

Stadt Laufenburg

Erweiterung Fernwärmenetz Laufenburg Machbarkeitsstudie

Bericht
Revision 0
26. September 2024



QS-Blatt

Auftraggeber: Stadt Laufenburg
Herr Herbert Weiss
Stadtammann
Rathaus, Laufenplatz 45
CH-5080 Laufenburg
T: +41 62 875 23 49

Titel: Erweiterung Fernwärmenetz Laufenburg
Machbarkeitsstudie

Dateiname Bericht: [https://5600durena.sharepoint.com/sites/dur-pro/Freigegebene
Dokumente/Projekte_ZH/Laufenburg MBS Erweiterung
WV/08_Berichte&Präsentationen/Laufenburg_20240717_Bericht.docx](https://5600durena.sharepoint.com/sites/dur-pro/Freigegebene%20Dokumente/Projekte_ZH/Laufenburg%20MBS%20Erweiterung%20WV/08_Berichte&Präsentationen/Laufenburg_20240717_Bericht.docx)

Verteiler extern: Herr Thomas Argast per Email
Herr Herbert Weiss per Email

Verteiler intern: Iris Zimmermann
Berichtsammlung Durena AG

verfasst		geprüft	
Revision 0:	26.09.2024 Ratko Rapaic Projektleiter	26.09.2024 Franz Klarer PQM	

Änderungen bei
letzter Revision:

Urheberrechte: Die Urheber- und Nutzungsrechte sind in den vertraglichen Vereinbarungen
zwischen dem Auftraggeber und Durena AG geregelt.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	4
2	Einleitung	6
3	Auslegungsgrundlagen und Randbedingungen	9
3.1	Untersuchungsgebiet	9
3.2	Wärmebedarf	9
3.3	Gesetzliche Grundlagen und Rahmenbedingungen	16
4	Anlagenkonzept und Dimensionierung	17
4.1	Wärmeerzeugung	17
4.1.1	Konzept und Dimensionierung	17
4.2	Wärmeverteilung	17
4.2.1	Konzept und Dimensionierung	17
4.2.2	Leitungsführung und Etappierung	18
4.2.3	Hausstation	21
5	Wirtschaftlichkeit	22
5.1	Methodik	22
5.2	Randbedingungen	23
5.3	Investition	25
5.4	Wirtschaftlichkeit	27
5.5	Sensitivitätsanalyse	27
6	Beurteilung und Empfehlung	29
6.1	Beurteilung	29
6.2	Empfehlung	31
6.3	Weiteres Vorgehen	31
7	Abbildungsverzeichnis	32
8	Anhang	33
8.1	Leitungsführung Fernwärmenetz	33
8.2	Prinzipschemen	33
8.3	Zentrale und Layout	33
8.4	Wirtschaftlichkeitsrechnung	33

1 Zusammenfassung

Ausgangslage	<p>Im Herbst 2023 beschloss die Stadt Laufenburg, die Verantwortung für das geplante Wärmenetz selbst zu übernehmen und führt nun die Gesamtleitung des Projekts. Die Firma Flexbase plant in der Nähe des Umspannwerks ein neues Rechenzentrum, welches ausreichend Abwärme zur Deckung des Wärmebedarfs des WV Laufenburg..., Basierend darauf wurde entschieden, die Planungen für die Heizzentrale GZF zu stoppen. In der vorliegenden Machbarkeitsstudie wurde geklärt, ob der Wärmeversorgungssperimeter erweitert und eine Verbindungsleitung vom Rechenzentrum zum bestehenden Projektgebiet realisiert werden kann.</p>
Potenzialanalyse	<p>Im Untersuchungsgebiet der Fernwärme erfolgte eine Untergliederung des Gebiets in 6 Teilgebiete, die einzeln anhand von Hektardaten analysiert wurden. Der Wärmebedarf des bestehenden Wärmeverbunds und der Altstadt wurden aus früheren Studien übernommen</p> <p>Unter Berücksichtigung der Teilgebiete im Versorgungsgebiet, eines Anschlussgrads von 70% und einer Gleichzeitigkeit von 70% erreicht die Gesamtanschlussleistung im Jahr 2041 ihr Maximum von 8.5 MW, wobei der Wärmebedarf bei 16.8 GWh/a liegt.</p>
Wärmeerzeugung	<p>Die Wärme für den Wärmeverbund Laufenburg soll als Abwärme aus dem geplanten Rechenzentrum Flexbase zur Verfügung gestellt werden. Über eine Wärmetauscherstation soll die benötigte Wärme ans FW-Netz übertragen werden. Wir gehen davon aus, dass jederzeit die erforderliche Wärmemenge zur Verfügung steht und keine Speicheranlage erforderlich ist.</p>
Wärmeverteilung	<p>Für die Wärmeverteilung werden Kunststoffmantelrohre mit Dämmstärke 2 eingeplant. Der maximale Leitungsdurchmesser der Hauptleitung beträgt DN200. Zusammen mit den Neben- und Hausanschlussleitungen (inkl. bestehendes Netz und Altstadt) resultiert eine Trassellänge von 8.5 km. Damit resultiert für das gesamte Projekt eine Anschlussdichte von 2.0 MWh/Tm.</p> <p>Dieser Wert liegt knapp über dem empfohlenen, minimalen Grenzwert für Fernwärmenetze von 1.8 MWh/Tm.</p>
Wirtschaftlichkeit	<p>Die Investitionskosten liegen bei rund 20.3 Mio. CHF.</p> <p>Für den Fernwärmeverkauf wird ein Tarifmodell mit Anschlusskostenbeitrag (einmalig), Grundpreis und Energiepreis vorgeschlagen. Die Wirtschaftlichkeit wurde durch eine dynamische Wirtschaftlichkeitsrechnung (Discounted-Cashflow-Methode) bestimmt. Dabei wurde ein interner Zinsfuss (IRR) von 7.3% erzielt. Der durchschnittliche Bezugspreis für einen 25kW-Anschluss beträgt 16.8 Rp./kWh (Grundpreis+Energiepreis).</p>
Empfehlung	<p>100% der erzeugten Wärme stammt aus Abwärme vom Rechenzentrum. Die CO₂-Einsparungen sind eine grosse Chance für Laufenburg und für die</p>

Wirtschaftlichkeit des Projekts. Die Fernwärme macht den Wärmekunden weitgehend unabhängig von ausländischen fossilen Brennstoffen. In diesem Zusammenhang empfehlen wir, das Projekt weiter zu verfolgen.

Das grösste Risiko liegt bei der Verzögerung beim Bau und der Inbetriebnahme des Rechenzentrums, sowie der Verbindungsleitung.

2 Einleitung

Ausgangslage

Im Herbst 2023 beschloss die Stadt Laufenburg, die Verantwortung für die Realisierung und den Betrieb des geplanten Wärmenetzes selbst zu übernehmen. Die Stadt Laufenburg führt nun die Gesamtleitung des Projekts und ist Bauherrin für den Bau des Fernwärmenetzes und der Heizzentrale. Die Durena AG wurde im Februar 2024 mit der Planung des Fernwärmenetzes in der Altstadt und den angrenzenden Gebieten beauftragt. Weiters wurde die Durena AG beauftragt, eine Machbarkeitsstudie für den Bau und/oder Umbau der Heizzentrale im GZF zu erstellen.

Die Firma Flexbase plant in unmittelbarer Nähe des Umspannwerks den Bau eines Rechenzentrums, welches zukünftig dauerhaft viel Abwärme zur Verfügung stellen könnte. Aufgrund dieser neuen Ausgangslage hat die Stadt Laufenburg entschieden, die Planungsarbeiten in der Zentrale GZF vorerst zu stoppen. Mit dem Rechenzentrum werden zukünftig günstige Energie in hoher Verfügbarkeit und sehr grossen Mengen zur Verfügung stehen. Gemäss Angaben des Rechenzentrumsbetreibers wird diese Energie bei Temperaturen über 80°C, ab Wärmetauscher des Rechenzentrums bereitgestellt (Schnittstelle zum Wärmenetz). Im Fokus steht nun die Möglichkeit, dass nicht nur die Altstadt und die angrenzenden Perimeter mit Wärme versorgt werden, sondern auch weitere Teile der Stadt Laufenburg.

Die vorliegende Machbarkeitsstudie soll klären, ob der bestehende Wärmeversorgungsperimeter sinnvoll erweitert werden kann und wie eine Verbindungsleitung von der FW-Zentrale des Rechenzentrums zum bestehenden Projektgebiet realisiert werden kann. Zudem soll die Studie auch konzeptionelle Fragen zur FW-Zentrale und Wärmeauskopplung im Rechenzentrum klären.

Auftrag

Für die Machbarkeitsstudie zur Erweiterung des Wärmeverbund Laufenburg sehen wir nachfolgend skizziertes Vorgehen bzw. Leistungsumfang:

- **Grundlagenermittlung**
 - Bereinigung des Versorgungsgebietes in Absprache mit dem Auftraggeber
 - Ermittlung Wärmebedarf mittels Analyse Hektar-Daten von [map.geo.admin.ch](https://www.map.geo.admin.ch) (allenfalls ergänzt mit Energieverbrauchsdaten, sofern diese durch die Gemeinde zur Verfügung gestellt werden)
 - Abschätzung der Energiedaten je Teilgebiet (7 Teilgebiete)
 - Abgleich und Bereinigung mit dem Kataster für Wärmepumpen (Ausschluss Liegenschaften mit WP)
 - Abschätzen eines Anschlussgrads
 - Zusammenzug des Wärmepotenzials (neuer und bestehender Gesamtperimeter)
- **Konzept Wärmeverteilung**

- Ermitteln der Eckdaten (Leistung, Energie) je Fernwärmehauptast als Basis für die Auslegung der Fernwärmeleitungen
- Technische Auslegung des Wärmenetzes (Druckstufe, Rohrdimension, Vor- und Rücklauftemperaturen)
- Festlegung Prinzip/Schnittstellen Fernwärmeübergabestationen
- Erstellen eines Einlinien-Fernwärmenetzplanes mit Haupt- und Nebenleitungen (ohne Hausanschlussleitungen)
- Abschätzung der Machbarkeit Trasseführung Haupttrasse in Zusammenarbeit mit dem Tiefbauplaner und den Gemeindewerken
- Abklärung kritische Abschnitte wie z.B. Querung SBB-Trasse und Kantonsstrassen in Zusammenarbeit mit dem Tiefbauplaner
- Ermitteln der Investitionskosten (Genauigkeit +/- 20%) auf der Basis von Einheitspreisen, Erfahrungswerten und Offerten
- Grobterminplan und Grundlagen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung: Zeitliche Darstellung der Erschliessung und Modellieren einer Anschlussentwicklung
- Vertiefte Prüfung Machbarkeit Verlegung Verbindungsleitung ab HZ bis Zusammenschluss in Burgmattstrasse
- Prüfung Querung Geleise im Raum der Kaisterstrasse
- Konzept Wärmeerzeugung
 - Wärme ab Wärmetauscher Rechenzentrum mit Vollversorgung inkl. Spitzen- und Reserveabdeckung

Für die Wärmeerzeugung sind nachfolgende Leistungen in unserer Offerte einkalkuliert:

- Ermittlung der Auslegedaten: Energie- und Leistungsbedarf
- Erstellen einer Jahresdauerlinie / thermische Auslegung
- Erstellen eines einfachen Prinzipschemas
- Ermittlung des Platzbedarfs
- Ermitteln der Investitionskosten (Genauigkeit +/- 20%) auf der Basis von Einheitspreisen, Erfahrungswerten und Offerten
- Wirtschaftlichkeit
 - Zusammenstellen der gesamten Investitionskosten unter Berücksichtigung der zeitlichen Etappierung
 - Festlegen der Berechnungsgrundlagen (Energiepreis, Stromtarif, Kalkulationszinssatz, Teuerung, etc.) in Absprache mit dem Auftraggeber
 - Ausarbeitung eines möglichen Tarifmodells
 - Berechnung der jährlichen Energie-, Betrieb- und Wartungs- und Unterhaltskosten mit Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklung (Genauigkeit +/- 20%)
 - Abklärung von möglichen Förderbeiträgen

- Zusammenstellen aller Randbedingungen und der zeitlichen Anschlussentwicklung in einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnung mittels Discounted Cash-Flow-Methode (DCF)
- Aufzeigen der Preisspanne bei sich ändernden Parametern (Investitionskosten, Energiekosten, Zinssatz)

Zielsetzung Aufzeigen des Wärmeabsatzpotentials im Stadtgebiet, ausserhalb des bestehenden Projektperimeters mit Abschätzung der Investitionskosten für die Fernwärmeversorgung. Klären der Machbarkeit und der Wirtschaftlichkeit eines grossen Wärmeverbundes, inkl. Verbindungsleitung hin zum bestehenden Perimeter in Laufenburg.

