

Heinrich-Heine-Universität (HHU), Düsseldorf Liegenschaftsenergiekonzept (LEK)

Version 01 – Arbeitsstand | LP1 – Grundlagenermittlung | Stand: 14.07.2025



Impressum

Objekt

Heinrich-Heine-Universität
Universitätsstraße 1
DE-40225 Düsseldorf

Auftraggeber

Bau- und Liegenschaftsbetrieb des Landes Nordrhein-Westfalen
Niederlassung Düsseldorf
Nachhaltigkeit, Klimaschutz und Energiemanagement
Eduard-Schulte-Straße 1
DE-40225 Düsseldorf

Tel. +49 211 61707-0

Martin Beyer

Projektbegleitung

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Dezernat 6 – Gebäudemanagement
Universitätsstraße 1
DE-40225 Düsseldorf

Tel. +49 211 81-11118

Maximilian Oehler

Auftragnehmer

Lemon Consult AG
Sumatrastrasse 10
CH-8006 Zürich

Tel. +41 44 200 77 44

Remo Thommen, Dipl. HLK Ing. FH

Winfried Seidinger, Dipl. El. Ing. FH | Energie-Ing. NDS FH

Korreferent

Winfried Seidinger

Dokument

24889_BE_LEK_HHU, Düsseldorf_20250714.docx

Zürich, 14.07.2025

Quelle Titelbild

hhu.de

Lemon Consult AG

Hochstrasse 31

CH-4053 Basel

Tel. +41 61 205 08 60

Projektleiter

Projektleiter Stv.

Inhalt

1. Zusammenfassung	5	4. Energetische und bauliche Anforderungen	21
1.1. Ausgangslage	5	4.1. Klimaschutzziele Deutschlands	21
1.2. Zielsetzung	5	4.2. CO ₂ -Abgabe	21
1.3. Energetische und bauliche Anforderungen	5	4.3. Gebäudeenergiegesetz (GEG)	22
1.4. Heutige Situation auf dem Campus	6	4.4. Klimaschutzziele Nordrhein-Westfalen (NRW)	22
1.5. Entwicklung auf dem Campus	6	4.5. Kommunale Wärmeplanung Düsseldorf	23
1.6. Energiequellen / -träger am Standort	7		
1.7. Mögliche Varianten einer zukünftigen nachhaltigen Energieversorgung	8	5. Heutige Situation auf dem Campus	25
1.8. Ökobilanz	9	5.1. Wärme	25
1.9. Wirtschaftlichkeit	10	5.2. Kälte	28
1.10. Fazit / Empfehlung	10	5.3. Strom	33
		5.4. Druckluft	36
2. Einleitung	12		
2.1. Ausgangslage	12	6. Entwicklung auf dem Campus	39
2.2. Zielsetzung	12	6.1. Bauliche Entwicklung	39
3. Projektgrundlagen	13		
3.1. Betrachtungsperimeter	13	7. Energiequellen / -träger am Standort	43
3.2. Verantwortungsbereiche	14	7.1. Übersicht aktuelle Medienversorgung auf dem Campus	43
3.3. Fakultäten / zentrale und fakultätsübergreifende Bereiche	15	7.2. Wärme	44
3.4. Baujahr / Jahr der letzten Kernsanierung	16	7.3. Kälte	46
3.5. Denkmalbereich	17	7.4. Strom	48
3.6. Hauptnutzungen	18	7.5. Eigenstromerzeugung mit Photovoltaik-Anlagen	49
3.7. Medienkanal	19	7.6. Energiequellen / -träger am Standort für Wärme / Kälte	53
3.8. Technisierungsgrad	20	7.7. Energiequellen / -träger am Standort für Strom	57

8. Maßnahmen zur Maximierung der Energieeffizienz und Minimierung der Treibhausgasemissionen	59	13. Anhang		86
8.1. Optimierungsprozess	59	13.1. Anhang I:	Ergänzende Informationen zu Energiequellen / -träger am Standort	87
8.2. Massnahmen für grössere Neu- und Umbauten	60	13.2. Anhang II:	Systemtemperaturen	99
9. Mögliche Varianten einer zukünftigen nachhaltigen Energieversorgung	63	13.3. Anhang III:	Abwärmenutzung	100
9.1. Übersicht	63	13.4. Anhang IV:	Photovoltaik	101
9.2. Variante 01	64	13.5. Anhang V:	Wärmepumpen	104
9.3. Variante 02	68	13.6. Anhang VI:	Maßnahmen zur Senkung der Vorlauftemperatur im bestehenden Wärmeverteilungsnetz	110
9.4. Variante 03	73	13.7. Anhang VII:	Vergleich von Wärmerückgewinnungssystemen bei RLT-Anlagen	115
9.5. Variante 04	78	13.8. Anhang VIII:	Systemtrennung	117
10. Ökobilanz	82	13.9. Anhang IX:	Ökobilanz	118
10.1. Endenergiebedarf	82	13.10. Anhang X:	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	121
10.2. Treibhausgasemissionen	83			
11. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	84			
12. Variantenvergleich	85			

1. Zusammenfassung

1.1. Ausgangslage

Bei der Energieversorgungsstruktur der Heinrich Heine Universität (HHU) besteht Handlungsbedarf in Bezug auf die Dekarbonisierung der Wärme-, Kälte- und Stromversorgung auf dem Campus, um die angestrebten Klimaziele erreichen zu können. Es wird bis 2035 eine Klimaneutralität am Campus der HHU angestrebt. Um dem Rechnung zu tragen, aber auch, um die langfristig geforderten Energieziele einhalten zu können, bedarf es bei der Nutzung von Wärme, Kälte und Strom einer kontinuierlichen Erhöhung der Energieeffizienz und Nachhaltigkeit, d.h. eine Minimierung des spezifischen Primärenergieeinsatzes und dementsprechend auch eine Reduktion der Treibhausgasemissionen.

1.2. Zielsetzung

Lemon Consult wurde damit beauftragt, für den Campus eine Liegenschaftsenergiekonzept (LEK) zu erarbeiten. Das LEK bildet die Strategiegrundlage, um eine langfristige und nachhaltige Energieversorgung der HHU zu gewährleisten und den Energie- und Leistungsbedarf sowie den Ausstoß von Treibhausgasen kontinuierlich senken zu können.

Basierend auf den Flächen- und Nutzungsentwicklungen (Masterplan Bau) sowie den Anforderungen an neue Gebäude und Anlagen sollen verschiedene Szenarien ausgearbeitet und bewertet werden. Dabei sollen der Betriebssicherheit, der Energieeffizienz und der Etappierbarkeit besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

1.3. Energetische und bauliche Anforderungen

1.3.1. Klimaschutzziele Deutschlands

Die deutsche Bundesregierung hat 2021 mit dem 'Klimaschutzgesetz' die nationalen Klimaschutzziele festgelegt. Demnach wird bis 2045 die Treibhausgasneutralität angestrebt.

1.3.2. CO₂-Abgabe

Im Brennstoffemissionsgesetz sind die CO₂-Preise pro Tonne CO₂ festgelegt. Der CO₂-Preis liegt derzeit bei 55 EUR/tCO₂. Dieser CO₂-Preis wird in den kommenden beiden Jahren deutlich angehoben.

Aufgrund der Abgabe auf Treibhausgasemissionen ist ein möglichst tiefer CO₂-Ausstoß im Betrieb anzustreben.

1.3.3. Klimaschutzziele Nordrhein-Westfalen (NRW)

Gemäß Koalitionsvertrag der Schwarz-Grünen Regierung (2022) wird eine Klimaneutralität der Hochschulen bis 2035 durch Modernisierung und Sanierung angestrebt.

1.3.4. Kommunale Wärmeplanung Düsseldorf

Aktuell wird eine kommunale Wärmeplanung für Düsseldorf erarbeitet, welche bis zum 30.06.2026 per Gesetz vorliegen muss. Aktuell sind die Ergebnisse der Bestands- und Potenzialanalyse einsehbar. Ein Maßnahmenplan mit den strategischen Zielen ist noch in Erarbeitung und sollte durch den Rat voraussichtlich Anfang 2026 verabschiedet werden können.

Zukünftige Senkung des primärseitigen Temperaturniveaus im Fernwärmenetz der Stadtwerke Düsseldorf

In den derzeit noch nicht verabschiedeten, strategischen Zielen der kommunalen Wärmeplanung sollen die CO₂-Emissionen der Fernwärmeversorgung stufenweise gesenkt werden, u.a. mit dem Einsatz von Wärmepumpenanlagen. Hierfür ist geplant, die primärseitige Temperatur im Fernwärmenetz auf 90 °C zu begrenzen (Derzeit liegen die primärseitigen Temperaturen im Fernwärmenetz bei maximal rund 125 °C). Die Umsetzung soll innerhalb der nächsten 10 Jahre erfolgen.

Auswirkungen auf die Fernwärmeversorgung der HHU

Eine Senkung der primärseitigen Systemtemperaturen von aktuell rund 125 °C auf 90 °C führt zu einer beträchtlichen Leistungseinbuße bei den Fernwärmeumformern. Durch eine Absenkung des Temperaturniveaus im Fernwärmenetz kann sowohl im IST-Zustand als auch mit der geplanten Fernwärmeübergabestation der heutige Wärmebedarf nicht mehr gedeckt werden. Dies bedeutet, dass Maßnahmen erforderlich sind, um den Fernwärmebedarf zu senken.

Auch wenn das oben genannte Ziel noch nicht verabschiedet ist, sollte man sich darauf einstellen und diese Rahmenbedingungen als Zielwerte für die kommenden 10 Jahre nehmen.

1.4. Heutige Situation auf dem Campus

Tab. 1: Grobbeschreibung der heutigen Situation auf dem Campus

Nr.	Bereich	Erläuterungen
01	Wärme	<ul style="list-style-type: none"> – Die Wärmeversorgung erfolgt mittels Fernwärme der Stadtwerke Düsseldorf. – Die HHU verfügt derzeit über keine eigene Fernwärmeübergabestation.
02	Kälte	<ul style="list-style-type: none"> – Kälte für den Campus wird in zwei Technikzentralen erzeugt. – Die Kälteerzeugung in der TZ1 (Geb. 21.01) erfolgt über 5 wassergekühlte Turbo-Kältemaschinen. Es besteht keine Möglichkeit für einen Freecooling-Betrieb. – Die Kälteerzeugung in der TZ2 (Geb. 26.51) erfolgt über eine Turbo-Kältemaschine. Es besteht die Möglichkeit für einen Freecooling-Betrieb. – Derzeit verfügen die beiden Technikzentralen über jeweils eigene Versorgungsnetze.

Nr.	Bereich	Erläuterungen
03	Strom	<ul style="list-style-type: none"> – Die Stromversorgung erfolgt primär über das öffentliche Stromnetz der Stadtwerke Düsseldorf. – Auf dem Parkhaus im Süden des Campus wurde eine großflächige Photovoltaik-Anlage realisiert.
04	Bau	<ul style="list-style-type: none"> – Ein Großteil der Gebäude ist älteren Datums. – Dementsprechend entspricht auch der Wärmedämmstandard nicht mehr dem Stand der Technik und es resultiert ein hoher Wärmebedarf.

1.5. Entwicklung auf dem Campus

Tab. 2: Grobbeschreibung der zukünftigen Entwicklung auf dem Campus

Nr.	Bereich	Erläuterungen
01	Wärme	<ul style="list-style-type: none"> – Im Sommer 2026 wird eine eigene Fernwärmeübergabestation (Geb. 21.21) mit Wärmetauschern als Systemtrennung in Betrieb genommen.
02	Kälte	<ul style="list-style-type: none"> – Die Kälteerzeugung in der TZ2 (Geb. 26.51) soll um eine zweite Kältemaschine erweitert werden. – Die beiden Versorgungsnetze sollen miteinander verbunden werden, um die Betriebssicherheit zu erhöhen.
03	Strom	<ul style="list-style-type: none"> – Die Realisierung weiterer großflächiger Photovoltaik-Anlagen ist vorgesehen. – Nach der Umsetzung sämtlicher Photovoltaik-Anlagen können rund 20 % des Strombedarfs (Campus ohne 22er-Bereich) gedeckt werden.
04	Bau	<ul style="list-style-type: none"> – Auf dem Campus sind diverse Ersatzneubauten und Sanierungen bestehender Gebäude vorgesehen.

1.6. Energiequellen / -träger am Standort

Für die zukünftige Energieversorgung auf dem Campus der HHU wurden im Rahmen dieser Studie diverse Energiequellen / -träger auf deren Umsetzbarkeit und Nachhaltigkeit hin geprüft. Die nachfolgende Tabelle zeigt diejenigen Energiequellen / -träger, welche bei der Erarbeitung der Energiekonzeptvarianten (Fokus: Wärme / Kälte) berücksichtigt wurden:

Tab. 3: Energiequellen / -träger vor Ort – Wärme / Kälte

Nr.	Energiequelle / -träger	Erläuterungen	Nr.	Energiequelle / -träger	Erläuterungen
01	Fernwärme	 <ul style="list-style-type: none"> – CO₂-Äquivalent: 189 kg/MWh¹ – Bereits vorhandene Fernwärmerversorgung der Gebäude auf dem Campus der HHU – Derzeit keine CO₂-neutrale Wärmeversorgung mittels Fernwärme – Zeithorizont bis zur Erreichung einer CO₂-Neutralität der Fernwärme in Düsseldorf unklar 	03	Grundwasser	 <ul style="list-style-type: none"> – CO₂-Äquivalent: 111 / 2.3 kg/MWh^{2/3} [COP: 4.0] – Gemäß Hydrogeologen Nutzung von Grundwasser theoretisch möglich – Lages des Campus in Wasserschutzzonen III und IIIA – Klärung Bewilligungsfähigkeit mit Behörden hinsichtlich Nutzung von Grundwasser für Heiz- und Kühlzwecke erforderlich
02	Geothermie	 <ul style="list-style-type: none"> – CO₂-Äquivalent: 127 / 2.6 kg/MWh^{2/3} [COP: 3.5] – Gemäß Hydrogeologen Nutzung von Erdwärme theoretisch möglich – Lages des Campus in Wasserschutzzonen III und IIIA – Klärung Bewilligungsfähigkeit mit Behörden hinsichtlich Nutzung von Erdwärme für Heiz- und Kühlzwecke erforderlich 	04	Außenluft	 <ul style="list-style-type: none"> – CO₂-Äquivalent: 148 / 3.0 kg/MWh^{2/3} [COP: 3.0] – Außenluft als Energiequelle nutzbar
			05	Abwärme KM	 <ul style="list-style-type: none"> – CO₂-Äquivalent: 111 / 2.3 kg/MWh^{2/3} [COP: 4.0] – Nutzung der bei der Kälte anfallenden Abwärme für Heizzwecke mit Booster-WP

¹ Berechneter Wert / Absenkung der Treibhausgasemissionen bis 2045 durch Stadtwerke Düsseldorf angestrebt























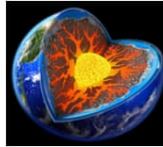









² Mit Strommix DE

³ Mit Ökostrom [Stromprodukt-Mix aus erneuerbaren Energien]

1.7. Mögliche Varianten einer zukünftigen nachhaltigen Energieversorgung

Mit dem Ziel, den Endenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen zu reduzieren, wurden vier Energiekonzeptvarianten erarbeitet und untersucht:

Abb. 1: Mögliche Energiekonzeptvarianten zur zukünftigen Wärme- und Kälteversorgung auf dem Campus der HHU

Nr.	Bezeichnung	Wärme		Kälte		Strom		Erläuterungen	
00	Variante 00 (Bestand)	Fernwärme 		KM (best.) 	(Freecooling) 	Ökostrom 	Photovoltaik 	Wärmeversorgung über Fernwärme Kälteversorgung über luftgekühlte Kältemaschinen	
01	Variante 01	Fernwärme 	Booster-WP 	KM (best.) 	(Freecooling) 	Ökostrom 	Photovoltaik 	Wärmeversorgung über Fernwärme und Booster-WPs (AWN Kälte) Kälteversorgung über luftgekühlte Kältemaschinen	
02	Variante 02	Fernwärme 	Booster-WP 	WP (GW) 	KM (best.) 	Freecooling 	Ökostrom 	Photovoltaik 	Wärmeversorgung über Fernwärme, Booster-WPs (AWN Kälte) und Grundwasser-WPs Kälteversorgung über luftgekühlte Kältemaschinen und Grundwasser
03	Variante 03	Fernwärme 	Booster-WP 	WP (EWS) 	KM (best.) 	Freecooling 	Ökostrom 	Photovoltaik 	Wärmeversorgung über Fernwärme, Booster-WPs (AWN Kälte) und Erdsonden-WPs Kälteversorgung über luftgekühlte Kältemaschinen und EWS
04	Variante 04	Fernwärme 	Booster-WP 	Rev. WP/KM 	KM (best.) 	Rev. WP/KM 	Ökostrom 	Photovoltaik 	Wärmeversorgung über Fernwärme, Booster-WPs (AWN Kälte) und Aussenluft-WP/KM Kälteversorgung über luftgekühlte Kältemaschinen und AUL-WP/KM

Bei allen Energiekonzeptvarianten kann zukünftig der Fernwärmeanteil durch den Einsatz von Booster-Wärmepumpen, welche die Abwärme aus der Kälterzeugung als Wärmequelle nutzen, gesenkt werden.

Der höchste Fernwärmeanteil über den gesamten Betrachtungszeitraum weist die Energiekonzeptvariante 01 auf.

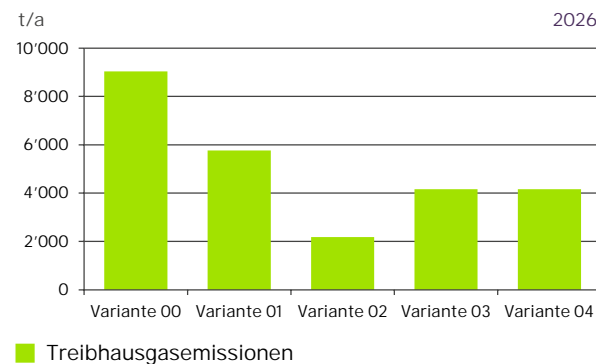
Mit der Energiekonzeptvariante 02 kann der Fernwärmeanteil über den gesamten Betrachtungszeitraum am meisten gesenkt werden.

Auch mit den Energiekonzeptvarianten 03 und 04 kann der Fernwärmeanteil deutlich reduziert werden.

Bei den Energiekonzeptvarianten 02 und 03 ist eine frühzeitige Klärung der Bewilligungsfähigkeit mit den Behörden hinsichtlich einer Nutzung von Grundwasser / Erdwärme für Heiz- und Kühlzwecke erforderlich.

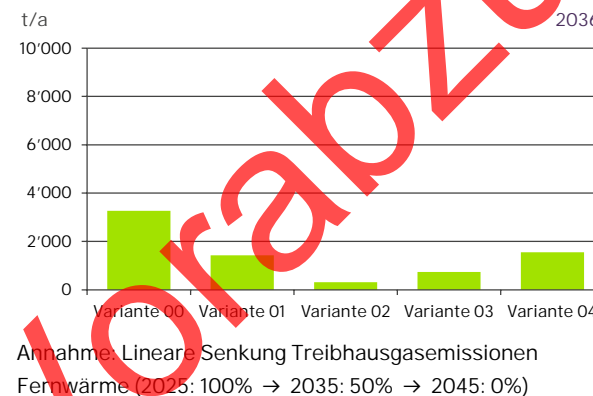
1.8. Ökobilanz

Abb. 2: Ökobilanz für das Jahr 2026



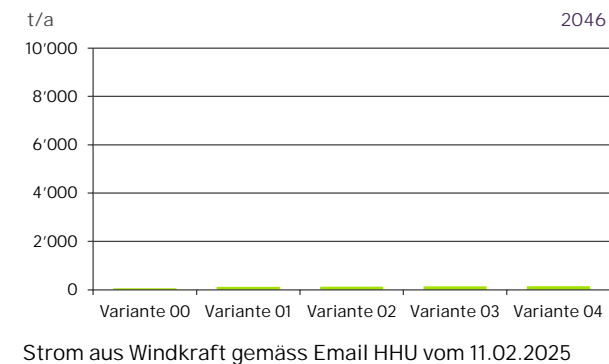
Bei der Variante 00 (IST-Zustand) resultieren die höchsten Treibhausgasemissionen. Durch die Berücksichtigung von WP's können die Treibhausgasemissionen bei den Varianten 01 bis 04 gegenüber der Variante 00 gesenkt werden.

Abb. 3: Ökobilanz für das Jahr 2036



Insbesondere durch die angenommene kontinuierliche Verbesserung der Fernwärme sowie den Einsatz von Wärmepumpen ist bei allen Varianten eine deutliche Verbesserung bei den Treibhausgasemissionen zu verzeichnen.

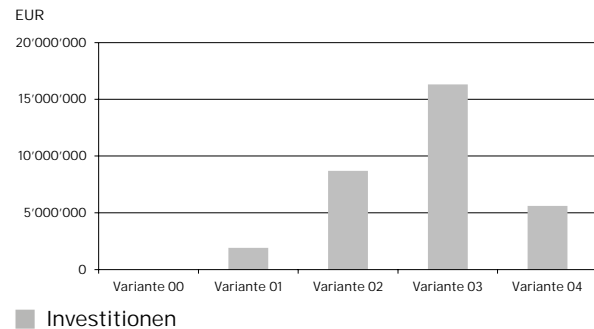
Abb. 4: Ökobilanz für das Jahr 2046



Durch die angenommene kontinuierliche Verbesserung der Fernwärme ist bei allen Varianten eine weitere Verbesserung bei den Treibhausgasemissionen zu verzeichnen.

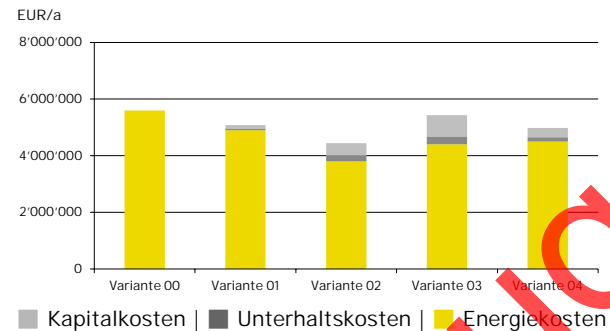
1.9. Wirtschaftlichkeit

Abb. 5: Grobkostenschätzung



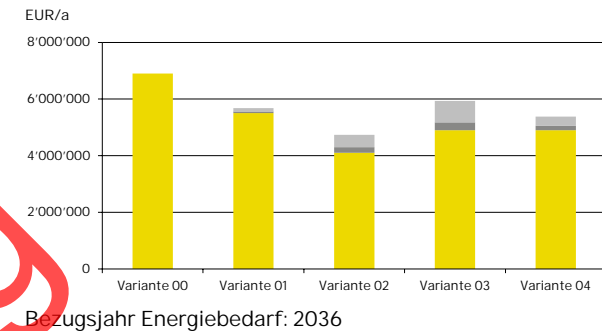
Die Investitionskosten wurden grob abgeschätzt. Bauliche Massnahmen und MwSt. sind darin nicht enthalten.

Abb. 6: Jährliche Kosten (Steigerungsrate Fernwärme: 2 %)



Die Jahreskosten bestehend aus Kapital-, Instandstellungs- und Energiekosten sind abhängig von den gewählten Zins, Teuerung allg. und Energiepreisteuerung.

Abb. 7: Jährliche Kosten (Steigerungsrate Fernwärme: 4 %)



Bezugsjahr Energiebedarf: 2036

Da in den kommenden Jahren hohe Investitionen in die Fernwärmeversorgung getätigt werden müssen, wird der Fernwärmepreis im Vergleich zum Strompreis voraussichtlich stärker steigen. Entsprechend wirtschaftlicher wird der Einsatz von alternativen Wärmepumpensysteme.

1.10. Fazit / Empfehlung

Abb. 8: Bewertungsmatrix Energieerzeugungsvarianten

Nr.	Kriterium	Gewichtung	Variante 00 Fernwärme	Variante 01 Booster-Wärmepumpe, Fernwärme	Variante 02 Booster-Wärmepumpe, Grundwasser-Wärmepumpe, Fernwärme	Variante 03 Booster-Wärmepumpe, Reversible Erdsonden-WP/KM, Fernwärme	Variante 04 Booster-Wärmepumpe, Reversible Luft-/Wasser-WP/KM, Fernwärme
01	Investitionskosten	10%	3.00	2.50	1.50	1.00	2.00
02	Wirtschaftlichkeit (Kapital-, Betriebs- und Instandhaltungskosten)	40%	1.00	2.00	3.00	2.00	2.50
03	Energieeffizienz	20%	1.25	1.75	3.00	2.50	2.00
04	Nachhaltigkeit (Treibhausgasemissionen)	20%	1.25	1.75	3.00	2.25	2.00
05	Möglichkeit eines Freecoolings	5%	1.00	1.00	3.00	2.00	1.50
06	Schallemissionen	5%	3.00	2.50	2.50	2.50	1.00
	Total	100%	1.4	1.9	2.8	2.1	2.1

■ schlecht (1) |
 ■ mittel (2) |
 ■ gut (3)

Bei der Energieversorgungsstruktur der HHU besteht Handlungsbedarf in Bezug auf die Dekarbonisierung der Wärme-, Kälte- und Stromversorgung auf dem Campus, um die gesetzten Klimaziele erreichen zu können. Es wird bis 2035 eine Klimaneutralität am Campus der HHU angestrebt wird.

In den derzeit noch nicht verabschiedeten, strategischen Zielen der kommunalen Wärmeplanung sollen die CO₂-Emissionen der Fernwärmeversorgung stufenweise gesenkt werden, u.a. mit dem Einsatz von Wärmepumpenanlagen. Hierfür ist innerhalb der nächsten 10 Jahren geplant, die primärseitige Temperatur im Fernwärmenetz auf von heute 125 °C auf 90 °C zu begrenzen. Eine Senkung der primärseitigen Systemtemperaturen führt zu einer beträchtlichen Leistungseinbuße bei den Fernwärmeumformern. Durch die Absenkung des Temperaturniveaus im Fernwärmenetz kann der heutige Wärmebedarf mit der geplanten Fernwärmeübergabestation nicht mehr gedeckt werden. Dies bedeutet, dass Maßnahmen erforderlich sind, um den Fernwärmebedarf zu senken.

