss an die Fernwärme ist nur möglich, sofern in der Strasse zum Zeitpunkt des Heizungswechsels vor dem Gebäude Fernwärme verlegt ist.

Daher ist es von entscheidender Bedeutung, in welchen Strassen welche Energieträger zukünftig verlegt sein werden, wobei die bestehende Erweiterungsplanung von Eniwa sowie die Ergebnisse des theoretischen Ausbaupotenzials Fernwärme (Abschnitt 5) eine tragende Rolle in den Szenarien spielt.

6.2 Annahmen und Randbedingungen der Simulation

Folgende Simulationsparameter und Rahmenbedingungen sind übergreifend für alle Szenarien angesetzt:

- Die Erneuerung der Heizungsanlagen erfolgt nach 20 Jahren Nutzungsdauer.
- Bei Erneuerung der Heizungsanlage wird entschieden, ob das Gebäude zukünftig:
 - durch Fernwärme versorgt wird.
Hierbei werden entlang der bestehenden und zukünftigen Fernwärmetrassen, sämtliche Gebäude bis zu einem definierten Anschlussgrad (bezogen auf den Wärmebedarf aller Gebäude an dieser Trasse) an das Fernwärmenetz angeschlossen.

- mit einer Strom-Wärmepumpe ausgestattet wird in Abhängigkeit der Zulässigkeit gem. Abbildung 3-1
- ein Erdgaskessel eingebaut wird
- ein Pelletkessel eingebaut wird
- gleichzeitig erfolgt die Nutzung der Dachflächen für PV und Solarthermie

Zur Wärmebedarfsentwicklung:

Die Wärmebedarfsentwicklung ist dem Energieplan der Stadt Aarau entnommen, welche den Rückgang durch eine kontinuierliche Sanierungsrate der Gebäude sowie die Einwohnerzuwanderung berücksichtigt. Ebenso sind für die wesentlichen Energieträger Entwicklungsziele angegeben. Abbildung 6-1 zeigt diese Entwicklung in einer normierten Darstellung bis zum Jahr 2050 mit den Zwischenzielen für 2030 und 2040.

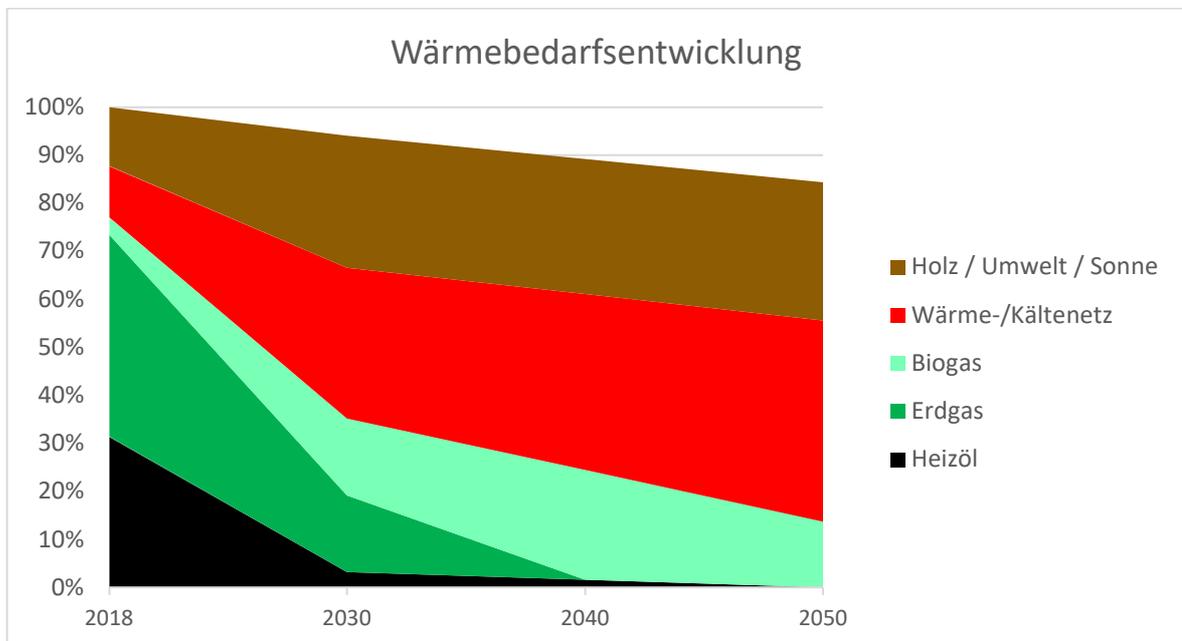


Abbildung 6-1: Normierte Darstellung der Wärmebedarfsentwicklung pro Energieträger gem. Energieplan Stadt Aarau

Zur Emissionsentwicklung:

Neben der Wärmebedarfsentwicklung werden für die Stadt Aarau konkrete Ziele bzgl. der CO₂-Emissionen vorgegeben, welche in Abbildung 6-2 normiert dargestellt sind. Wichtig ist zu erwähnen, dass im Energieplan der Stadt Aarau die Annahme getroffen wurde, dass die Emissionsfaktoren (s. Abbildung 6-3) im Jahr 2050 auf ein Drittel des heutigen Wertes sinken. Diese Annahme ist in dieser Untersuchung nicht übernommen.

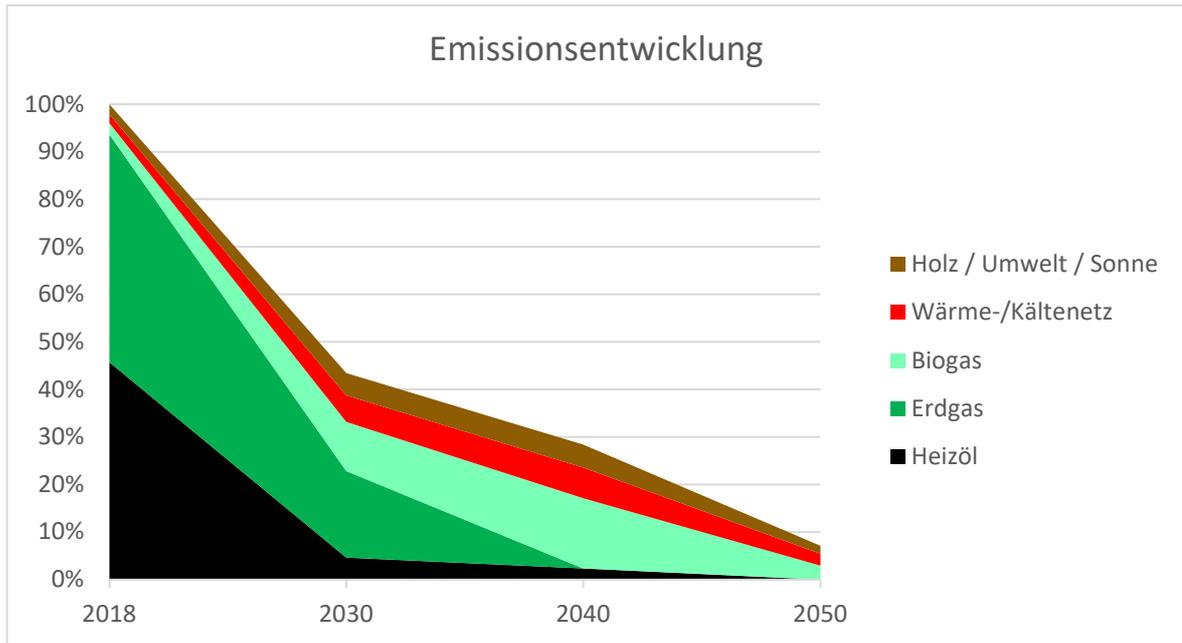


Abbildung 6-2: Normierte Darstellung der Emissionsentwicklung pro Energieträger gem. Klimastrategie und Energieplan Aarau

Zu CO₂-Emissionsfaktoren:

Die äquivalenten Faktoren zu den CO₂-Emissionen wurden in Abstimmung mit Eniwa und der Stadt Aarau gem. den Berechnungsgrundlagen der 2000-Watt-Gesellschaft, welche auf der LCA-Methodik basiert, aus der von der Stadt Aarau übermittelten Excel-Liste übernommen. Wichtig hierbei ist, dass die Faktoren für den Fernwärme- und Strom-Mix spezifisch für Aarau sind. Die für diese Untersuchung relevanten CO₂-Emissionsfaktoren sind in nachfolgendem Diagramm dargestellt und für diese Untersuchung über den Betrachtungszeitraum als konstant angenommen.

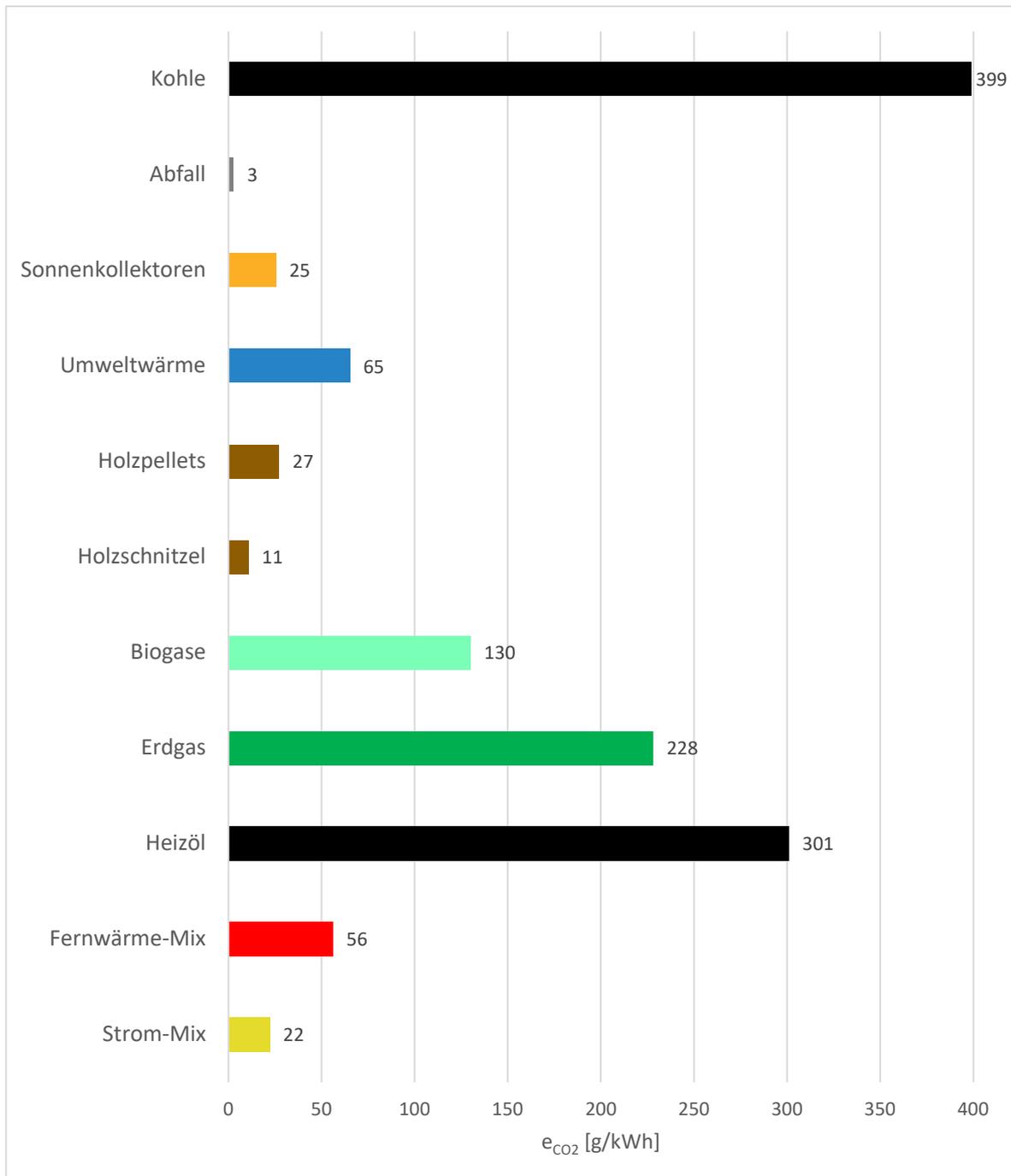


Abbildung 6-3: CO₂-Emissionsfaktoren der einzelnen Energieträger gemäss Berechnungsgrundlagen der 2000 Watt Gesellschaft bzw. Eniwa (Fernwärme-Mix und Strom-Mix)