Grundlagen Als Grundlagen für die Machbarkeitsstudie dienen:
[1] Besprechung mit der Stadt Laufenburg, 17.04.2024
[2] Besprechung der Herren Argast, Steffen und Rapaic vom 16.07.2024
[3] Vorprojekt-Light, Durena, Müller Energy Consulting (MEC), 2019-2022

3 Auslegungsgrundlagen und Randbedingungen

3.1 Untersuchungsgebiet

Teilgebiete

Das Untersuchungsgebiet wurde zur genaueren Differenzierung in sechs Teilgebiete unterteilt. Die Definition der Teilgebiete erfolgt hauptsächlich aufgrund geographischer Gegebenheiten wie Gewässern, Hauptverkehrsachsen und Strassen und des Bauzonenplans. Anschliessend wurde die Aufteilung mittels Input seitens der Stadt Laufenburg verfeinert.



Abbildung 1: Teilgebiete Perimeter Erweiterung WW Laufenburg

Ebenfalls in Abbildung 1 zu sehen sind die Gebiete der Altstadt und des bestehenden Wärmeverbunds, welche nicht Teil des Untersuchungsgebiets dieser Studie sind. Dennoch werden deren Wärmebedarfe bei der Auslegung der FW-Zentrale und Verbindungsleitung und bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt.

3.2 Wärmebedarf

Methodik

Der Wärmebedarf wurde anhand von Hektardaten des Bundesamts für Energie (BFE) ermittelt. Diese Daten geben den jährlichen Wärmebedarf (MWh/a) pro Hektar in einem Gebiet an. Obwohl die Datenerhebung nur eine grobe Schätzung ist und keinen objektspezifischen Wärmebedarf hergibt, bietet sie eine gute Annäherung, die sich im Rahmen dieser Projektphase als zuverlässig erweist.

Hektardaten

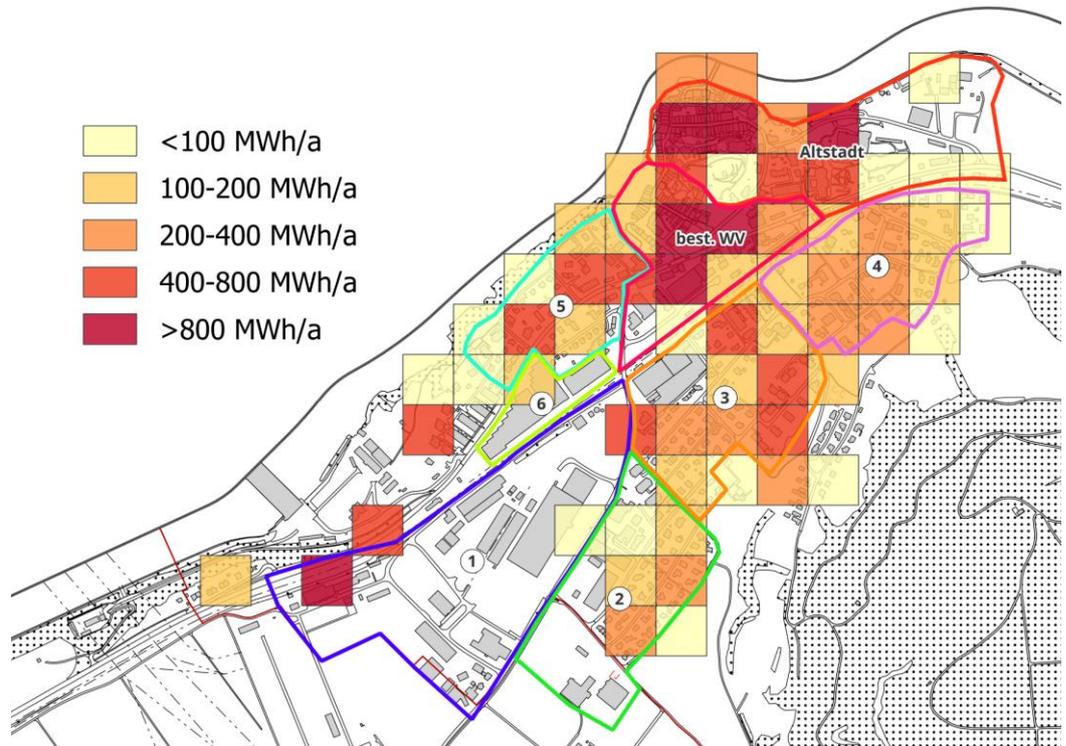


Abbildung 2: Wärmebedarfskataster nach Hektardaten

Wärmebedarf Altstadt und bestehender WV

Der Bedarf für die Teilgebiete des bestehenden WV und der Altstadt wurden aus der Studie von MEC übernommen. Tabelle 1 zeigt die Zusammenfassung der beiden Wärmebedarfe und der Leistung im Endausbau. Für den bestehenden WV wurde eine geringere Volllaststundenzahl angenommen, da dort mehr gewerblich genutzte Objekte vorhanden sind.

	Altstadt	bestehender WV
Anzahl Anschlüsse	129	50
Gleichzeitigkeit	74%	84%
Volllaststunden	2'100 h/a	2'000 h/a
Anschlussleistung	4'054 kW	895 kW
Wärmebedarf	8'514 MWh/a	1'790 MWh/a
Leistung ab UEST	3'000 kW	752 kW

Tabelle 1: Wärmebedarf Altstadt und bestehender WV

Wärmebedarfspotenzial

Die Hektardaten wurden jedem Teilgebiet zugewiesen und somit der heutige Wärmebedarf pro Teilgebiet und das gesamte Untersuchungsgebiet ermittelt. Aus den Hektardaten lässt sich ebenfalls herauslesen, wieviel vom Wärmebedarf für Wohn- oder Dienstleistungsgebäude gebraucht wird. Dies ist wichtig für die Berechnung der daraus resultierenden Anschlussleistung, welche sich aus den jährlichen Volllaststunden berechnen lässt. Für Wohngebäude wird eine

Volllaststundenzahl von 2'100 h/a angenommen, für Industrie- und Dienstleistungsgebäude 1'700 h/a. Die höhere Volllaststundenzahl für Wohngebäude ist auf den deutlich höheren Brauchwarmwasserbedarf zurückzuführen.

Tabelle 2 zeigt den Wärmebedarf nach Nutzungsart und Tabelle 3 die Zusammenfassung des Wärmebedarfs aller Teilgebiete.

Nutzung	Wärmebedarf	Anschlussleistung	Anteil
Wohnen	12'728 MWh/a	6'061 kW	52%
Gewerbe & Industrie	11'919 MWh/a	7'011 kW	48%
Total	24'646 MWh/a	13'072 kW	100%

Tabelle 2: Wärmebedarf und Anschlussleistung nach Nutzungsart

Teilgebiet	Wärmebedarf	Anteil Wärmebedarf	Anschlussleistung
1	4'885 MWh/a	20%	2'866 kW
2	1'050 MWh/a	4%	521 kW
3	3'311 MWh/a	13%	1'645 kW
4	2'372 MWh/a	10%	1'166 kW
5	2'245 MWh/a	9%	1'176 kW
6	480 MWh/a	2%	300 kW
best. WV	1'790 MWh/a	7%	895 kW
Altstadt	8'514 MWh/a	35%	4'054 kW
Total	24'646 MWh/a	100%	12'623 kW

Tabelle 3: Wärmebedarf und Anschlussleistung pro Teilgebiet

Das Wärmebedarfspotenzial für das gesamte Gebiet beträgt rund **24.6 GWh/a**. Der Energieanteil der Gebäude mit Wohnnutzung beträgt rund 52%, jener von Gewerbe und Industrie rund 48%.

Erdsonden- und
Grundwasser-WP

Im Untersuchungsgebiet sind ebenfalls Erdsondenbohrungen und Grundwasserbrunnen vorhanden, welche für Wärmepumpen gebraucht werden. Objekte mit Erdsonden oder Grundwasserbrunnen werden in Zukunft kaum Interesse an einem Fernwärmeanschluss haben und werden anhand des angenommenen Anschlussgrads automatisch nicht berücksichtigt bei der Ermittlung des Absatzpotenzials. Nachfolgende Abbildung zeigt die Standorte der jeweiligen Erdsonden und Grundwasserbrunnen.

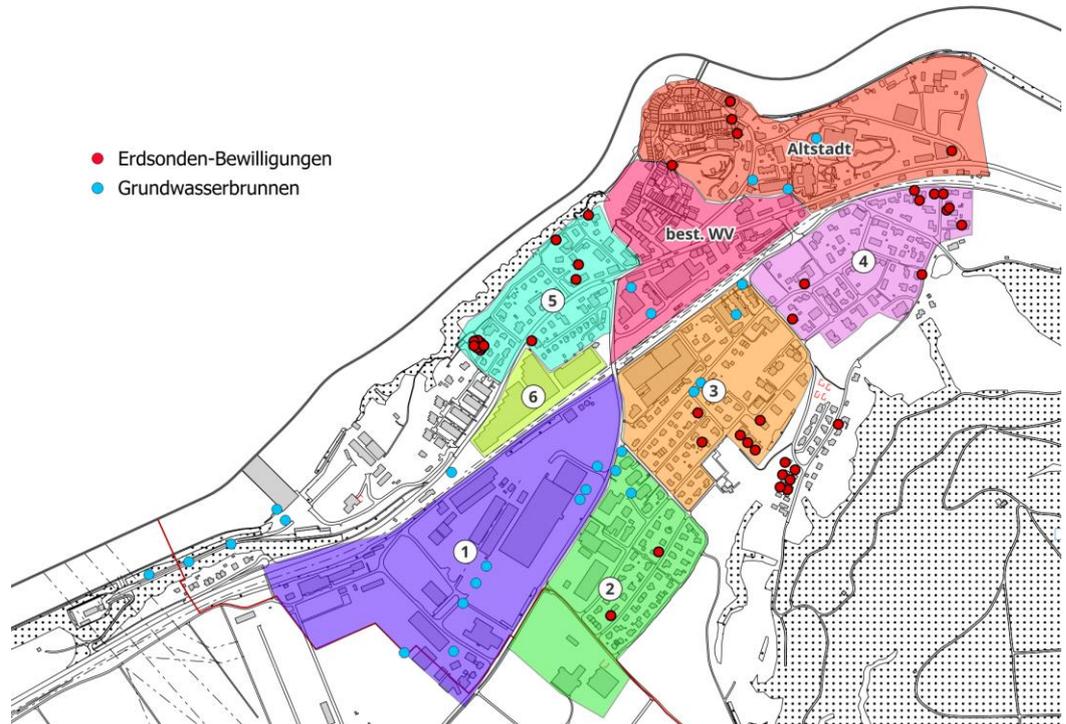


Abbildung 3: Standorte Erdsonden und Grundwasserbrunnen

Anschlussleistung
(Potenzial)

Für Einzelobjekte wurde eine Anschlusswahrscheinlichkeit von 70% angenommen. Im Endausbau werden demnach 70% des Wärmebedarfs über die Fernwärme abgedeckt. Dies entspricht nicht 70% der Anschlussobjekte, da primär die grossen Objekte angeschlossen werden sollen. Zusätzlich wurde für alle Objekte (total 325 Anschlüsse) eine Gleichzeitigkeit von 70% im Endausbau angenommen. Dies bedeutet, dass es aufgrund der Einzellastprofile zu einer Überlagerung des Wärmebedarfs kommt, was zur Folge hat, dass sich die maximal benötigte Anschlussleistung reduziert.

Anschlussgrad und
Anschlussentwicklung

Für die Altstadt und den best. WV wurde mit einem Anschlussgrad von 100% gerechnet aufgrund der Anschlusspflicht in diesen Gebieten.
Da nicht sämtliche Teilgebiete von Beginn an erschlossen werden können, wurde eine Staffelung der Erschliessung vorgesehen.