Durch den Einsatz von Wärmepumpen können der Endenergiebedarf sowie die im Betrieb resultierenden Treibhausgasemissionen reduziert werden:

- Auf dem Campus wird ganzjährig Kälte benötigt. Deshalb bietet sich eine Nutzung der in der Kälteerzeugung anfallenden Abwärme für Heizzwecke mittels Booster-Wärmepumpe an. Mit Booster-Wärmepumpen (Varianten 01 – 04) sind heizungsseitige Temperaturen von bis zu 90 °C möglich. Wie die obere Bewertungsmatrix zeigt, schneidet die Variante 02 über alle Beurteilungskriterien hinweg am besten ab.
- Der Fernwärmebedarf sowie die im Betrieb resultierenden Treibhausgasemissionen können durch den Einsatz weiterer Wärmepumpen-Systeme gesenkt werden. Gemäß den durch das Ingenieurbüro UBeG GmbH & Co. KG durchgeführten Abklärungen eignet sich der Untergrund des Campus zur Nutzung von Grundwasser (Variante 02) und Erdwärme (Variante 03). Der Campus der HHU befindet sich jedoch in der Wasserschutzzone IIIA, wo die Nutzung von Grundwasser und Erdwärme für Heiz- und Kühlzwecke grundsätzlich nicht erlaubnisfähig ist (Die HHU verfügt jedoch bereits über eine bewilligte Geothermieranlage auf dem Campus). Im Falle einer angestrebten Nutzung von Grundwasser / Erdwärme muss deshalb frühzeitig eine allfällige Bewilligungsfähigkeit mit den zuständigen Behörden geklärt werden.
- Als weitere Möglichkeit steht Außenluft als Wärmequelle / -senke zur Verfügung. In diesem Fall (Variante 04) kommen reversible Luft-/Wasser-Wärmepumpen/Kältemaschinen zum Einsatz.

Empfehlung Lemon Consult AG

1. Die Booster-Wärmepumpen weisen ein sehr großes Potential auf und werden deshalb zur Umsetzung empfohlen.
2. Die Bewilligungsfähigkeit einer Grundwasser- / Geothermienutzung ist weiter zu verfolgen: Falls möglich wird die Variante 02 bzw. 03 zur Umsetzung empfohlen.
3. Alternativ zu den Varianten mit Grundwasser- / Geothermienutzung bietet sich auch der Einsatz von reversiblen Außenluft-WP/KM an (insb. wenn die Bewilligungsfähigkeit der Varianten 02 und 03 nicht gewährleistet ist).
4. Des Weiteren wird eine kontinuierliche Senkung der Systemtemperaturen (Heizung) auf dem Campus empfohlen.

2. Einleitung

2.1. Ausgangslage

Die Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf (HHU) bekennt sich in ihrem Hochschulentwicklungsplan HEP 20.26 sowie dem Entscheid, sich der Umsetzung der klimaneutralen Landesverwaltung (KNLV) anzuschließen, zu ökologischer Verantwortung gegenüber der Gesellschaft und künftigen Generationen. Um dem Rechnung zu tragen, aber auch, um die langfristig geforderten Energieziele einhalten zu können, bedarf es bei der Nutzung von Wärme, Kälte und Strom einer kontinuierlichen Erhöhung der Energieeffizienz und Nachhaltigkeit, d.h. eine Minimierung des spezifischen Primärenergieeinsatzes und dementsprechend auch eine Reduktion der Treibhausgasemissionen. Dabei spielen Gebäudesanierungen, Ersatzneubauten und der Einsatz effizienter Energiesysteme eine zentrale Rolle.

Bei der Energieversorgungsstruktur der HHU besteht Handlungsbedarf in Bezug auf die Dekarbonisierung der Wärme-, Kälte- und Stromversorgung auf dem Campus, um die Klimaziele erreichen zu können. Es wird bis 2035 eine Klimaneutralität am Campus der HHU angestrebt wird.

2.2. Zielsetzung

Das Liegenschaftsenergiekonzept (LEK) für das Gesamtareal bildet die Strategieggrundlage, um eine langfristige und nachhaltige Energieversorgung der HHU zu gewährleisten und den Energie- und Leistungsbedarf sowie den Ausstoß von Treibhausgasen kontinuierlich senken zu können.

Basierend auf den Flächen- und Nutzungsentwicklungen (Masterplan Bau) sowie den Anforderungen an neue Gebäude und Anlagen werden verschiedene Szenarien ausgearbeitet und bewertet. Dabei werden der Betriebssicherheit, der Energieeffizienz und der Etappierbarkeit (z.B. Clusterzentralen) besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Das Ziel von Lemon Consult ist es stets, einfache und elegante Gesamtlösungen zu realisieren, in denen die Technik im Speziellen und das Gebäude generell optimal zusammenspielen. Dabei sollen qualitativ hochwertige und im Markt erprobte Anlagenkomponenten zum Einsatz kommen.

Die einzelnen Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz und Nachhaltigkeit werden unter Berücksichtigung der vorhandenen Abhängigkeiten und Dringlichkeiten priorisiert und in Maßnahmenpaketen auf eine Zeitachse (z.B. sofort, 2030, 2038, 2045) gelegt. Die Resultate aus diesem Modul dienen dem Auftraggeber als Entscheidungsgrundlage für zukünftige Bauvorhaben.

3. Projektgrundlagen

3.1. Betrachtungsperimeter

Abb. 9: Übersichtsplan Betrachtungsperimeter

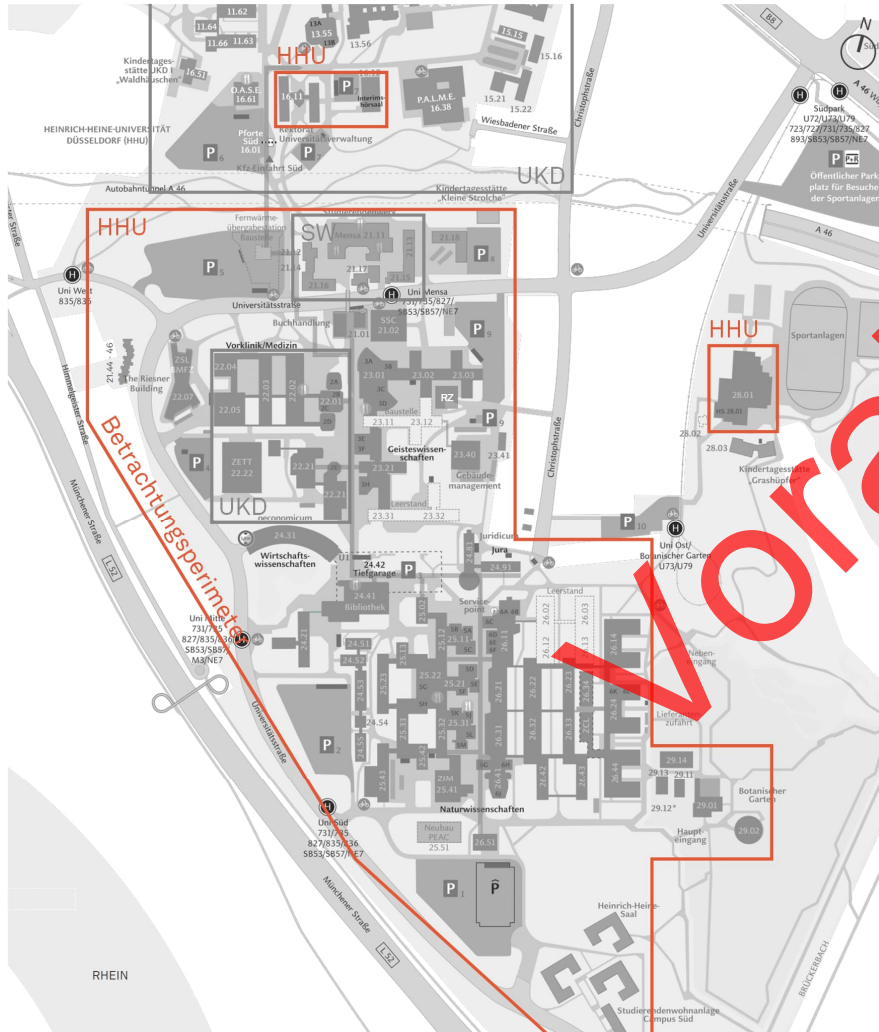


Abb. 10: Übersichtsplan Verantwortungsbereiche auf Campussen HHU und UKD



3.3. Fakultäten / zentrale und fakultätsübergreifende Bereiche

Abb. 11: Übersichtsplan Fakultäten / zentrale und fakultätsübergreifende Bereiche

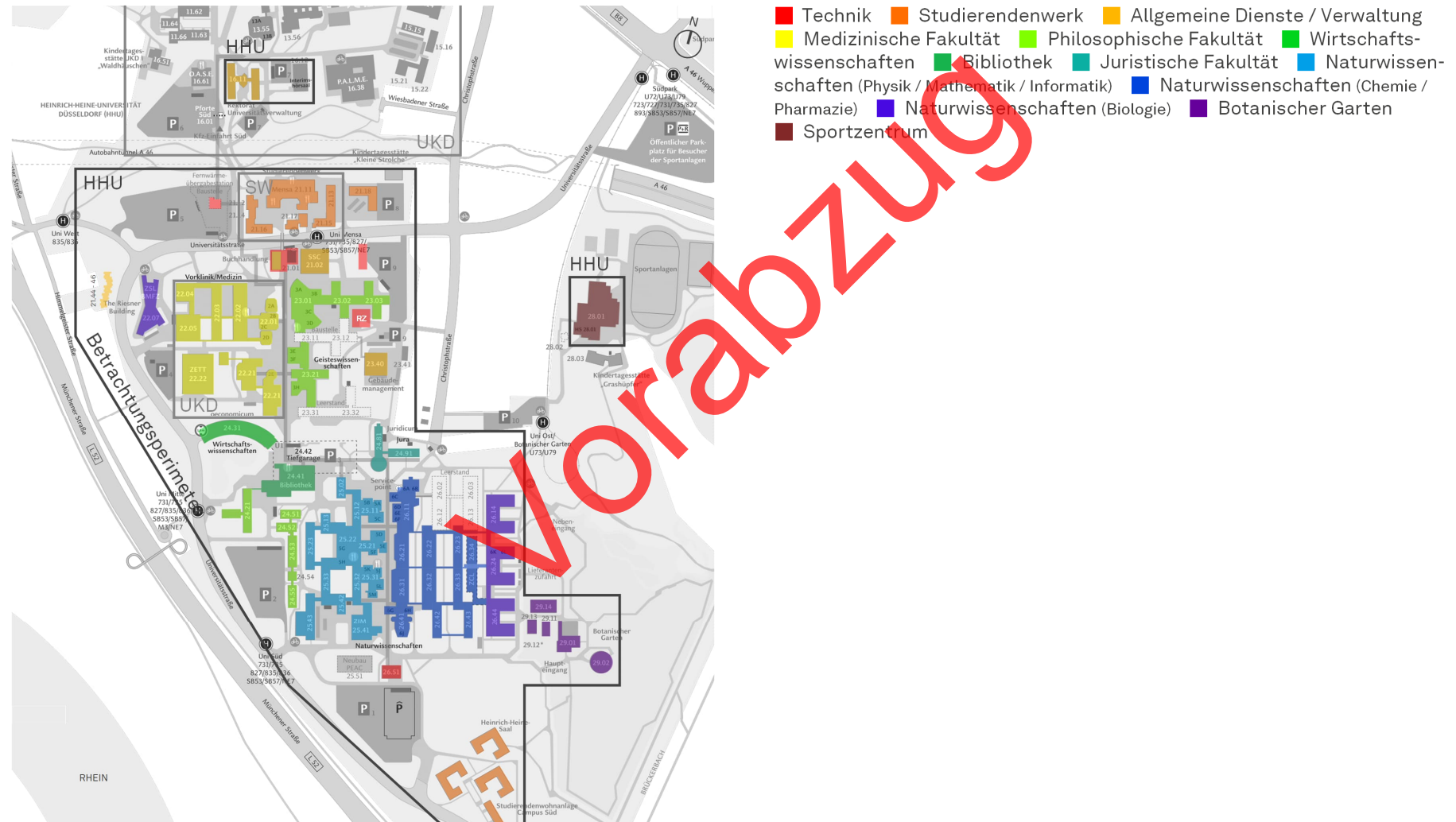
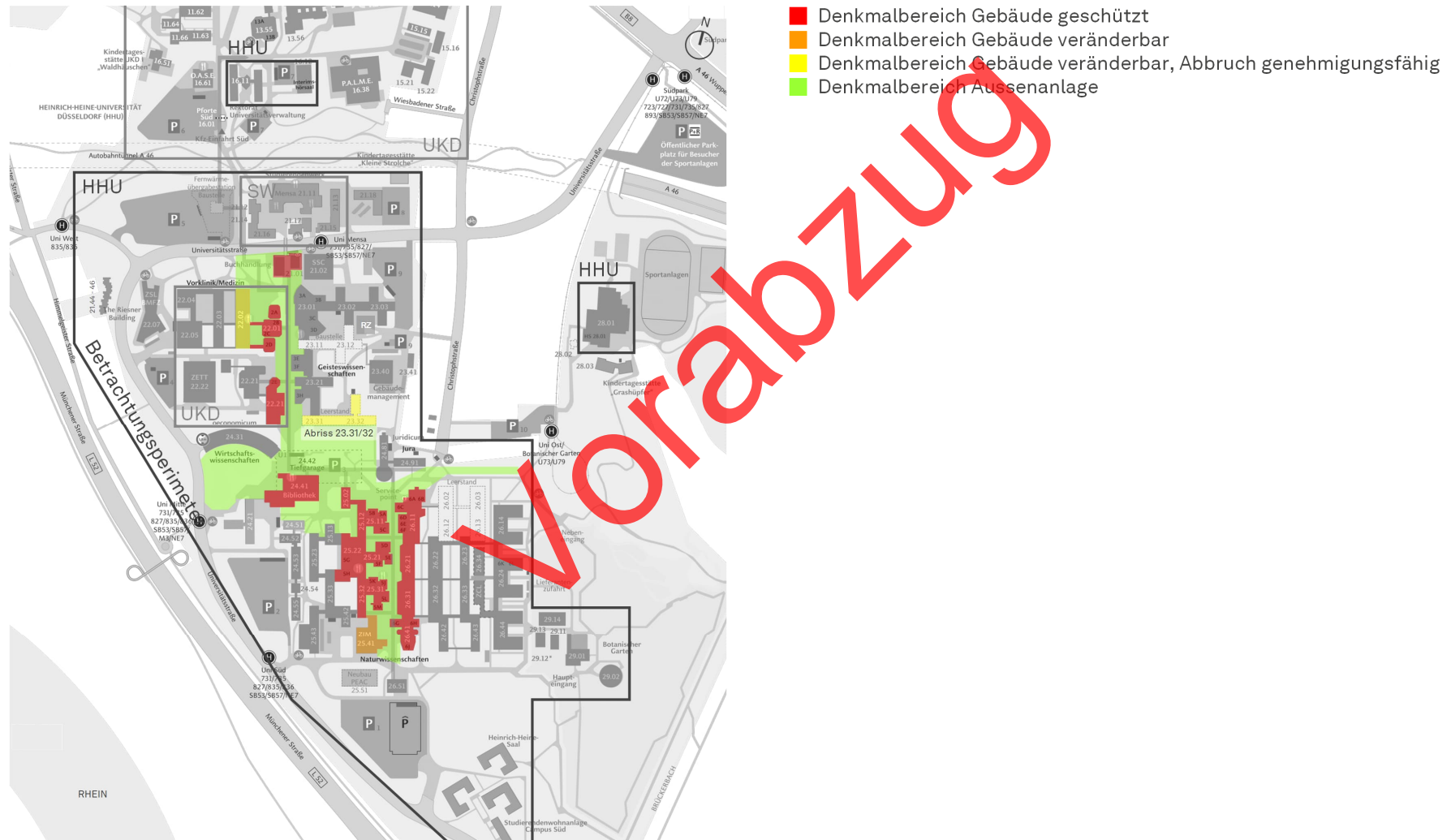


Abb. 12: Übersichtsplan Baujahr / Jahr der letzten Kernsanierung



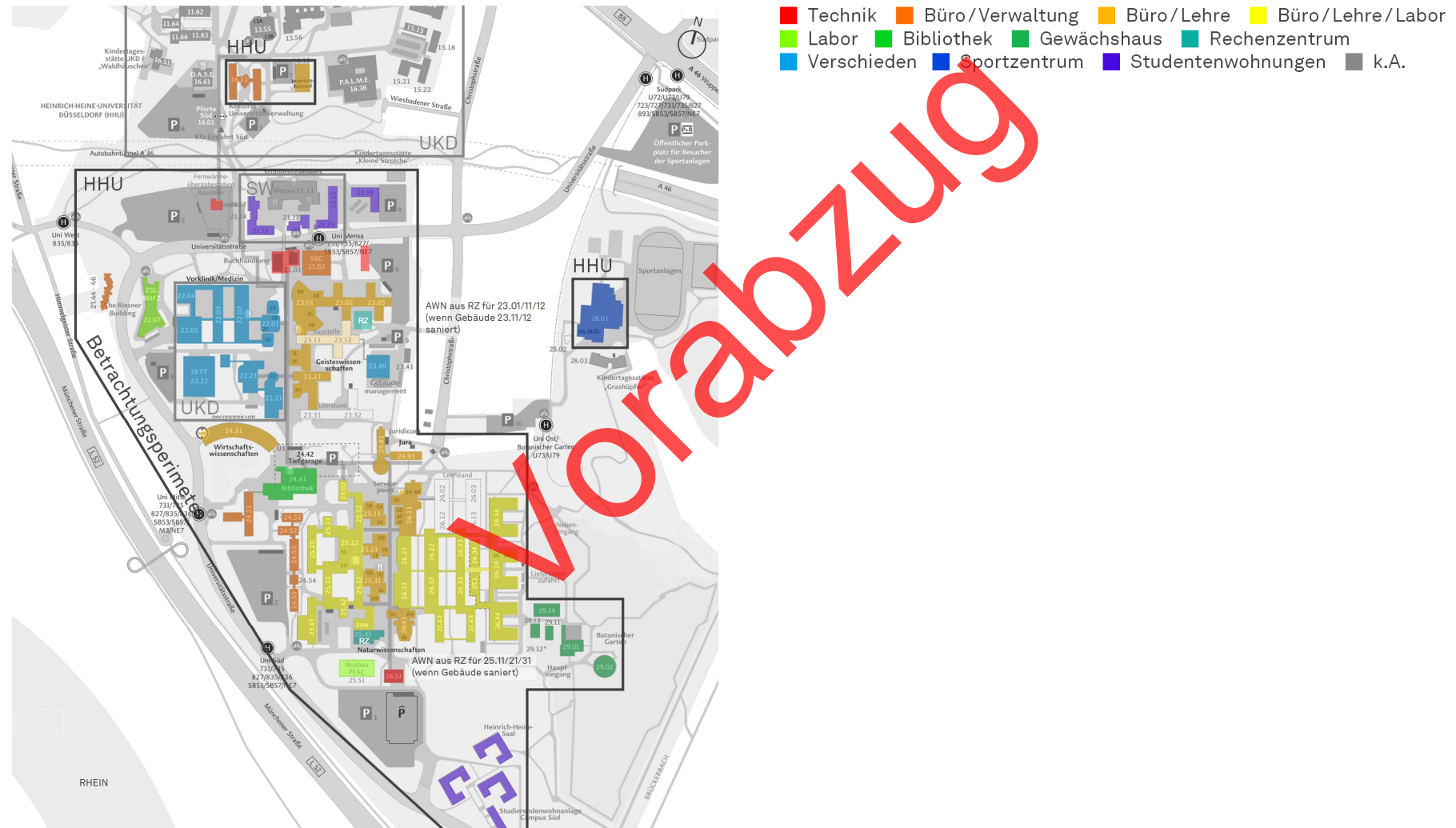
3.5. Denkmalbereich

Abb. 13: Übersichtsplan Denkmalbereich



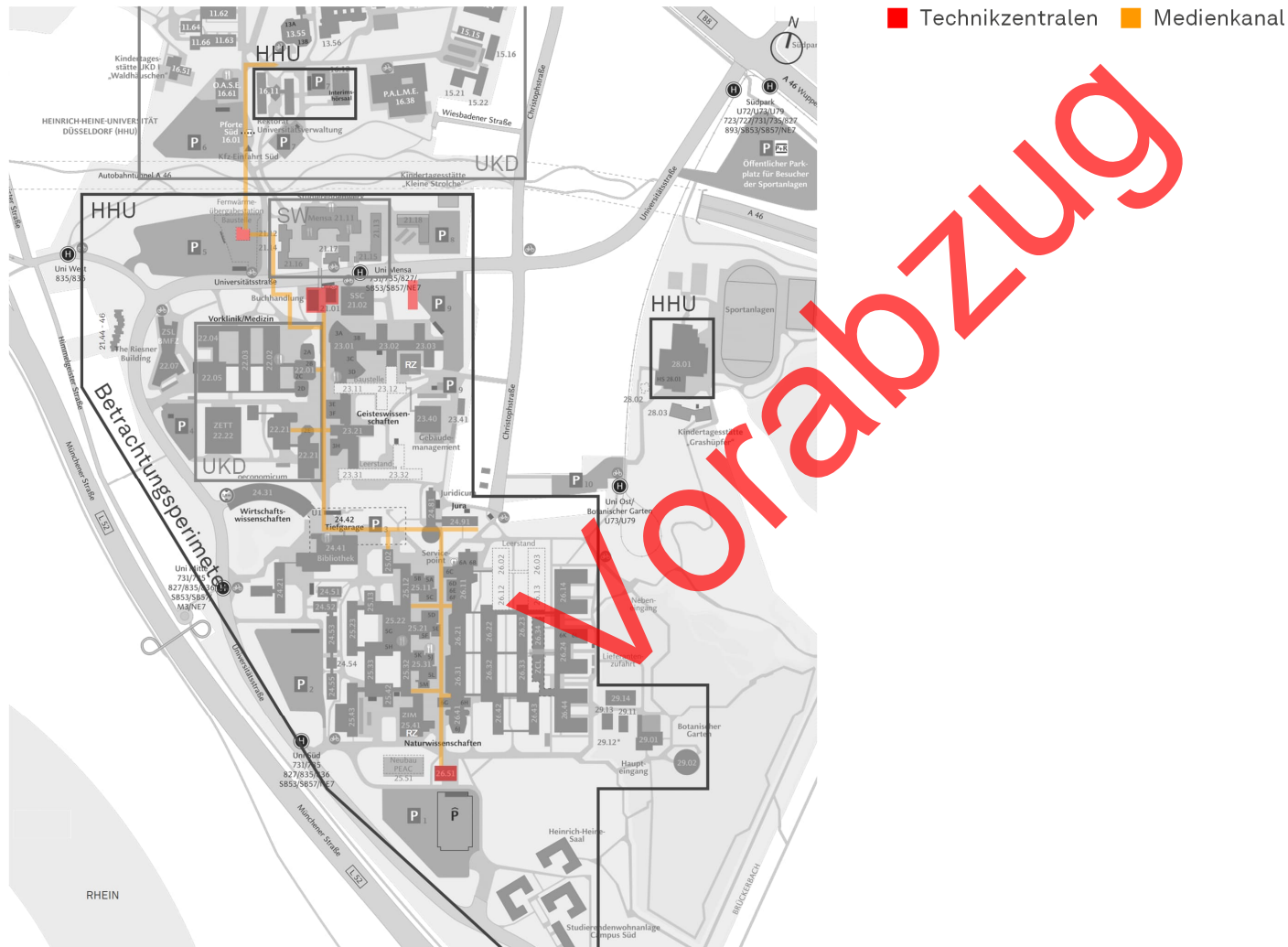
3.6. Hauptnutzungen

Abb. 14: Übersichtsplan Hauptnutzungen



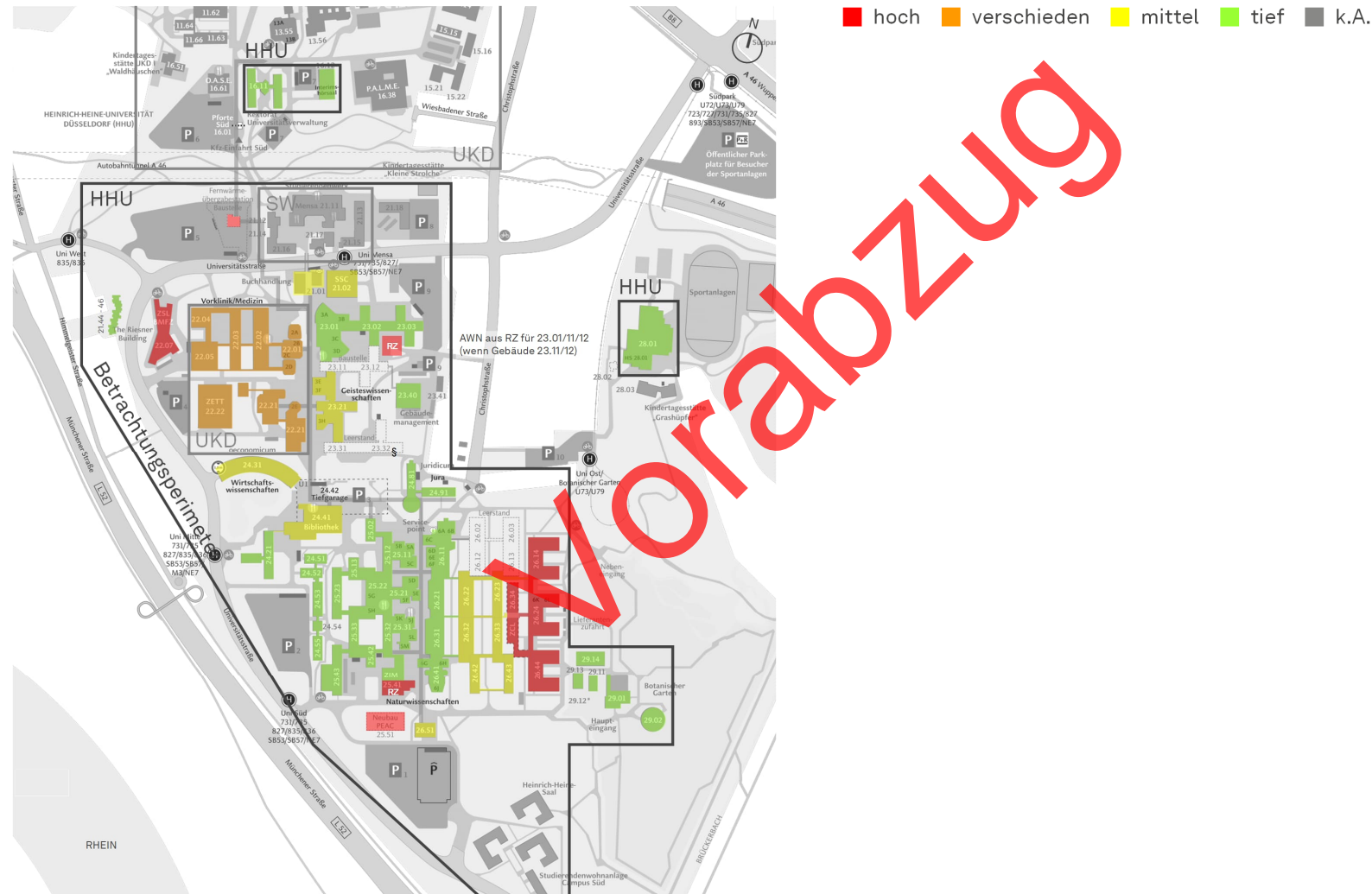
3.7. Medienkanal

Abb. 15: Übersichtsplan Medienkanal



3.8. Technisierungsgrad

Abb. 16: Übersichtsplan Technisierungsgrad



4. Energetische und bauliche Anforderungen

4.1. Klimaschutzziele Deutschlands

Das Übereinkommen von Paris hat zum Ziel, die durchschnittliche globale Erwärmung im Vergleich zur vorindustriellen Zeit auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen, wobei ein maximaler Temperaturanstieg von 1.5 °C angestrebt wird.