6.3 Übersicht der Versorgungsszenarien

Zur schrittweisen Ermittlung des optimalen Versorgungskonzeptes sowie zum besseren Verständnis des Einflusses der jeweiligen Parameter (Wärmebedarfsentwicklung, Fernwärmeausbau, Technologiemix, etc.) auf die Ergebnisse (insbesondere CO₂-Emissionen) wurden die in Tabelle 6-1 aufgeführten Versorgungsszenarien in Abstimmung mit Eniwa berechnet.

Nr.	Bezeichnung	Fernwärmeausbau	Besonderheit
1	Energieplan Aarau 1	14 → 29 km	Berücksichtigung FW-Erweiterungsplanung Eniwa mit AG 60 % mit Fokus auf Klimastrategie und Energieplan Stadt Aarau
2	Energieplan Aarau 2	14 → 29 km	Berücksichtigung FW-Erweiterungsplanung Eniwa mit AG 80 % mit Fokus auf Klimastrategie und Energieplan Stadt Aarau
3	Ausbaupotenzial Fernwärme	14 → 78 km	Berücksichtigung gesamtes theoretisches FW-Ausbaupotenzial mit AG 60 %
4	Wärmestrategie Eniwa 2050	14 → 50 km	Grundlage Szenario 3 mit Berücksichtigung zusätzlicher strategischer und technischer Randbedingungen bzgl. FW-Ausbau

Tabelle 6-1: Übersicht der untersuchten Versorgungsszenarien

Bei den Szenarien sind anhand der vorgegebenen Rahmenbedingungen die zukünftigen Marktanteile oder Anschlussgrad von Heizungstechnologien bzw. Energieträger festgelegt, wobei in den Szenarien (je nach Zielvorgabe für das Jahr 2050) der Wechsel des Heizungstyps gemäss der Beschreibung in Kapitel 6.2 berücksichtigt wurde.

6.4 Ergebnisse

6.4.1 Szenario 1: „Energieplan Aarau“ – FW-AG 60%

In diesem Szenario ist die klare Vorgabe der Energieplan der Stadt Aarau (s. Abbildung 6-1 und Abbildung 6-2) unter Berücksichtigung des heutigen Erweiterungsplans Fernwärme von Eniwa. In der aktuellen strategischen Planung zukünftiger Wärmetrassen werden lediglich die Trassen berücksichtigt, welche im Datensatz mit einer Wahrscheinlichkeit von 75 % oder höher deklariert sind. Von heute ca. 14 km Trassenlänge (Versorgungsleitungen, exkl. Hausanschlussleitungen) erfolgt eine Erweiterung um ca. 15 km auf etwa 29 km. Szenario 1 geht von einer Verdichtung im bestehenden Netz sowie im zukünftigen Netz bis zu einem Anschlussgrad von 60 % aus.

6.4.1.1 Perimeter Aarau

Die Entwicklung des Wärmebedarfs sowie der CO₂-Emissionen sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

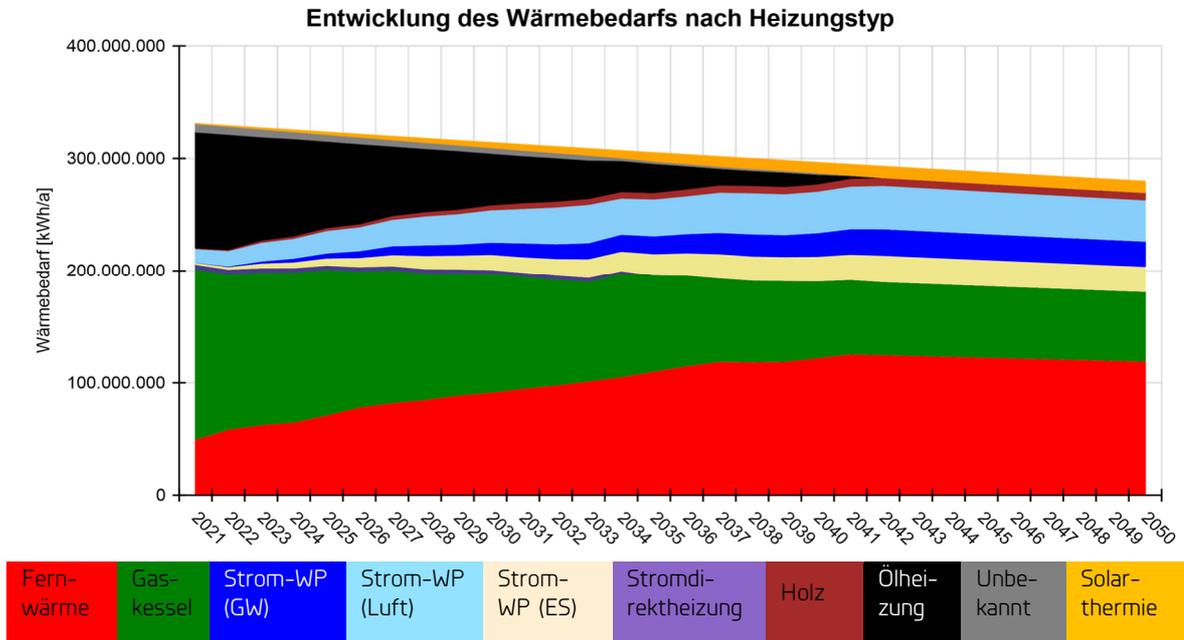


Abbildung 6-4: Zeitliche Entwicklung des Wärmebedarfs nach Heizungstyp in Aarau – Szenario 1

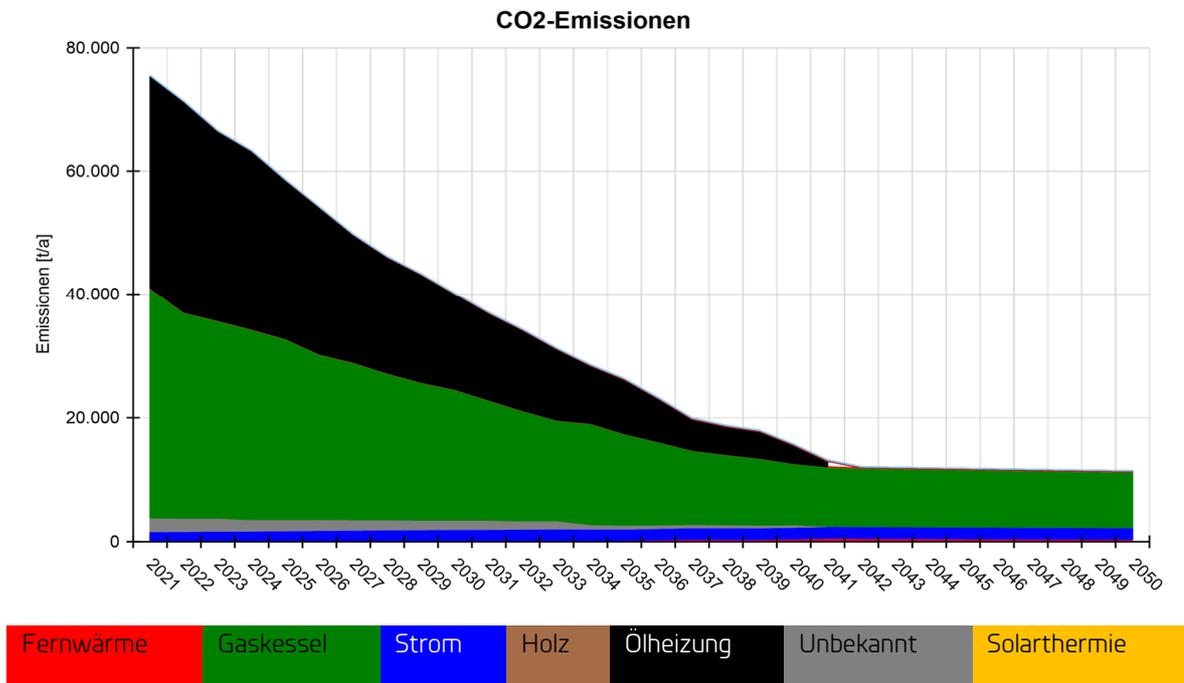


Abbildung 6-5: Zeitliche Entwicklung der CO₂-Emissionen in Aarau – Szenario 1

Die Leistungs- und Absatzentwicklung ist für die Sparten Gas, Fernwärme und Strom nachstehend abgebildet.