Aufgrund der geografischen Lage ergibt sich das nachstehende Lagebild:

Teilgebiet	Anschlussentwicklung						
	Erschliess.	Anschl.grad	Dauer	Anschlüsse	Anschlussentwicklung		
Nr.	[Jahr]	[%]	[Jahre]	[Stk.]	1. Jahr	2. Jahr	ab 3. Jahr
1	2026	70%	5	5	40%	20%	13%
2	2027	70%	15	34	20%	10%	5%
3	2027	70%	15	42	20%	10%	5%
4	2027	70%	15	34	20%	10%	5%
5	2029	70%	15	29	20%	10%	5%
6	2030	70%	5	1	60%	20%	7%
best. WV	2027	100%	15	50	74%	3%	2%
Altstadt	2027	100%	15	129	30%	15%	4%
Total				325			

Tabelle 4: Annahmen Anschlussentwicklung

Das Teilgebiet 1 könnte voraussichtlich bereits 2026 mit Wärme versorgt werden, abhängig von der Inbetriebnahme des Serverzentrums. Alle restlichen Teilgebiete sollen über einen Zeitraum von 15 Jahren komplett erschlossen werden (d.h. bis zum Anschlussgrad von 70%). Je nach Anzahl Objekte/Anschlüsse im Teilgebiet erfolgt die Erschliessung in den ersten beiden Jahren schneller oder langsamer. Ab dem 3. Jahr bleibt die Erschliessungsrate konstant, bis zur Erreichung des Anschlussgrades im Endausbau. Für die Altstadt und den best. WV wurde ein Anschlussgrad von 100% angenommen (in Bezug auf das ermittelte Absatzpotenzial aus der Studie von MEC).

Für die Entwicklung des Wärmebedarfs in den Erweiterungsgebieten wurden zusätzlich folgende Annahmen zu Grunde gelegt:

- Abnahme des Wärmebedarfs aufgrund von Gebäudesanierungen und klimatischen Veränderungen, um durchschnittlich -1.5% pro Jahr.
- Zunahme des Wärmebedarfs aufgrund der Vergrößerung/Verdichtung des Versorgungsgebiets um durchschnittlich +0.5% pro Jahr.

In der Summe resultiert daraus eine jährliche Abnahme des Wärmebedarfs in den Teilgebieten von -1%.

Zusammen mit dem Gleichzeitigkeitsfaktor ergibt sich daraus die nachfolgend skizzierte Entwicklung des Wärmebedarfs.

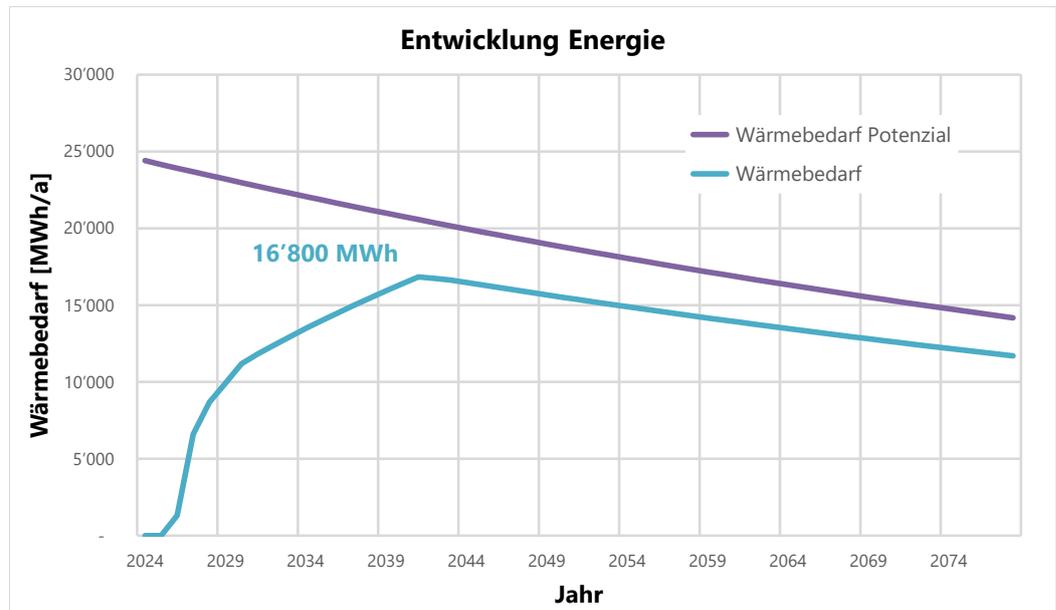


Abbildung 4: Anschlussentwicklung Wärmebedarf

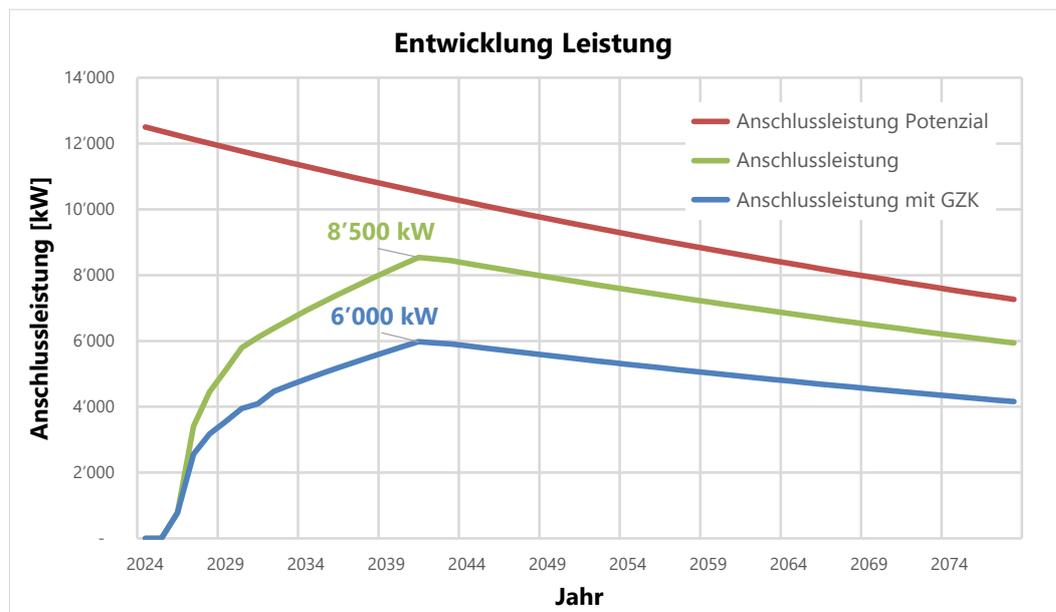


Abbildung 5: Anschlussentwicklung Anschlussleistung

Die rote Linie in Abbildung 5 zeigt die Entwicklung der Anschlussleistung und des Wärmebedarfs aller Liegenschaften im Versorgungsgebiet (Potenzial 100%). Das Wärmebedarfspotenzial ist violett in Abbildung 4 dargestellt.

Im Jahr 2041 erreicht die Lieferleistung ab FW-Zentrale ihr Maximum und beträgt, unter Berücksichtigung einer Gleichzeitigkeit von ca. 70 %, **6.0 MW**, exkl. Netzverluste. Die Anschlussleistung (ohne Gleichzeitigkeit) und der Wärmebedarf betragen dabei **8.5 MW** und **16.8 GWh**, ebenfalls exkl. Netzverluste.

Ab 2041 sinkt die Kurve ab aufgrund des Wärmebedarfsrückgangs (Gebäudesanierungen und Klimaerwärmung) und da keine neuen Objekte mehr angeschlossen werden.

Jahresdauerlinie
Wärmebedarf

Aufgrund dieses Bedarfs ergibt sich nachstehende Jahresdauerlinie für das Jahr 2041.

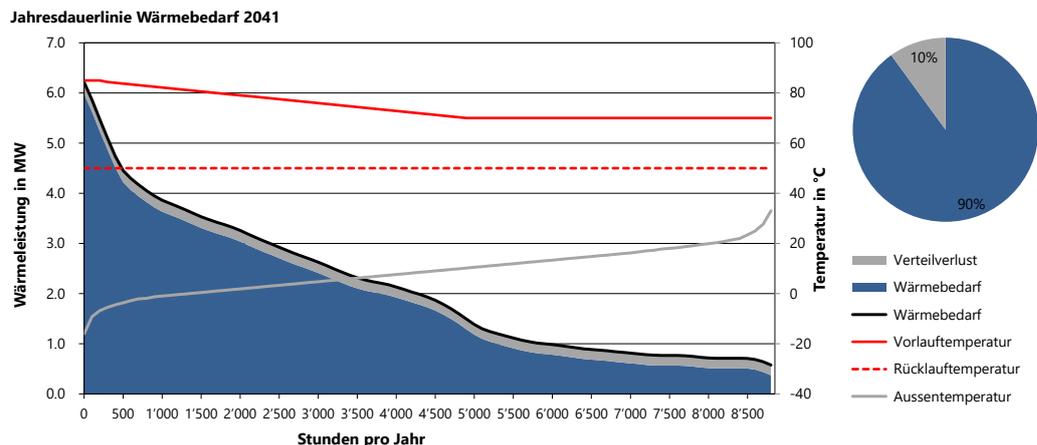


Abbildung 6: Jahresdauerlinie Wärmebedarf für das Jahr 2041

Dabei wird der Wärmebedarf, geordnet nach der Aussentemperatur, dargestellt.

Aus dem Histogramm lassen sich die folgenden Aussagen ableiten:

- Die Maximalleistung beträgt ca. 6.2 MW und wird nur in wenigen Stunden pro Jahr (< 100 h/a) benötigt
- In den Sommermonaten, von 6'000-8'760 h, besteht ein konstanter Wärmebedarf von ca. 500 kW. Dies entspricht der Mindestlast.
- Die erwarteten Verteilverluste betragen ca. 3.9% der Gesamtleistung und ca. 10% des Wärmebedarfs.

Die Vor- und Rücklauftemperaturen werden gleitend gefahren und sind im Winter 85/50°C und im Sommer 70/50°C.

Anschlussentwicklung bis Anschluss Altstadt

Während des Baus der Verbindungsleitung bis ca. 2027 werden in der Anschlussentwicklung bereits die ersten Objekte mit Fernwärme versorgt. Dies bringt sowohl Vor- als auch Nachteile mit sich.

Einerseits können Kunden frühzeitig für die Fernwärme gewonnen werden, bevor sie auf eine Alternative wechseln (z.B. Wärmepumpe oder Pelletheizung). Andererseits muss das Netz mit einer tiefen Anschlussdichte betrieben werden bis zum Anschluss an die Altstadt und den bestehenden Wärmeverbund. Dies bringt relativ grosse Wärmeverluste im Netz mit sich und schmälert die Wirtschaftlichkeit in den ersten Betriebsjahren des Projekts.

3.3 Gesetzliche Grundlagen und Rahmenbedingungen

Baubewilligungs-
verfahren

Das gesamte Baubewilligungsverfahren für das Fernwärmenetz und die FW-Zentrale, einschliesslich der notwendigen kantonalen Abklärungen und Stellungnahmen, dürfte etwa 6-8 Monate dauern.

4 Anlagenkonzept und Dimensionierung

4.1 Wärmeerzeugung

Technologien
Wärmeerzeugung

Die Wärme für das FW-Netz wird vom neu geplanten Rechenzentrum FlexBase zur Verfügung gestellt. Dabei wird bis ca. 2028 direkte Abwärme mit einer Temperatur von 70-75°C genutzt. Ab 2028 sollte die 2. Generation an Rechnern in Betrieb gehen, welche Abwärme mit bis zu 90°C zur Verfügung stellen kann.