Die deutsche Bundesregierung hat 2021 mit dem 'Klimaschutzgesetz' die folgenden nationalen Klimaschutzziele festgelegt:

- Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2030 um 65 % gegenüber dem Jahr 1990
- Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2040 um 88 % gegenüber dem Jahr 1990
- Erreichung der Treibhausgasneutralität bis 2045

4.2. CO₂-Abgabe

Das Brennstoffemissionsgesetz legt folgende CO₂-Preise pro Tonne CO₂ fest:

- 2021: 25 EUR
- 2022: 30 EUR
- 2023: 35 EUR⁴
- 2024: 45 EUR
- 2025: 55 EUR
- 2026: 55 – 65 EUR⁵
- 2027: 65 – 300 EUR⁵

Im Jahr 2024 lag der Preis pro Tonne ausgestoßenem CO₂ bei EUR 45:

- Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, Gaswärmepumpen und Gasspitzenlastkessel mit der Verwendung von nicht erneuerbaren Energien wie z.B. Erdgas-BHKWs werden unwirtschaftlicher.

⁴ 2023 fand aufgrund der hohen Energiepreise keine Erhöhung auf EUR 35 pro Tonne CO₂ statt.

⁵ Quelle: [viessmann.de \(CO₂-Steuer: Höhe, Folgen und Tipps zum Energiesparen\)](https://www.viessmann.de/CO2-Steuer:Hohe,Folgen und Tipps zum Energiesparen)

- Bis einschließlich 2025 werden die Emissionszertifikate zu festen Preisen verkauft. Ab 2026 ändert sich das, zunächst allerdings mit Einschränkungen. Denn dann werden die Zertifikate versteigert, wobei eine festgelegte Preisspanne von 55 bis 65 EUR pro Tonne CO₂ gilt.
- Ab 2027 bildet sich der Preis allein auf dem freien Markt. Wie teuer eine Tonne Kohlendioxid und damit die CO₂-Steuer ist, wird durch Angebot und Nachfrage bestimmt.

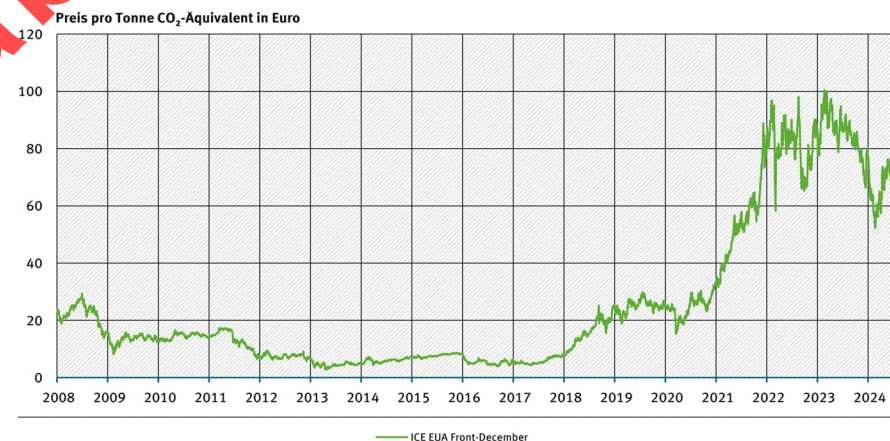
- Ab dem Jahr 2024 wird die Abgabe auch auf Energie aus Abfällen, welche in Heizkraftwerken verbrannt werden, fällig.

Ab 2027 soll für die CO₂-Emissionen von Verkehr und Gebäudewärme ein europäisches Emissionshandelssystem eingeführt werden.

Aufgrund der Abgabe auf Treibhausgasemissionen ist ein möglichst tiefer CO₂-Ausstoß im Betrieb anzustreben.

Anmerkung: In der Schweiz existiert die CO₂-Lenkungsabgabe mit CHF 120 je Tonne CO₂ (2025) bereits seit einigen Jahren und wird voraussichtlich schrittweise auf CHF 210.- je Tonne CO₂ erhöht werden.

Abb. 17: Europäischer Markt für Emissionszertifikate in EUR pro Tonne CO₂ [Quelle: [Der Europäische Emissionshandel | Umweltbundesamt](https://www.umweltbundesamt.de/en/emissionshandel)]



- Dabei ist von folgender Entwicklung auszugehen: Um den Ausstoß von Kohlendioxid weiter zu reduzieren, werden weniger Emissionszertifikate ausgegeben. Durch diese Verknappung wird der Preis ansteigen. Wie hoch, ist aktuell nicht gewiss. Während einige Experten von etwa 70 EUR pro Tonne CO₂ ausgehen, rechnen andere damit, dass der Preis in Kürze sogar den Wert von 300 EUR pro Tonne CO₂ erreichen könnte.

4.3. Gebäudeenergiegesetz (GEG)

Durch die Einführung des Gebäudeenergiegesetzes (GEG 2020) am 01.11.2020 wurden folgende Regeln zusammengefasst:

- Energieeinsparungsgesetz (EnEG)
- Energieeinsparverordnung (EnEV)
- Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)

Wichtigste Änderungen durch das GEG 2020

- Ab 2020 war ein um 25 % niedrigerer Primärenergiebedarf einzuhalten, als gemäß der EnEV 2014 (Referenzjahr) für das Referenzgebäude zulässig war.
- CO₂-Emissionen sind im Energieausweis vermerkt
- Primärenergiefaktoren werden angepasst
- Selbsterzeugter Strom aus regenerativen Energien wird flexibilisiert

Vorgaben im GEG 2024 (nicht abschließend)

- Der Effizienzgebäude-55-Standard muss für Neubauten eingehalten werden.
- Dies bedeutet einen um 45 % niedrigeren Primärenergiebedarf, als gemäß der EnEV 2014 (Referenzjahr) für das Referenzgebäude zulässig war.
- Per 01.01.2024 wurde die 65-%-EE-Pflicht (65 % Erneuerbare Energien) eingeführt.

65-%-EE-Pflicht

- Seit dem 01.01.2024 greifen die ersten Regelungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG). Generell muss jede neu eingebaute Heizung zu 65 % mit erneuerbaren Energien betrieben werden.
- Das Gebäudeenergiegesetz (GEG) ist am 01.01.2024 in wesentlichen Teilen in Kraft getreten und sieht generell vor, dass jede neu eingebaute Heizung zu 65 % mit erneuerbaren Energien betrieben werden muss (65-%-EE-Pflicht). Das gilt zunächst für Neubauten in einem Neubaugebiet. Für bestehende Gebäude und Neubauten außerhalb von Neubaugebieten gibt es Übergangsfristen.
- Wann Hauseigentümer umrüsten müssen, ist dies vor allem von der kommunalen Wärmeplanung abhängig. Wer sich früher als vorgegeben von der mit fossilen Brennstoffen betriebenen Heizung trennt, kann einen Zuschuss erhalten.

Mögliche zukünftige Entwicklungen

- Voraussichtlich müssen Bauherren in naher Zukunft den Effizienzgebäude-40-Standard einhalten.
- Neue Gebäude dürften dann nur noch 40 % der Energie eines sogenannten Referenzhauses benötigen⁶.

4.4. Klimaschutzziele Nordrhein-Westfalen (NRW)

Der ökologischen, wirtschaftlichen und sicheren Energiebereitstellung und -nutzung für den Betrieb der Gebäude der Universität kommt aus Sicht des Auftraggebers (BLB NRW) und des Betreibers (HHU) erhebliche Bedeutung zu.

Die Landesregierung hat gemäß § 7 des Klimaschutzgesetzes NRW das Ziel, bis zum Jahr 2030 eine bilanziell klimaneutrale Landesverwaltung zu erreichen. Die öffentlich-rechtlichen Hochschulen in Trägerschaft des Landes wurden eingeladen sich der Umsetzung der klimaneutralen Landesverwaltung (KNLV) anzuschließen. Die HHU hat sich für die Teilnahme an der KNLV entschieden.

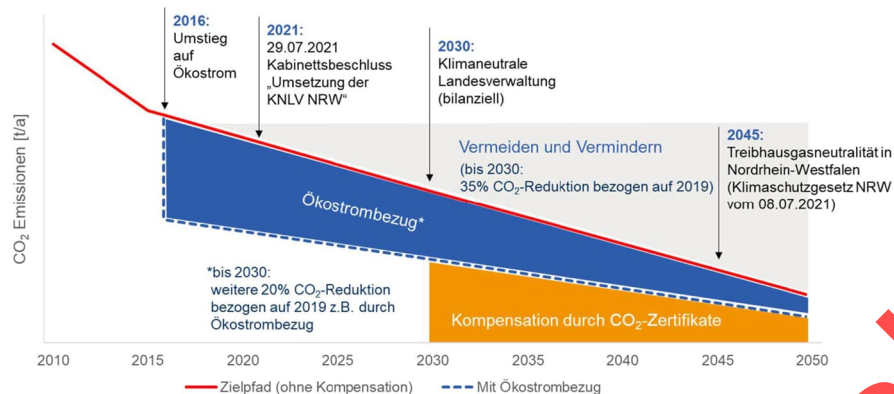
Außerdem heißt es im Koalitionsvertrag der Schwarz-Grünen Regierung vom Juni 2022 dazu:

- “Wir modernisieren und sanieren unsere Hochschulen und machen sie möglichst bis 2035 klimaneutral.”

⁶ Für den BLB bereits seit 2021 per Erlass vorgeschrieben bei Neubauten

Für den Zeitraum danach sollen die Emissionen gemäß „Zielpfad zur CO₂-Reduktion“ des AG BLB NRW bis 2045 reduziert werden. Abbildung 1 zeigt das Prinzip des Zielpfads für das Verwaltungsvermögen des AG BLB NRW, welches für die Hochschulen nicht verpflichtend ist, jedoch von der HHU als Zielkorridor angestrebt wird.

Abb. 18: Prinzipdarstellung des Zielpfads des AG BLB NRW für das Verwaltungsvermögen



Allen Einsparpfaden wird gemäß KNLV das Referenzjahr 2019 mit den zugehörigen Emissionsfaktoren zugrunde gelegt. Das Jahr 2019 gilt auch für das LEK als Referenzbezug. Für die Berechnung der CO₂-Äq.-Emissionen im Rahmen des LEK sind die spezifischen CO₂-Äq.-Emissionen des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes NRW (LANUV NRW) zugrunde zu legen.

Für die Treibhausgasberechnungen im Liegenschaftsenergiekonzept sollen nur Emissionen aus Scope 1 und Scope 2 nach Green House Gas Protocol bilanziert werden. Scope 3 Emissionen (z.B. Beschaffung und Pendler-/Dienstreise-Mobilität) sind explizit nicht Teil der Aufgabenstellung.

Bei der Zielsetzung und rechtlichen Verpflichtung zur Reduktion von Emissionen und Endenergiebedarf ergeben sich auch aufgrund der aktuellen Gesetzgebung, insbesondere durch das Energieeffizienzgesetz (EnEFG), zusätzliche Vorgaben. Die Pflichten aus dem EnEFG u.a. zur jährlichen Einsparung von 2 % Endenergie bis 2045 und zur Nutzung von Abwärme aus Rechenzentren sind für die HHU

einschlägig und müssen bei der Strategieentwicklung durch das LEK beachtet werden.

4.5. Kommunale Wärmeplanung Düsseldorf

Aktuell wird eine kommunale Wärmeplanung für Düsseldorf erarbeitet, welche bis zum 30.06.2026 per Gesetz vorliegen muss.

Aktuell sind die Ergebnisse der Bestands- und Potenzialanalyse einsehbar⁷. Ein Maßnahmenplan mit den strategischen Zielen ist noch in Erarbeitung und sollte durch den Rat voraussichtlich Anfang 2026 verabschiedet werden können.

Zukünftige Senkung des primärseitigen Temperaturniveaus im Fernwärmenetz der Stadtwerke Düsseldorf

Am 10.03.2025 und 29.04.2025 fanden Besprechungen zwischen der HHU und den Stadtwerken Düsseldorf. Thematisiert wurden dabei die Kündigung sowie der Neuabschluss des Fernwärmevertrags.

An der Besprechung vom 29.04.2025 wurde seitens der Stadtwerke (auf Nachfrage der HHU) über die strategischen Ziele der Stadtwerke Düsseldorf bzw. der Stadt Düsseldorf informiert. In den derzeit noch nicht verabschiedeten, strategischen Zielen sollen die CO₂-Emissionen der Fernwärmeversorgung stufenweise gesenkt werden. Unter anderem mit dem Einsatz von Wärmepumpenanlagen. Hierfür ist geplant, die primärseitige Temperatur im Fernwärmenetz auf 90 °C zu begrenzen (Derzeit liegen die primärseitigen Temperaturen im Fernwärmenetz bei maximal rund 125 °C). Die Umsetzung soll bis in 10 Jahren erfolgen.

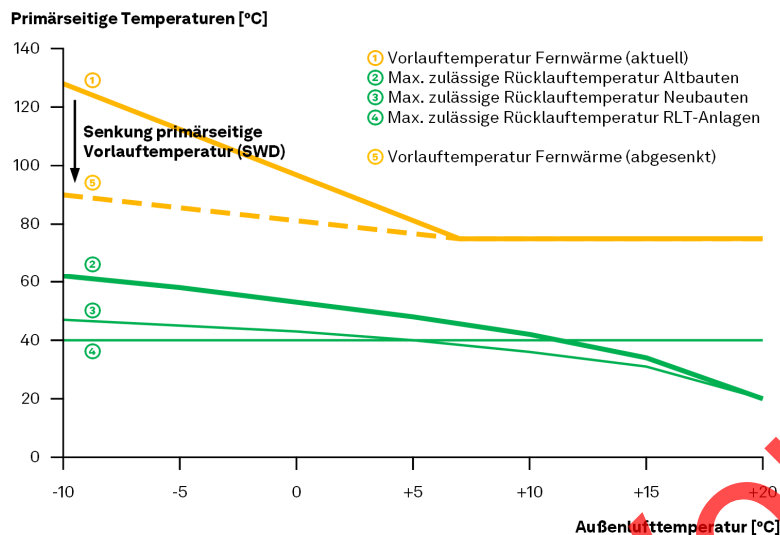
Auswirkungen auf die Fernwärmeversorgung der HHU

Auf dem Campus der HHU wird zeitnah eine Fernwärmeübergabestation geplant und realisiert. Die Auslegung der Wärmetauscher basiert auf den primärseitigen Systemtemperaturen im Fernwärmenetz, welche in den aktuellen technischen Anschlussbedingungen der Stadtwerke Düsseldorf definiert sind (maximal rund 125 °C).

⁷ Siehe auch: <https://www.duesseldorf.de/umweltamt/umwelt-und-verbraucherthemen-von-a-z/klimaschutz/kommunale-waermeplanung>

Eine Senkung der primärseitigen Systemtemperaturen von aktuell rund 125 °C auf 90 °C führt zu einer beträchtlichen Leistungseinbuße bei den Fernwärmeumformern. Gemäß Angaben der HHU beträgt die Leistungsreduktion der Fernwärmeübergabestation rund 30 %⁸. Durch eine Absenkung des Temperaturniveaus im Fernwärmenetz kann sowohl im IST-Zustand als auch mit der geplanten Fernwärmeübergabestation der heutige Wärmebedarf nicht mehr

Abb. 19: Mögliche Entwicklung der Systemtemperaturen (primärseitig) auf dem Campus



Erläuterungen:

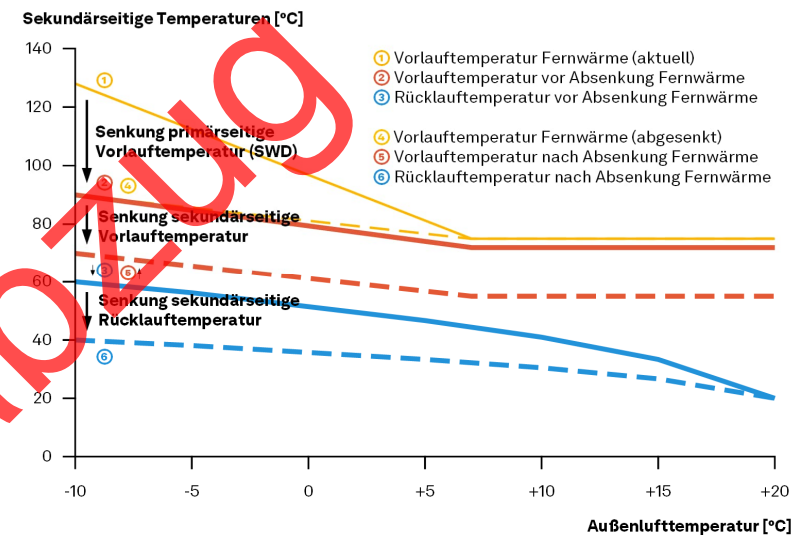
- Innerhalb der kommenden zehn Jahre soll die primärseitige Systemtemperatur⁹ im Fernwärmenetz von ≥ 125 °C (①) auf 90 °C (⑤) gesenkt werden.

⁸ Eine grobe Abschätzung von Lemon Consult ergab, dass eine Leistungsminderung der Fernwärmeübergabestation durch die Senkung der primärseitigen Temperatur von bis zu ca. 50 % möglich ist.

gedeckt werden. Dies bedeutet, dass Maßnahmen erforderlich sind, um den Fernwärmebedarf zu senken.

Auch wenn das oben genannte Ziel noch nicht verabschiedet ist, sollte man sich darauf einstellen und diese Rahmenbedingungen als Zielwerte für die kommenden 10 Jahre nehmen.

Abb. 20: Mögliche Entwicklung der Systemtemperaturen (sekundärseitig) auf dem Campus



Erläuterungen:

- Auf dem Campus der HHU wird zeitnah eine Fernwärmeübergabestation geplant und realisiert, deren Auslegung der Wärmetauscher auf den aktuellen primärseitigen Systemtemperaturen im Fernwärmenetz (①) basiert.
- Im Rahmen der Realisierung der Fernwärmeübergabestation ist eine Senkung der sekundärseitigen Systemtemperaturen (②/③) geplant.
- Eine Senkung der Fernwärmetemperatur (④) wirkt sich sowohl auf die Leistungsfähigkeit der Wärmetauscher als auch auf die sekundärseitigen Systemtemperaturen (⑤ / ⑥), welche weiter gesenkt werden müssen, aus.

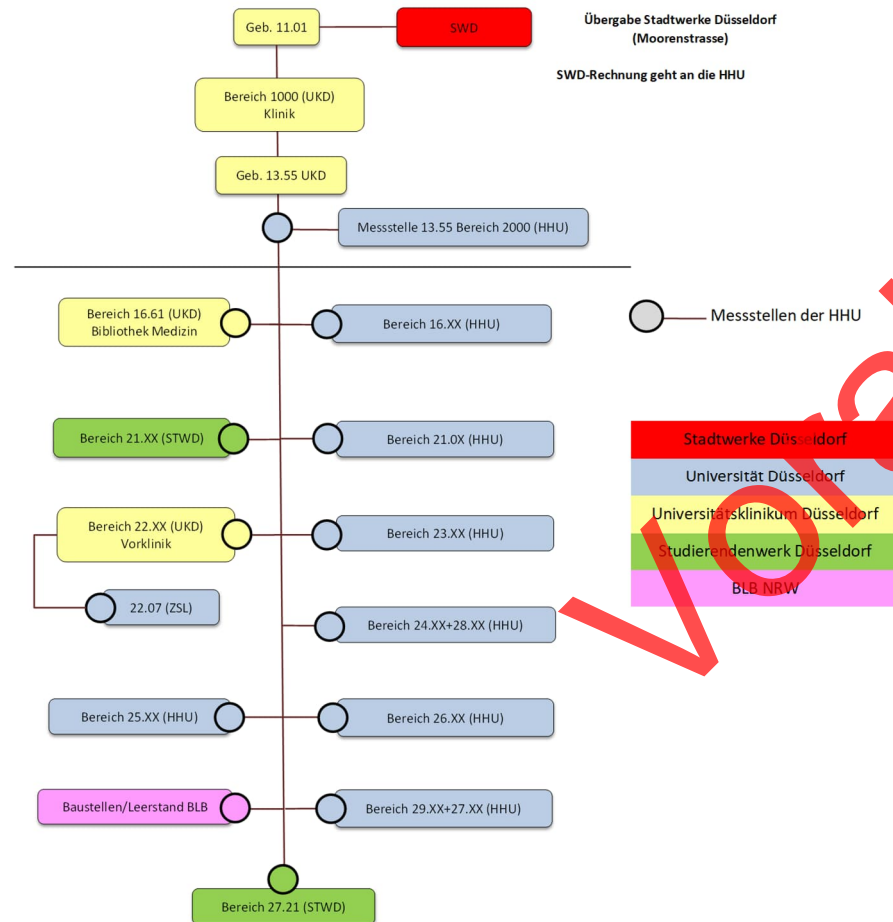
⁹ Quelle aktuelle Systemtemperaturen Fernwärme: https://a.storyblok.com/f/274773/x/ec0162a2cf/tab_innenstadt_und_linksrheinisches_waermenetz.pdf

5. Heutige Situation auf dem Campus

5.1. Wärme

5.1.1. Topologie

Abb. 21: Topologie Wärme bis 2025 [Quelle: HHU]



Beschreibung:

- Die HHU verfügt derzeit über keine eigene Fernwärmeübergabestation.
- Im Sommer 2026 wird eine eigene Fernwärmeübergabestation (Geb. 21.21) mit Wärmetauschern als Systemtrennung in Betrieb genommen.
- Die Verteilung auf dem Campus erfolgt über die Erschließungsleitungen ab dem UKD (DN 450).
- Die Erschließung von Gebäuden erfolgt teils ohne Wärmetauscher als Systemtrennung direkt mit Fernwärme (→ Betriebssicherheit).

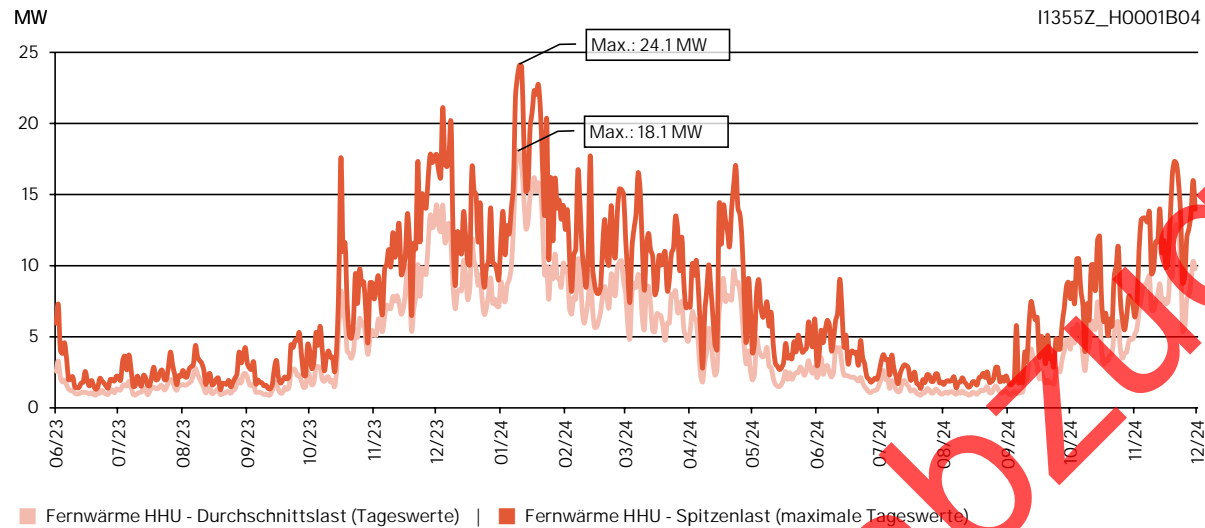
Anmerkungen zu Wärmeverbrauchern:

- In den Gebäuden 23.11/12 wird es nach der Kernsanierung eine Tierhaltung geben mit einer Entfeuchtung auf 45 – 60 % r.F. und auch benötigter Nacherhitzer im Sommer.
- Im Gebäude 23.13 (Neubau Rechenzentrum) sind Wärmepumpe / Kältemaschine mit freier Kühlung als Rückkühlung geplant. Die Wärme wird zur Beheizung in den dann sanierten Gebäuden 23.01/11/12/21 genutzt werden.
- Im Gebäude 24.41 (Bibliothek) existieren zentrale RLT-Anlagen ohne Entfeuchtung und außerdem Fan-Coils als kombiniertes Heiz-/Kühlsysteme mit 4-Leiter-System und moderaten Vorlauftemperaturen.
- In Gebäude 25.41 im Rechenzentrum sind in einem aktuellen Projekt eine neue Kältemaschine und freie Kühlung sowie ein Abgang zum Einspeisung Abwärme ins Heizungsnetz geplant. Welche Gebäude mit Abwärme beheizt werden, ist derzeit noch unklar.
- In Gebäude 26.44.00 (Prof. Klein) werden Präzisionsklimaschränke genutzt mit Anforderungen an Entfeuchtung 45 – 60% r.F. und konstante Temperatur. Das bedeutet, dass auch der Nacherhitzer im Sommerbetrieb nötig ist (Fernwärmebedarf im Sommer¹⁰).