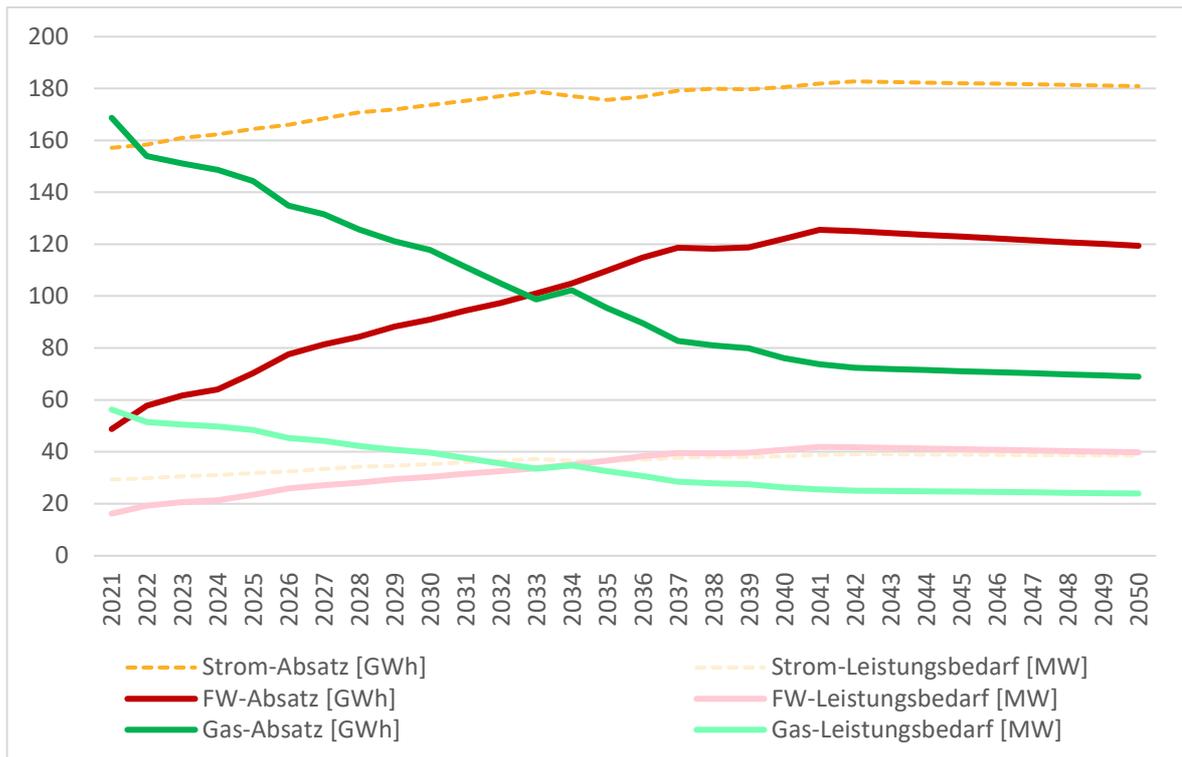


Abbildung 6-6: Zeitliche Leistungs-/Absatzentwicklung in Aarau - Szenario 1^m

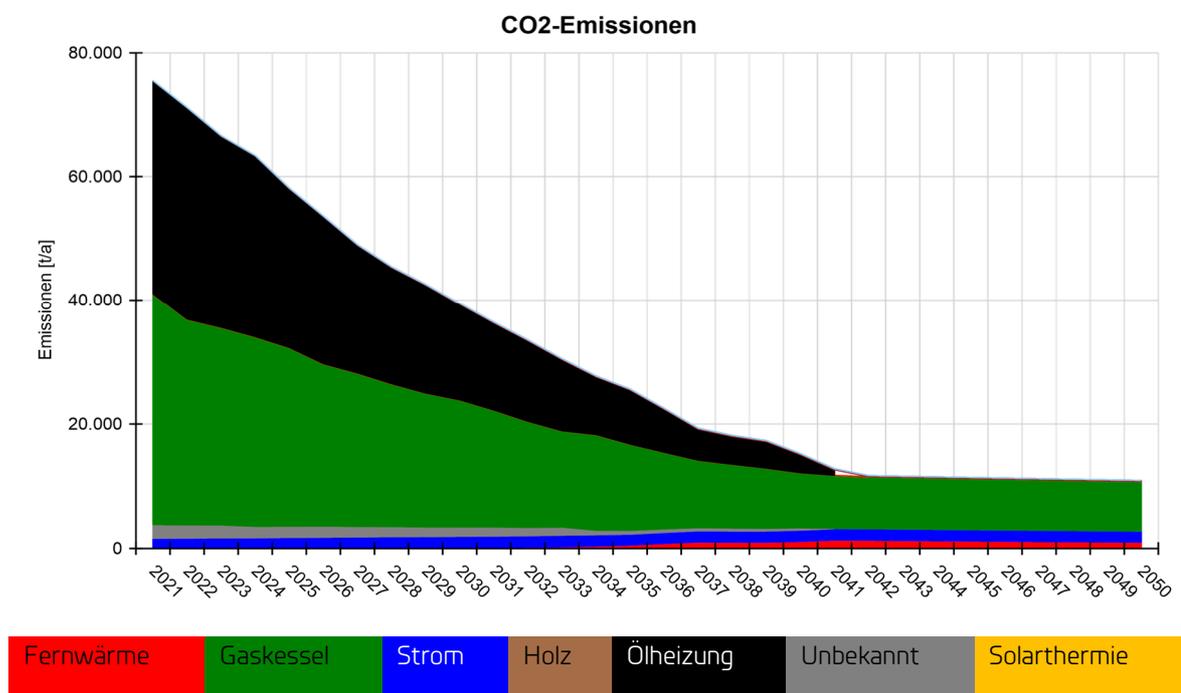
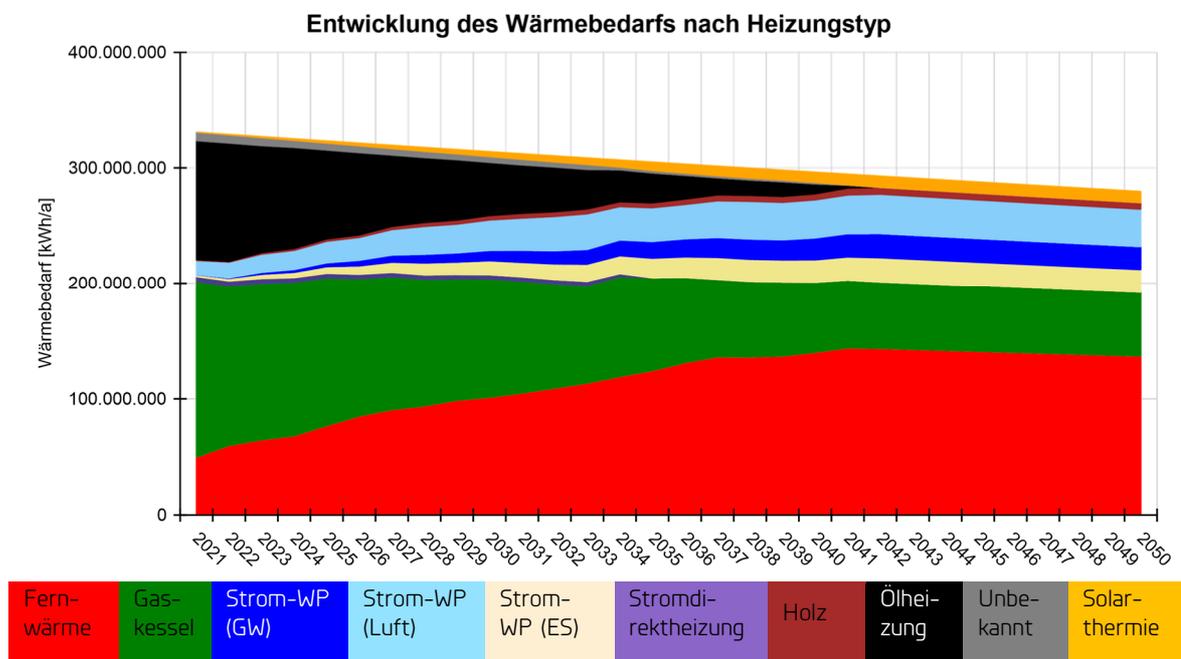
6.4.2 Szenario 2: „Energieplan Aarau“ – FW-AG 80%

Die Vorgaben sind analog zum Szenario 1, jedoch mit einem höheren optimistischen Anschlussgrad von 80 %. Dadurch steigt der mögliche Fernwärmeabsatz, was zur Folge hat, dass der Gasabsatz im Vergleich zu Szenario 1 stärker abnehmen wird. Der Stromabsatz hat hingegen eine ähnliche Entwicklung.

^m Da die berechneten Werte aus dem Jahr 2021 bereits (klimabereinigte) Simulationen darstellen, sind sie nicht mit den realen Absatzzahlen vergleichbar.

6.4.2.1 Perimeter Aarau

Die Entwicklung des Wärmebedarfs sowie der CO₂-Emissionen sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.



Die Leistungs- und Absatzentwicklung ist für die Sparten Gas, Fernwärme und Strom nachstehend abgebildet.

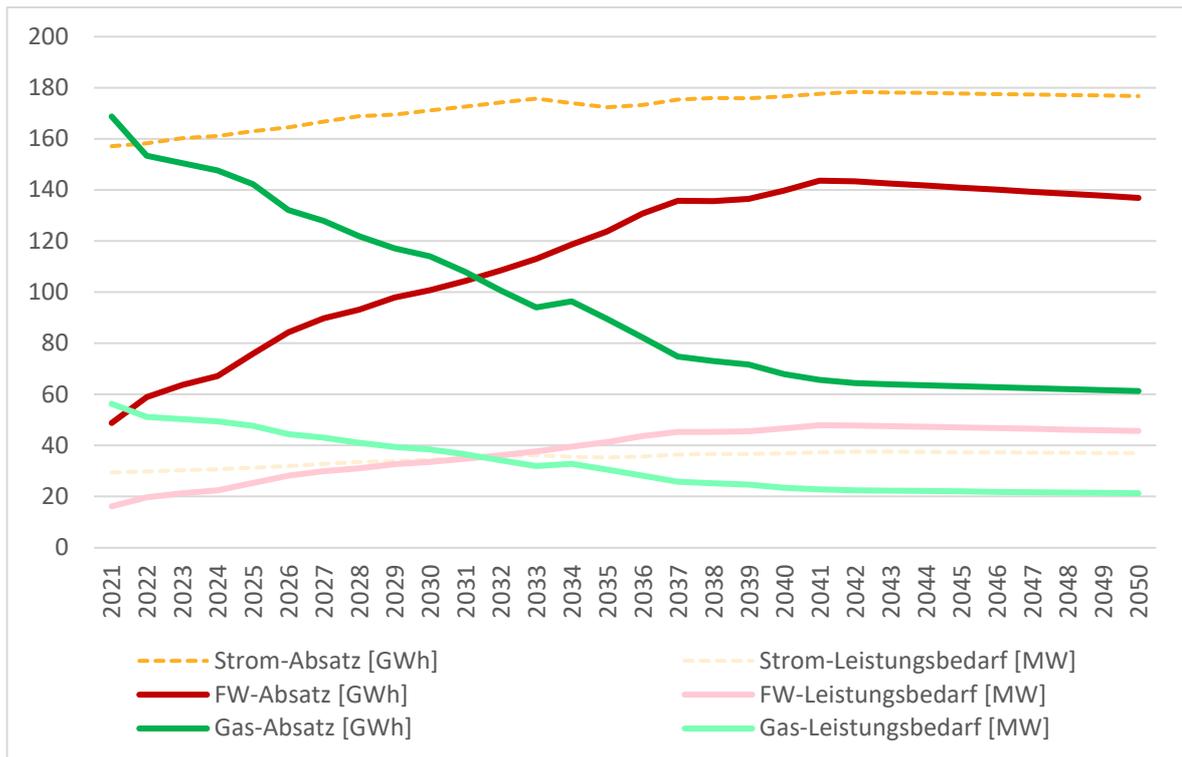


Abbildung 6–9: Zeitliche Leistungs-/Absatzentwicklung in Aarau - Szenario 2ⁿ

6.4.3 Szenario 3: „Ausbaupotenzial Fernwärme“ – FW-AG 60%

Dieses Szenario basiert auf den gleichen Rahmenbedingungen wie Szenario 1, jedoch werden zusätzlich die Ergebnisse des theoretischen Ausbaupotenzials Fernwärme aus Abschnitt 5.3 übernommen und berücksichtigt. In diesem Szenario wird lediglich der realistische Ansatz mit einem Anschlussgrad von 60 % (Variante 1) berücksichtigt. Das resultierende Ausbaupotenzial Fernwärme ist mit einer Trassenerweiterung um ca. 64 km zu erreichen. Der stetige Ausbau der Fernwärmetrassen führt zu einer benötigten Erzeugerleistung von insgesamt 166 MW. Laut Tabelle 3-8 ist die zur Verfügung stehende Erzeugerleistung ca. 85 MW. Die Differenz wird durch Erweiterung aufgefangen. Durch die Berücksichtigung des gesamten theoretischen Ausbaupotenzials tendiert die Absatzentwicklung in der Fernwärmeversorgung deutlich schneller nach oben und erreicht bis zu 500 GWh/a (ca. +790 %). Der Gasabsatz entwickelt sich entsprechend konträr und sinkt auf etwa 185 GWh/a (ca. -60 %).