4.1.1 Konzept und Dimensionierung

Wärmebedarf ab
FW-Zentrale

Die Auslegung der FW-Zentrale mit Wärmeübertragungsstation erfolgt auf die maximale Wärmeleistung von

6.2 MW.

Für das Fernwärmenetz wurden Verluste von 10% des gesamten Wärmebedarfs ab Zentrale angenommen. Zusammen mit dem Bedarf der Kunden ergibt sich die Leistung und Energie, welche von der FW-Zentrale zur Verfügung gestellt werden muss:

	Bedarf	Verlust	Produktion
Wärme	17'000 MWh/a	1'700 MWh/a	18'700 MWh/a
Leistung	6'000 kW	230 kW	6'230 kW

Tabelle 5: Wärme- und Leistungsbedarf 2041 ab Zentrale

Leistungsabde-
ckung

Zur Abdeckung des Wärmebedarfs wird Abwärme vom Rechenzentrum genutzt. Das Rechenzentrum wird mithilfe von Wärmetauschern hydraulisch vom FW-Netz getrennt.

Die Wärmetauscher sollen modular aufgebaut werden. Vorgeschlagen wird eine Wärmeübertragungsleistung von ca. 2 MW. Im Erstausbau kann der Wärmeverbund mit 2 WT à 2 MW betrieben werden. In Abhängigkeit des Ausbaupfads können weitere Wärmetauscher eingebunden werden bis zum Endausbau mit 4 x 2 MW. Damit wird gleichzeitig eine Redundanz und Reserve sichergestellt, falls einmal ein WT ausser Betrieb genommen werden muss.

4.2 Wärmeverteilung

4.2.1 Konzept und Dimensionierung

Temperaturen
Wärmeverteilung

Das Fernwärmenetz wird auf eine VL/-RL-Temperatur von 85/50°C dimensioniert (bei -10°C Aussentemperatur).

Die VL-Temperatur wird gleitend angesetzt und beträgt in den Sommermonaten 70°C.

Der Grund für die hohe VL-Temperatur liegt im bestehenden Wärmeverbund, der mit 80°C betrieben wird. Sollte dieser in Zukunft optimiert und die Temperatur gesenkt werden, kann auch die Vorlauftemperatur des neuen WV entsprechend reduziert werden.

Rohrleitungen Für das Fernwärmenetz werden Kunststoffmantelrohre (KMR) mit Dämmstärke 2, welche typischerweise im Fernwärmebereich eingesetzt werden, eingerechnet. Zur Ortung von Undichtheiten sind die KMR mit einer Leckageüberwachung ausgestattet.

Die Hauptleitung ab FW-Zentrale hat die Dimension DN200. Die maximale Übertragungsleistung beträgt 9'600 kW bei VL/RL 85/50°C und ca. 150 Pa/m Druckverlust.

Netzpumpen Für die Umwälzung des Netzwassers wird in der FW-Zentrale eine Winterpumpengruppe 2 x 100%, sowie eine Sommerpumpe mit 1 x 25% mit Frequenzumformer (FU) installiert. Die genaue Pumpenauslegung ist Gegenstand weiterführender Projektphasen.

Druckhaltung Die Druckhaltung für das Gesamtsystem wird in der FW-Zentrale aufgestellt. Die Differenz zwischen dem höchsten Punkt und tiefsten Punkt im Fernwärmenetz beträgt rund 30 m bzw. 3 bar. Damit am Hochpunkt der Minimaldruck von 1.5 bar nicht unterschritten wird, muss die Druckhaltung auf einen Rücklauf-Netzhaltdruck von 4.5 bar eingestellt werden. Der dynamische Druckverlust von der Zentrale zum Netzschlechtpunkt und wieder zurück beträgt ca. 2.6 bar. Insgesamt, und mit zwei bar Reserve, beträgt der maximal auftretende Druck im System somit ca. 9.1 bar.

Da das FW-Netz der Altstadt auf die Druckstufe PN16 ausgelegt wird und es keine hydraulische Trennung dieser beiden Netze geben wird, werden alle Anlagenteile im Fernwärmenetz (Wärmetauscher, Rohre, Armaturen usw.) auf die Druckstufe PN16 ausgelegt. Diese grobe Druckauslegung der Komponenten wird für unsere Investitionskostenschätzung verwendet. Im Rahmen des Vorprojekts ist eine detaillierte Auslegung des Systems bezüglich der Druckstufen zwingend durchzuführen.

4.2.2 Leitungsführung und Etappierung

Leitungsführung Eine mögliche Trassenführung für die Verbindungsleitung sowie der Haupt- und Nebenleitungen (exkl. Netz Altstadt) ist unten dargestellt. Wo immer möglich, sollten die Leitungen auf öffentlichem Grund (Strassen, Gehwege usw.) verlegt werden, da sonst ein Durchleitungsrecht von den Privatgrundstückbesitzern gefordert werden muss.

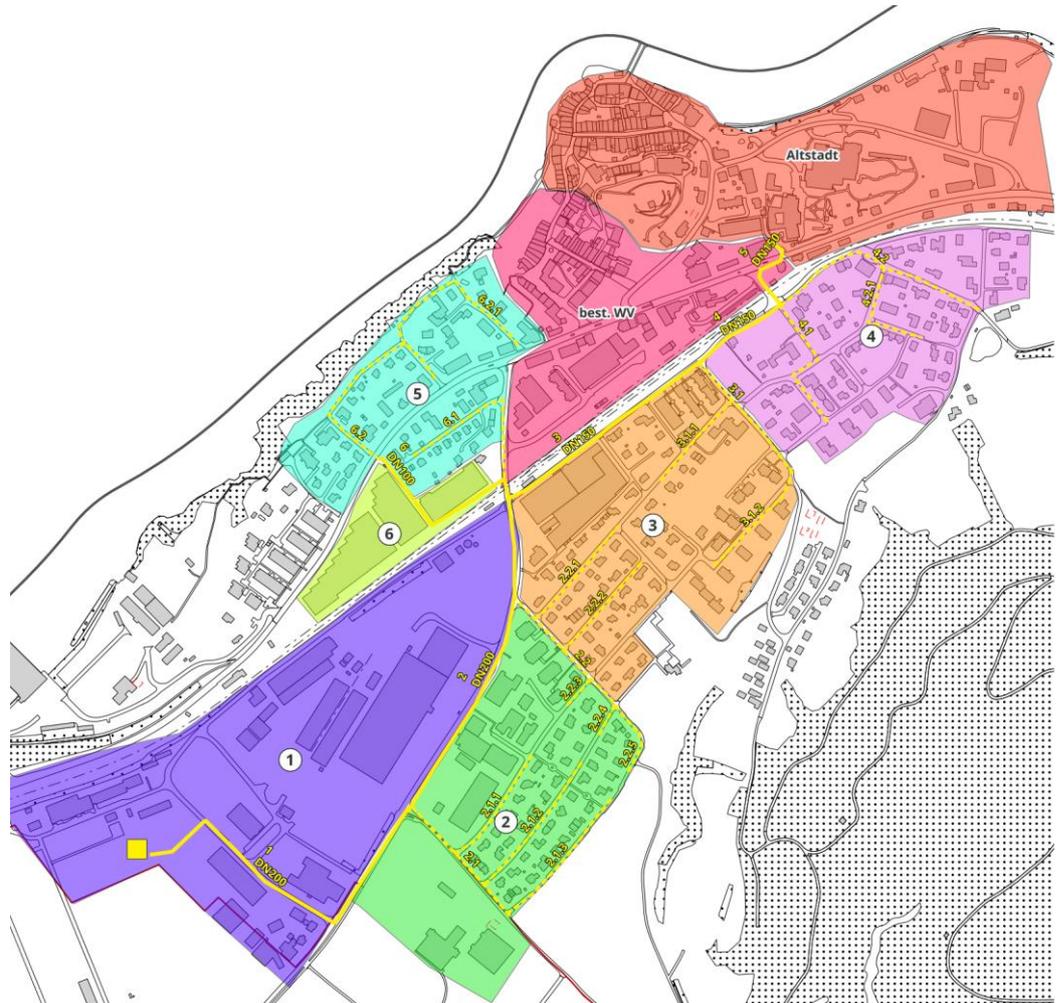


Abbildung 7: Mögliche Leitungsführung Fernwärmenetz

Die Leitungsführung wurde im Rahmen der Machbarkeitsstudie nicht im Detail geklärt. Eine Vermessung der Versorgungsleitungen und eine detaillierte Planung der Hauptleitungsführung sollte im Rahmen des Vorprojekts durchgeführt werden.

Laut der Stadt wird die Kaisterstrasse in den nächsten 2-3 Jahren saniert, was den Leitungsbau in diesem Abschnitt erleichtern könnte. Die Baslerstrasse/Winterthurerstrasse (Teilgebiete 5 und 6 und best. WW) wurde erst vor kurzem saniert, was den Leitungsbau in naher Zukunft erschwert. Um die Teilgebiete 5 und 6 dennoch rechtzeitig anzuschliessen, müssen Quartierstrassen und allenfalls private Grundstücke durchquert werden. Die Details der Leitungsführung und Erschließung müssen im Rahmen des Vorprojekts durch den Tiefbauplaner im Detail geklärt werden.

Zusammenschluss
Altstadt & best. WW

Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie wurde das Schulhaus am Schützenweg (nach der Gleisquerung Ost) als Übergabepunkt zur Altstadt und dem bestehenden WW gewählt. Dies erschwert jedoch die Senkung der VL-Temperatur des

bestehenden WV, da von dort eine DN80-Leitung als Hauptleitung zum restlichen Netz fungiert und somit die maximale Übertragungsleistung begrenzt. Würde weiter westlich ein anderer Standort für die Übergabestation gefunden werden, könnte dies die Temperaturabsenkung erleichtern, da dort Leitungen mit größeren Dimensionen vorhanden sind. Diese Frage muss im Rahmen des Vorprojekts geklärt werden.

Anschlussdichte	<p>Das Fernwärmenetz (exkl. Altstadt und best. WV) wird ca. 6.5 Tkm (Trasse-km) umfassen. Eine detailliertere Abbildung ist dem Anhang zu entnehmen.</p> <p>Im Perimeter der Altstadt hat das FW-Netz eine Länge von ca. 2 Tkm, welche in die Wirtschaftlichkeitsberechnungen einfließen.</p> <p>Die maximale Anschlussdichte (inkl. Netz Altstadt) wird mit 2.0 MWh/Tm/a im Jahr 2041 erreicht. Danach nimmt die Anschlussdichte aufgrund des sinkenden Wärmebedarfs trotz neuen Anschlüssen ab. Die minimalen 1.8 MWh/Tm/a nach QM-Holzheizwerke werden somit erfüllt und das Fernwärmenetz gilt grundsätzlich als wirtschaftlich umsetzbar.</p>
Etappierung	<p>Die Etappierung der Fernleitung erfolgt analog der Erschliessung der einzelnen Teilgebiete (siehe Tabelle 4). Der Bau der Nebenleitungen in die einzelnen Teilgebiete ist grösstenteils während den ersten 5 Betriebsjahre geplant.</p>
Gleisquerung	<p>Die SBB-Gleise müssen sowohl im Bereich der Kaisterstrasse als auch beim Schützenweg gequert werden. Bei derartigen Vorhaben fordert die SBB eine «Genehmigung von Bauarbeiten/Projekten, die an das Bahnareal angrenzen» gemäss Art. 18m EBG:</p> <p>«Alle Eingriffe und Arbeiten in der Nähe des Bahnareals bzw. der Bahnanlagen unterliegen der Bewilligungspflicht durch die SBB. Davon betroffen sind Bau-, Abriss-, Umbau- und Renovationsprojekte an Gebäuden, Verlegung von Leitungen, Kabeln und Kanalisationen neben oder unter den Gleisen, Errichten von Mobiltelefonantennen, Ausrüstungen (technischer Schrank) und Zäunen Pflanzen von Bäumen mit oder ohne Plangenehmigungsverfahren. Sowohl mit als auch ohne Planaufgabe dürfen die Bauarbeiten erst nach Bewilligung durch die SBB aufgenommen werden. Grund dafür ist die Betriebssicherheit.»</p> <p>Spätestens drei Monate vor Baubeginn, sind alle für die Vertragserstellung notwendigen Unterlagen sowie Angaben (Pläne, Länge und Durchmesser der Leitungen auf SBB Gebiet, Rechnungsadresse, bevollmächtigte Person, Kontaktperson etc.) an die SBB zu senden.</p> <p>Basierend auf Erfahrungen der Durena ist für die Genehmigung der genannten Gleisquerungen ein ausreichender Zeitraum einzuplanen und die entsprechenden Unterlagen möglichst frühzeitig einzureichen.</p>

4.2.3 Hausstation

Schnittstellen

Die Wärmeübergabestationen (inkl. Regelventil und Wärmetauscher) werden als Kompaktstation geliefert. Die Schnittstelle (Liefergrenze) zwischen Wärmelieferant und Wärmekunde wird so gelegt, dass die gesamte Fernwärme-Übergabestation (inkl. Wärmetauscher) durch den Fernwärmebetreiber installiert und einreguliert wird. Dadurch kann die angestrebte tiefe RL-Temperatur im Fernwärmenetz überhaupt erst garantiert werden. Die Hauszentrale (Sekundärseite) ist Sache des Wärmekunden.