¹⁰ Eine Beheizung mittels Abwärmenutzung aus dem Rechenzentrum wäre ggf. möglich.

5.1.2. Leistungsbedarf

Abb. 22: Leistungsbedarf Wärme in der Periode Juni 2023 bis November 2024 [Quelle Daten: HHU / Efficio]



Betrachtungssperimeter:

– Leistungsbedarf Campus inkl. 22er-Bereich

Abb. 23: Leistungsbedarf Wärme in der Periode vom 08. bis 14.01.2024 [Quelle Daten: HHU / Efficio]



Betrachtungssperimeter:

– Leistungsbedarf Campus inkl. 22er-Bereich

5.1.3. Energiebedarf

Abb. 24: Monatlicher Energiebedarf Wärme – 2019 – absolut [Quelle Daten: HHU]

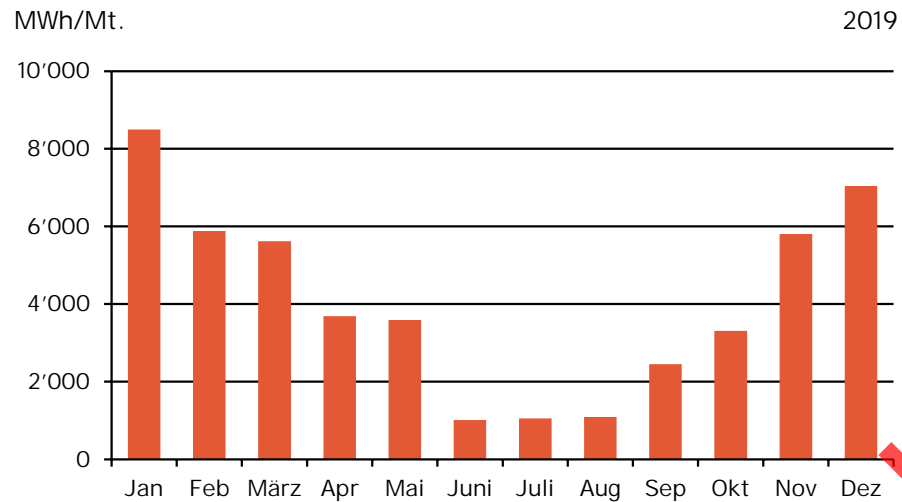


Abb. 25: Monatlicher Energiebedarf Wärme – 2023 – absolut [Quelle Daten: HHU]

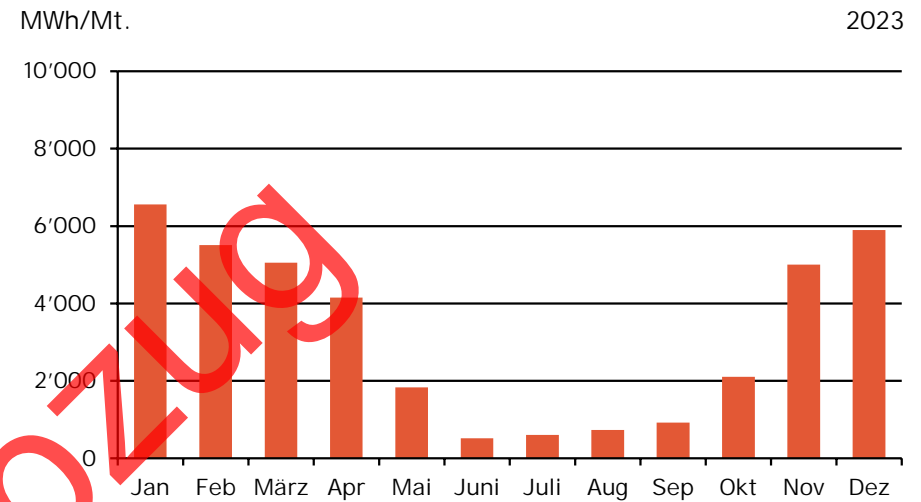


Abb. 26: Monatlicher Energiebedarf Wärme – 2019 – absolut [Quelle Daten: HHU]

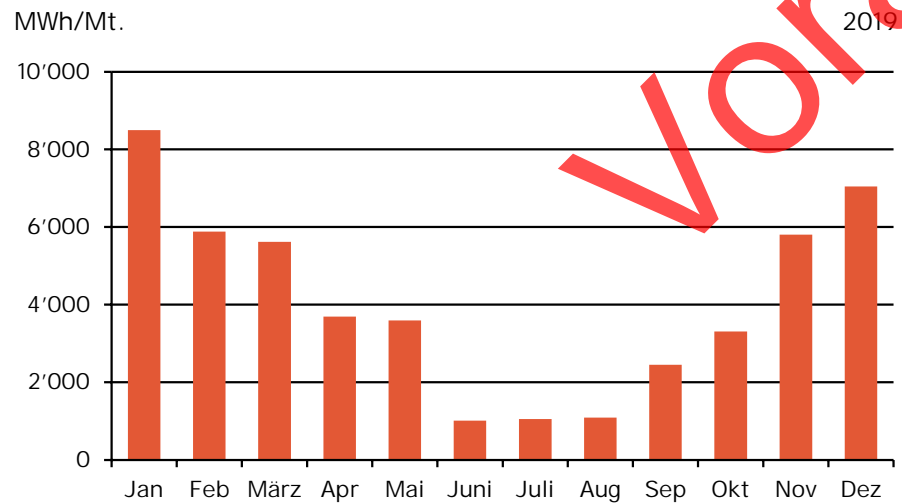
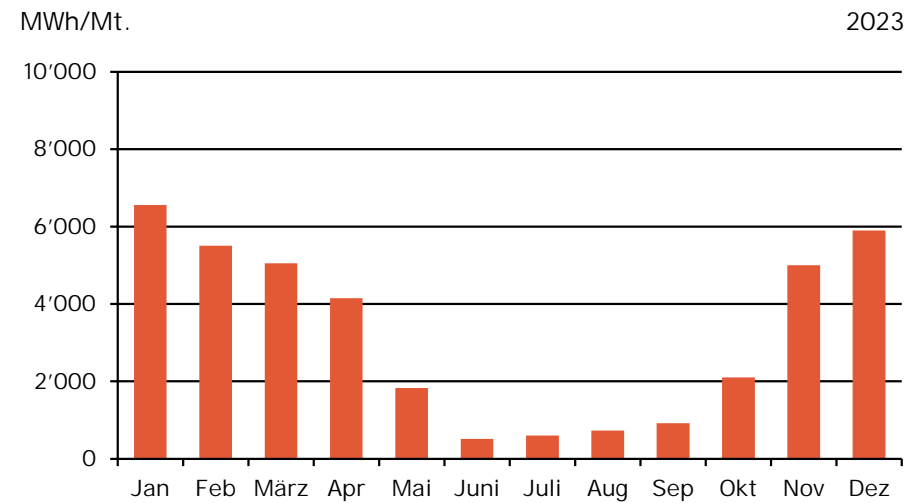


Abb. 27: Monatlicher Energiebedarf Wärme – 2023 – absolut [Quelle Daten: HHU]

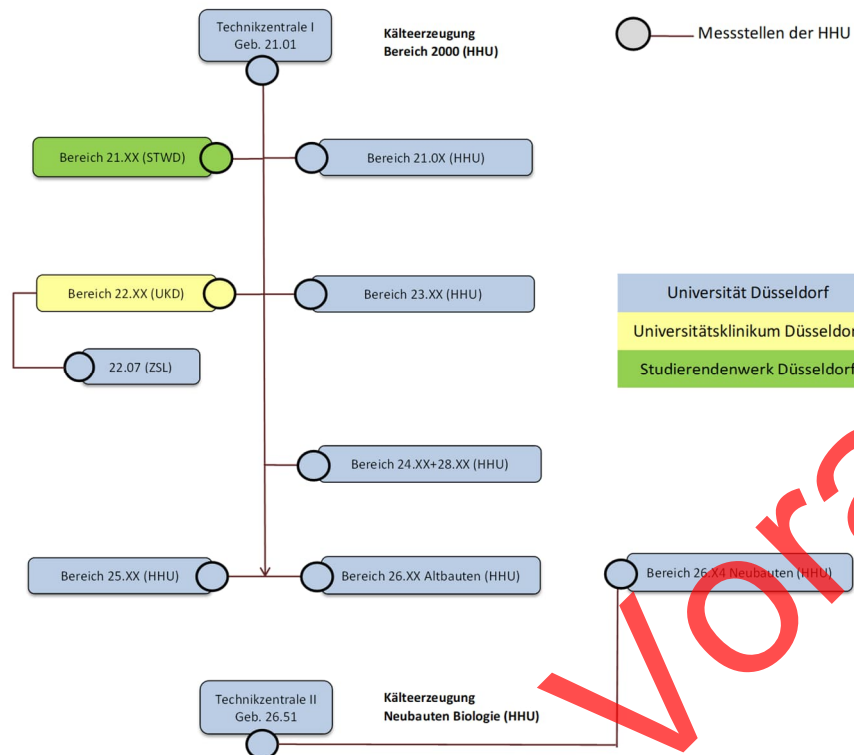


Der Vergleich zeigt, dass die Betriebsoptimierungen der letzten Jahre Früchte zeigen. Der Wärmebedarf konnte um rund 20 % gesenkt werden.

5.2. Kälte

5.2.1. Topologie

Abb. 28: Topologie Kälte [Quelle: HHU]



Beschreibung TZ1 (Geb. 21.01):

- Die Kälteerzeugung in der TZ1 erfolgt über 5 wassergekühlte Turbo-Kältemaschinen
- Es besteht keine Möglichkeit für einen Freecooling-Betrieb in TZ1

Anmerkungen zu Kälteverbrauchern TZ1:

- Generell werden überwiegend in Laborgebäuden Teilklimaanlagen sowie Umluftkühler mit zentraler Kälte betrieben.
- Im Bereich 22.XX (Vorklinik) existieren nicht spezifizierte Kälteanforderungen (unter anderem Tierhaltung in 22.22).
- In den Gebäuden 23.11/12 wird es nach der Kernsanierung eine Tierhaltung geben mit einer Entfeuchtung auf 45 – 60 % r.F. und auch benötigter Nacherhitzer im Sommer.
- Im Gebäude 23.13 (Neubau Rechenzentrum) sind Wärmepumpe / Kältemaschine mit freier Kühlung als Rückkühlung geplant. Die Wärme wird zur Beheizung in den dann sanierten Gebäuden 23.01/11/12/21 genutzt werden.
- Im Gebäude 24.41 (Bibliothek) existieren zentrale RLT-Anlagen ohne Entfeuchtung und außerdem Fan-Coils als kombiniertes Heiz-/Kühlsysteme mit 4-Leiter-System und moderaten Vorlauftemperaturen.
- In den Gebäuden 25.XX (Physik) benötigen Labore teilweise Prozesskälte (variable Temperatur).
- Im Gebäude 25.41 im Rechenzentrum sind in einem aktuellen Projekt eine neue Kältemaschine und freie Kühlung sowie ein Abgang zur Einspeisung von Abwärme in das Heizungsnetz geplant. Welche Gebäude mit Abwärme beheizt werden, ist derzeit noch unklar.

Tab. 4: Kälteerzeugung TZ1

Kältemaschinen

Kältemaschine 1:	Kältemaschine 2:	Kältemaschine 3:	Kältemaschine 4:	Kältemaschine 5:
– Fabrikat: Smardt – OPK	– Fabrikat: Smardt – OPK	– Fabrikat: Smardt – OPK	– Fabrikat: Axima	– Fabrikat: Cofely
– Typ: Z26S9430	– Typ: Z26S9430	– Typ: Z26S9430	– Typ: UNITOP – 23B - 4108	– Typ: W220 – P4G - LH
– Verdichter: 4 Stk. (Turbo)	– Verdichter: 4 Stk. (Turbo)	– Verdichter: 4 Stk. (Turbo)	– Kälteleistung: 3'000 kW	– Kälteleistung: 1'920 kW
– Kälteleistung: 1'920 kW	– Kälteleistung: 1'920 kW	– Kälteleistung: 1'920 kW	– RK-Leistung: 3'480 kW	– RK-Leistung: 2'300 kW
– KW-Temperatur: 6 / 12 °C ¹¹	– KW-Temperatur: 6 / 12 °C	– KW-Temperatur: 6 / 12 °C		
– RK-Leistung: 2'300 kW	– RK-Leistung: 2'300 kW	– RK-Leistung: 2'300 kW		
– RK-Temperatur: 36 / 29 °C	– RK-Temperatur: 36 / 29 °C	– RK-Temperatur: 36 / 29 °C		

Beschreibung TZ2 (Geb. 26.51):

- Die Kälteerzeugung erfolgt über eine Kältemaschine (Turbo-Kältemaschine von Cofely mit sieben Verdichtern und einer Kälteleistung von 2 MW)
- Möglichkeit für Free Cooling (Wärmetauscher mit einer Leistung von 1 MW)

Anmerkungen zu Kälteverbrauchern TZ2:

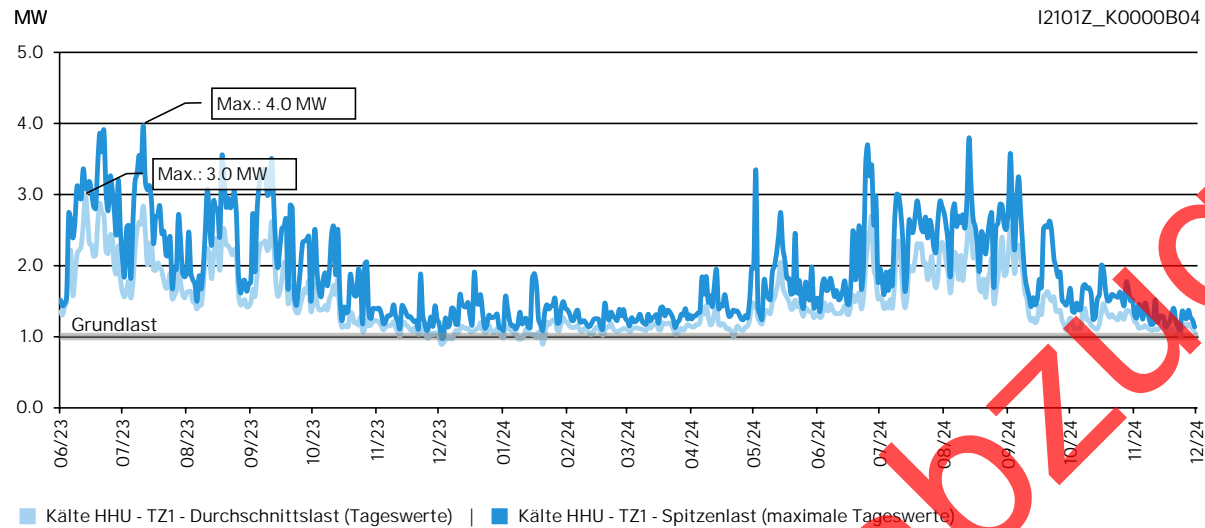
- Generell werden überwiegend in Laborgebäuden Teilklimaanlagen sowie Umluftkühler mit zentraler Kälte betrieben.
- Ab der Technikzentrale TZ2 werden die Gebäuden 26.X4 (Ersatzneubauten Biologie) mit Kälte versorgt.

- In den Gebäuden 26.X4 (Ersatzneubauten Biologie) wird Prozesskälte benötigt. Klimakammern werden dezentral mit eigenen Kompressoren betrieben. Die Kompressoren werden über die zentrale Kälte rückgekühlt. Die Medientemperatur darf dabei variieren.
- Bei Sanierung Hörsäle 26.41 sind Kühldecken mit Vorlauftemperaturen von 18 °C und Entfeuchtung in der Lüftungsanlage vorgesehen. Das Konzept wird ggf. bei weiteren Hörsaalsanierungen im Bereich 25.00 übernommen.
- In Gebäude 26.44.00 (Prof. Klein) werden Präzisionsklimaschränke genutzt. Anforderungen an Entfeuchtung 45 – 60 % r.F. und konstante Temperatur. Das bedeutet, dass auch der Nacherhitzer im Sommerbetrieb nötig ist (Fernwärmebedarf im Sommer).

¹¹ KW-Temperatur von 6 / 12 °C gelten für den Sommer-Betrieb.
Im Winterbetrieb wird Temperaturniveau gleitend bis 12 / 18 °C angehoben.

5.2.2. Leistungsbedarf

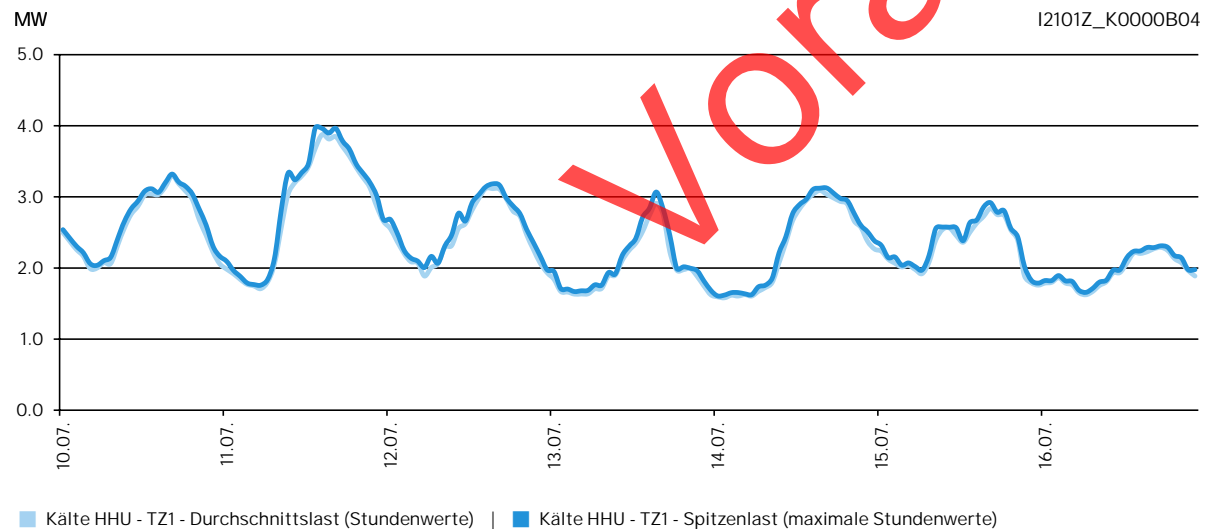
Abb. 29: Leistungsbedarf Kälte TZ1 in der Periode Juni 2023 bis November 2024 [Quelle Daten: HHU / Efficio]



Betrachtungsumperimeter:

- Leistungsbedarf Campus inkl. 22er-Bereich / exkl. 26er-Bereich (Neubauten)

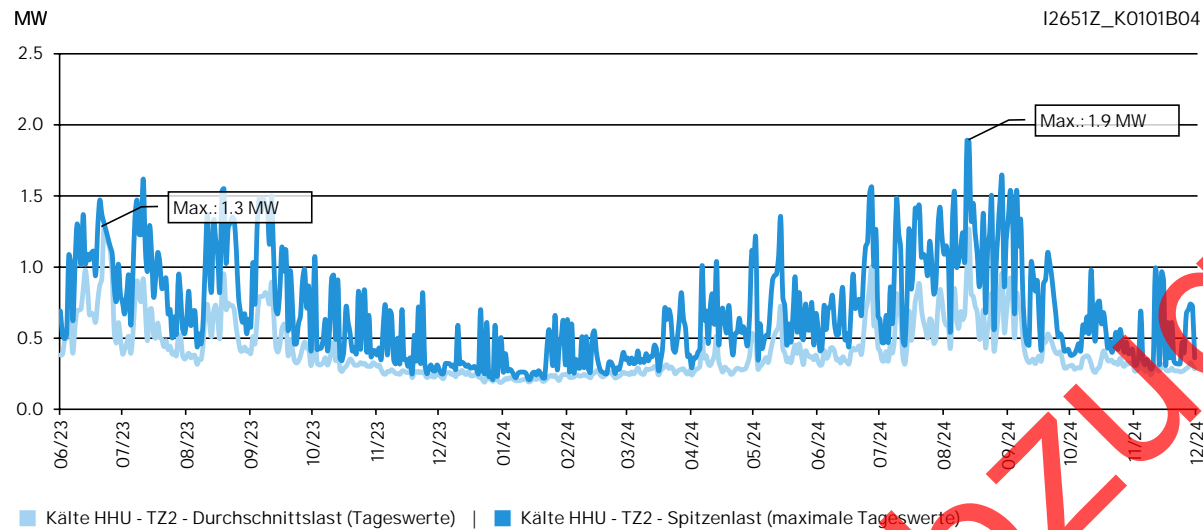
Abb. 30: Leistungsbedarf Kälte TZ1 in der Periode vom 10. bis 16.07.2023 [Quelle Daten: HHU / Efficio]



Betrachtungsumperimeter:

- Leistungsbedarf Campus inkl. 22er-Bereich / exkl. 26er-Bereich (Neubauten)

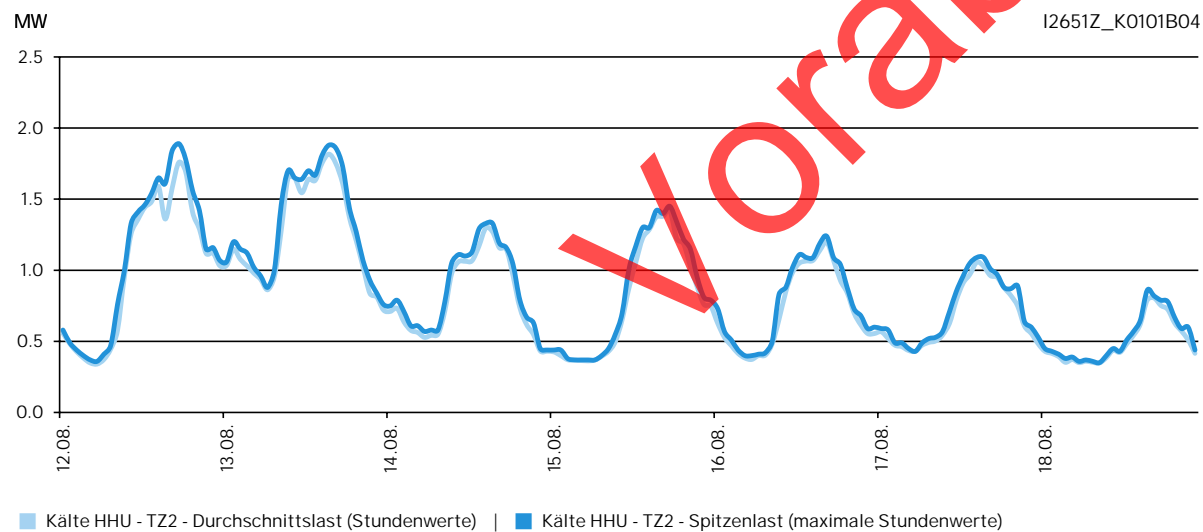
Abb. 31: Leistungsbedarf Kälte TZ2 in der Periode Juni 2023 bis November 2024 [Quelle Daten: HHU / Efficio]



Betrachtungsbereich:

– Leistungsbedarf 26er-Bereich (Neubauten)

Abb. 32: Leistungsbedarf Kälte TZ2 in der Periode vom 12. bis 18.08.2024 [Quelle Daten: HHU / Efficio]



Betrachtungsbereich:

– Leistungsbedarf Campus inkl. 22er-Bereich /
exkl. 26er-Bereich (Neubauten)

5.2.3. Energiebedarf

Abb. 33: Monatlicher Energiebedarf Kälte – 2019 – absolut [Quelle Daten: HHU]

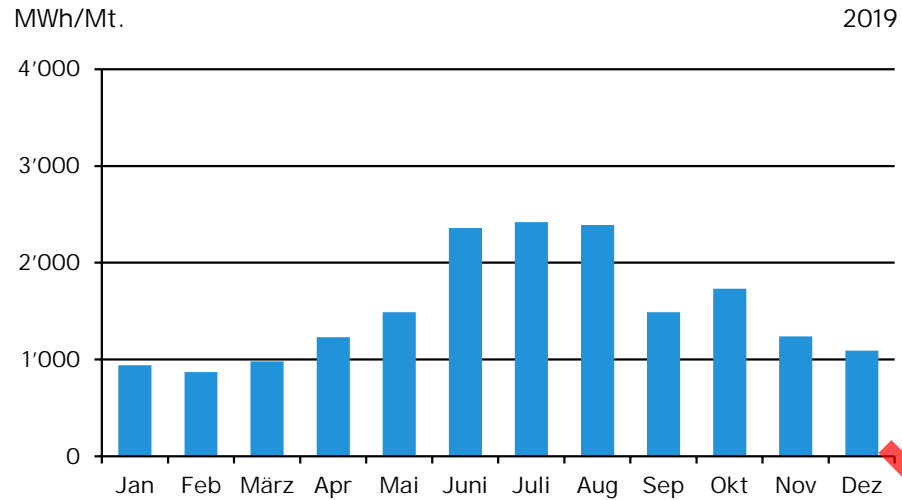


Abb. 34: Monatlicher Energiebedarf Kälte – 2023 – absolut [Quelle Daten: HHU]

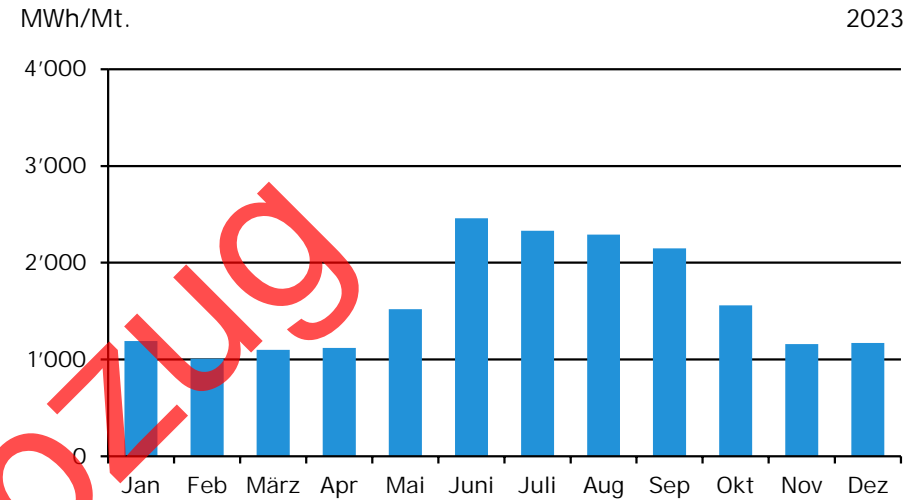


Abb. 35: Monatlicher Energiebedarf Kälte – 2019 – absolut [Quelle Daten: HHU]

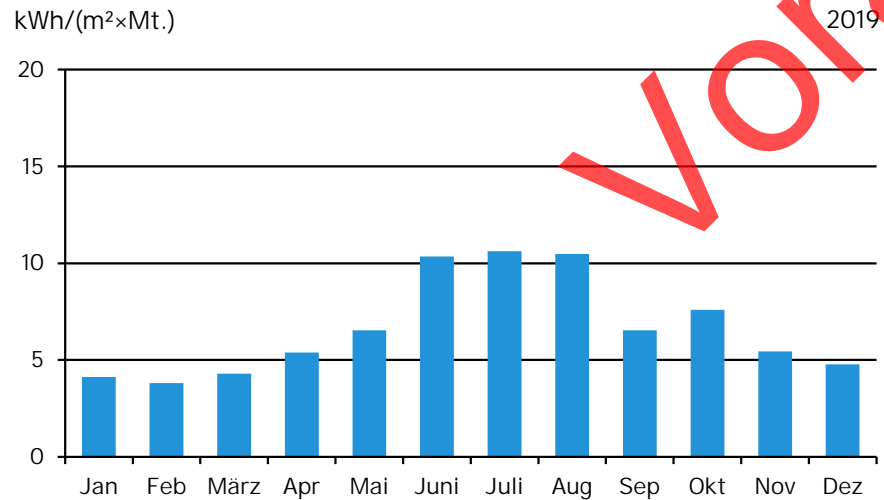
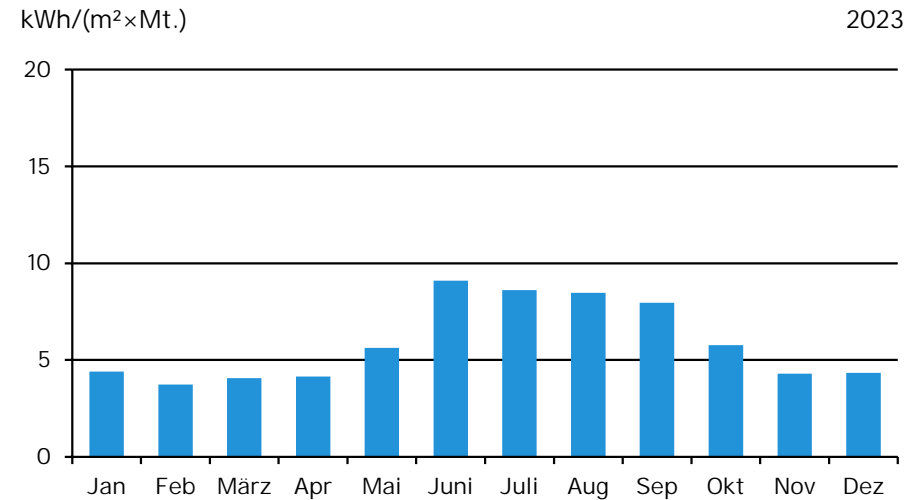


Abb. 36: Monatlicher Energiebedarf Kälte – 2023 – absolut [Quelle Daten: HHU]



Der Kältebedarf hat sich in der Vergleichsperiode nicht wesentlich verändert.