Analog zu Abschnitt 5 wird in diesem Szenario der Untersuchungsperimeter Stadt Aarau und Agglomerationsgemeinde Buchs betrachtet.

6.4.3.1 Perimeter Aarau und Buchs

Die Entwicklung des Wärmebedarfs sowie der CO₂-Emissionen sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

ⁿ Da die berechneten Werte aus dem Jahr 2021 bereits (klimabereinigte) Simulationswerte darstellen, sind sie nicht mit den realen Absatzzahlen vergleichbar.

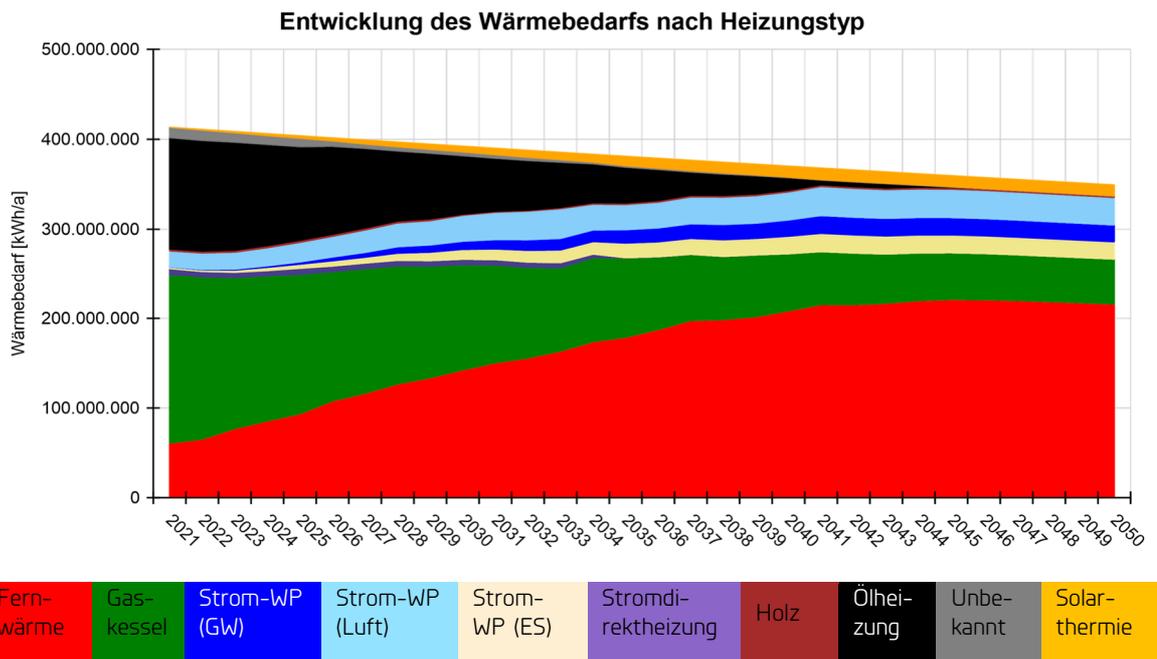


Abbildung 6-10: Zeitliche Entwicklung des Wärmebedarfs nach Heizungstyp in Aarau und Buchs – Szenario 3

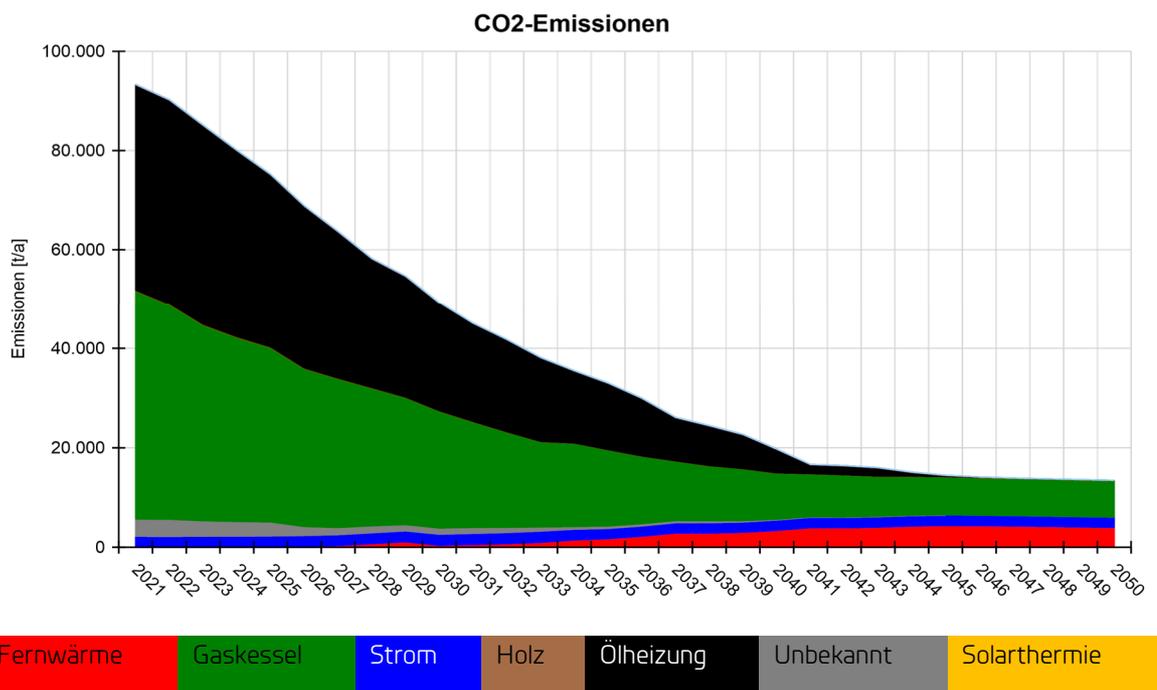


Abbildung 6-11: Zeitliche Entwicklung der CO2-Emissionen in Aarau und Buchs – Szenario 3

Die Leistungs- und Absatzentwicklung ist für die Sparten Gas, Fernwärme und Strom nachstehend abgebildet.

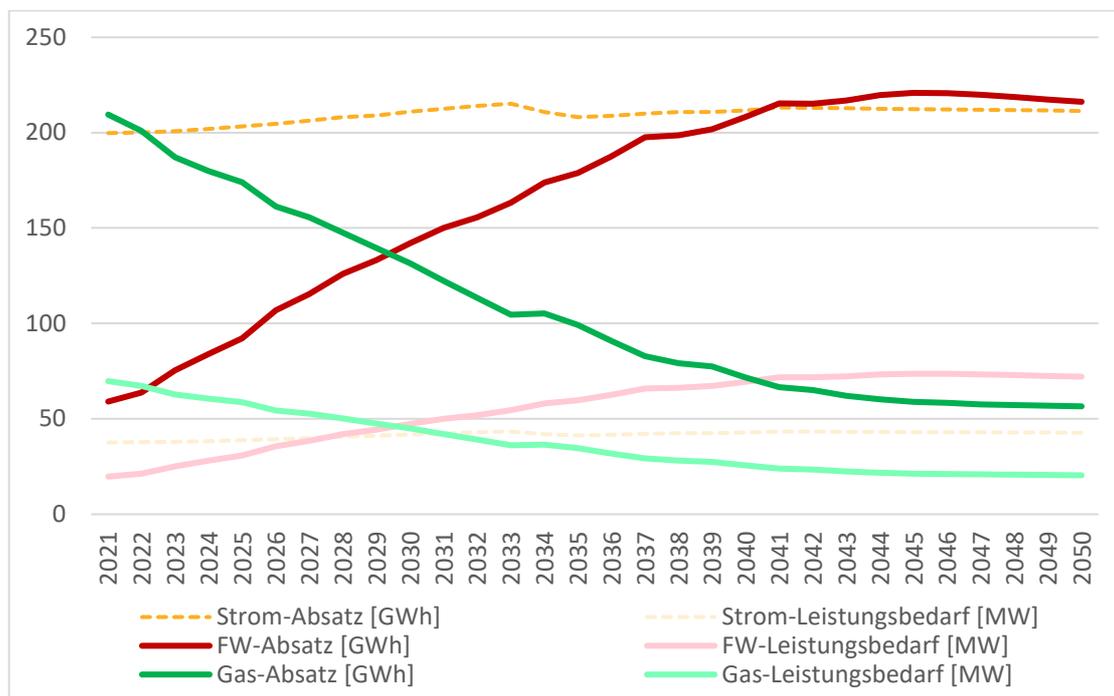


Abbildung 6-12: Zeitliche Leistungs-/Absatzentwicklung in Aarau und Buchs - Szenario 3

6.4.4 Szenario 4: „Wärmestrategie Eniwa 2050“

Die Basis der Wärmestrategie Eniwa 2050 bildet Szenario 3, wobei in Abstimmung mit Eniwa erste strategische (in Anlehnung an den 10-Jahresplan von Eniwa) sowie technische Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Hierzu zählt die Aussparung von Gebieten, welche technisch schwer oder nur mit hohem finanziellem Aufwand mit Fernwärmetrassen erschliessbar sind. Zudem werden in diesem Szenario die aktuellen sowie bereits geplanten Erzeugerkapazitäten (Leistung) miteinbezogen, was zugleich eine weitere Randbedingung darstellt. Die Gesamtleistung aller Erzeuger (Bestand und Planung) ist in der Summe ca. 85 MW (vgl. Tabelle 3-8).

Laut den Ergebnissen zum theoretischen Ausbaupotenzial Fernwärme (Variante 1: AG 60 %) ist eine Erweiterung des Wärmenetzes auf einen Gesamtabsatz von fast 500 GWh und einer benötigten Erzeugerleistung von 166 MW im Versorgungsgebiet von Eniwa rentabel (s. Abschnitt 5.3). Das entspricht fast der doppelten Leistung im Vergleich zur aktuellen strategischen Planung der Eniwa. Die vorliegenden Ergebnisse werden aber im Rahmen des regelmässigen Austauschs mit den anderen Gemeinden im Hinblick auf die Evaluation von potentiellen Wärmeversorgungsprojekten verwendet.

Detailliert wird die Entwicklung in den nachfolgenden Abschnitten für den Untersuchungsperimeter Stadt Aarau und Agglomerationsgemeinde Buchs dargestellt.