Für die Berechnung der Investitionen wurde dieselbe Liefergrenze angenommen. Für den Betrieb, Wartung und Unterhalt wird eine andere Schnittstelle definiert. Der Kunde ist verantwortlich für Betrieb, Wartung und Unterhalt der Hauszentrale und Hausanlage. Davon ausgenommen ist einzig die Wärmemessung. Diese liegt im Betreuungsumfang des Fernwärmebetreibers.

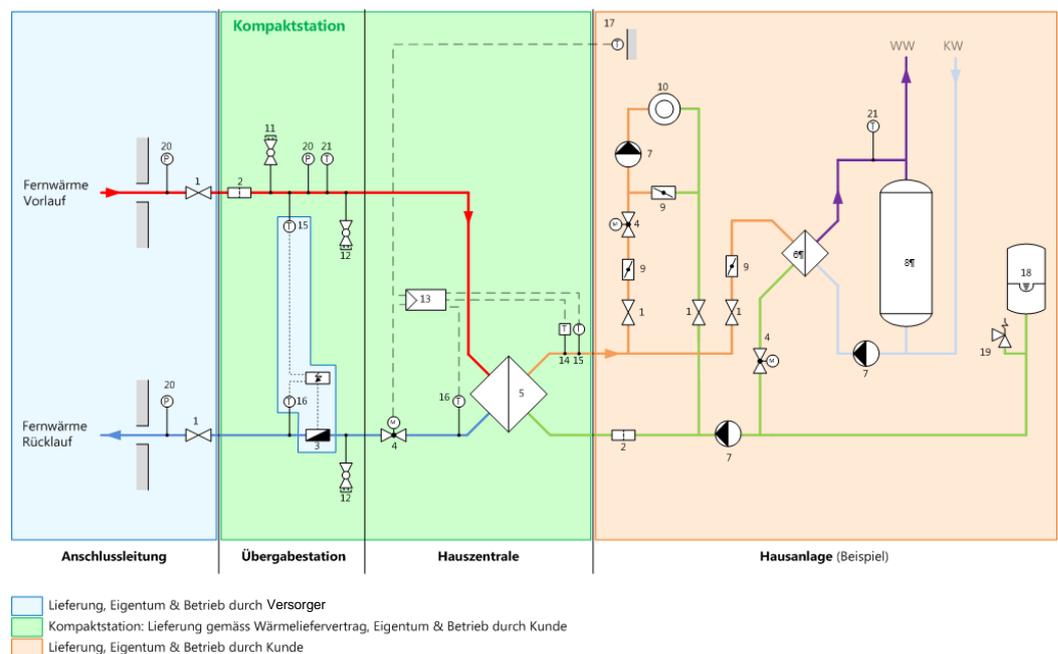


Abbildung 8: Prinzipschema Wärmeübergabestation

Signalübertragung

Falls vorhanden, können die Signale der Wärmehähler über Smart Meter wie bei der Strom- und Wasserversorgung ausgelesen und übertragen werden. Ansonsten sind Übertragungen über GSM oder ähnliche Verfahren möglich. Vom Aufbau eines Glasfasernetzes raten wir grundsätzlich ab. Der Grund dafür sind die hohen Investitionskosten. Dies ist im Rahmen Vorprojekts festzulegen.

5 Wirtschaftlichkeit

Alle Preis- und Kostenangaben (Investitionen, Betriebskosten, Energiepreise etc.) verstehen sich jeweils exkl. MWSt. Falls nichts anderes erwähnt, entspricht die Kostengenauigkeit den in der SIA-Ordnung 108 erwähnten Werten (Machbarkeitsstudie i.d.R. +/-20%).

5.1 Methodik

Annuitätenmethode	Für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der in diesem Bericht untersuchten Varianten der Wärmeversorgung wird die Annuitätenmethode angewandt. Da die Wirtschaftlichkeit des Projektes mit verschiedenen zukünftigen Energiepreiserhöhungen verbunden ist und eine langfristige Betrachtung erfordert, wird zusätzlich zu der herkömmlichen statischen Annuitätenrechnung die dynamische Annuität ermittelt.
Statische Annuität	Die statische Annuitätenrechnung wandelt nur den Investitionsbetrag in durchschnittliche Kapitalkosten um und setzt bei den Energie-, betriebsgebundenen und sonstigen Kosten die Kosten des ersten Jahres ein, es werden also keine Teuerungen (z.B. auf Energiepreisen) oder Bedarfsveränderungen im Laufe der Zeit berücksichtigt.
Dynamische Annuität	Im Gegensatz dazu ermittelt die dynamische Annuitätenmethode zusätzlich zur Annuität der Investitionen den Barwert (Gegenwartswert der gesamten Kosten, die während der Nutzungsdauer der Anlage entstehen) mit den sich entsprechend den angenommenen Kostensteigerungen verändernden Energie-, betriebsgebundenen und sonstigen Kosten.
Barwert- oder Kapitalwertmethode	<p>Aufgrund der etappierten Realisierung (z.B. Wärmebedarf, Investitionen) und/oder der zeitlich nicht konstanten Zahlungsströme (z.B. Energiepreise) kommt für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit die Discounted Cash Flow- bzw. Barwertmethode zur Anwendung. Diese Methode berücksichtigt, dass ein Aufwand oder ein Ertrag heute nicht denselben Wert hat wie einer, der erst in 10 Jahren anfällt.</p> <p>Mit dieser Methode werden alle mit der Investition verbundenen Kosten auf einen Bezugszeitpunkt, meist unmittelbar vor Beginn der Investition, abgezinst (Barwert oder discounted cash flow). Die Abzinsung erfolgt mit dem Kalkulationszinssatz. Der Kapitalwert (net present value NPV) ist die Summe aller Barwerte des Projektes (Investition plus Summe aller abgezinsten cash flows im Betrachtungszeitraum).</p> <p>Mittels dieser Berechnung können folgende Resultate ermittelt werden:</p> <ul style="list-style-type: none">Amortisationsdauer: Zu dem Zeitpunkt, wo der Kapitalwert 0 ist, ist die Investition komplett amortisiert.

- Interner Zinsfuss / Internal Rate of Return IRR: Es wird der Kalkulationszinssatz gesucht, bei dem der Kapitalwert des Projektes (NPV) gleich 0 ist.

Im diesem Kapitel werden die jährlichen Kosten der verschiedenen Varianten für einen Basisfall gemäss folgender Unterteilung ermittelt und verglichen:

- Kapitalgebundene Kosten (Anschaffungskosten für die verschiedenen Anlagekomponenten)
- Brennstoff- bzw. Energiekosten
- Betriebsgebundene Kosten (Bedienung, Reinigung, Wartung)
- Sonstige Kosten (Versicherung, Verwaltungskosten)

Da die Basisrechnung sich teilweise auf zukünftigen Kostensteigerungen abstützt, die nur geschätzt werden können, wird diese Basisrechnung um eine Sensitivitätsanalyse (Empfindlichkeitsanalyse) ergänzt. Diese Rechnung zeigt, wie sich abweichende Datenangaben auf das Berechnungsergebnis auswirken.

5.2 Randbedingungen

Randbedingungen
generell

Für die Investitionen und die Wirtschaftlichkeit werden folgende Randbedingungen zugrunde gelegt:

- Kostengenauigkeit Machbarkeitsstudie +/- 20 %
- Kostenstand August 2024
- Gewinnsteuer 20%
- exkl. MWSt

Kapitalkosten

- Zinssatz 4 % p.a.
- Amortisationsdauer elektromechanische Anlageteile 15 Jahre, Bau und Fernwärmeleitungen 50 Jahre

Energiekosten

- Wärmepreis ab Rechenzentrum: 5 Rp./kWh
- Strompreis inkl. Netznutzung: Tarif gem. Tarifblatt Grosskunden Laufenburg 2023 (> 100 MWh/a)
 - Leistungspreis 8 CHF/kW/Monat
 - Arbeitspreis Hochtarif 35.30 Rp./kWh
 - Arbeitspreis Niedertarif 33.00 Rp./kWh
 - Netzgrundgebühr 25 CHF/Monat
 - Blindenergiepreis 3.5 Rp./kWh

Teuerung / Kostensteigerung

- Teuerung
 - Für Brennstoff beträgt die Teuerung 1% p.a.
 - Sämtliche andere Teuerungen betragen 0.5% p.a.

- Die jährlichen Preissteigerungen sind aus der Wirtschaftlichkeitsrechnung (siehe Anhang) ersichtlich.

Tarifmodell Fernwärme

Für den Wärmeverkauf werden nachfolgende Tarife angesetzt (Preisbasis 2024, gemäss Rückmeldung Stadt Laufenburg):

- Grund-/Leistungspreis (25 kW-Anschluss) 109 CHF/kW/a
- Energiepreis Var Referenz (50 MWh/a) 151.07 CHF/MWh

Zusätzlich wird ein Anschlusskostenbeitrag erhoben je nach Anschlussleistung. Für das gesamte FW-Gebiet inkl. Altstadt betragen die Anschlusskostenbeiträge 5 Mio. CHF.

Dieser Betrag wird dem Kunden für die Hauszuleitung und die Wärmeübergabestation verrechnet, welche vom Fernwärmeversorger investiert und installiert werden. Ein Vergleich zwischen den bisherigen Anschlusskosten (best. WV) und den Anschlusskosten der neuen Wärmekunden kann im Rahmen des Vorprojekts erstellt werden.

Förderbeiträge für Fernwärmeversorger

Das kantonale Förderprogramm des Kantons Aargau kennt keine Fördergelder für den Bau von Wärmeverbänden (einzig ein Anschluss an ein Fernwärmenetz wird gefördert, siehe unten).

Für das Projekt wird daher eine Förderung durch die Stiftung KliK eingerechnet (aktuell zugesichert bis Ende 2030). Pro reduzierte Tonne CO₂ wird eine Förderung von 120 CHF/t_{CO2} eingesetzt (aktueller Marktpreis). Die Stiftung KliK hat damit den Anspruch auf die reduzierten CO₂-Emissionen. Sollte ein Fernwärmekunde die CO₂-Reduktion für sich selbst beanspruchen, muss er diesen Mehrwert bezahlen, weil dadurch die Fördermittel reduziert werden.

Für die Berechnung der CO₂-Einsparung des Projekts werden die Emissionen im Referenzszenario (ohne WV) und dem Projektszenario berechnet. Dabei werden folgende Annahmen getroffen:

- Emissionsfaktor Gas 0.220 t_{CO2}/MWh
- Der Anteil der Wärmekunden, welche auch ohne Projekt ein erneuerbares Heizsystem installiert haben (oder installieren werden). Es wird angenommen, dass dieser Anteil jährlich um 2% zunimmt.

Wir gehen davon aus, dass die CO₂-Tonnagen auch nach 2030 einen Wert haben werden. Daher wird die Förderung über 15 Jahre eingerechnet, d.h. 2026 – 2041. Unter diesen Annahmen resultieren zwischen 2026 und 2041 nachfolgende Einsparungen:

- 38'790 t_{CO2} bzw. rund 4.7 Mio. CHF

Es gilt jedoch zu bemerken, dass die Förderung ab 2031 nicht garantiert ist.

Förderbeiträge für Wärmekunden

Gemäss kantonalem Förderprogramm des Kantons Aargau werden Anschlüsse an Wärmenetze wie folgt gefördert:

- Fernwärmeanschluss ≤ 500 kW 6'000 CHF + 20 CHF/kW_{th}
- Fernwärmeanschluss > 500 kW 11'000 CHF + 10 CHF/kW_{th}

Weil diese Fördergelder den Wärmekunden zugutekommen, werden diese in der Wirtschaftlichkeitsrechnung nicht eingerechnet. Trotzdem haben sie einen positiven Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit, da dadurch die Hemmnisse der Wärmekunden für einen Fernwärmeanschluss reduzieren und damit den Anschlussgrad erhöhen.