5.3. Strom

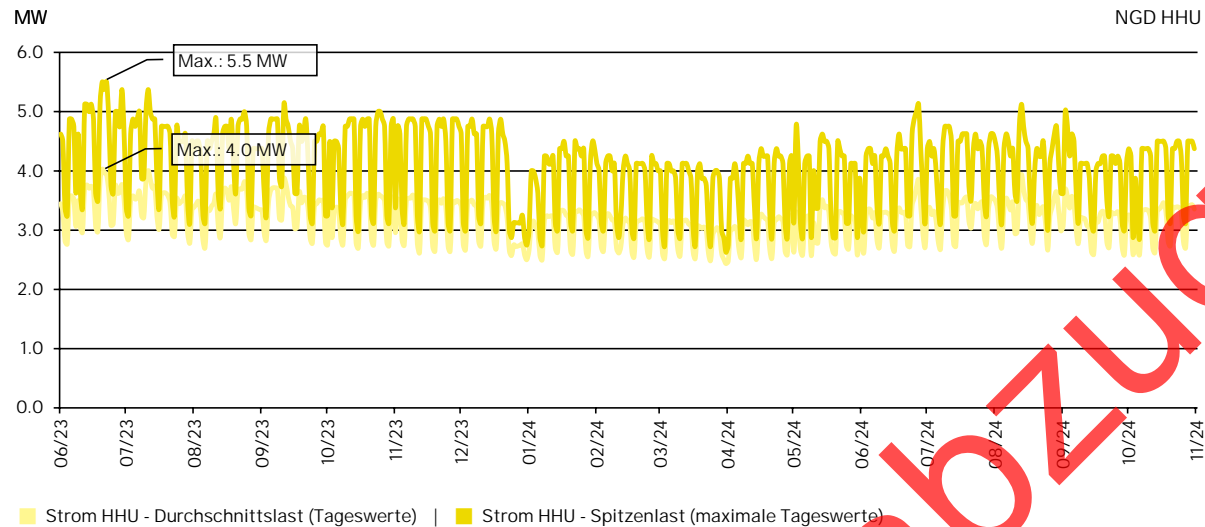
5.3.1. Topologie

Abb. 37: Topologie Strom [Quelle: HHU]



5.3.2. Leistungsbedarf

Abb. 38: Leistungsbedarf Strom in der Periode Juni 2023 bis Oktober 2024 [Quelle Daten: HHU / Efficio]



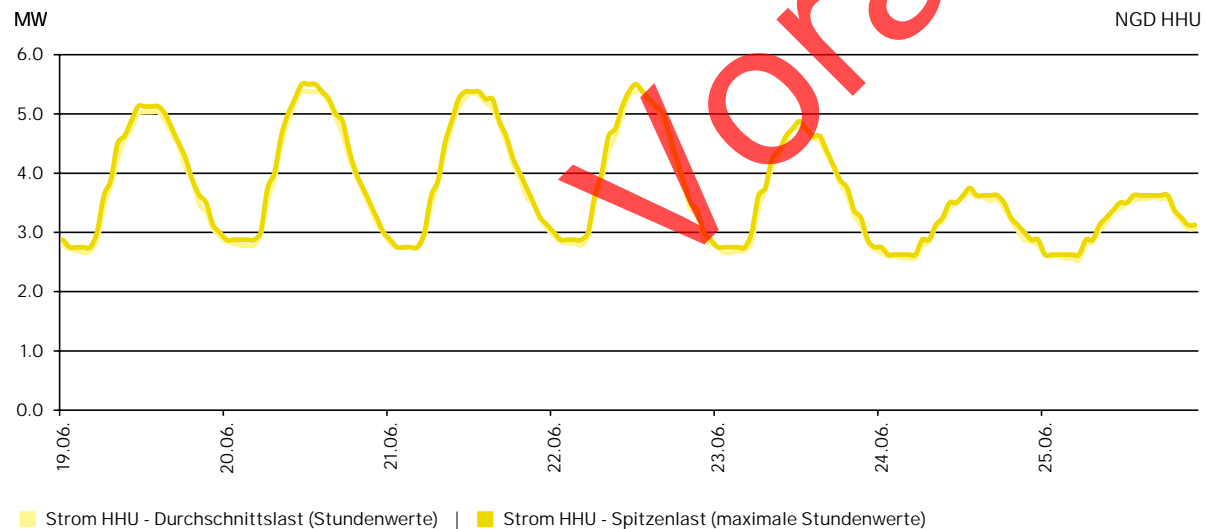
Betrachtungsbereich:

- Leistungsbedarf Campus exkl. 22er-Bereich

Anmerkungen:

- Sehr hohe Bandlast auch an Wochenenden und in der Nacht:
 - Überprüfen, welche Verbraucher am Wochenende und in der Nacht Strom beziehen
 - Hinterfragen, bei welchen Verbrauchern der Strombezug reduziert werden könnte

Abb. 39: Leistungsbedarf Strom in der Periode vom 19. bis 25.06.2023 [Quelle Daten: HHU / Efficio]



Betrachtungsbereich:

- Leistungsbedarf Campus exkl. 22er-Bereich

Anmerkungen:

- Sehr hohe Bandlast auch an Wochenenden und in der Nacht:
 - Überprüfen, welche Verbraucher am Wochenende und in der Nacht Strom beziehen
 - Hinterfragen, bei welchen Verbrauchern der Strombezug reduziert werden könnte

5.3.3. Energiebedarf

Abb. 40: Monatlicher Energiebedarf Strom – 2019 – absolut [Quelle Daten: HHU]

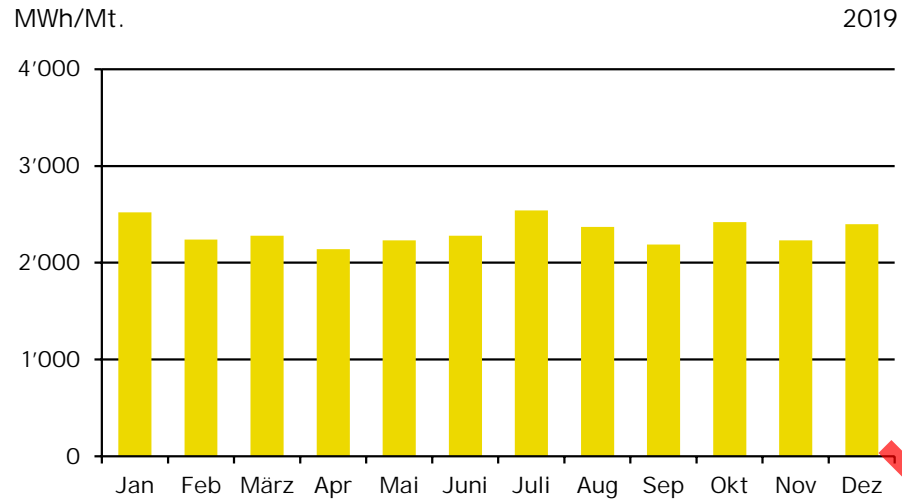


Abb. 41: Monatlicher Energiebedarf Strom – 2023 – absolut [Quelle Daten: HHU]

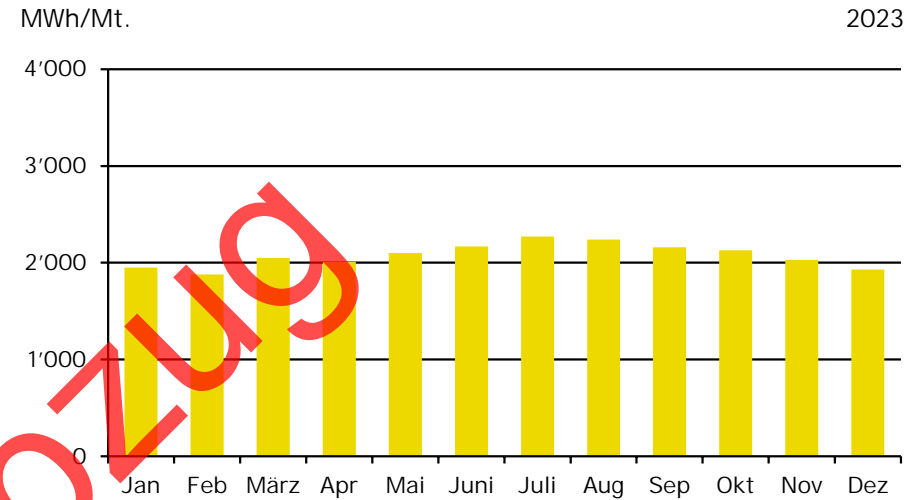


Abb. 42: Monatlicher Energiebedarf Strom – 2019 – spezifisch [Quelle Daten: HHU]

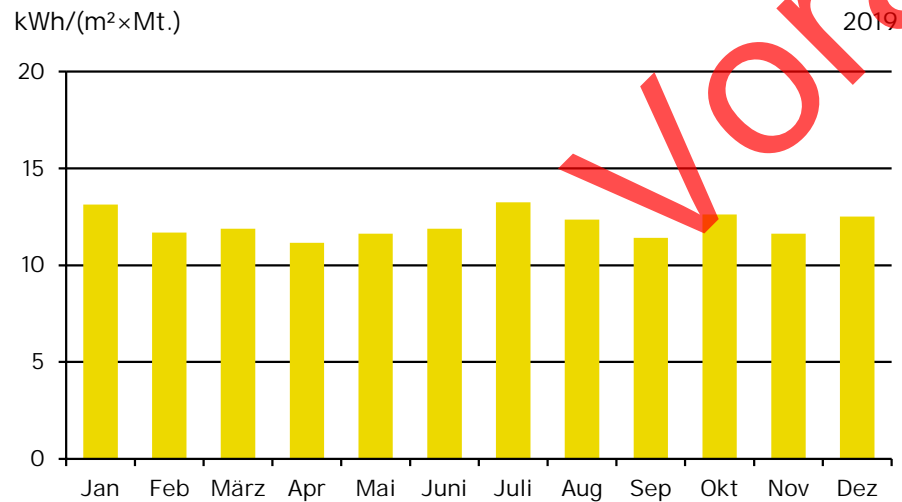
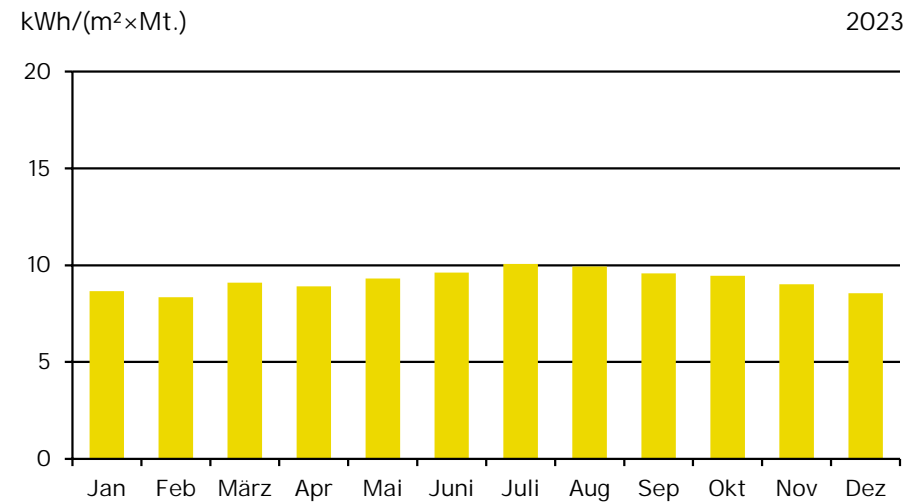


Abb. 43: Monatlicher Energiebedarf Strom – 2023 – spezifisch [Quelle Daten: HHU]

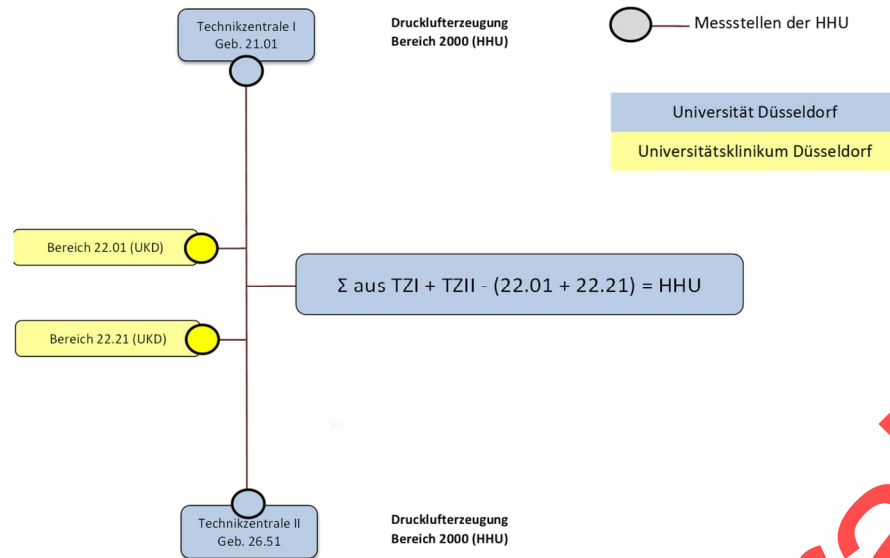


Der Vergleich zeigt, dass der Strombedarf von 2023 gegenüber 2019 leicht gesenkt werden konnte.

5.4. Druckluft

5.4.1. Topologie

Abb. 44: Topologie Druckluft [Quelle: HHU]



Beschreibung:

- Die Druckluftterzeugung erfolgt in zwei Technikzentralen (TZ1 und TZ2).
- Ab beiden Technikzentralen wird die Druckluft in ein gemeinsames Versorgungsnetz eingespeist.

Vorabzug

Tab. 5: Mit Druckluft versorgte Gebäude / Bereiche auf dem Campus der HHU [Quelle: HHU]

Nr.	Hausübergabe	Versorgte Gebäude / Bereiche	Anmerkungen
01	21.11	21.11	Zurzeit nicht benötigt
02	22.01	22.01 / 22.02 / 22.03 / 22.04 / 22.05	
03	22.21	BSL3 Labor	
04	22.22	22.22	
05	23.11	23.02 / 23.03 / 23.11 / 23.12	Demontage des Druckluftanschlusses in Hausübergabe im Rahmen der Sanierung Versorgung der weiteren Gebäude mit Druckluft derzeit unklar
06	23.40	23.40	Zukünftige Versorgung über eine Kompressor-Anlage im Gebäude 23.40
07	23.31	23.31	Weiterer Bedarf nach Sanierung des Gebäudes noch unklar
08	24.21	24.21	Zurzeit nicht benötigt
09	24.41	24.41	Zurzeit nicht benötigt
10	25.12	25.02 / 25.11 / 25.12 / 25.13 / 25.22	
11	25.32	25.23 / 25.31 / 25.32 / 25.33 / 25.41 / 25.42 / 25.43	
12	26.12	26.02 / 26.03 / 26.11 / 26.12 / 26.13 / 26.21 / 26.22 / 26.23	
13	26.42	26.14 / 26.24 / 26.31 / 26.32 / 26.33 / 26.34 / 26.41 / 26.42 / 26.43 / 26.44	

5.4.2. Druckluftbedarf

Abb. 45: Bedarf Druckluft HHU und UKD in der Periode Juli 2023 bis November 2024 [Quelle Daten: HHU / Efficio]

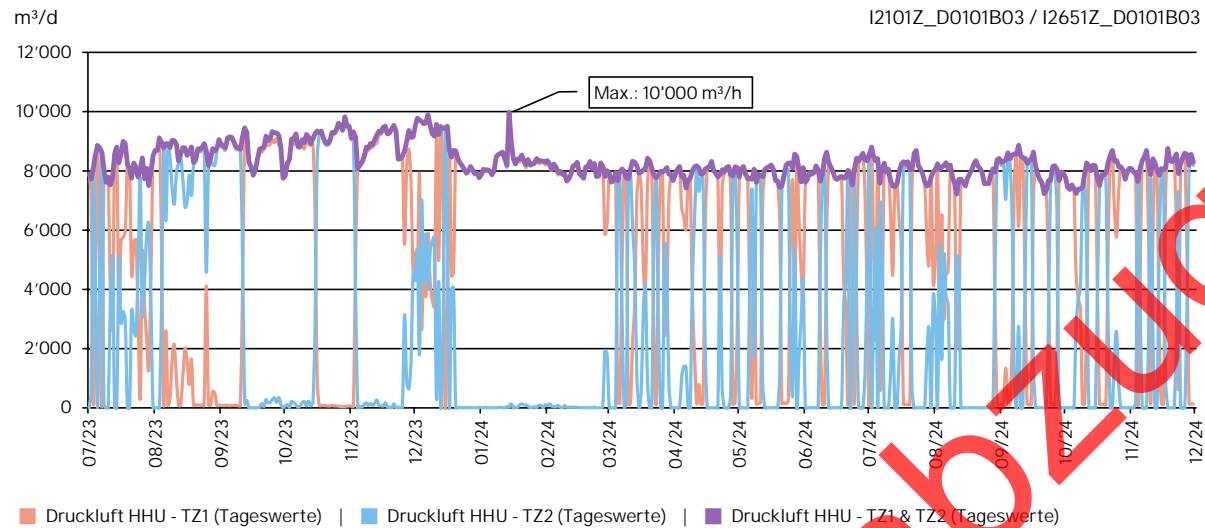
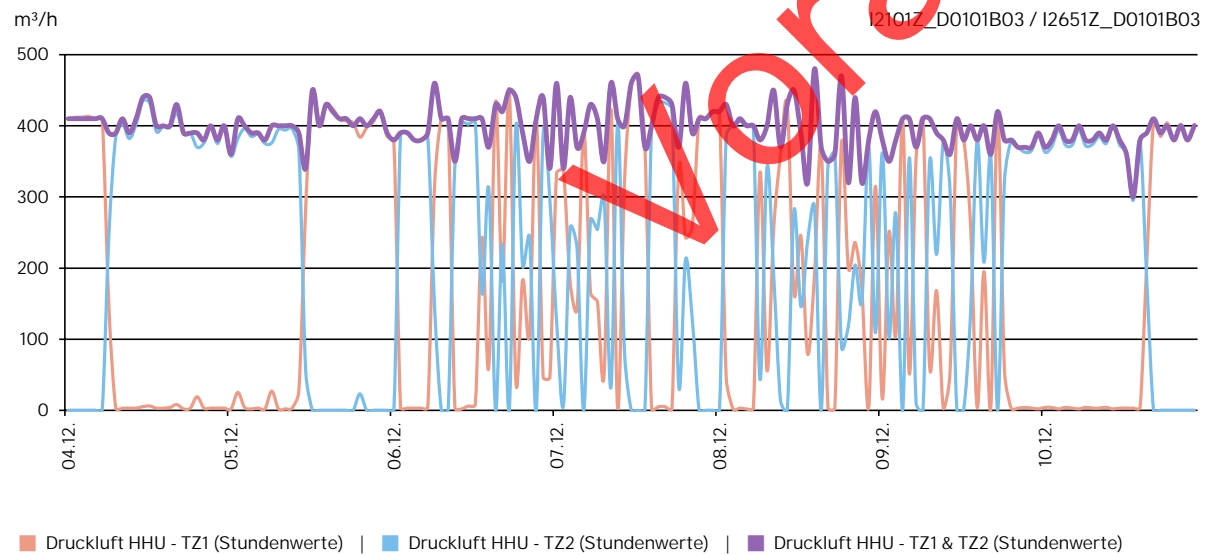


Abb. 46: Bedarf Druckluft HHU und UKD in der Periode vom 04. bis 10.12.2023 [Quelle Daten: HHU / Efficio]



6.1. Bauliche Entwicklung

[illegible]

Tab. 6: Geplante bauliche Entwicklung auf dem Campus [Quelle: HHU]

Nr. Gebäude	Gebäude-Nr.	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
01 Uni-Verwaltung / Interimshörsaal	16. 11 / 12																						
02 Technikzentrale TZ1	21. 01																						
03 Studierenden Service Center (SSC)	21. 02																						
04 Zentrales Tierlabor (ZETT / Neubau)	21. 22																						
05 Büroflächen (ehem. Dienstwohnungen)	21. 44 / 45 / 46																						
06 Vorklinische Medizin – UKD Nord	22. 01 / 02 / 03 / 04 / 05																						
07 Zentrum für synthetische Lebenswissenschaften (ZSL)	22. 07																						
08 Vorklinische Medizin – UKD Süd	22. 21																						
09 Vorklinische Medizin – UKD (ZFTT - Altbau)	22. 22																						
10 23er-Bereich Nord	23. 01																						
11 23er-Bereich Nord	23. 02 / 03																						
12 23er-Bereich Nord	23. 11 / 12																						
13 23er-Bereich Nord (neues RZ)	23. 13																						
14 23er-Bereich Süd	23. 21																						
15 23er-Bereich Süd	23. 31 / 32																						
16 Betriebshof	23. 40																						
17 Philosophische Fakultät	24. 21																						
18 Oeconomicum	24. 31																						
19 Universitäts- und Landesbibliothek (ULB)	24. 41																						
20 Juridicum	24. 81																						
21 Juridicum	24. 91																						
22 25er-Bereich Nord (ohne Hörsäle)	25. 02 / 03 / 12 / 13 / 22 / 23																						
23 25er-Bereich Süd (ohne Hörsäle)	25. 32 / 33 / 41 / 42 / 43																						
24 25er-Bereich Hörsäle	25. 11 / 21 / 31																						
25 Plant Environmental Adaption Center (PEAC)	25. 51																						
26 26er-Bereich Nord (ohne Hörsäle)	26. 02 / 03 / 12 / 13																						
27 26er-Bereich Hörsäle / Praktikumsräume	26. 11 / 21 / 31																						
28 26er-Bereich Süd (ohne Hörsäle)	26. 22 / 23 / 32 / 33																						
29 26er-Bereich Süd (Hörsäle)	26. 41																						
30 26er-Bereich Süd (ohne Hörsäle)	26. 42 / 43																						
31 Biologie und Zentrales Chemikalienlager ZCL - neu	26. 14 / 24 / 34 / 44																						
32 Technikzentrale TZ2	26. 51																						
33 Studierenden Wohnanlage	27. 21																						
34 Sportinstitut	28. 01																						
35 Botanik	29. 01 / 02 / 03 / 11 / 12 / 13 / 14																						

Legende

Leerstand des Gebäudes
 Bau des Gebäudes (Neubau) / Kernsanierung des Gebäudes
 Rückbau des Gebäudes

Tab. 7: Geplante bauliche Entwicklung auf dem Campus mit dargestelltem Zustand der Gebäude [Quelle: HHU]