6.4.4.1 Perimeter Aarau und Buchs

Die Entwicklung des Wärmebedarfs sowie der CO₂-Emissionen sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

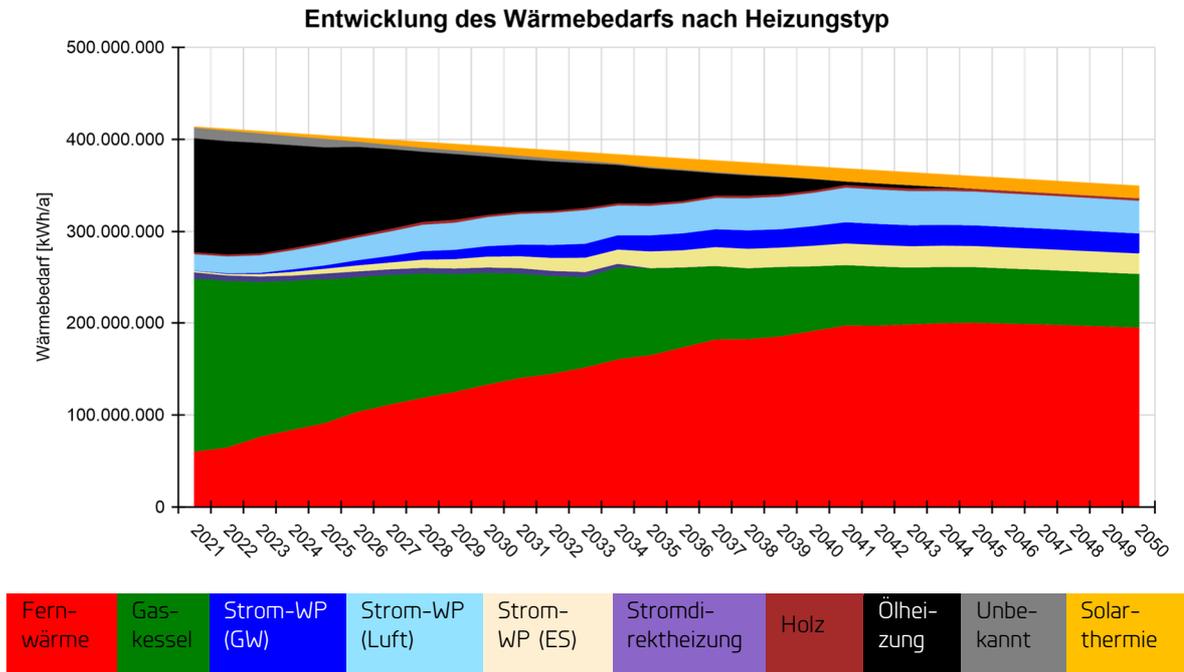


Abbildung 6-13: Zeitliche Entwicklung des Wärmebedarfs nach Heizungstyp in Aarau und Buchs – Szenario 4

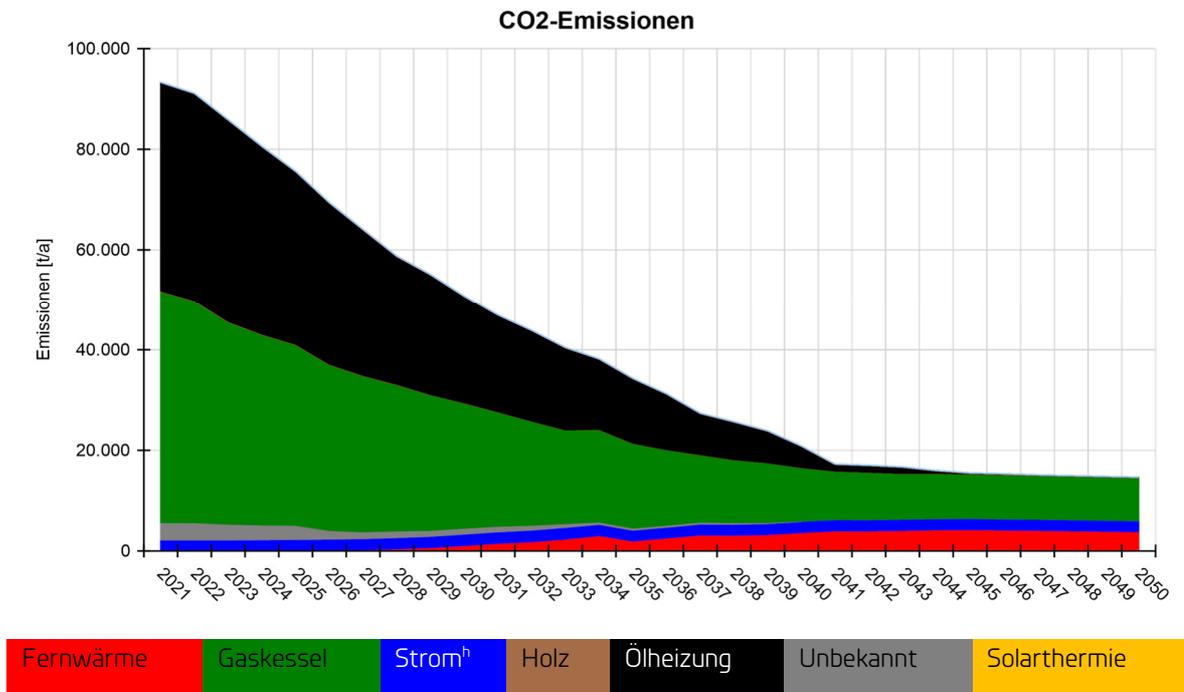


Abbildung 6-14: Zeitliche Entwicklung der CO₂-Emissionen in Aarau und Buchs – Szenario 4

Die Leistungs- und Absatzentwicklung ist für die Sparten Gas, Fernwärme und Strom nachstehend abgebildet.

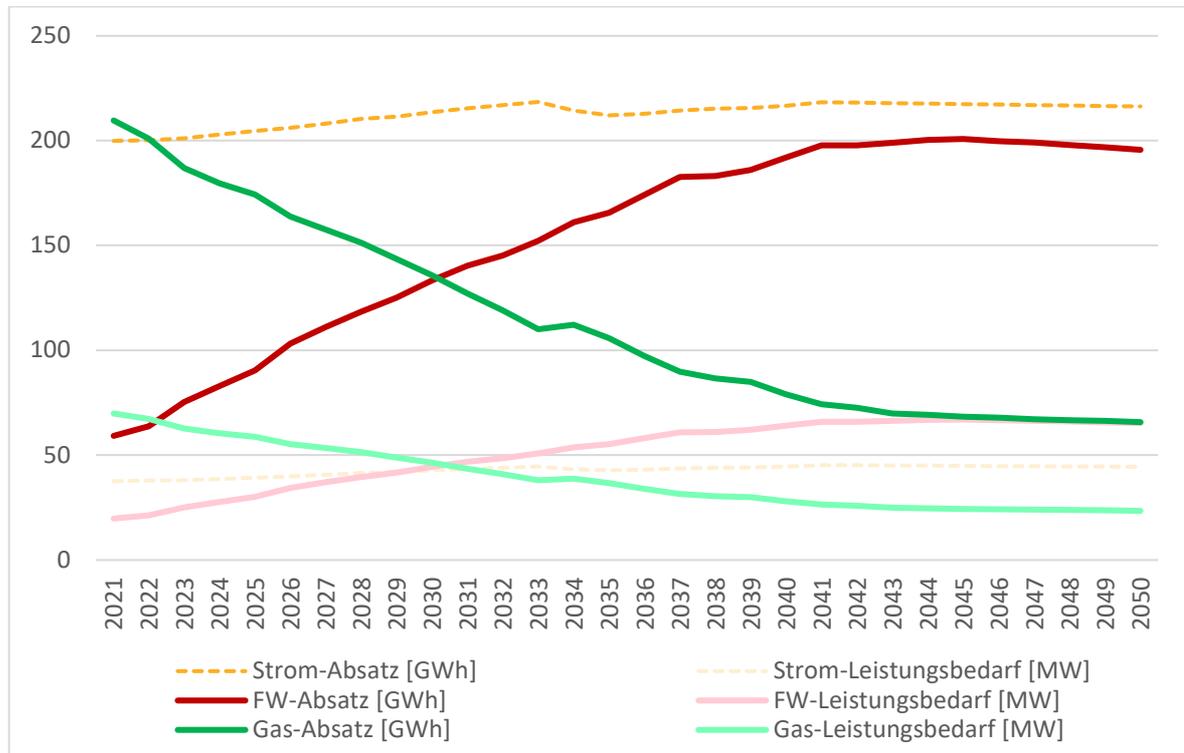


Abbildung 6-15: Zeitliche Leistungs-/Absatzentwicklung in Aarau und Buchs - Szenario 4

Durch die einstweilige Vernachlässigung einiger potenzieller Fernwärmeversorgungsgebiete ist der Fernwärmeabsatz im Vergleich zu Szenario 3 um ca. 20 GWh/a im Jahr 2050 verringert.

Auf das Stadtgebiet Aarau entfällt ein Anteil der Versorgung von ca. 88%, auf Buchs entsprechend 12%. Im Jahr 2050 ergibt sich damit folgende Aufteilung des vorausgerechneten Fernwärmeabsatzes.

Zielwerte 2050	Fernwärmeabsatz [GWh/a]
Aarau	173
Buchs	23
Gesamt	196

Tabelle 6-2: Zielwerte Fernwärmeabsatzentwicklung 2050 von Aarau und Buchs - Szenario 4

6.4.5 Vergleich der Versorgungsszenarien

In der Tabelle 6-3 wird dargestellt, welche Zielvorgaben aus dem „Kommunalen Energieplan der Stadt Aarau, Ausgabe 2021“ in den einzelnen Versorgungsszenarien erfüllt und welche Vorgaben nicht eingehalten werden.

Zielsetzung per 2050		Versorgungsszenario			
		1	2	3	4
Wärmeabsatz - Fernwärme	≥ 130,0 GWh/a				
Wärmeabsatz - Heizöl	0,0 GWh/a				
Wärmeabsatz - Biogas und technische Gase	ca. 52,5 GWh/a				
Anteil erneuerbare Gase	100 %				
CO ₂ -Emissionen	≤ 5'200 tCO ₂ /a				

Tabelle 6-3: Übersicht der erfüllten / nicht erfüllten Zielvorgaben in den einzelnen Versorgungsszenarien [Vollständig erfüllt; > 90% erfüllt; Nicht erfüllt]

In der Tabelle 6-3 sind technologische Entwicklungen in der Zukunft nicht berücksichtigt, die Auswirkungen auf einzelne Ergebnisse haben. Weitere Informationen dazu im Kapitel 7.1. Ausgehend von den Szenarienuntersuchungen aus Kapitel 6.4 wird nachfolgend ein Vergleich der Szenarien 3 und 4 mit Fokus auf den strategischen Planungspereimetern bzgl. des FW-Ausbaus von Eniwa (Aarau /Buchs) hinsichtlich des Energieabsatzes, der maximalen Leistung und der CO₂-Emission durchgeführt. Aufgrund des direkten Einflusses auf die Gasversorgung wird der Energieträger Gas ebenfalls in den Vergleich miteinbezogen. Die Ergebnisse aus Szenario 1 werden in den Diagrammen zusätzlich als Vergleichsgröße mit dargestellt, wobei dies nur den Perimeter Aarau betrifft. Das Szenario 2 wird in der nachfolgenden Betrachtung nicht weiter berücksichtigt, da ein Anschlussgrad von 80% in der Fernwärme aktuell als nicht realistisch beurteilt wurde (u.a. hohe Anschlusskosten bei kleineren Gebäuden im Vergleich zu anderen Wärmesystemen). Diese Einschätzung deckt sich auch mit Aussagen von Wärmeprojekten aus anderen Städten.