Diese Förderung ist mit jener durch die Stiftung KliK kumulierbar.

Nicht berücksichtigte Leistungen

- Nicht enthalten sind:
- Werksinstallationen und Anschlussgebühren für Kanalisation, Trinkwasser, Elektroanschluss, sonstige Gebühren, Bauherrenhaftpflichtversicherung, etc.
- Sämtliche Miet- und Nutzungsgebühren für die Liegenschaften (Standort FW-Zentrale, Wärmeübergabestationen, Hausstationen, etc.).
- Kosten für die Erteilung der erforderlichen Bewilligungen (Bau, Brandschutz, Ölfeuerung, Kamine).
- Reparatur- und Unterhaltsarbeiten für bestehende Komponenten und Anlageteile.
- Sekundäre Heizungsinstallationen ab Hausstation auf bestehende Heizungsinstallationen.
- Sanitärinstallationen in den Anschlussobjekten.
- Elektroinstallationen für die Anspeisung der Wärmeübergabe und der Hausstation.
- Sämtliche Demontage- und Stilllegungsarbeiten in der bestehenden Infrastruktur für Heiz-, Warmwasser-, Elektro- und Öltankanlagen in den Liegenschaften.

5.3 Investition

Investitionskosten

Im Folgenden werden die Investitionen im Endausbau der Referenzvariante, die im Ganzen rund 20.3 Mio. CHF betragen, aufgeschlüsselt.

Investitionskostenschätzung	Total
Bauliche Massnahmen	60'000
Wärmeerzeugung	90'000
Installationen	360'000
Wärmeverteilung (inkl. HA/ÜS)	7'900'000
Wärmeverteilung (Tiefbau)	4'340'000
Altstadt (exkl. Planung&UVG)	4'820'000
Elektroinstallationen	270'000
MSRL	270'000
Nebenkosten / Rundung	50'000
Honorare	2'170'000
TOTAL	20'330'000

Tabelle 6: Investitionen im Endausbau

Ersatzinvestitionen
und Anlagenrest-
wert

Die Ersatzinvestitionen bis Ende Projektbetrachtungsdauer 2056 werden entsprechend berücksichtigt. Unter Berücksichtigung der jährlichen Kostensteigerung betragen diese insgesamt **0.5 Mio. CHF**. Die Berechnung des Anlagenrestwerts im Jahr 2056 (Ende der Projektbetrachtungsdauer) erfolgt mittels linearer Abschreibung.

5.4 Wirtschaftlichkeit

Mit den beschriebenen Randbedingungen wurde eine dynamische Betriebsrechnung mit Hilfe der Kapitalwertmethode erstellt. Die Ergebnisse sind im Anhang dargestellt.

Internal Rate of Return

Unter den angenommenen Randbedingungen resultiert ein IRR (Internal Rate of Return) von **7.3%** (nach Steuern).

In diesen Preisen sind die kantonalen Fördergelder, welche direkt durch die Kunden beantragt werden müssen, nicht eingerechnet.

Der Nettobarwert (nach Steuern) beträgt **5.8 Mio. CHF**.

5.5 Sensitivitätsanalyse

Variation Wärme-
preis

Nachfolgend dargestellt ist der IRR bei variierendem Wärmeeinkaufspreis ab Rechenzentrum:

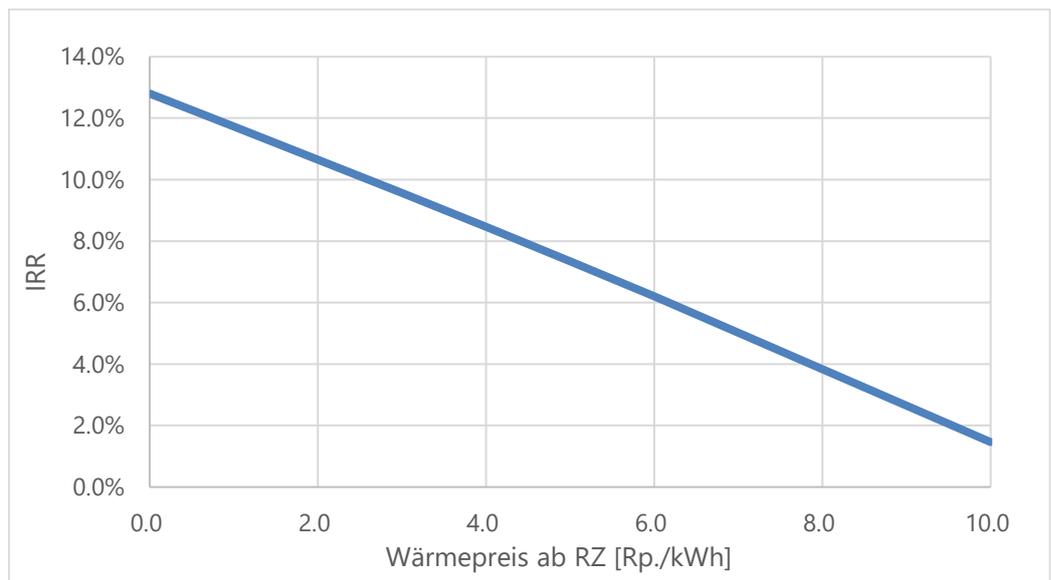


Abbildung 9: IRR bei Variation Wärmepreis ab RZ

Wie zu erwarten, steigt der IRR bei sinkendem Wärmeeinkaufspreis.

Variation Kapital-
zinssatz

Nachfolgend dargestellt ist der NPV bei variierendem Kapitalzinssatz:

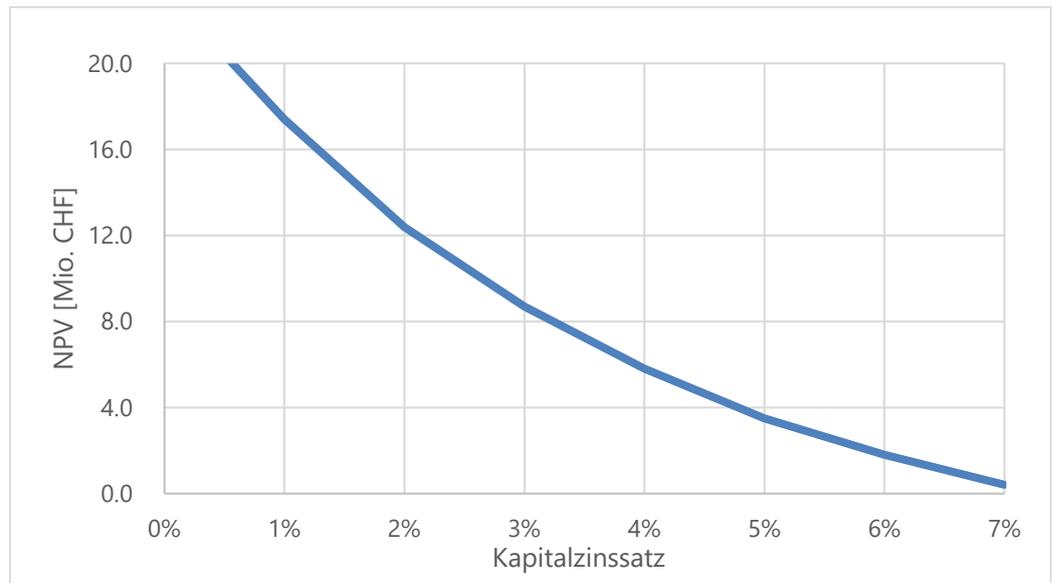


Abbildung 10: IRR bei Variation Wärmepreis ab RZ

Wie zu erwarten, steigt der NPV bei sinkendem Kapitalzinssatz und erreicht 0 bei 7.34%.

6 Beurteilung und Empfehlung

6.1 Beurteilung

Ausfall eines Wärmeerzeugers	<p>Damit auch bei einem Ausfall des grössten Wärmetauschers genügend Leistung vorhanden ist, muss die Leistung auf mehrere Wärmetauscher aufgeteilt werden. Je geringer die Anzahl Erzeuger, desto mehr Leistungsreserve muss eingerechnet werden. In diesem Projekt empfehlen wir die Leistung auf drei bis vier Wärmetauscher aufzuteilen.</p> <p>Im vorliegenden Fall wäre bei Ausfall der Abwärme des Rechenzentrums 100% der benötigten Wärmeleistung verloren. Die Möglichkeit, speziell im Winter, kurzfristig auf eine provisorische Wärmeerzeugung zurückzugreifen, muss sichergestellt sein. Alternativ muss ein fossiler Spitzenlastkessel in Betracht gezogen werden.</p>
Wärmeabsatz	<p>Für das Projekt wurde ein Anschlussgrad von 70% angenommen. Dieser Wert ist ambitioniert, es gilt allerdings zu beachten, dass nicht 70% der Objekte anschliessen, sondern 70% des Wärmebedarfs. Hinzu kommt, dass bei der Altstadt eine Anschlusspflicht herrscht und diese somit den Gesamtdurchschnitt des Anschlussgrads auf über 80% hebt. Zudem wird dieser Wert erst nach 15 Jahren im Jahr 2041 erreicht. Für diese lange Betrachtungszeit ist der angenommene Anschlussgrad realistisch. Dies zeigt auch der Vergleich mit bestehenden älteren Wärmeverbunden.</p> <p>Das Fernwärmenetz weist im Endausbau eine Anschlussdichte von rund 2.0 MWh/m/a auf. Diese liegt knapp über den Minimalanforderungen gemäss QM-Holzheizwerke von 1.8 MWh/m/a. Dennoch erweist sich das Projekt als wirtschaftlich aufgrund des günstigen Wärmepreises und der tiefen Investitionskosten bei der Wärmeerzeugung.</p>
Wirtschaftlichkeit	<p>Das Projekt gilt als wirtschaftlich machbar. Dies ist hauptsächlich dem tiefen Wärmepreis ab Rechenzentrum und der tiefen Investitionskosten für die Wärmeerzeugung geschuldet. Unter Berücksichtigung der Randbedingungen ergibt sich ein IRR von 7.3%.</p> <p>Diese Wärmegestehungskosten sind im üblichen Bereich für ein Fernwärmeprojekt in dieser Grössenordnung.</p>
Ökologie	<p>Mit dem Projekt können über die gesamte Projektbetrachtungsdauer insgesamt ca. 74'929 t_{CO2} eingespart werden. Diese Einsparung an CO₂ ist signifikant und für die Wirtschaftlichkeit des Projekts sehr wichtig. Durch die Fördermittel für die CO₂-Einsparungen (Klik) können die Wärmegestehungskosten reduziert werden.</p>

Risiken

Für das Projekt sind folgende Risiken zu berücksichtigen:

- **Bewilligungsfähigkeit:** Die Genehmigungsfähigkeit ist nur gegeben, wenn die Zonenkonformität von den zuständigen Behörden bescheinigt wird. Dies ist im Rahmen des Vorprojekts zu klären und schriftlich festzuhalten.
- **Verzögerung Bau:** Sollte sich der Bau und die Inbetriebnahme des Rechenzentrums und/oder der Bau der Verbindungsleitung verzögern, verzögert sich auch die Wärmeversorgung der Altstadt und der Betrieb mit einem Heizprovisorium würde sich verlängern.
- **Anschlussentwicklung:** Die angenommene Anschlussentwicklung der Wärmebezüger ist machbar, jedoch ambitioniert. Damit diese erreicht wird sind umfangreiche Akquisitions- und Werbemassnahmen notwendig.
- **Bahnnahe Bauen:** Aufgrund der unmittelbaren Nähe der Verbindungsleitung zu den SBB-Gleisen ist es erforderlich, frühzeitig Kontakt mit den SBB aufzunehmen, um die erforderlichen Genehmigungen einzuholen und Abklärungen zu treffen (Art. 18m EBG).
- **Wirtschaftlichkeit:** Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit ist der Wärmepreis ab Rechenzentrum. Das Risiko einer Energiepreissteigerung kann allerdings reduziert werden, indem das Fernwärme-Tarifmodell an die Energiepreise gekoppelt wird.
- **Subventionen:** Die Höhe der Subventionen sind in einem Vorprojekt genauer abzuklären und einzurechnen.
- **Wirkungsgrad:** Alle Wirkungsgrade wurden aus Herstellerangaben herangezogen oder berechnet. Die realen Wirkungsgrade können tiefer ausfallen, da die Hersteller ihre Angaben idealisieren.
- **Schlüsselkunden:** In den späteren Projektphasen müssen potenzielle Grosskunden (Schlüsselkunden) sowie deren Wärmebedarf ermittelt werden. Es sollte frühzeitig Kontakt zu den Schlüsselkunden aufgenommen werden, um diese für das Projekt zu gewinnen.