Nr.	Gebäude	Gebäude-Nr.	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
01	Uni-Verwaltung / Interimshörsaal	16. 11 / 12																						
02	Technikzentrale TZ1	21. 01																						
03	Studierenden Service Center (SSC)	21. 02																						
04	Zentrales Tierlabor (ZETT / Neubau)	21. 22																						
05	Büroflächen (ehem. Dienstwohnungen)	21. 44 / 45 / 46																						
06	Vorklinische Medizin – UKD Nord	22. 01 / 02 / 05																						
07	Vorklinische Medizin – UKD Nord	22. 03																						
08	Vorklinische Medizin – UKD Nord	22. 04																						
09	Zentrum für synthetische Lebenswissenschaften (ZSL)	22. 07																						
10	Vorklinische Medizin – UKD Süd	22. 21																						
11	Vorklinische Medizin – UKD (ZETT - Altbau)	22. 22																						
12	23er-Bereich Nord	23. 01																						
13	23er-Bereich Nord	23. 02 / 03																						
14	23er-Bereich Nord	23. 11 / 12																						
15	23er-Bereich Nord (neues RZ)	23. 13																						
16	23er-Bereich Süd	23. 21																						
17	23er-Bereich Süd	23. 31 / 32																						
18	Betriebshof	23. 40																						
19	Philosophische Fakultät	24. 21																						
20	Oeconomicum	24. 31																						
21	Universitäts- und Landesbibliothek (ULB)	24. 41																						
22	Juridicum	24. 81																						
23	Juridicum	24. 91																						
24	25er-Bereich Nord (ohne Hörsäle)	25. 02 / 03 / 12 / 13 / 22 / 23																						
25	25er-Bereich Süd (ohne Hörsäle)	25. 32 / 33 / 41 / 42 / 43																						
26	25er-Bereich Hörsäle	25. 11 / 21 / 31																						
27	Plant Environmental Adaption Center (PEAC)	25. 51																						
28	26er-Bereich Nord (ohne Hörsäle)	26. 02 / 03 / 12 / 13																						
29	26er-Bereich Hörsäle / Praktikumsräume	26. 11 / 21 / 31																						
30	26er-Bereich Süd (ohne Hörsäle)	26. 22 / 23 / 32 / 33																						
31	26er-Bereich Süd (Hörsäle)	26. 41																						
32	26er-Bereich Süd (ohne Hörsäle)	26. 42 / 43																						
33	Biologie und Zentrales Chemikalienlager ZCL - neu	26. 14 / 24 / 34 / 44																						
34	Technikzentrale TZ2	26. 51																						
35	Studierenden Wohnanlage	27. 21																						
36	Sportinstitut	28. 01																						
37	Botanik	29. 01 / 02 / 03 / 11 / 12 / 13 / 14																						

Baujahr / Jahr der letzten Kernsanierung

1970 – 1979

1980 – 1989

1990 – 1999

2000 – 2009

2010 – 2019

2020 – 2029

> 2030

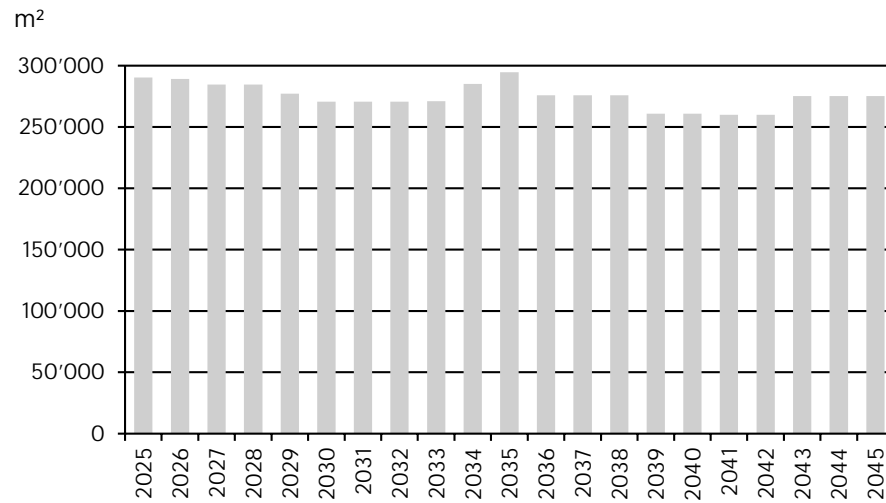
Sonstiges

Leerstand des Gebäudes

Bau des Gebäudes (Neubau) / Kernsanierung des Gebäudes

Rückbau des Gebäudes

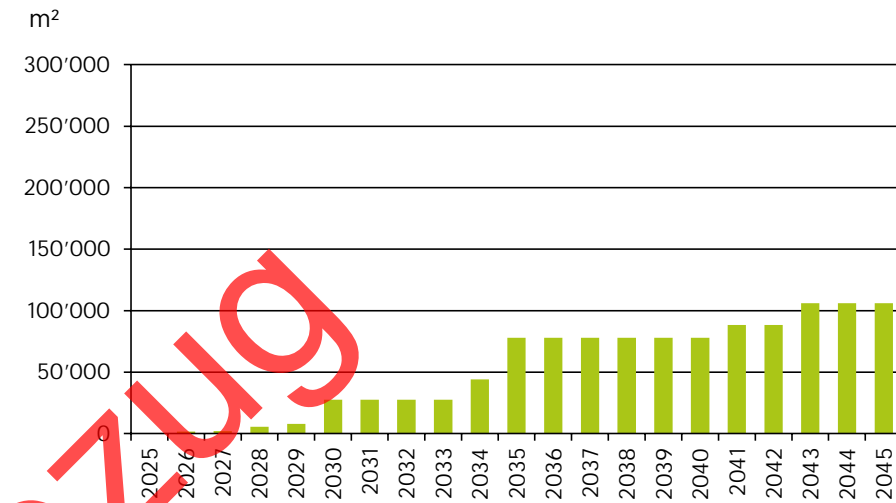
Abb. 48: Flächenbedarfsentwicklung bis 2045



Der Flächenbedarf wird sich bis ins Jahr 2045 nicht wesentlich erhöhen.

2035: Ausserbetriebsetzung altes ZETT
Inbetriebsetzung neues ZETT (außerhalb Betrachtungsperimeter)

Abb. 49: Sanierungsentwicklung bis 2045

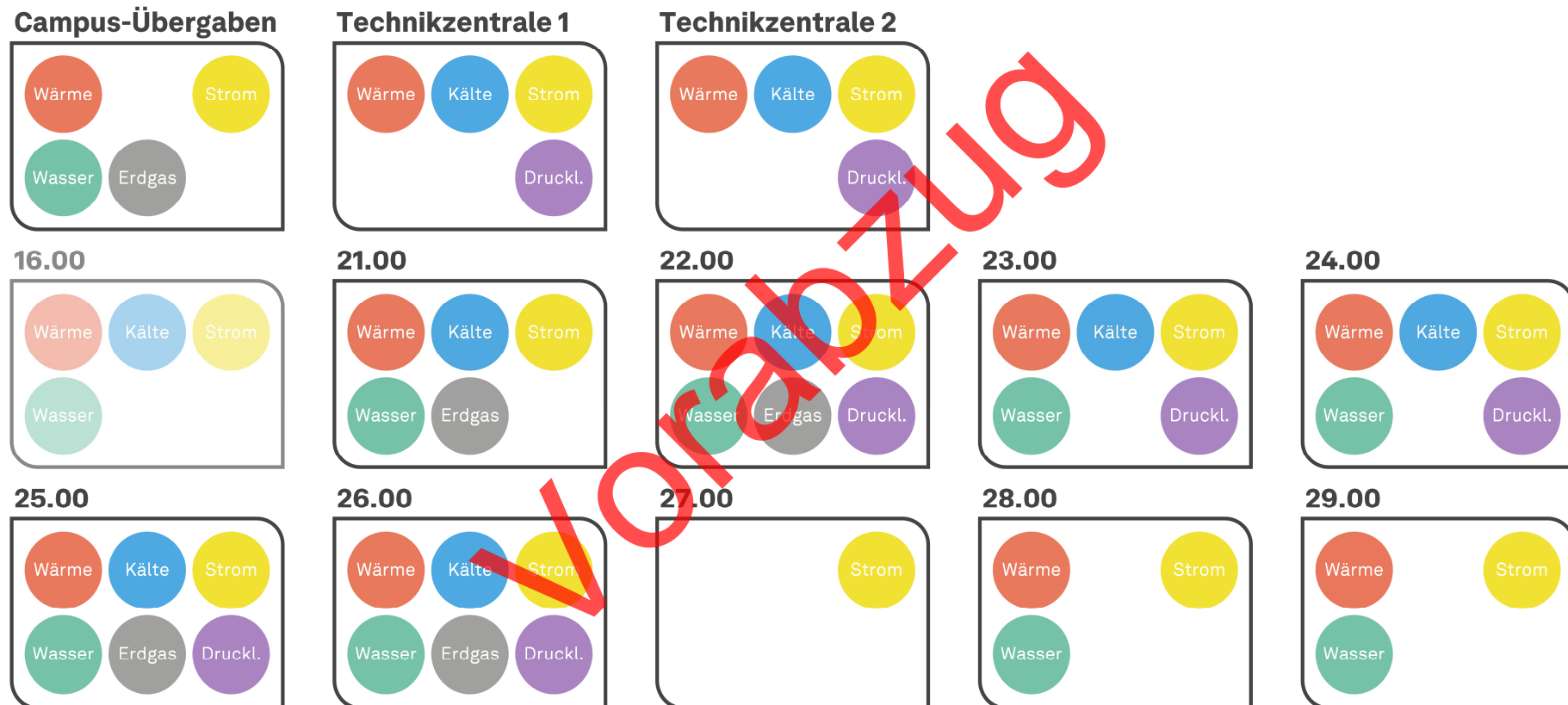


Der Anteil an sanierter bzw. neu gebauter Fläche beträgt bis ins Jahr 2045 ca. 30 %.

7. Energiequellen / -träger am Standort

7.1. Übersicht aktuelle Medienversorgung auf dem Campus

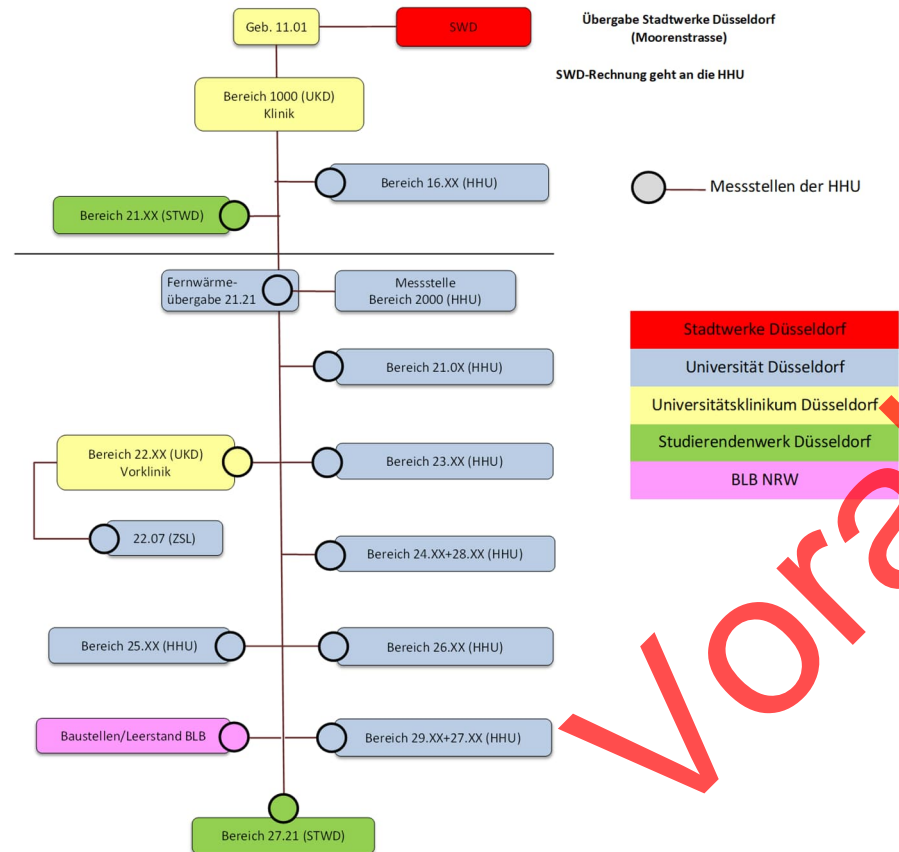
Abb. 50: Übersicht der aktuellen Medienversorgung je Campus-Bereich [Quelle: HHU / Efficio]



7.2. Wärme

7.2.1. Topologie

Abb. 51: Topologie Wärme ab 2025 [Quelle: HHU]



Beschreibung:

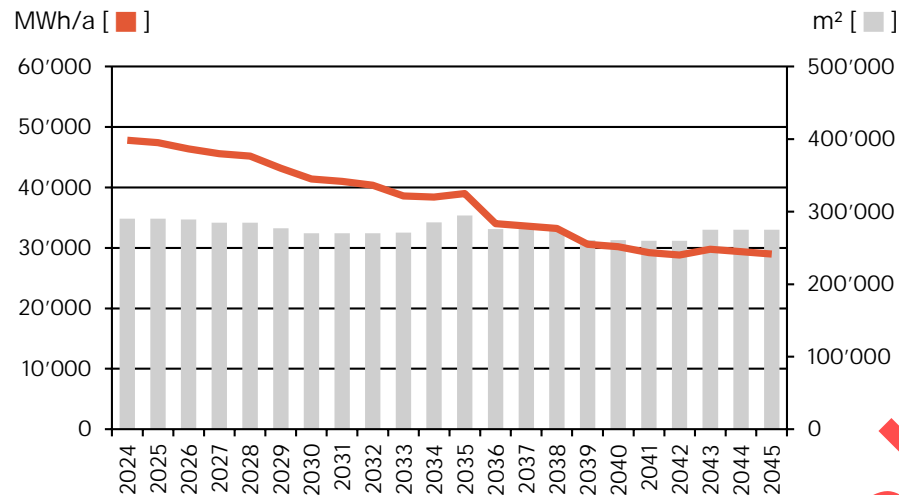
- Im Norden des Campus der HHU wird eine Fernwärmeübergabestation bestehend aus drei Wärmetauschern mit jeweils 8 MW Leistung (basierend auf aktuellem primärseitigem Temperaturniveau im Fernwärmenetz) realisiert.
- Die primärseitige Erschließung (vor Übergabestation) erfolgt über das bestehende Leitungsnetz ab dem UKD (DN 450).
- Die sekundärseitige Verteilung (vor Übergabestation) erfolgt über das bestehende Leitungsnetz (DN 450).
- Es wird empfohlen, dass in den Gebäuden eine kontinuierliche Nachrüstung mit Wärmetauschern als Systemtrennung erfolgt (keine direkte Versorgung ab sekundärem Netz → Betriebssicherheit).

Anmerkungen:

- Das sekundärseitige Temperaturniveau (nach Übergabestation) soll nach der Realisierung der Fernwärme-Übergabestation gegenüber der heutigen Situation deutlich gesenkt werden.
- Längerfristig streben die Stadtwerke Düsseldorf eine Begrenzung der primärseitigen Temperatur im Fernwärmenetz auf 90 °C an (strategischen Ziele der Stadtwerke Düsseldorf zurzeit noch nicht verabschiedet). Derzeit liegen die primärseitigen Temperaturen im Fernwärmenetz bei maximal rund 125 °C.

7.2.2. Entwicklung Energiebedarf

Abb. 52: Entwicklung Energiebedarf Wärme in Abhängigkeit der baulichen Entwicklung auf dem Campus

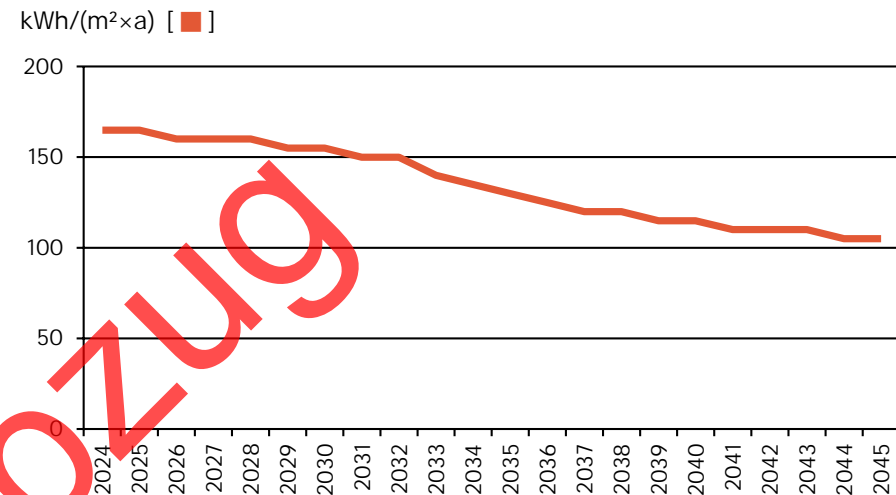


Der Wärmebedarf wird sich bis ins Jahr 2045 infolge Sanierungen und Neubauten sowie von Optimierungsmaßnahmen gegenüber heute um ca. 30 – 40 % verringern.

Die Reduktion des Wärmebedarfs erfolgt durch folgende Maßnahmen:

- Optimierungen im Betrieb
- Realisierung von Neubauten und Sanierungen
- Wegfall von mit Wärme versorgten Gebäuden

Abb. 53: Entwicklung spezifischer Energiebedarf Wärme in Abhängigkeit der baulichen Entwicklung auf dem Campus



Relevante Bauprojekte:

- 2035: Ausserbetriebsetzung altes ZETT
Inbetriebsetzung neues ZETT (außerhalb Betrachtungssperimeter)
- 2039 – 2042: Sanierung Bibliothek

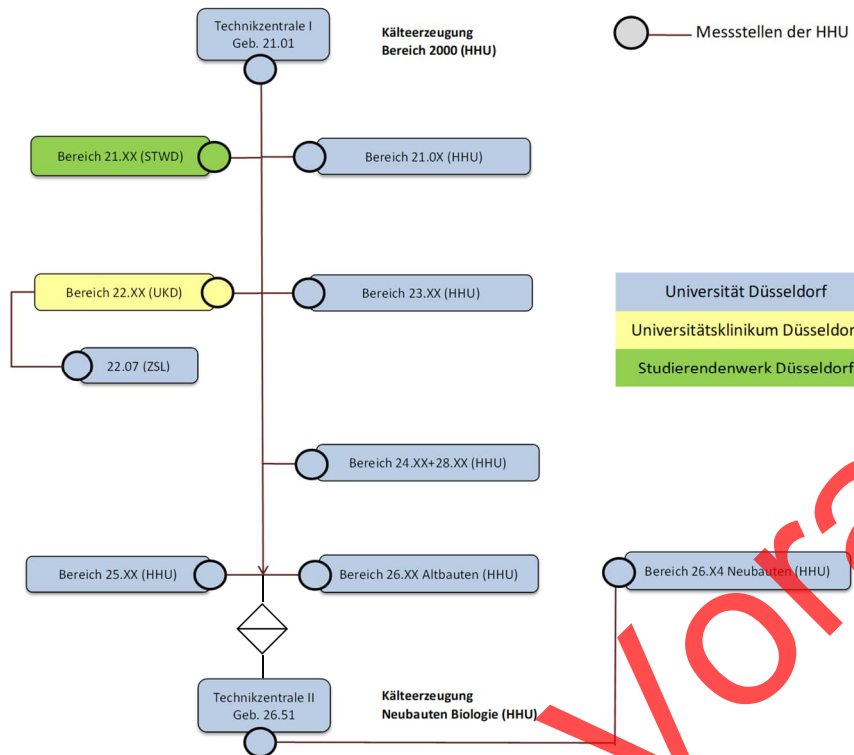
Berechnungsgrundlage bei Bedarfsabschätzung (Entwicklung 2025 – 2045):

- Annahme: Jährlich Effizienzsteigerung von ca. 1 % beim Wärmebedarf durch Sanierungsmaßnahmen / Betriebsoptimierungen
- Senkung des Energiebedarfs von Neubauten und Sanierungen um ca. 40 % gegenüber der heutigen Situation

7.3. Kälte

7.3.1. Topologie

Abb. 54: Topologie Kälte [Quelle: HHU]

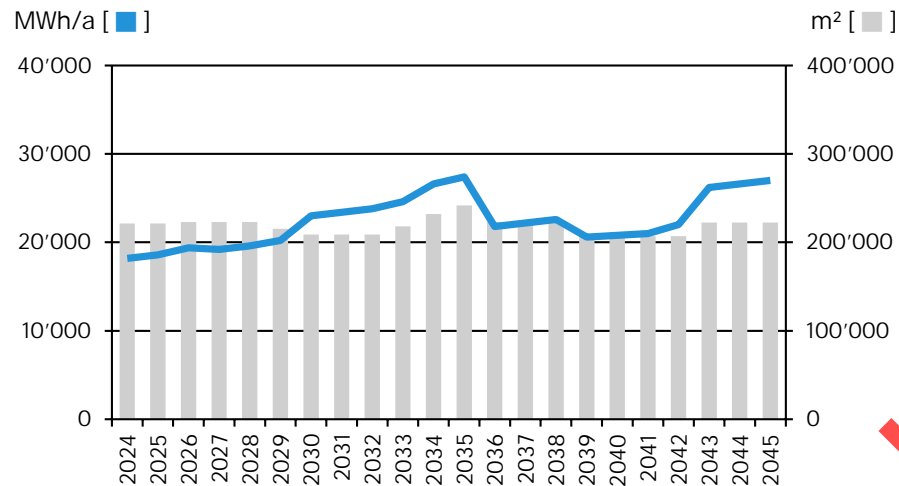


Beschreibung:

- Erweiterung der Kälteerzeugung (TZ2) mit einer zusätzlichen Kältemaschine (Kälteleistung: 2 MW).
- Verbindung der beiden Netze zur Erhöhung der Redundanz.

7.3.2. Entwicklung Energiebedarf

Abb. 55: Entwicklung Energiebedarf Kälte in Abhängigkeit der baulichen Entwicklung auf dem Campus

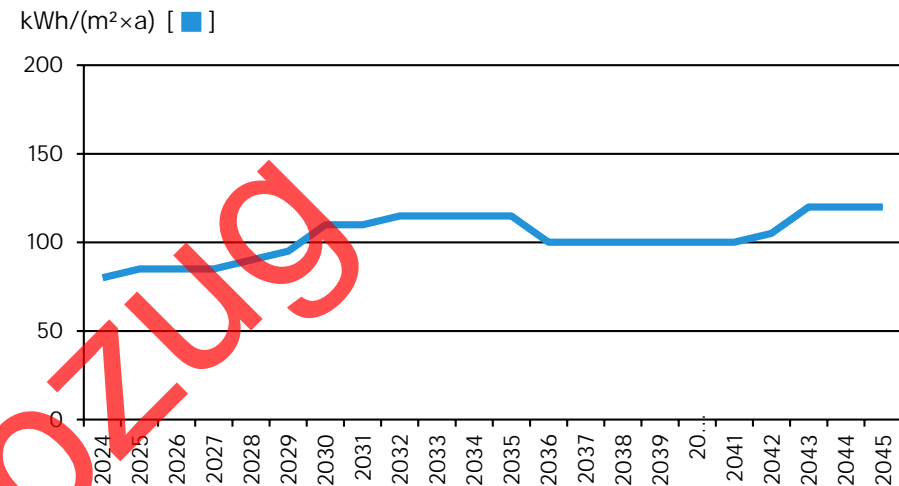


Der Kältebedarf wird sich bis ins Jahr 2045 infolge höherem Technisierungsgrad und Klimaerwärmung gegenüber heute um ca. 40 – 50 % erhöhen.

Die Erhöhung des Kältebedarfs erfolgt durch folgende Maßnahmen:

- Steigender Technisierungsgrad in den Gebäuden
- Zunahme der gekühlten Flächen (RZ, PEAC)

Abb. 56: Entwicklung spezifischer Energiebedarf Kälte in Abhängigkeit der baulichen Entwicklung auf dem Campus



Relevante Bauprojekte:

- 2035: Ausserbetriebsetzung altes ZETT
Inbetriebsetzung neues ZETT (außerhalb Betrachtungssperimeter)
- 2039 – 2042: Sanierung Bibliothek

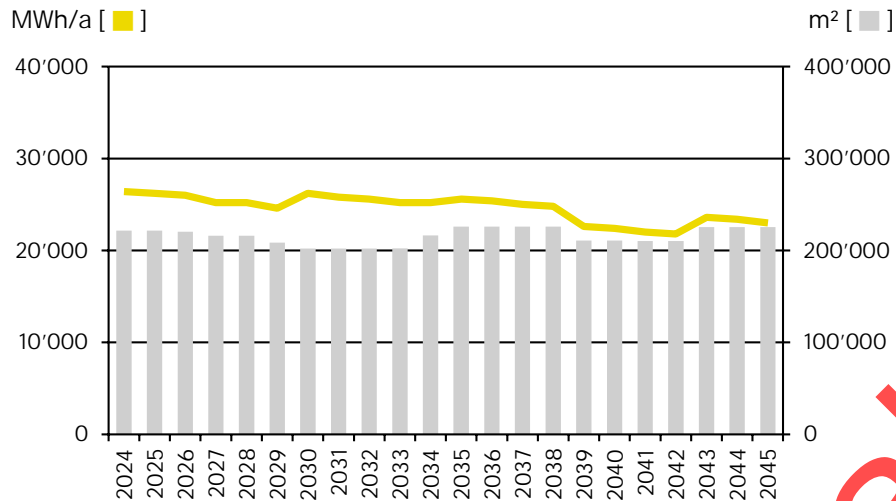
Berechnungsgrundlage bei Bedarfsabschätzung (Entwicklung 2025 – 2045):

- Erhöhung des Energiebedarfs von Neubauten und Sanierungen um 40 % gegenüber der heutigen Situation
- Jährlich 2% Anstieg beim Kältebedarf steigenden Technisierungsgrad in den Gebäuden

7.4. Strom

7.4.1. Entwicklung Energiebedarf

Abb. 57: Entwicklung Energiebedarf Strom in Abhängigkeit der baulichen Entwicklung auf dem Campus

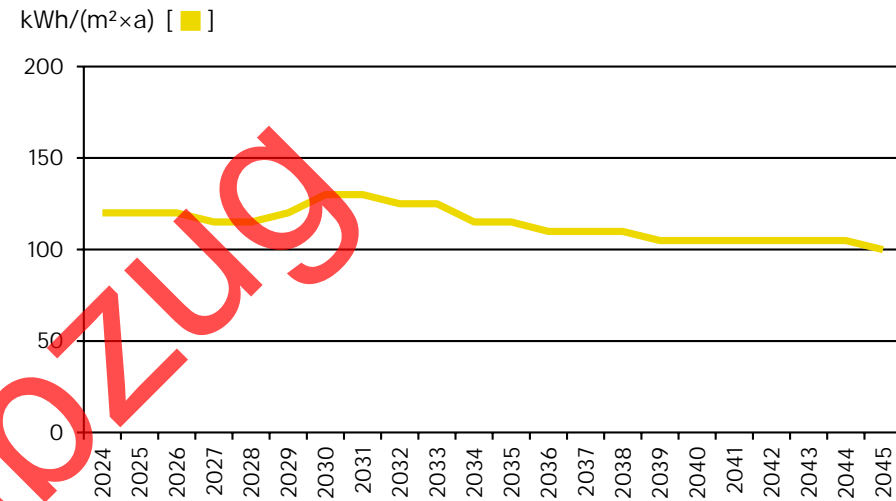


Der Strombedarf wird sich bis ins Jahr 2045 ohne Berücksichtigung einer Umstellung auf WP-Systeme gegenüber heute nicht wesentlich verändern resp. leicht sinken. Der Mehrbedarf infolge höherer Technisierung wird voraussichtlich durch effizientere Technik kompensiert werden.