6.4.5.1 Perimeter Aarau und Buchs

Die Differenz bei der Fernwärmeentwicklung in beiden Szenarien 3 und 4, sowohl im Energieabsatz als auch beim Leistungsbedarf, ist mit ca. 10 % relativ gering. Jedoch ist eine deutliche Steigerung zu Szenario 1 erkennbar (28 - 42 %). Generell ist ein sehr starker Anstieg im Fernwärmeabsatz zu erwarten und das Absatzziel 130 GWh gem. Energieplan der Stadt Aarau ist bei Umsetzung der stetigen Trassenerweiterung auch mit einem Anschlussgrad von 60 % zu erreichen, weil der Absatz in der Stadt Aarau einen Anteil von 88% bezogen auf die 152-216 GWh ausmacht. Diese Entwicklung und die daraus resultierenden Auswirkungen auf die technische und betriebswirtschaftliche Beurteilung des Gasnetzes hat, wird im Projektmodul 3 (Zielnetzplanung Gas) behandelt.

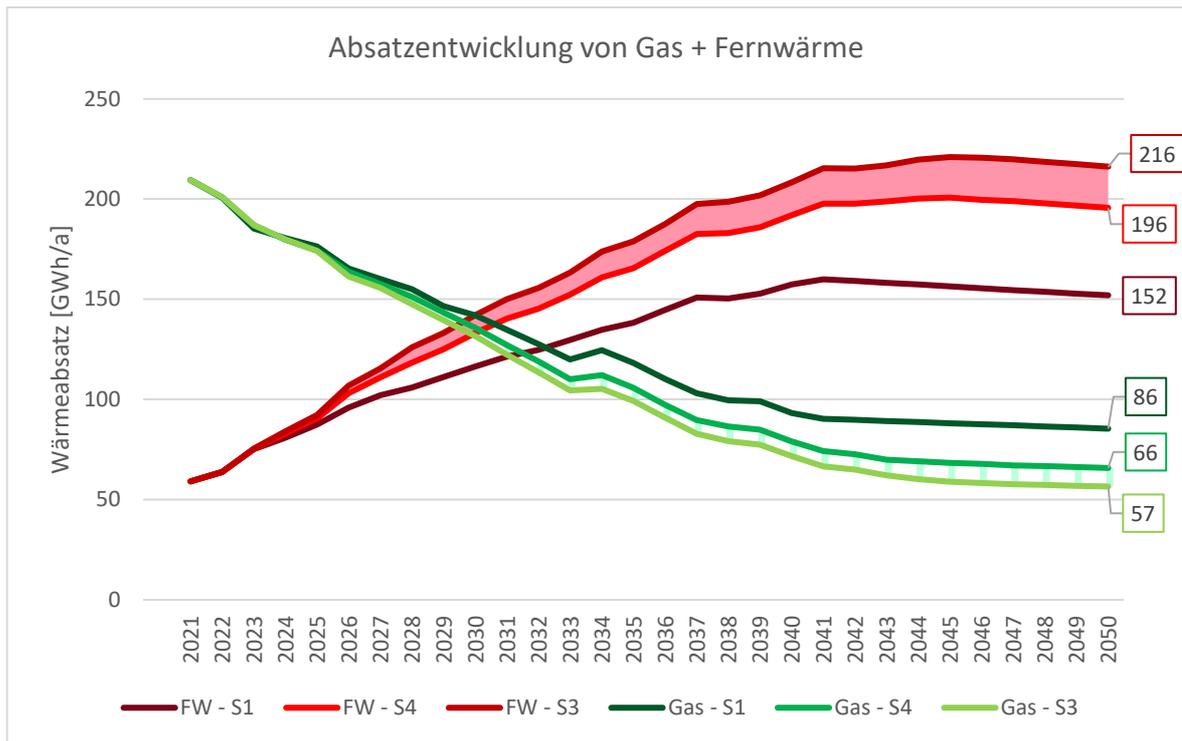


Abbildung 6-16: Energieabsatzentwicklung von Fernwärme und Gas in den Szenarien 1, 3 und 4

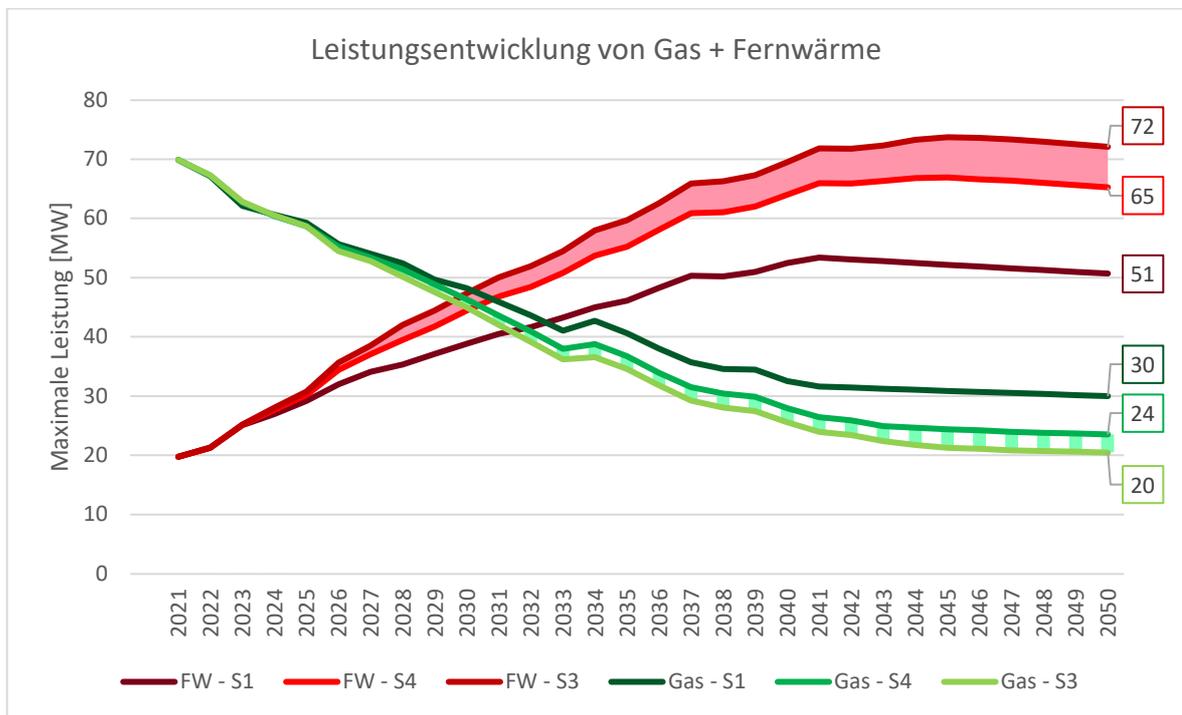


Abbildung 6-17: Leistungsentwicklung von Fernwärme und Gas in den Szenarien 1, 3 und 4

Die Reduktion der CO₂-Emissionen ist bei den Szenarien deutlich mit -84 % im Szenario 4, -86 % im Szenario 3 im Vergleich zum Jahr 2020 (Szenario 1: -82 %). Bezieht man die Reduktion auf das Basisjahr 1990^o sind es sogar -87 % und -88 % (Szenario 1: -85 %). Nichtsdestotrotz wird

^o BAFU-Auswertung zu CO₂-Reduktion im Energiesektor → -15,2 % bis 2020 → CO_{2,1990,Aarau} = 110 kt/a

zur Erreichung des Netto-Null-Ziels die Umsetzung von zusätzlichen Massnahmen zur Reduktion der noch vorhandenen Emissionen notwendig sein (siehe Abschnitt 7.1). Der steigende Biogasanteil ist in allen Szenarien identisch und als Vorgabe dem Energieplan der Stadt Aarau entnommen.

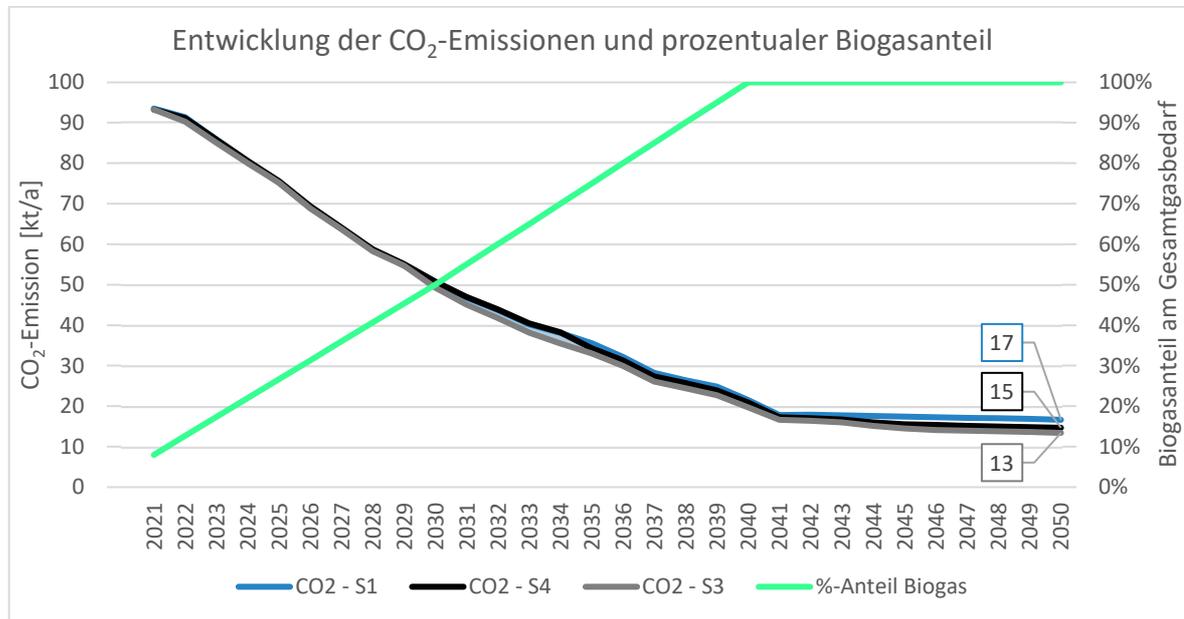


Abbildung 6-18: Entwicklung CO₂-Emissionen und Biogasanteil in den Szenarien 1, 3 und 4

6.4.6 Wirtschaftlichkeit des Fernwärmeausbaus

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Fernwärmeausbaus werden neben den notwendigen Investitionen in Form von Abschreibungen weitere Aufwände wie die Energiebezugskosten sowie Betriebskosten berücksichtigt. Dem gegenüber stehen die erwirtschafteten Erlöse aus Arbeits- und Leistungspreis (Tarif Eniwa) für die bereitgestellte Leistung und Wärmemenge. Im Vergleich zur Ermittlung der theoretischen Ausbaupotenziale (vgl. Abschnitt 5) in einem 10-Jahres-Zeitraum, wird in den hier betrachteten Szenarien 3 und 4 die Anschlussgeschwindigkeit von ca. 20 Jahren (abhängig von bestehender Altersstruktur der vor Ort befindlichen Heizungstypen sowie deren Energieträger) an das Wärmenetz miteinbezogen. Das hat direkten Einfluss auf den jährlichen Erlös durch den Verkauf der Wärmemenge und -leistung. Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse beschränken sich auf

- Szenario 3 und Szenario 4 mit einem Anschlussgrad von 60 %
→ Berücksichtigung der Ausbaupotenziale des Wärmenetzes
- Perimeter Aarau und Buchs
→ Gebiete, welche kurz- und mittelfristig mit Wärmenetz erschlossen werden

7 FAZIT UND AUSBLICK

In der vorliegenden Untersuchung wurde durch die Verknüpfung einer Vielzahl von Geodaten und Energiebedarfsdaten ein detailliertes Energiekataster für das Versorgungsgebiet von Eniwa aufgebaut und in ein Simulationsmodell zur Berechnung unterschiedlicher Transformationspfade und Szenarien für die Wärmeversorgung überführt. Kern der Wärmestrategie ist die gezielte Umsetzung der Klimastrategie und des Energieplans der Stadt Aarau. Dies soll durch die Ermittlung von theoretischen Fernwärmeausbaupotenzialen sowie das Aufzeigen möglicher Transformationswege der bestehenden zu einer klimaneutralen Wärmeversorgungsstruktur geschehen. Hierdurch können die CO₂-freien Energiequellen Erdwärme, Luft, Grundwasser und Sonne sowie die weitestgehend CO₂-freien Quellen Holz und Abwärme aus der FEWAG-KVA zur Wärmebereitstellung optimal genutzt und an die Gebäude in den Perimetern der geplanten Wärmeverbände verteilt werden.