Chancen

Das Projekt bietet folgende Chancen:

- **Klima:** Die Wärme wird fast ausschliesslich aus erneuerbaren Energien erzeugt.
- **Unabhängigkeit:** Durch die Fernwärme wird der Wärmekunde weitgehend unabhängig von ausländischen fossilen Brennstoffen.
- **Lokaler Betrieb:** Das geplante Rechenzentrum wird grosse Mengen an Abwärme produzieren, welche lokal genutzt werden kann und soll. Dies könnte auch die Akzeptanz bei den Bewohnern der Gemeinden fördern.
- **Schlüsselkunden:** Genauso wie die Schlüsselkunden ein Risiko bei Wegfall darstellen, stellen sie eine Chance bei Gewinnung für das Projekt dar.

6.2 Empfehlung

Wir empfehlen das Projekt aufgrund seiner technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit weiterzuverfolgen.

6.3 Weiteres Vorgehen

Notversorgung Altstadt

Um die Zeit zu überbrücken, bis das Rechenzentrum und die Verbindungsleitung zur Altstadt gebaut sind, muss ein Heizprovisorium für die Altstadt zur Verfügung stehen. Dies könnte für die nächsten 2-3 Jahre der Fall sein.

Verbindungsleitung

Der Bau der Verbindungsleitung hat Priorität, da sie die Altstadt und den Grossteil des untersuchten Gebiets mit Wärme versorgen wird. In der nächsten Projektphase (Vor-/Bauprojekt) muss die Trasseeführung mit dem Tiefbauplaner genauer geklärt werden.

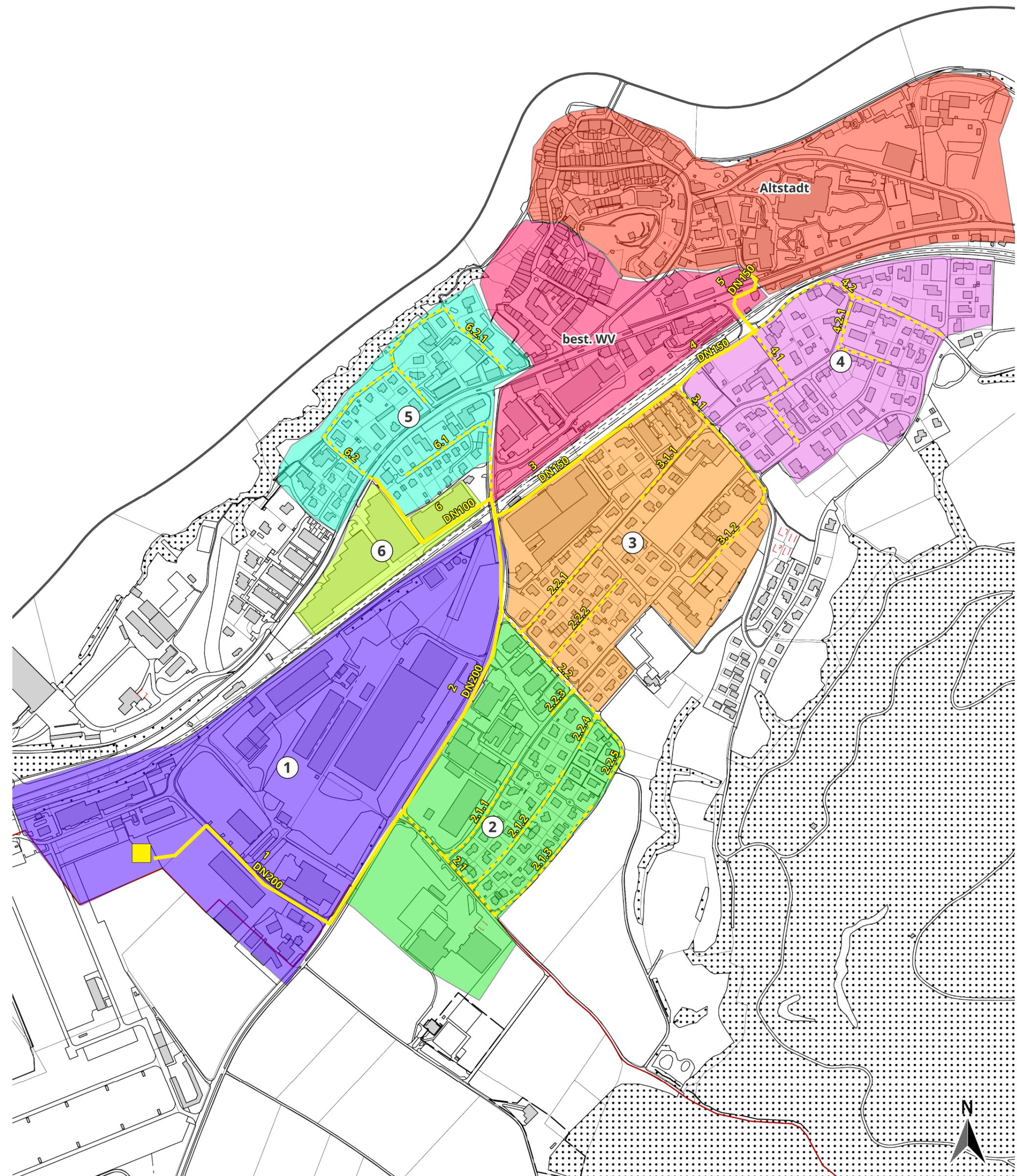
Wärmebedarf

Durchführen einer Kundenbefragung mit Bekundung des Anschlussinteresses, um ein genaueres Absatzpotenzial im Untersuchungsgebiet zu ermitteln.

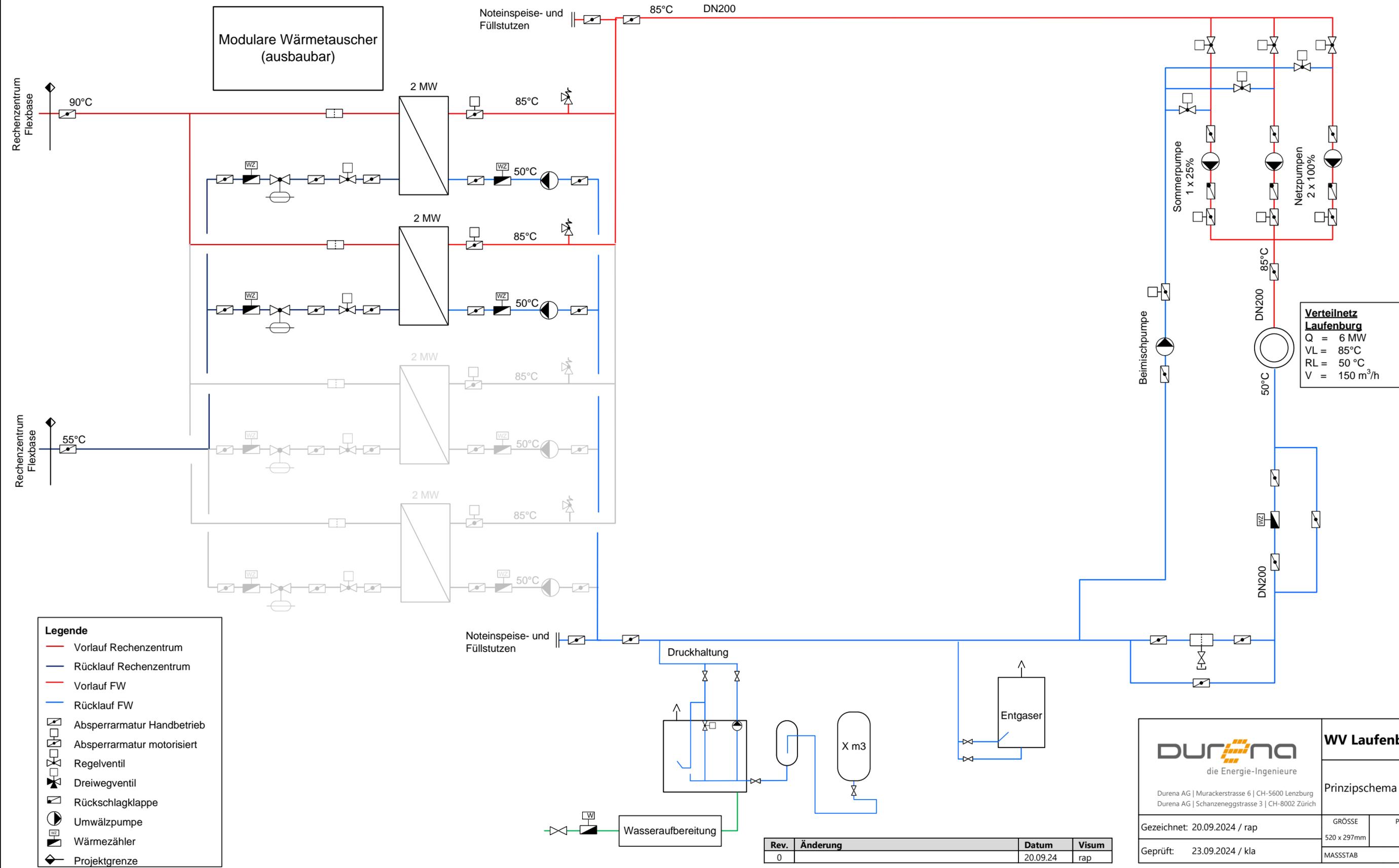
7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Teilgebiete Perimeter Erweiterung WV Laufenburg	9
Abbildung 2: Wärmebedarfskataster nach Hektardaten	10
Abbildung 3: Standorte Erdsonden und Grundwasserbrunnen	12
Abbildung 4: Anschlussentwicklung Wärmebedarf	14
Abbildung 5: Anschlussentwicklung Anschlussleistung	14
Abbildung 6: Jahresdauerlinie Wärmebedarf für das Jahr 2041	15
Abbildung 7: Mögliche Leitungsführung Fernwärmenetz	19
Abbildung 8: Prinzipschema Wärmeübergabestation	21
Tabelle 1: Wärmebedarf Altstadt und bestehender WV	10
Tabelle 2: Wärmebedarf und Anschlussleistung nach Nutzungsart	11
Tabelle 3: Wärmebedarf und Anschlussleistung pro Teilgebiet	11
Tabelle 4: Annahmen Anschlussentwicklung	13
Tabelle 5: Wärme- und Leistungsbedarf 2041 ab Zentrale	17
Tabelle 6: Investitionen im Endausbau	26

- 8 Anhang**
- 8.1 Leitungsführung Fernwärmenetz**
- 8.2 Prinzipschemen**
- 8.3 Zentrale und Layout**
- 8.4 Wirtschaftlichkeitsrechnung**



 die Energie-Ingenieure <small>Durena AG Murackerstrasse 6 CH-5600 Lenzburg Durena AG Selnastrasse 3 CH-8001 Zürich</small>	Laufenburg Erweiterung WV Leitungsführung Haupt-/Nebenleitungen VL/RL 85/50°C				
	Gezeichnet: 17.09.2024 / rap	Grösse A3	Projektnummer -	Plan-Nr. -	Rev. 1
Masstab: 1:5000	0 100 200 300 m 				



**Verteilnetz
Laufenburg**
 Q = 6 MW
 VL = 85°C
 RL = 50 °C
 V = 150 m³/h

- Legende**
- Vorlauf Rechenzentrum
 - Rücklauf Rechenzentrum
 - Vorlauf FW
 - Rücklauf FW
 - Absperrarmatur Handbetrieb
 - Absperrarmatur motorisiert
 - Regelventil
 - Dreiwegventil
 - Rückschlagklappe
 - Umwälzpumpe
 - Wärmezähler
 - Projektgrenze