Die Reduktion des Strombedarfs erfolgt durch folgende Maßnahmen:

- Optimierungen im Betrieb
- Wegfall von mit Strom versorgten Gebäuden (ZETT)

Abb. 58: Entwicklung spezifischer Energiebedarf Strom in Abhängigkeit der baulichen Entwicklung auf dem Campus



Relevante Bauprojekte:

- 2035: Ausserbetriebsetzung altes ZETT
Inbetriebsetzung neues ZETT (außerhalb Betrachtungsspektrums)
- 2039 – 2042: Sanierung Bibliothek

Berechnungsgrundlage bei Bedarfsabschätzung (Entwicklung 2025 – 2045):

- Erhöhung des Energiebedarfs von Neubauten und Sanierungen um 20 % gegenüber der heutigen Situation
- Jährlich 1 % Effizienzsteigerung beim Wärmebedarf durch Sanierungsmaßnahmen / Betriebsoptimierungen
- Keine Berücksichtigung des Strombedarfs allfälliger Wärmepumpen
- Keine Berücksichtigung des Strombedarfs für den Betrieb von Wärmepumpen

7.5. Eigenstromerzeugung mit Photovoltaik-Anlagen

7.5.1. Übersicht Photovoltaik-Module

Abb. 59: Übersicht Photovoltaik-Module



Monokristallin

Modulwirkungsgrad: 19 - 23 %

Vorteile:

- Hoher Wirkungsgrad
- Kostengünstige Standardmodule (langjähriger Erfahrung)
- Geringer Flächenbedarf
pro kW_{peak} ca. 4.5 – 5.5 m²

Nachteile:

- Erhöhter Energieverbrauch für die Wafer-Produktion
- Ästhetik



Polykristallin

Modulwirkungsgrad: 12 - 16 %

Vorteile:

- Mittlerer Energieverbrauch für die Wafer-Produktion
- Kostengünstige Standardmodule (langjährige Erfahrung)
- Mittlerer Flächenbedarf
pro kW_{peak} ca. 6.5 - 8.5 m²

Nachteile:

- Geringerer Modulwirkungsgrad als bei monokristallinen Zellen
- Ästhetik (leicht bessere Ästhetik als bei monokristallinen Modulen, da vierkantige Wafer)



Amorph CIGS

(Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid)

Modulwirkungsgrad: 12 – 15 %

Vorteile:

- Geringerer Energieverbrauch für die Zellen-Produktion
- Verbesserte Ästhetik, da flächiges Erscheinungsbild
- Variable Größen möglich
- Gute Leistung auch bei diffusem Licht
- Mittlerer Flächenbedarf
pro kW_{peak} ca. 6.8 m²

Nachteile:

- Höhere Kosten
- Wenige Hersteller
- Keine langjährige Erfahrung
- Entsorgung

7.5.2. Umgesetzte / geplante PV-Anlagen

Tab. 8: Geplante Photovoltaik-Anlagen auf dem Campus der HHU [Quelle: HHU / Stand: 10.2024]

Nr.	Gebäude	Gebäude-Nr.	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
01	Dienstwohnungen [~ 90 kW _{peak}]	21. 44 / 45 / 46 / 47 / 48 / 49																						
02	23er-Bereich Nord [~ 175 kW _{peak}]	23. 11 / 12																						
03	23er-Bereich Süd [~ 110 kW _{peak}]	23. 21																						
04	25er-Bereich Nord [~ 250 kW _{peak}]	25. 22 / 32																						
05	25er-Bereich Süd [~ 70 kW _{peak}]	25. 33																						
06	26er-Bereich Süd [~ 65 kW _{peak}]	26. 41																						
07	Parkhaus P1 [~ 530 kW _{peak}]	27. 01																						
08	Unisee [~ 950 kW _{peak}]	28. 05																						

Sonstiges

■ Installation der Photovoltaik-Anlage

Tab. 9: Übersicht Energie- und Leistungsbedarf Photovoltaik-Anlagen

Nr.	Anlage	Gebäude-Nr.	Leistung	Ertrag
01	Dienstwohnungen	21.44 – 49	~ 90 kW _{peak}	~ 72 MWh/a
02	23er-Bereich Nord	23.11 – 12	~ 175 kW _{peak}	~ 140 MWh/a
03	23er-Bereich Süd	23.21	~ 110 kW _{peak}	~ 88 MWh/a
04	25er-Bereich Nord	25.22 / 32	~ 250 kW _{peak}	~ 200 MWh/a
05	25er-Bereich Süd	25.33	~ 70 kW _{peak}	~ 56 MWh/a
06	26er-Bereich Süd	26.41	~ 65 kW _{peak}	~ 52 MWh/a
07	Parkhaus P1	27.01	~ 530 kW _{peak}	~ 424 MWh/a
08	Unisee	28.05	~ 950 kW _{peak}	~ 760 MWh/a
09	Total		~ 2'240 kW _{peak}	~ 1'792 MWh/a

Ertrag: 800 kWh/kWp

→ 7 – 8 % von Strombedarf (Campus ohne 22er-Bereich)

Abb. 60: Entwicklung Peak-Leistung PV-Anlagen

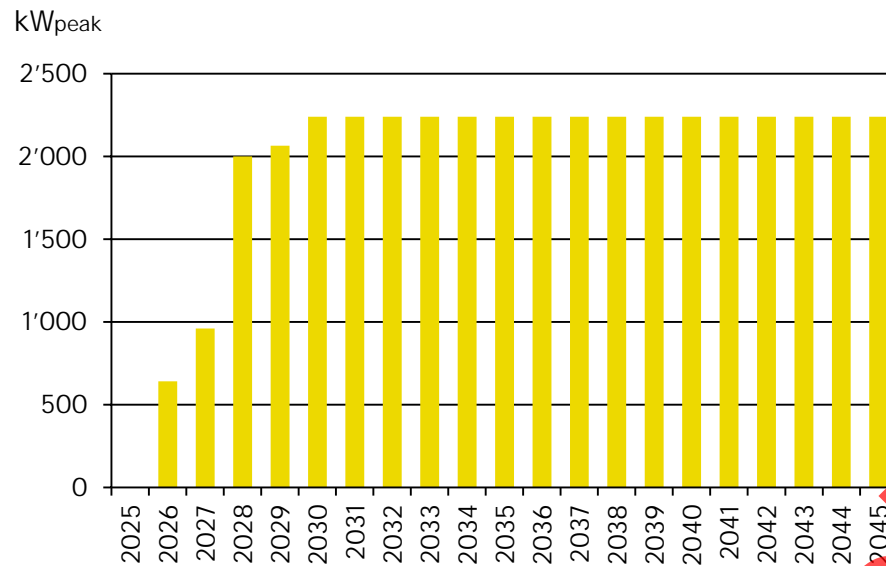
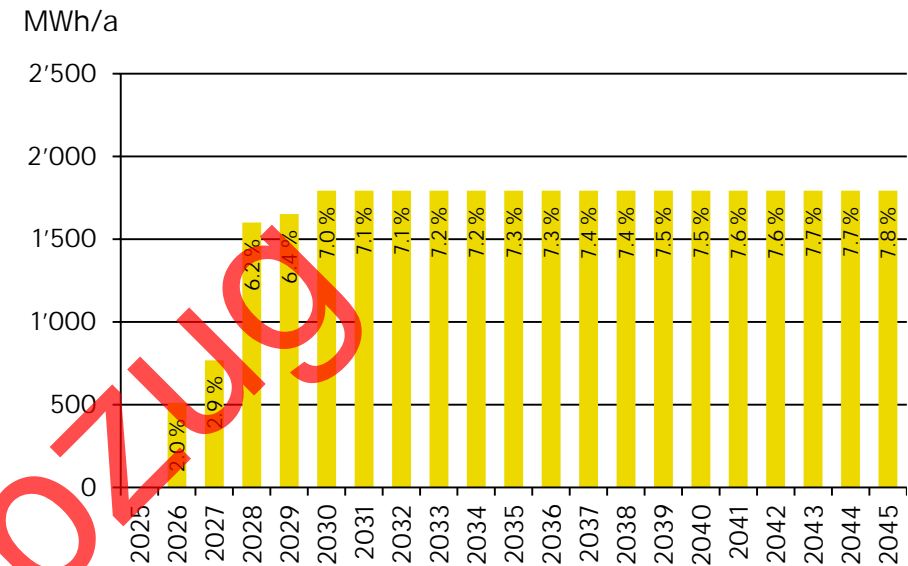


Abb. 61: Entwicklung Solarertrag PV-Anlagen (Prozentualer Anteil PV-Strom bezogen auf den zu erwartenden Gesamtbedarf)



7.5.3. Mögliches Potential weiterer Flächen für PV-Anlagen

Abb. 62: Potentialabschätzung PV-Anlagen



- Durch HHU umgesetzte / geplante PV-Anlagen
- Dachflächen für weitere PV-Anlagen
- Parkflächen für weitere PV-Anlagen (aufgeständerte PV-Module)
- Für PV-Anlagen ungeeignete Dachflächen

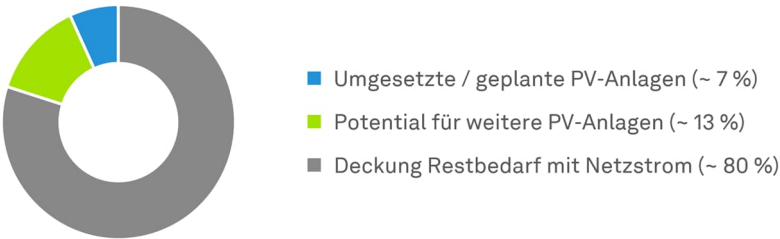
Tab. 10: Übersicht Energie- und Leistungsbedarf Photovoltaik-Anlagen (nebst bereits geplanter / umgesetzter PV-Projekte)

Nr.	Bereich	Nutzbare Fläche	PV-Fläche	Leistung	Ertrag
01	21er-Bereich	2'050 m²	1'200 m²	~ 170 kW _{peak}	~ 135 MWh/a
02	23er-Bereich	3'400 m²	2'000 m²	~ 280 kW _{peak}	~ 230 MWh/a
03	24er-Bereich	5'600 m²	3'400 m²	~ 480 kW _{peak}	~ 380 MWh/a
04	25er-Bereich	8'450 m²	5'000 m²	~ 710 kW _{peak}	~ 570 MWh/a
05	26er-Bereich	13'450 m²	8'100 m²	~ 1'150 kW _{peak}	~ 925 MWh/a
06	28er-Bereich	4'350 m²	2'600 m²	~ 370 kW _{peak}	~ 300 MWh/a
07	Parking 1	7'000 m²	4'200 m²	~ 600 kW _{peak}	~ 480 MWh/a
08	Parking 2	7'400 m²	4'400 m²	~ 630 kW _{peak}	~ 500 MWh/a
09	Total	51'700 m²	30'900 m²	~ 4'390 kW _{peak}	~ 3'520 MWh/a

Belegungsdichte: 60 % / Flächenbedarf: 7 m²/ kW_{peak} / Ertrag: 800 kWh/kWp

→ ~13 % von Strombedarf (Campus ohne 22er-Bereich)

Abb. 63: Aufteilung mögliche Deckung Strombedarf¹²



¹² Keine Berücksichtigung des Strombedarfs für den Betrieb von Wärmepumpen







7.6. Energiequellen / -träger am Standort für Wärme / Kälte

Abb. 64: Energiequellen / -träger vor Ort – Wärme / Kälte

Energiequelle / -träger	Hackschnitzel	Pellets	Fernwärme	Wasserstoff	Biogas / Erdgas	Heizöl
						
CO ₂ -Äquivalent [kg/MWh] ¹	26	29	189	25 (grün) / 280 (grau)	124 / 250	326
Anmerkungen	<ul style="list-style-type: none"> – Nachhaltiger regionaler Energieträger – In ausreichender Menge im Umkreis von 100 km lieferbar – Geruchsemissionen möglich – Hoher Platzbedarf für Wärmeerzeugung 	<ul style="list-style-type: none"> – Nachhaltiger regionaler Energieträger – In ausreichender Menge im Umkreis von 100 km lieferbar – Geruchsemissionen möglich – Hoher Platzbedarf für Wärmeerzeugung – Bei grösseren Anlagen bessere Eignung von Hackschnitzeln anstelle von Pellets 	<ul style="list-style-type: none"> – Bereits vorhandene Fernwärmerversorgung der Gebäude auf dem Campus der HHU – Derzeit keine CO₂-neutrale Wärmeversorgung mittels Fernwärme – Zeithorizont bis zur Erreichung einer CO₂-Neutralität der Fernwärme in Düsseldorf unklar 	<ul style="list-style-type: none"> – Bezug von Wasserstoff derzeit nur beschränkt möglich – Treibhausgasemissionen vom jeweiligen Erzeugungsprozess (Strom) abhängig – Zukünftige Entwicklung hinsichtlich der Liefermöglichkeit von grünem Wasserstoff in ausreichender Menge ungewiss 	<ul style="list-style-type: none"> – Erdgas: Nicht erneuerbarer Energieträger – Bezug von Biogas (in geringen Mengen) – Vergleichsweise hohe Treibhausgasemissionen von Biogas 	<ul style="list-style-type: none"> – Nicht erneuerbarer Energieträger
Verfügbarkeit / Ausführbarkeit	✓	—	✓	—	[✓]	[✓]





¹ CO₂-Äquivalente basierend auf GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme) Version 4.95 / Ökobilanzdaten im Baubereich KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022² Mit Strommix DE³ Mit Ökostrom [Stromprodukt-Mix aus erneuerbaren Energien]

Abb. 64: Energiequellen / -träger vor Ort – Wärme / Kälte [Forts.]

Energiequelle / -träger	Solarthermie	Hybrid-Module	Geothermie	Grundwasser	Flusswasser	Aussenluft
						
CO ₂ -Äquivalent [kg/MWh] ¹	25	25	127 ² / 2.6 ³ [COP: 3.5]	111 ² / 2.3 ³ [COP: 4.0]	127 ² / 2.6 ³ [COP: 3.5]	148 ² / 3.0 ³ [COP: 3.0]
Anmerkungen	<ul style="list-style-type: none"> – Nutzung der Dachflächen vorzugsweise für Photovoltaik-Anlagen – Ggf. zur Regeneration des Erdreichs bei Erd-Wärmesonden erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> – Gleichzeitige Wärme- und Stromproduktion – Ggf. zur Regeneration des Erdreichs bei Erd-Wärmesonden erforderlich – Hohe Investitionen 	<ul style="list-style-type: none"> – Gemäss Hydrogeologen Nutzung von Erdwärme theoretisch möglich – Lages des Campus in Wasserschutzzone III und IIIA – Klärung Bewilligungsfähigkeit mit Behörden hinsichtlich Nutzung von Erdwärme für Heiz- und Kühlzwecke erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> – Gemäss Hydrogeologen Nutzung von Grundwasser theoretisch möglich – Lages des Campus in Wasserschutzzone III und IIIA – Klärung Bewilligungsfähigkeit mit Behörden hinsichtlich Nutzung von Grundwasser für Heiz- und Kühlzwecke erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> – Nutzung von Rheinwasser für Heiz- und Kühlzwecke theoretisch möglich – Noch kein derartiges Projekt im Raum Düsseldorf realisiert – Aufwendiges Bewilligungsverfahren – Aufwändiger Unterhalt infolge Wandermuscheln 	<ul style="list-style-type: none"> – Aussenluft als Energiequelle nutzbar
Verfügbarkeit / Ausführbarkeit	✓	✓	–	–	–	✓

¹ CO₂-Äquivalente basierend auf GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme) Version 4.95 / Ökobilanzdaten im Baubereich KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022² Mit Strommix DE³ Mit Ökostrom [Stromprodukt-Mix aus erneuerbaren Energien]

Abb. 64: Energiequellen / -träger vor Ort – Wärme / Kälte [Forts.]

Energiequelle / -träger	Abwasser (FEKA-Anl.)	Abwärme IT	Abwärme GWK	Abwärme KM
				
CO ₂ -Äquivalent [kg/MWh] ¹	111 ² / 2.3 ³ [COP: 4.0]	111 ² / 2.3 ³ [COP: 4.0]	297 ² / 6 ³ [COP: 1.5]	111 ² / 2.3 ³ [COP: 4.0]
Anmerkungen	<ul style="list-style-type: none"> – Möglichkeit für Abwärmennutzung (FEKA-Anlage) aus Sammelabwasser vorhanden – Abwassermenge tendenziell zu tief für wirtschaftlichen Betrieb 	<ul style="list-style-type: none"> – Nutzung der IT-Abwärme für Heizzwecke möglich 	<ul style="list-style-type: none"> – Nutzung der bei der gewerblichen Kälte anfallenden Abwärme zur Vorwärmung des Brauchwarmwassers möglich 	<ul style="list-style-type: none"> – Nutzung der bei der Kälte anfallenden Abwärme für Heizzwecke mit Booster-WP
Verfügbarkeit / Ausführbarkeit	—	✓	✓ [falls vorhanden]	✓

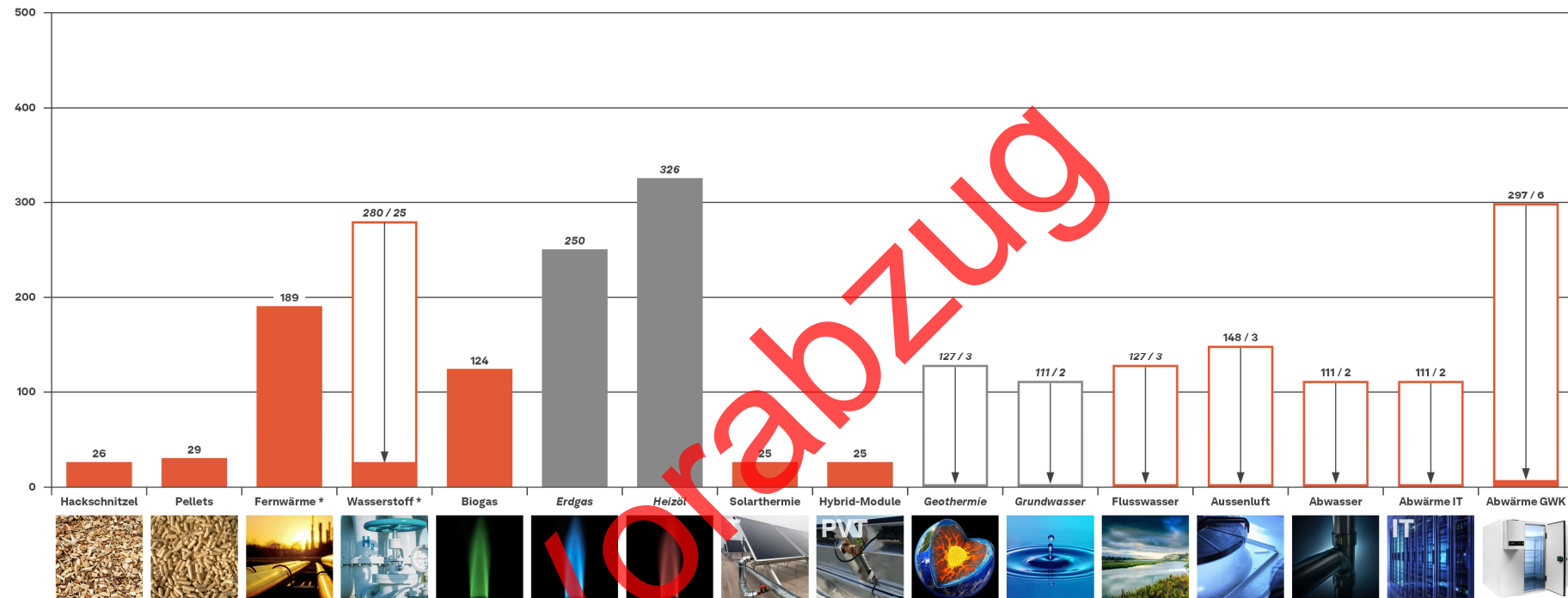
¹ CO₂-Äquivalente basierend auf GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme) Version 4.95 / Ökobilanzdaten im Baubereich KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022

² Mit Strommix DE

³ Mit Ökostrom [Stromprodukt-Mix aus erneuerbaren Energien]

Abb. 65: Übersicht Energiequellen / -träger vor Ort – Wärme / Kälte

kg/MWh



■ Treibhausgasemissionen Energieträger / -quellen Wärme / Kälte – Wärmepumpenvarianten mit Ökostrom

□ Treibhausgasemissionen Energieträger / -quellen Wärme / Kälte – Wärmepumpenvarianten mit Strommix DE

■ Informativ / nicht umsetzbar – Treibhausgasemissionen Energieträger / -quellen Wärme / Kälte – Wärmepumpenvarianten mit Ökostrom

□ Informativ / nicht umsetzbar – Treibhausgasemissionen Energieträger / -quellen Wärme / Kälte – Wärmepumpenvarianten mit Strommix DE

* Berechneter Wert

7.7. Energiequellen / -träger am Standort für Strom

Abb. 66: Energiequellen / -träger vor Ort – Strom







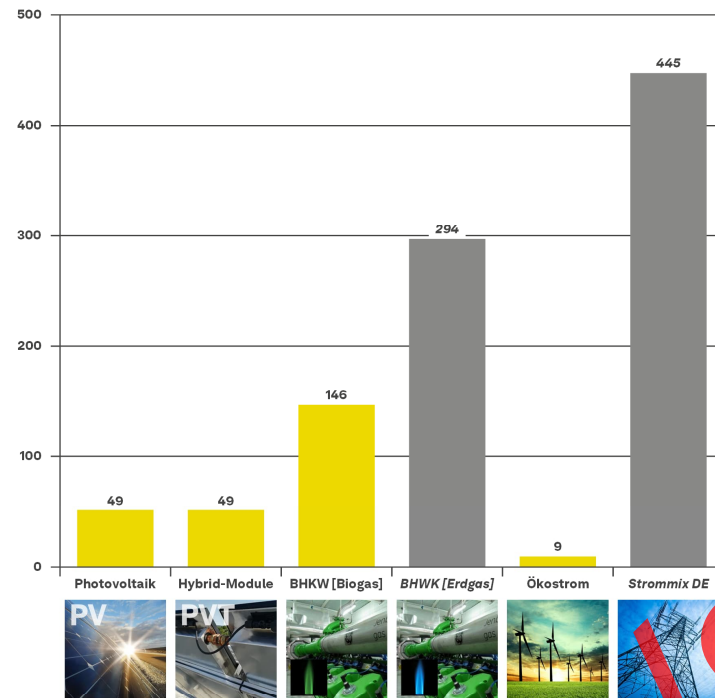
Energiequelle / -träger	Photovoltaik [vor Ort]	Hybrid-Module	BHKW [Biogas]	BHKW [Erdgas]	Ökostrom	Strommix DE
						
CO ₂ -Äquivalent [kg/MWh] ¹	49	49	146 [η: 0.85]	294 [η: 0.85]	9	445
Anmerkungen	<ul style="list-style-type: none"> – Strom aus erneuerbarer Energie – Nutzung Dachflächen für grossflächige PV-Anlagen 	<ul style="list-style-type: none"> – Strom aus erneuerbarer Energie – Nutzung Dachflächen für grossflächige PV-Anlagen – Gleichzeitige Wärme- und Stromproduktion – Hohe Investitionen 	<ul style="list-style-type: none"> – Bezug von Biogas möglich – Vergleichsweise hohe Treibhausgasemissionen 	<ul style="list-style-type: none"> – Strom aus nicht erneuerbarem Energieträger 	<ul style="list-style-type: none"> – Strom zu 100 % aus erneuerbarer Energie 	<ul style="list-style-type: none"> – Strom nur teilweise aus erneuerbarer Energie
Verfügbarkeit / Ausführbarkeit	✓	✓	–	[✓]	✓	[✓]
¹ CO ₂ -Äquivalente basierend auf GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme) Version 4.95 / Ökobilanzdaten im Baubereich KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022 / Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2023						
	Eigenproduktion				Netzstrom	

Abb. 67: Übersicht Energiequellen / -träger vor Ort – Strom

kg/MWh



■ Treibhausgasemissionen Energieträger / -quellen Strom

■ Treibhausgasemissionen Energieträger / -quellen Strom

■ Informativ / nicht umsetzbar – Treibhausgasemissionen Energieträger / -quellen Strom

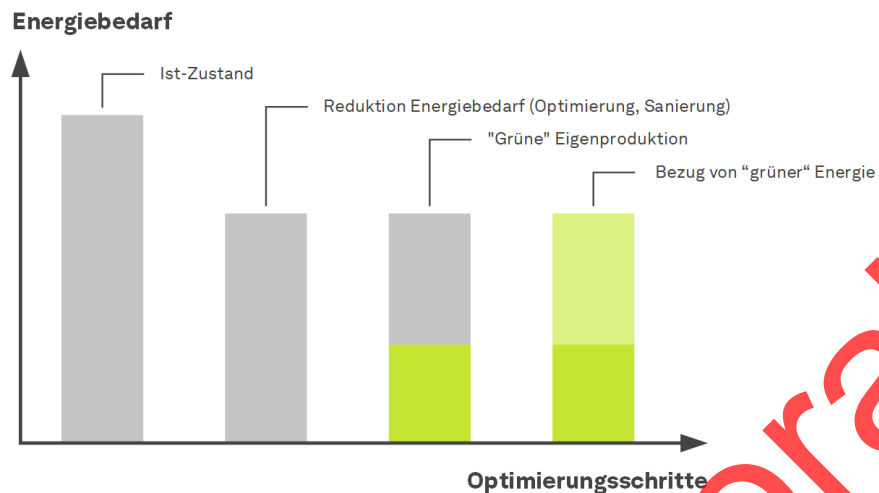
■ Informativ / nicht umsetzbar – Treibhausgasemissionen Energieträger / -quellen Strom

* Berechneter Wert

8. Maßnahmen zur Maximierung der Energieeffizienz und Minimierung der Treibhausgasemissionen

8.1. Optimierungsprozess

Abb. 68: Schematische Darstellung des Optimierungsprozesses



1. Reduktion des Energiebedarfs
 - Gute Wärmedämmung (Dach, Fenster, opake Fassade)
 - Nutzung passiver Solargewinne im Winter
 - Effiziente Lüftungstechnik mit guter Wärmerückgewinnung
 - Effiziente Beleuchtungs-, Wärme- und Kältetechnik
 - Nutzung von Abwärme aus der Kälteerzeugung für Heizzecke
2. "Grüne" Eigenproduktion
 - Deckung des Bedarfs durch "grüne" Eigenproduktion:
 - Nutzung von Abwärme (z.B.: Serverraum, Druckluft, gewerbliche Kälte)
 - Umweltwärme (z.B. Grundwasser, Geothermie, Außenluft)
 - Stromproduktion mittels Photovoltaik-Anlage
3. Bezug von "grüner" Energie
 - Bezug von Ökostrom¹³

¹³ Diese Maßnahme kann grundsätzlich auch vorgezogen werden.