Die Simulationsergebnisse verdeutlichen, dass im Versorgungsgebiet von Eniwa eine erhebliche Reduzierung der lokalen CO₂-Emissionen gegenüber dem heutigen Stand durch entsprechende Technologienkombinationen und der Umsetzung der theoretischen Ausbaupotenzial von Wärmenetzen mit Versorgung durch erneuerbarer/klimaneutraler Energiequellen sowie bei gleichzeitig realistischen Energieeinsparpotenzialen im Wärmebereich möglich sind. Die Simulation der Szenarien zeigt in Anlehnung an die Zielsetzungen aus der Klimastrategie:

- Einen Wärmebedarfsrückgang von -16 % bis zum Jahr 2050 durch Sanierung und Minergie-Neubau trotz prognostizierter Zuwanderung
- bei grossen Bestandsbauten kurzfristig auf Grund fehlender Fernwärmeinfrastruktur teilweise noch einen Wechsel von Öl- zu Gasheizungen
- generell (je nach Szenario) einen Wechsel von Öl- und Gasheizungen zu Strom-Wärmepumpen sowie PV- und Solarthermieanlagen zur Nutzung der Umweltenergie
- einen deutlichen Wechsel zu Fernwärme in den Gebieten mit ausgewiesenem Ausbaupotenzial Fernwärme (speziell im Stadtgebiet Aarau und in der Agglomerationsgemeinde Buchs)

Je nach Szenario kann somit eine CO₂-Reduktion innerhalb der Bandbreite von -79 % bis -81 % erreicht werden. Zudem steigt der FW-Absatz bei konsequenter Umsetzung der Wärmeverbundprojekte stark an, was zu einem gleichzeitigen Rückgang des Gasabsatzes bis zum Jahr 2050 führt.

Für den Perimeter „Aarau und Buchs“ sind die Simulationsergebnisse für das Jahr 2050 nachfolgend zusammengefasst. Die Werte des Szenario 1 beziehen sich explizit nur auf das Stadtgebiet Aarau.

Szenario - 2050	Fernwärme	Gas	CO ₂ -Emission
1 – Energieplan	119 GWh (+142 %)	69 GWh (-60 %)	11'462 T (-85 %)
3 – Th. Ausbaupotenzial FW	216 GWh (+266 %)	57 GWh (-73 %)	13'461 T (-86 %)
4 – Wärmestrategie Eniwa	196 GWh (+232 %)	66 GWh (-68 %)	14'671 T (-84 %)

Tabelle 7-1: Zusammenfassung Fernwärme- und Gasabsatz sowie CO₂-Emissionen in 2050 im Perimeter Stadt Aarau und Buchs

Die Zielvorgaben aus dem Energieplan und Klimastrategie der Stadt Aarau können lediglich in der Sparte Fernwärme (130 GWh bis 2050) erzielt werden, jedoch nur bei einem stärkeren Trassenausbau gem. Szenario 3 und 4. Eine Gasabsatzreduzierung um 80 % ist bei realen Heizungstransformationszeitspannen (20 bis 25 Jahre pro Zyklus) auch bei einem starken Fernwärmeausbau nicht zu erwarten. Ebenso ist eine CO₂-Neutralität bei gleichbleibenden Emissionsfaktoren in der zukünftigen Wärmeversorgung in keinem der Szenarien ohne den Einsatz von weiteren Massnahmen sowie die Berücksichtigung von Negativemissionstechnologien zu bewerkstelligen. Alternativen hierzu werden im Abschnitt 7.1 erörtert.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung dienen nun zur weiterführenden Analyse der Auswirkungen der Fernwärme- und Gasabsatzentwicklung auf die bestehende Versorgungsinfrastruktur unter Berücksichtigung thermisch-hydraulischer sowie betriebswirtschaftlicher Aspekte, welche innerhalb des Gesamtprojektes in den Projektmodulen 2 (Zielnetzplanung Fernwärme) und 3 (Zielnetzplanung Gas) durchgeführt wird.

Darüber hinaus wird Eniwa empfohlen, gemeinsam mit der Stadt (und ggf. dem Kanton) flankierende Massnahmen zur Umsetzung der Wärmestrategie zu entwickeln, welche von Eniwa die notwendige Investitions- und Planungssicherheit geben. Diese Massnahmen könnten beispielsweise umfassen:

- Unterstützung bei der Ausweisung von möglichen Fernwärme-Vorranggebieten in der Bau- und Nutzungsordnung (BNO)
- Abstimmung der Zeitpunkte für Sanierungen und Heizungserneuerungen städtischer / kantonaler Liegenschaften in gemeinsamer Zusammenarbeit aller Stakeholder
- Unterstützung des Fernwärmeausbaus durch planungsrechtliche Vereinfachungen und Vorgaben
- Sinnvolle Fördermassnahmen für die Schaffung von Übergangslösungen bei Verbrauchern, die zu einem späteren Zeitpunkt an die Fernwärme wechseln möchten
- Umsetzung einer abgestimmten Quartier-Kundenkommunikation unter Einbezug der von Eniwa erarbeiteten Fernwärme-Ausbaustrategie
- Evaluierung von Negativemissionstechnologien (siehe Abschnitt 7.1)

- Verbesserung der Massnahmen im Rahmen des neuen Förderprogramms insbesondere im Bereich Fernwärme/-kälte (bspw. Förderung von Kälteanschlüssen, Beiträge an nicht-wirtschaftliche Hausanschlüsse, Umgang beim Ersatz von Gasheizungen, etc.)

7.1 Ausblick Zielerreichung Netto-Null 2050

Die entwickelte Wärmestrategie ermöglicht eine Reduktion der CO₂-Emissionen im Jahr 2050 gegenüber 2020 um ca. 84 %. Dies deckt sich in etwa mit den bundesweiten Zielen zur Emissionsreduktion bis zum Jahr 2050, nicht jedoch für die Zeit nach 2050. Die Klimastrategie Aarau strebt ebenfalls das Ziel „Netto-Null“ an.

Kompensationsmöglichkeiten wie Carbon-Capture-and-Storage (CCS) sind gemäss Klimastrategie lediglich für die verbleibenden 5 % der Emissionen vorgesehen. Somit ist es zur Zielerreichung erforderlich weitere, über die aktuelle Untersuchung hinausgehende, Reduktionsmassnahmen zu prüfen. Nachfolgende Tabelle zeigt auf, mit welchen Massnahmen, welche zusätzlichen Emissionsminderungen möglich sind:

	CO ₂ - Emmis- sion	Wärme- strategie	Biogas 68 g	100 % Green Gas	100% Fern- wärme	Wärmebe- darf -30%
	2020	2050	2050	2050	2050	2050
Heizungen (Öl, Gas)	91'105	8'647	4'489	-	-	7'206
Fernwärme	40	3'837	2'238	484	5'025	3'198
Strombezug	2'178	2'187	2'187	2'187	2'187	1'823
Gesamt	93'323	14'671	8'914	2'671	7'212	12'226
Reduktion 2050 vs. 2020	-	-84%	-90%	-97%	-92%	-87%

Tabelle 7-2: Vergleich von Massnahmen zur Emissionsreduktion in Richtung „Netto-Null“, Angaben CO₂-Emissionen in Tonnen (Aarau und Buchs).

1. Der Ansatz „Biogas 68g“ entspricht der Bewertung von Biogas mit 68 gCO₂/kWh, wie derzeit u. a. vom Verband der Schweizerischen Gaswirtschaft (VSG) ermittelt wurde (ggü. aktuell 131 gCO₂/kWh). Diese Neubewertung von Biogas würde eine CO₂-Reduktion um 89 % ermöglichen und damit noch nicht vollständig das Ziel „95 % + 5 % Kompensation“ erreichen.
2. Der Ansatz „100 % Green Gas“ nimmt an, dass die im Jahr 2050 benötigte Gasmengen vollständig CO₂-frei gewonnen werden (H₂ / synth. CH₄ aus regenerativer Stromerzeugung). In diesem Fall würden nur noch Restemissionen aus Fernwärme und Stromerzeugung anfallen und das Ziel „Netto-Null“ (unter Einbeziehung 5 % Kompensation) erreicht.
3. Der Ansatz 100 % Fernwärme nimmt an, dass (bei gleichbleibendem Fernwärme-Erzeugungsmix) alle verbleibenden Gaskunden zur Fernwärme wechseln. In diesem Fall beträgt die Reduktion der Emissionen 92 % und liegt damit sehr nahe an der Zielgrösse -95 %.

4. „Wärmebedarf -30 %“ prüft, inwieweit zusätzliche Dämmungsmaßnahmen bei gleichem Technologiemix wie in dem Szenario „Wärmestrategie“ die Emissionen zusätzlich reduzieren können. Die Annahme ist hierbei, dass der Wärmebedarfsrückgang 2020 -> 2050 nicht 16 %, sondern 30 % beträgt. Da der überwiegende Teil der Emissionsreduktionen durch den Wechsel auf CO₂-arme Technologien zurückzuführen ist, führt der stärkere Wärmebedarfsrückgang nur zu vergleichsweise geringen zusätzlichen CO₂-Einsparungen von 5 Prozentpunkten.