Rev.	Änderung	Datum	Visum
0		20.09.24	rap

die Energie-Ingenieure

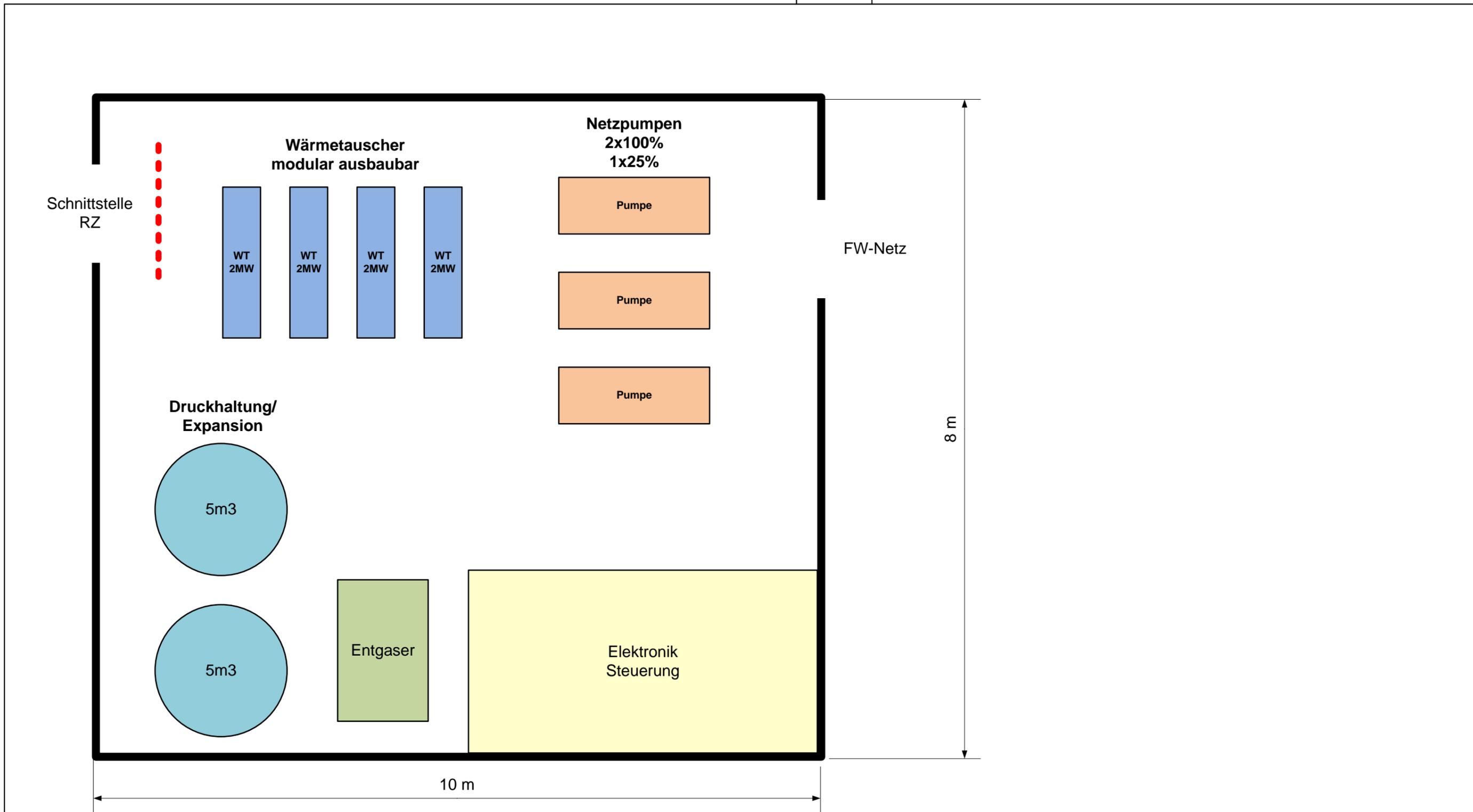
Durena AG | Murackerstrasse 6 | CH-5600 Lenzburg
Durena AG | Schanzeneggstrasse 3 | CH-8002 Zürich

WV Laufenburg

Prinzipschema Warmwasser

Gezeichnet: 20.09.2024 / rap	GRÖSSE 520 x 297mm	Projektnummer -	Plan-Nr. -	REV. 0
Geprüft: 23.09.2024 / kla	MASSSTAB 1/%		BLATT	1 VON 1

© Die Urheberrechte an den Inhalten sind Eigentum der Durena AG



Rev.	Änderung	Datum	Visum

 die Energie-Ingenieure <small>Durena AG Murackerstrasse 6 CH-5600 Lenzburg Durena AG Schanzeneggstrasse 3 CH-8002 Zürich</small>	Laufenburg WV MBS		
	Skizze Layout Heizzentrale		
Gezeichnet: 23.09.2024 / Rap	GROSSE A3	Projektnummer 2024.00.074.1	Plan-Nr. -
Geprüft: 23.09.2024 / Kla	MASSSTAB 1/50	BLATT	REV. 0
		1 VON 1	

DCF Laufenburg MBS		Basis	Faktor	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056			
Randbedingungen		Einheit	D/a	Baujahr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
Kapitalzinssatz (nominal, ohne Risikozuschlag)	% p.a.	0.01 %	1.00	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %			
Leistung installiert/abonniert		MW																																				
WT1	MW																																					
WT2	MW																																					
WT3	MW																																					
Energie/Medien																																						
Wärmeverkauf	MWh/a			1'327	6'602	8'684	9'930	11'192	11'815	12'385	12'942	13'486	13'999	14'499	14'989	15'467	15'934	16'390	16'836	16'737	16'639	16'473	16'308	16'145	15'983	15'824	15'665	15'509	15'354	15'200	15'048	14'898	14'749	14'601				
Wärmeverluste Fernwärmenetz	MWh/a			1'553	978	1'230	1'345	1'466	1'526	1'559	1'591	1'614	1'635	1'693	1'750	1'757	1'764	1'814	1'863	1'852	1'841	1'823	1'805	1'787	1'769	1'752	1'734	1'717	1'700	1'683	1'666	1'649	1'632	1'616				
Wärmebedarf ab Heizzentrale	MWh/a			2'880	7'580	9'914	11'275	12'658	13'341	13'944	14'533	15'100	15'634	16'193	16'739	17'224	17'698	18'204	18'699	18'589	18'480	18'296	18'113	17'932	17'753	17'575	17'400	17'226	17'054	16'883	16'714	16'547	16'381	16'217				
Abwärme Rechenzentrum	MWh/a			2'880	7'580	9'914	11'275	12'658	13'341	13'944	14'533	15'100	15'634	16'193	16'739	17'224	17'698	18'204	18'699	18'589	18'480	18'296	18'113	17'932	17'753	17'575	17'400	17'226	17'054	16'883	16'714	16'547	16'381	16'217				
COP WP	-			8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
Strombedarf	MWh/a			360	948	1'239	1'409	1'582	1'668	1'743	1'817	1'887	1'954	2'024	2'092	2'153	2'212	2'276	2'337	2'324	2'310	2'287	2'264	2'241	2'219	2'197	2'175	2'153	2'132	2'110	2'089	2'068	2'048	2'027				
Strombedarf	MWh/a			58	152	198	225	253	267	279	291	302	313	324	335	344	354	364	374	372	370	366	362	359	355	352	348	345	341	338	334	331	328	324				
Netzumpfen	MWh/a	1%		29	76	99	113	127	133	139	145	151	156	162	167	172	177	182	187	186	185	183	181	179	178	176	174	172	171	169	167	165	164	162				
Divers	MWh/a	1%		29	76	99	113	127	133	139	145	151	156	162	167	172	177	182	187	186	185	183	181	179	178	176	174	172	171	169	167	165	164	162				
Wärmeerzeugung Heizungen	%			85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	
Anzahl Anschlüsse				2	99	132	151	169	184	198	213	227	242	256	271	284	297	310	323	324	326	326	326	326	326	326	326	326	326	326	326	326	326	326	326	326	326	326
Anzahl Neuanschlüsse	Stk.			2	97	33	19	17	15	15	15	15	15	15	15	13	13	13	13	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Anschlussleistung	kW			779	3'409	4'455	5'112	5'796	6'106	6'384	6'656	6'922	7'170	7'411	7'648	7'879	8'104	8'324	8'539	8'490	8'442	8'357	8'274	8'191	8'109	8'028	7'948	7'868	7'790	7'712	7'635	7'558	7'483	7'408				
Gleichzeitigkeit	-			100%	81%	76%	73%	72%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	
Anschlussleistung gleichzeitig	kW			779	2'754	3'367	3'746	4'145	4'289	4'469	4'659	4'845	5'019	5'188	5'353	5'515	5'673	5'827	5'977	5'943	5'909	5'850	5'792	5'734	5'676	5'620	5'563	5'508	5'453	5'398	5'344	5'291	5'238	5'185				
Wärmeverluste Fernwärmenetz	kW	8'000	Vollast-h. Verluste	194	122	154	168	183	191	195	199	202	204	212	219	220	221	227	233	232	230	228	226	223	221	219	217	215	213	210	208	206	204	202				
Wärmeleistung ab Heizzentrale	kW			973	2'877	3'521	3'914	4'329	4'479	4'664	4'858	5'047	5'223	5'400	5'572	5'735	5'893	6'054	6'210	6'175	6'139	6'078	6'017	5'957	5'897	5'839	5'780	5'722	5'665	5'609	5'552	5'497	5'442	5'387				
CO ₂ -Emissionen Referenz	t _{CO2} /a			344	1'675	2'158	2'416	2'665	2'752	2'821	2'881	2'932	2'971	3'002	3'026	3'042	3'052	3'054	3'050	2'946	2'842	2'729	2'617	2'507	2'399	2'293	2'189	2'087	1'987	1'888	1'792	1'697	1'603	1'512				
Anteil erneuerbare	%			0%	2%	4%	6%	8%	10%	12%	14%	16%	18%	20%	22%	24%	26%	28%	30%	32%	34%	36%	38%	40%	42%	44%	46%	48%	50%	52%	54%	56%	58%	60%				
Anteil fossil	%	0.220	t _{CO2} /MWh	-2%	100%	98%	96%	94%	92%	90%	88%	86%	84%	82%	80%	78%	76%	74%	72%	70%	68%	66%	64%	62%	60%	58%	56%	54%	52%	50%	48%	46%	44%	42%	40%			
CO ₂ -Emissionen Projekt	t _{CO2} /a			344	1'675	2'158	2'416	2'665	2'752	2'821	2'881	2'932	2'971	3'002	3'026	3'042	3'052	3'054	3'050	2'946	2'842	2'729	2'617	2'507	2'399	2'293	2'189	2'087	1'987	1'888	1'792	1'697	1'603	1'512				
CO ₂ -Reduktion	t _{CO2} /a																																					
Energie/Medienkosten																																						
Wärmepreis ab Zentrale	CHF/MWh	50.00	1.00 0.0 %	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	
CO ₂ -Reduktion klick	CHF/t _{CO2}	120.00	1.00 0.0 %	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00		
Strombezug Gesamtkosten	CHF/MWh			406.71	394.91	394.88	396.06	397.41	399.13	400.92	402.73	404.57	406.44	408.33	410.23	412.17	414.12	416.09	418.07	420.18	422.30	424.45	426.61	428.78	430.97	433.16	435.37	437.59	439.82	442.06	444.32	446.58	448.86	451.15				
Energie HT (Industrie Egalstrom)	CHF/MWh	353.00	1.02 0.5 %	358.32	360.11	361.91	363.72	365.54	367.37	369.21	371.05	372.91	374.77	376.65	378.53	380.42	382.32	384.24	386.16	388.09	390.03	391.98	393.94	395.91	397.89	399.88	401.88	403.89	405.91	407.93	409.97	412.02	414.08	416.15				
Energie NT (Industrie Egalstrom)	CHF/MWh	330.00	1.02 0.5 %	334.97	336.65	338.33	340.02	341.72	343.43	345.15	346.88	348.61	350.35	352.11	353.87	355.64	357.41	359.20	361.00	362.80	364.62	366.44	368.27	370.11	371.96	373.82	375.69	377.57	379.46	381.36	383.26							