Neben den hier dargestellten Optionen zur weiteren Reduktion der CO₂-Emissionen besteht insbesondere hinsichtlich des Beitrags der Strom-Wärmepumpen zu den Emissionsreduktionen ein nicht unerhebliches Risiko in der zukünftigen Entwicklung der Emissionsfaktoren für die Schweizerische Stromerzeugung. In der vorliegenden Untersuchung wurde von einem CO₂-Emissionsfaktor von lediglich 22 g/kWh ausgegangen, welcher sich aus der aktuell überwiegend aus Wasserkraft und Kernenergie bestehenden Stromerzeugung errechnet. Mit dem Ausstieg der Schweiz aus der Kernenergie wird diese jedoch voraussichtlich im Winterhalb je nach Szenario zwischen ca. 20 und 40 % des Stroms importieren müssen. Da die Importe vor allem zu Zeitpunkten mit geringer erneuerbarer Stromerzeugung aus PV erfolgt, ist damit zu rechnen, dass die Importe zumindest teilweise aus Gas-Kraftwerken erfolgen, welche spezifische Emissionen von ca. 330 g/kWh_{el} aufweisen. Der für die Strom-Wärmepumpen relevante Strom-Mix könnte demnach in den Jahren ab ca. 2035 signifikant höhere Emissionsfaktoren als derzeit aufweisen. Eine Alternative zu Strom-Importen könnte eine verstärkte lokale Stromerzeugung in Biogas-WKK-Anlagen darstellen. Diese Lösung hat den Vorteil, dass neben vergleichsweise geringen CO₂-Emissionen (durch WKK-Nutzung) eine Stützung des lokalen Stromverteilnetzes zu den Zeitpunkten mit besonders hoher Netzlast durch die Strom-Wärmepumpen erfolgt, wodurch ggf. der lokale Stromnetzausbau verringert werden kann und die Versorgungssicherheit erhöht wird.

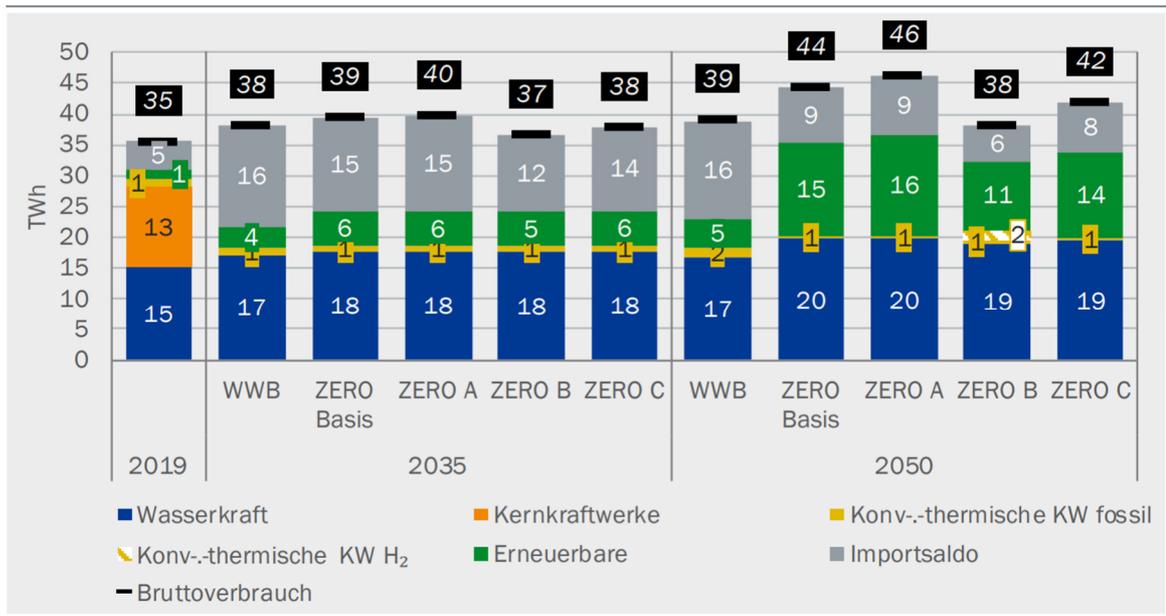


Abbildung 7-1: Winterstromlücke (=„Importsaldo“) gemäss Energieperspektiven 2050+^P

^P Bundesamt für Energie 2021, „Energieperspektiven 2050+ - Technischer Bericht“, S. 243, Abb. 193

ABBILDUNGSSVERZEICHNIS

Abbildung 1-1: Meilensteine aus der Klimastrategie und dem kommunalen Energieplan der Stadt Aarau (Quelle: Stadt Aarau, Darstellung angepasst).....	1
Abbildung 1-2: Aktuelle Wärmebedarf nach Heizungstyp im Versorgungsgebiet (exkl. Wynagas) von Eniwa (oben) und der Stadt Aarau (unten).....	3
Abbildung 1-3: Zukünftiger Wärmebedarf nach Heizungstyp im Versorgungsgebiet (exkl. Wynagas) von Eniwa (links) und der Stadt Aarau (rechts).....	4
Abbildung 1-4: Der Wärmebedarfsrückgang im gesamten Versorgungsgebiet beträgt ca. 16% bis ins Jahr 2050.....	6
Abbildung 1-5: CO ₂ -Emissionen bei Umsetzung der Wärmestrategie 2050.....	6
Abbildung 2-1: Meilensteine aus der Klimastrategie und kommunalen Energieplan der Stadt Aarau (Quelle: Stadt Aarau, Darstellung angepasst).....	10
Abbildung 2-2: Einordnung der Wärmestrategie im Gesamtprojekt.....	11
Abbildung 2-3: Schematische Darstellung der Vorgehensweise der integrierten Energieplanung und Simulation.....	12
Abbildung 3-1: Übersichtsplan der vom BAFU definierten Schutzzonen für Grundwasser.....	17
Abbildung 3-2: normierte Jahresganglinie der Stromeinspeisung von Eniwa.....	22
Abbildung 3-3: Jahresganglinie der Temperatur in Aarau/Buchs – 2020.....	23
Abbildung 3-4: normierte Jahresganglinie der Globalstrahlung in Aarau/Buchs – 2020.....	23
Abbildung 4-1: Komponenten des Simulationsmodells in der Software CityCockpit.....	25
Abbildung 4-2: Rangreihenfolge auf Basis der Datenqualität hinsichtlich gebäudespezifischer Daten.....	26
Abbildung 4-3: Verteilung der Energieträger nach Wärmebedarf [GWh] und Anzahl Gebäude im Gesamtversorgungsgebiet von Eniwa.....	27
Abbildung 4-4: Fokus der Untersuchung auf das Versorgungsgebiet exkl. Wynagas (links) und der Stadt Aarau (rechts).....	28
Abbildung 4-5: Verteilung des Wärmebedarfs [GWh] nach Energieträgern im Versorgungsgebiet (exkl. Wynagas; links) und im Perimeter Aarau (rechts).....	28
Abbildung 5-1: Übersicht Versorgungsgebiete Aarau und Buchs.....	32
Abbildung 5-2: Parameter des theoretischen Ausbaupotenzials in Aarau und Buchs.....	32
Abbildung 6-1: Normierte Darstellung der Wärmebedarfsentwicklung pro Energieträger gem. Energieplan Stadt Aarau.....	34
Abbildung 6-2: Normierte Darstellung der Emissionsentwicklung pro Energieträger gem. Klimastrategie und Energieplan Aarau.....	35
Abbildung 6-3: CO ₂ -Emissionsfaktoren der einzelnen Energieträger gemäss Berechnungsgrundlagen der 2000 Watt Gesellschaft bzw. Eniwa (Fernwärme-Mix und Strom-Mix).....	36
Abbildung 6-4: Zeitliche Entwicklung des Wärmebedarfs nach Heizungstyp in Aarau – Szenario 1.....	38
Abbildung 6-5: Zeitliche Entwicklung der CO ₂ -Emissionen in Aarau – Szenario 1.....	38
Abbildung 6-6: Zeitliche Leistungs-/Absatzentwicklung in Aarau – Szenario 1.....	39
Abbildung 6-7: Zeitliche Entwicklung des Wärmebedarfs nach Heizungstyp in Aarau – Szenario 2.....	40

Abbildung 6-8: Zeitliche Entwicklung der CO ₂ -Emissionen in Aarau – Szenario 2.....	40
Abbildung 6-9: Zeitliche Leistungs-/Absatzentwicklung in Aarau – Szenario 2.....	41
Abbildung 6-10: Zeitliche Entwicklung des Wärmebedarfs nach Heizungstyp in Aarau und Buchs – Szenario 3.....	42
Abbildung 6-11: Zeitliche Entwicklung der CO ₂ -Emissionen in Aarau und Buchs – Szenario 3....	42
Abbildung 6-12: Zeitliche Leistungs-/Absatzentwicklung in Aarau und Buchs – Szenario 3.....	43
Abbildung 6-13: Zeitliche Entwicklung des Wärmebedarfs nach Heizungstyp in Aarau und Buchs – Szenario 4.....	44
Abbildung 6-14: Zeitliche Entwicklung der CO ₂ -Emissionen in Aarau und Buchs – Szenario 4..	44
Abbildung 6-15: Zeitliche Leistungs-/Absatzentwicklung in Aarau und Buchs – Szenario 4.....	45
Abbildung 6-16: Energieabsatzentwicklung von Fernwärme und Gas in den Szenarien 1, 3 und 4.....	47
Abbildung 6-17: Leistungsentwicklung von Fernwärme und Gas in den Szenarien 1, 3 und 4.....	47
Abbildung 6-18: Entwicklung CO ₂ -Emissionen und Biogasanteil in den Szenarien 1, 3 und 4.....	48
Abbildung 7-1: Winterstromlücke (=„Importsaldo“) gemäss Energieperspektiven 2050+.....	53

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1-1: Vergleich der Kennwerte zur Wärmeversorgung im Versorgungsgebiet von Eniwa (exkl. Wynagas) 2020, 2030 und 2050 gemäss der Wärmestrategie 2050.....	5
Tabelle 3-1: Datensätze des Gebäudekatasters.....	14
Tabelle 3-2: Datensätze der energetischen Hausanschlüsse.....	15
Tabelle 3-3: Informationen des Strassenkatasters.....	15
Tabelle 3-4: Zusammenfassung Jahresverbrauchsdaten Strom für das Jahr 2019.....	19
Tabelle 3-5: Zusammenfassung Jahresverbrauchsdaten Gas für das Jahr 2020 (inkl. Wynagas).....	20
Tabelle 3-6: Zusammenfassung Jahresverbrauchsdaten Wärme und Kälte für das Jahr 2020.....	20
Tabelle 3-7: Zusammenfassung Jahresverbrauchsdaten Strom-Heizungen für das Jahr 2020.....	20
Tabelle 3-8: Übersicht Energiezentralen (Bestand + Planung) im Versorgungsgebiet Aarau/Buchs.....	24
Tabelle 4-1: Ermittlung des Wärmebedarfs je Heizung.....	27
Tabelle 6-1: Übersicht der untersuchten Versorgungsszenarien.....	37
Tabelle 6-2: Zielwerte Fernwärmeabsatzentwicklung 2050 von Aarau und Buchs - Szenario 4.....	45
Tabelle 6-3: Übersicht der erfüllten / nicht erfüllten Zielvorgaben in den einzelnen Versorgungsszenarien [Vollständig erfüllt; > 90% erfüllt; Nicht erfüllt].....	46
Tabelle 7-1: Zusammenfassung Fernwärme- und Gasabsatz sowie CO ₂ -Emissionen in 2050 im Perimeter Stadt Aarau und Buchs.....	50
Tabelle 7-2: Vergleich von Massnahmen zur Emissionsreduktion in Richtung „Netto-Null“, Angaben CO ₂ -Emissionen in Tonnen (Aarau und Buchs).....	51