8.2. Massnahmen für grössere Neu- und Umbauten

Bei grösseren Neu- und Umbaumassnahmen wird die Berücksichtigung der nachfolgenden Punkte empfohlen:

Tab. 11: Massnahmen zur Steigerung der Effizienz und Senkung des Ressourcenbedarfs

Nr.	Bereich	Massnahmen / Erläuterungen
01	Generell	<ul style="list-style-type: none"> – Weitestgehende Energiebedarfsdeckung durch erneuerbare Energie – Verzicht auf nicht erneuerbare Energieträger wie z.B. Erdgas – Einsatz von Bauteilen mit langer Lebensdauer – Konsequente Trennung von Primär-, Sekundär- und Tertiär-System zur Optimierung des Unterhalts, zur Vereinfachung bei Umbauten sowie zur kostengünstigen Erneuerung des Gebäudes entsprechend der unterschiedlichen Lebensnutzungsdauer der einzelnen Bauwerksteile
02	Bau	<ul style="list-style-type: none"> – Kompakte Bauform (idealerweise Gebäudehüllzahl zwischen 0.9 und 1.1) – Sehr gute Gebäudehülle in Bezug auf den sommerlichen und winterlichen Wärmeschutz – Weitestgehender Verzicht auf Staffelgeschosse und Loggien – Anordnung von Balkonen ausserhalb des Dämmperimeters – Intelligentes Schachtkonzept ohne Verzüge – Minimierung der unterirdischen Flächen (Möglichst geringes Aushubvolumen) – Weitestgehender Verzicht auf Abfangungen – Minimierung der für die Gebäudeerstellung erforderliche Betonmasse zur Einsparung von "grauer Energie" – Wo möglich Einsatz von Recycling-Beton – Sicherstellung der Anforderungen an das Raumklima primär durch bauliche Lösungen (Einbau gebäudetechnischer Anlagen lediglich als ergänzende Elemente)
03	Heizung	<ul style="list-style-type: none"> – Einsatz von energieeffizienten Wärmepumpen-Anlagen – Nach Möglichkeit Nutzung von IT-Abwärme für Heizzwecke – Nach Möglichkeit Nutzung der gewerblichen Kälte zur Vorwärmung des Warmwassers – Nach Möglichkeit Verzicht auf Kaltwasser in WCs der Büros, optional nachrüstbar mit elektrischen Durchlauferhitzern (keine Verwendung von Elektroboilern) – Nach Möglichkeit Einsatz von Flächenheiz- / Kühlsystemen: <ul style="list-style-type: none"> – Büros, Hörsäle usw.: TAD, Heiz- / Kühldeckensegel – Wohnungen: TAD, Bodenheizung – Betrieb der Flächenheiz- / Kühlsystemen auf tiefem Temperaturniveau im Heizfall (nahe Raumtemperatur) – Vermeidung von Überdimensionierungen (Ermittlung des Wärmeleistungsbedarfs mittels Simulationen zur korrekten Auslegung der Anlagenkomponenten)























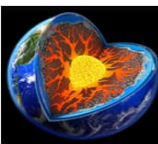









Nr.	Bereich	Maßnahmen / Erläuterungen
04	Kälte	<ul style="list-style-type: none"> – Minimierung des Glasanteils in Eckräumen – Möglichst grosse Eckräume – Einsatz von aussenliegenden Sonnenschutzsystemen mit hohem Reflexions-anteil – Nach Möglichkeit Nutzung der thermischen Speichermasse – Nach Möglichkeit keine aktive Entfeuchtung der Zuluft – Optimierung des Freecoolings – Nutzung von Erdwärmesonden und Grundwasser zur Direktkühlung (ohne Kältemaschine) – Nach Möglichkeit Einsatz effizienter Turbo-Kältemaschinen – Kühlung von Räumen ausschliesslich über wasserführende Systeme (Kühlsystemtemperaturen $\geq 18 / 21$ °C) – Nach Möglichkeit Einsatz von Flächenheiz- / Kühlsystemen: <ul style="list-style-type: none"> – Büros, Hörsäle usw.: TAD, Heiz- / Kühldeckensegel) – Wohnungen (freie Kühlung): TAD, Bodenheizung – Vermeidung von Überdimensionierungen (Ermittlung des Kälteleistungsbedarfs mittels Simulationen zur korrekten Auslegung der Anlagenkomponenten)
05	Lüftung	<ul style="list-style-type: none"> – Belüftung Büros / Gewerbe: <ul style="list-style-type: none"> – Lüftungsanlagen mit effizienten Wärme- und Feuchterückgewinnungs-Systemen: – Enthalpie-Tauscher: Rückwärmzahl > 80 % / Rückfeuchtezahl > 60 % – Sorbtions-Rotor: Rückwärmzahl > 80 % / Rückfeuchtezahl > 70 % → Im Falle von Rotoren sind geeignete Massnahmen vorzusehen, um eine Übertragung von Viren, Keimen, Sporen oder Bakterien in die Zuluft zu unterbinden. – Aussenzonen mit Möglichkeit der direkten Fensterlüftung – Zonenweise, bedarfsabhängige Regelung des Luftvolumenstroms (CO₂ in Abluft) – Nach Möglichkeit keine Befeuchtung der Zuluft (Leerteil im Lüftungsgerät für adiabate Befeuchtung vorsehen) – Nach Möglichkeit Verzicht aktive Entfeuchtung – Belüftung Wohnungen: <ul style="list-style-type: none"> – Bedarfsabhängig (Feuchtigkeit, Präsenz) geregelte ABL-Anlagen mit freier Nachströmung oder ggf. – ZUL-/ABL-Anlage mit WRG (mit hohem Wirkungsgrad) – Kurze Erschliessungswege – Tiefe Druckverluste von Komponenten und Verteilnetz – Gute Zugänglichkeit

Nr.	Bereich	Maßnahmen / Erläuterungen
06	Sanitär	<ul style="list-style-type: none"> – Einsatz von wassersparsamen Sanitärkomponenten – Einsatz von energie- und wassersparenden Apparaten (Waschmaschinen, Geschirrwashmaschinen usw.) – Prüfung von wasserlosen Urinalen für Büros, Hörsäle usw. – Prüfung von System zur Wärmerückgewinnung aus anfallendem Abwasser wie Abwasser-Wärmepumpen – Prüfung einer Regenwassernutzung z.B. für WC-Spülung, Aussenbewässerung – Prüfung einer Grauwassernutzung z.B. für WC-Spülung, Aussenbewässerung
07	Elektro	<ul style="list-style-type: none"> – Einsatz von LED-Beleuchtung (bei Bedarf mit Präsenzsteuerung und Tageslichtregelung) – Helle Oberflächen (insbesondere auch in Fluren, Treppenhäusern, Garagen etc.) – Einsatz von Elektrokomponenten der höchsten Effizienzklasse – Grossflächige Photovoltaik-Anlage auf Dachflächen und ggf. in Fassaden Ziel (Hoher Anteil an Eigenstromversorgung) – Minimierung von Dachaufbauten (z.B. Liftüberfahrten usw.) zur Reduktion der Verschattung von PV-Modulen
08	Mobilität	<ul style="list-style-type: none"> – Realisierung attraktiver Stellplätze für Fahrräder – Realisierung von Stellplätzen für E-Fahrräder, E-Scooter, E-Roller usw. mit Ladestationen – Realisierung von Stellplätzen für E-Fahrzeuge mit Ladestationen

9. Mögliche Varianten einer zukünftigen nachhaltigen Energieversorgung

9.1. Übersicht

Abb. 69: Mögliche Energiekonzeptvarianten zur zukünftigen Wärme- und Kälteversorgung auf dem Campus der HHU¹⁴

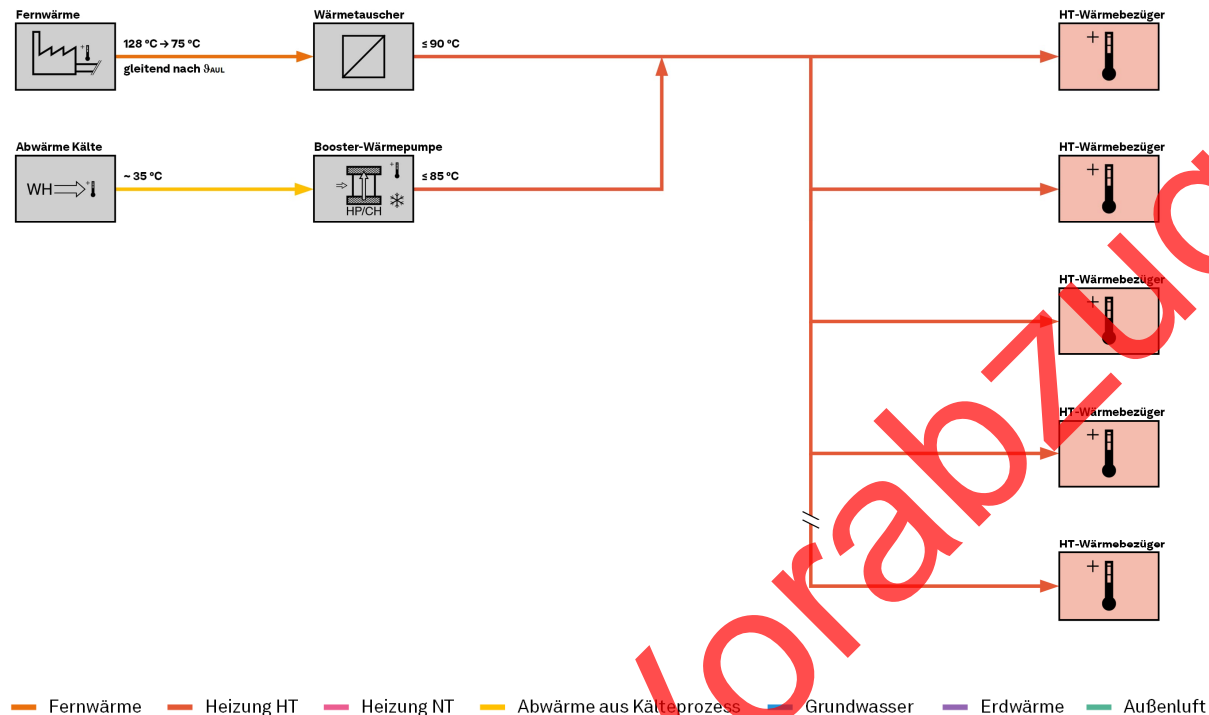
Nr.	Bezeichnung	Wärme		Kälte		Strom		Erläuterungen	
00	Variante 00 (Bestand)	Fernwärme 		KM (best.) 	(Freecooling) 	Ökostrom 	Photovoltaik 	Wärmeversorgung über Fernwärme Kälteversorgung über luftgekühlte Kältemaschinen	
01	Variante 01	Fernwärme 	Booster-WP 	KM (best.) 	(Freecooling) 	Ökostrom 	Photovoltaik 	Wärmeversorgung über Fernwärme und Booster-WPs (AWN Kälte) Kälteversorgung über luftgekühlte Kältemaschinen	
02	Variante 02	Fernwärme 	Booster-WP 	WP (GW) 	KM (best.) 	Freecooling 	Ökostrom 	Photovoltaik 	Wärmeversorgung über Fernwärme, Booster-WPs (AWN Kälte) und Grundwasser-WPs Kälteversorgung über luftgekühlte Kältemaschinen und Grundwasser
03	Variante 03	Fernwärme 	Booster-WP 	WP (EWS) 	KM (best.) 	Freecooling 	Ökostrom 	Photovoltaik 	Wärmeversorgung über Fernwärme, Booster-WPs (AWN Kälte) und Erdsonden-WPs Kälteversorgung über luftgekühlte Kältemaschinen und EWS
04	Variante 04	Fernwärme 	Booster-WP 	Rev. WP/KM 	KM (best.) 	Rev. WP/KM 	Ökostrom 	Photovoltaik 	Wärmeversorgung über Fernwärme, Booster-WPs (AWN Kälte) und Aussenluft-WP/KM Kälteversorgung über luftgekühlte Kältemaschinen und AUL-WP/KM

¹⁴ Anmerkung zur Booster-Wärmepumpe: Ein durch die Booster-Wärmepumpe erzeugter Wärmeüberschuss könnte – vorbehaltlich einer vertraglichen Anpassung und Rücksprache mit den SWD – potenziell in das Fernwärmenetz zurückgeführt werden. Dies gilt grundsätzlich auch für alle vier Varianten und sollte im weiteren Verlauf nochmals im Detail geprüft werden.

9.2. Variante 01

9.2.1. Übersichtsschema

Abb. 70: Übersichtsschema Variante 01



Beschreibung

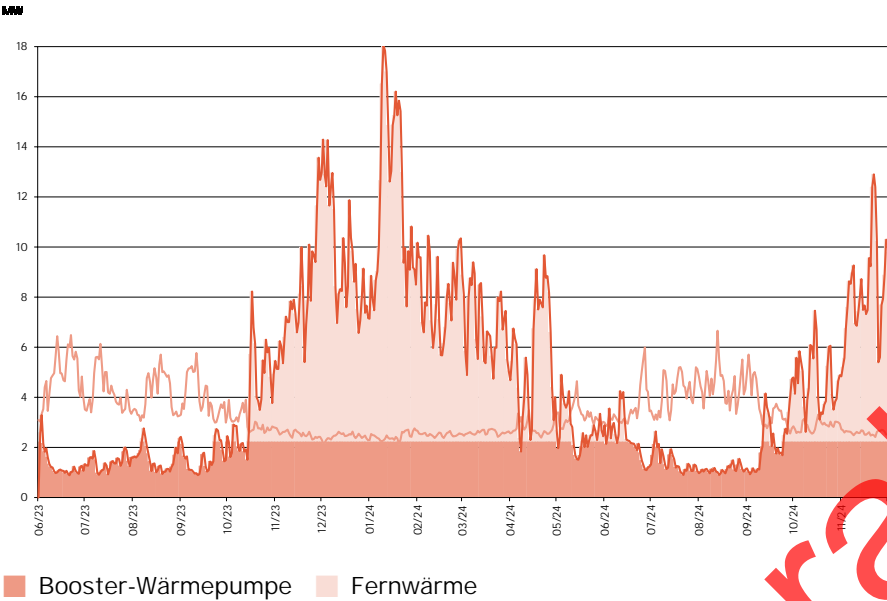
Die Wärmeversorgung erfolgt in erster Priorität über das Fernwärmenetz der Stadtwerke Düsseldorf. Im Rahmen des geplanten Einbaus eines Wärmetauschers auf dem Campus der HHU (Systemtrennung zwischen Fernwärmenetz und Verteilnetz HHU) soll das sekundärseitige Temperaturniveau (Verteilnetz HHU) gegenüber der heutigen Situation gesenkt werden.

Der Campus der HHU benötigt ganzjährig Kälte. Die anfallende Abwärme aus dem Kälteprozess soll für Heizzwecke genutzt werden. Mit einer Booster-Wärmepumpe wird das heizungsseitige Temperaturniveau angehoben, so dass eine Einspeisung in das Verteilnetz (HT) der HHU ermöglicht werden kann.

Das gesamte Verteilnetz der HHU wird auf hohem Temperaturniveau betrieben.

9.2.2. Deckung Wärme- / Kältebedarf

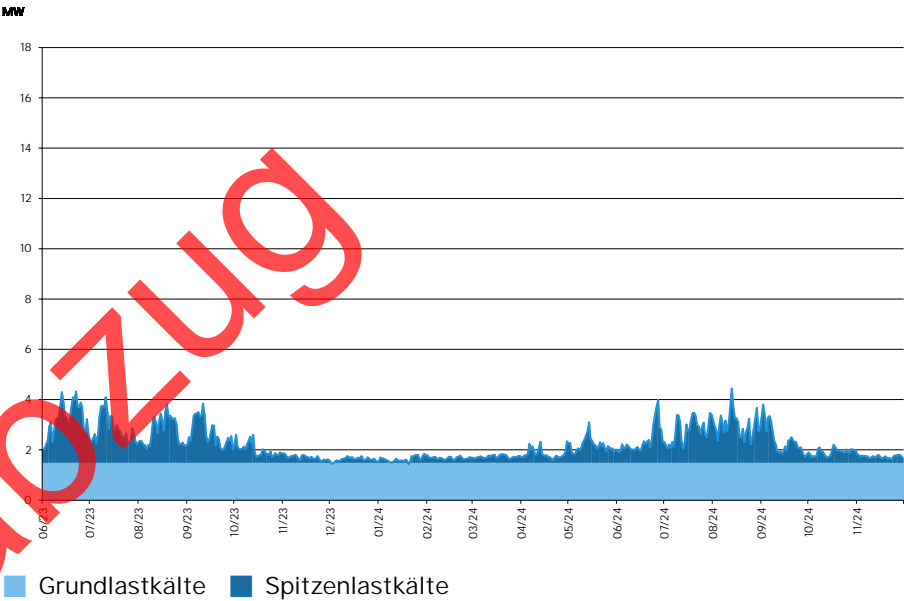
Abb. 71: Deckung Wärmebedarf Variante 01 - 2026



Deckungsanteil:

– Booster-WP	2'250 kW	17'700 MWh/a	37 %
– Fernwärme		29'900 MWh/a	63 %

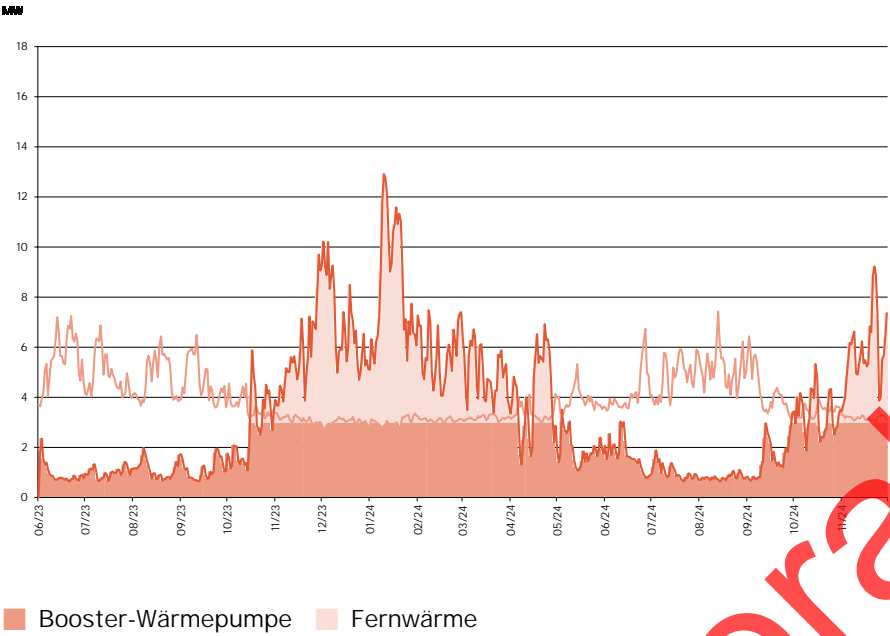
Abb. 72: Deckung Kältebedarf Variante 01- 2026



Deckungsanteil:

– Grundlastkälte	1'500 kW	13'200 MWh/a	72 %
– Spitzenlastkälte		5'000 MWh/a	28 %

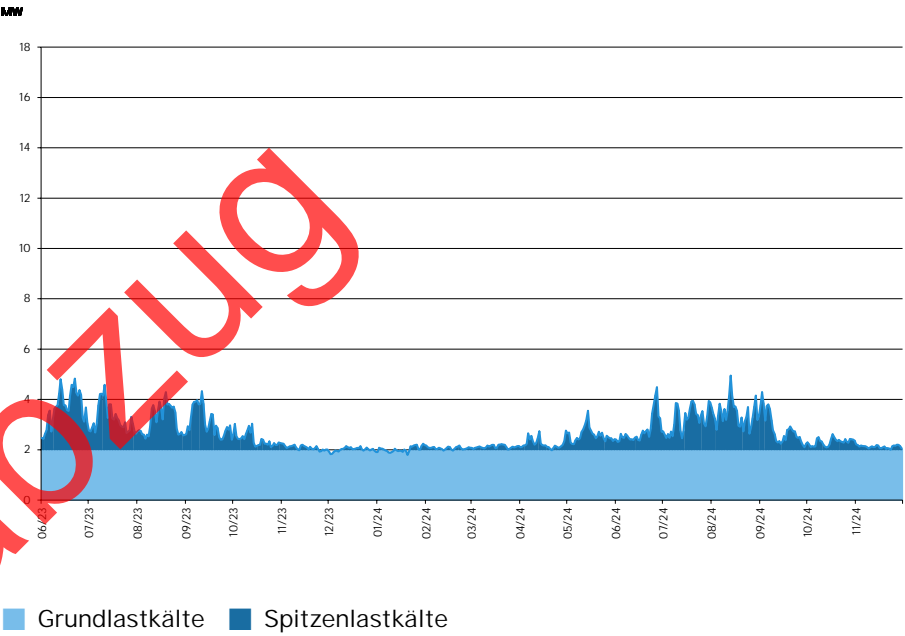
Abb. 73: Deckung Wärmebedarf Variante 01 - 2036



Deckungsanteil:

– Booster-WP	3'000 kW	20'000 MWh/a	59 %
– Fernwärme		14'000 MWh/a	41 %

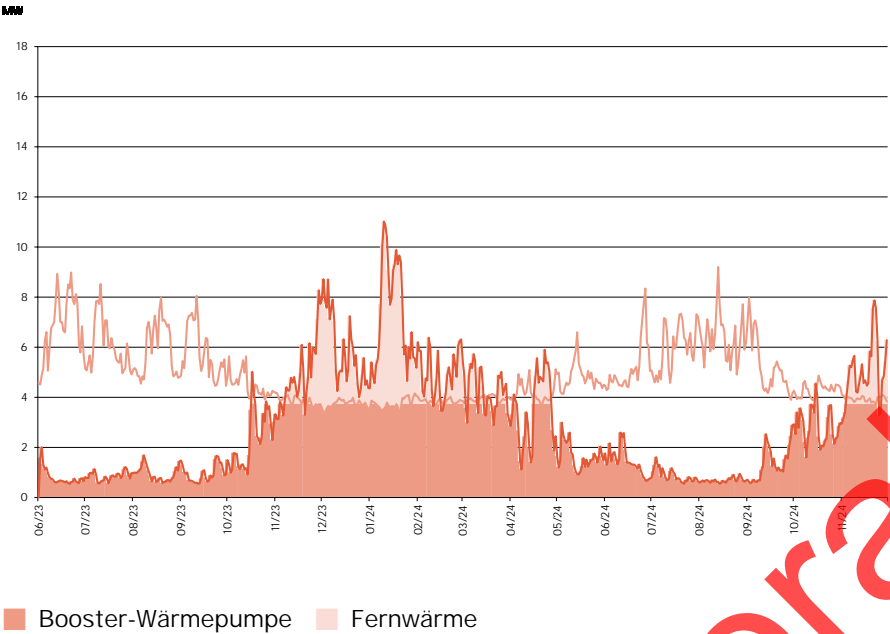
Abb. 74: Deckung Kältebedarf Variante 01 - 2036



Deckungsanteil:

– Grundlastkälte	2'000 kW	17'500 MWh/a	80 %
– Spitzenlastkälte		4'300 MWh/a	20 %

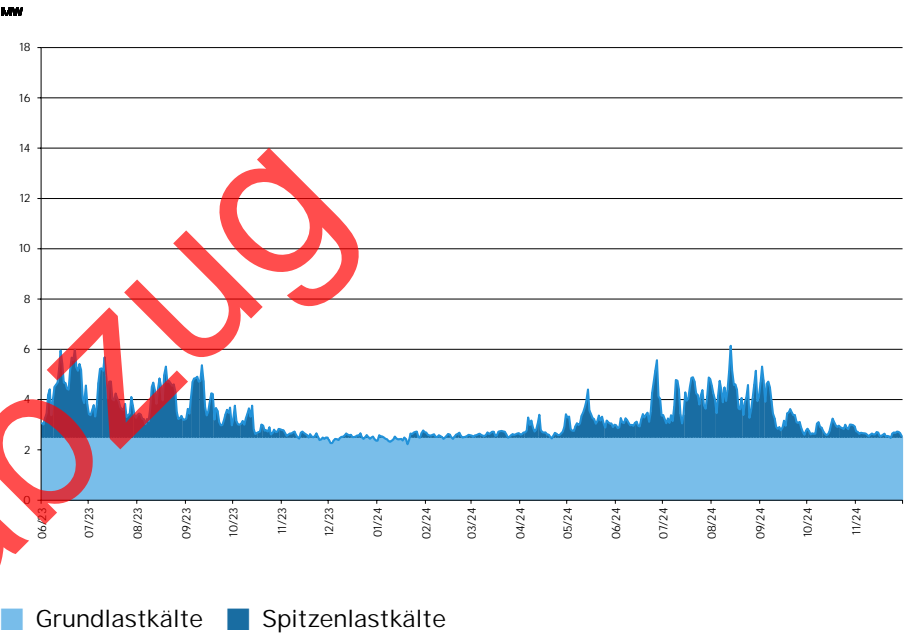
Abb. 75: Deckung Wärmebedarf Variante 01 - 2046



Deckungsanteil:

– Booster-WP	3'750 kW	22'000 MWh/a	76 %
– Fernwärme		7'000 MWh/a	24 %

Abb. 76: Deckung Kältebedarf Variante 01 - 2046



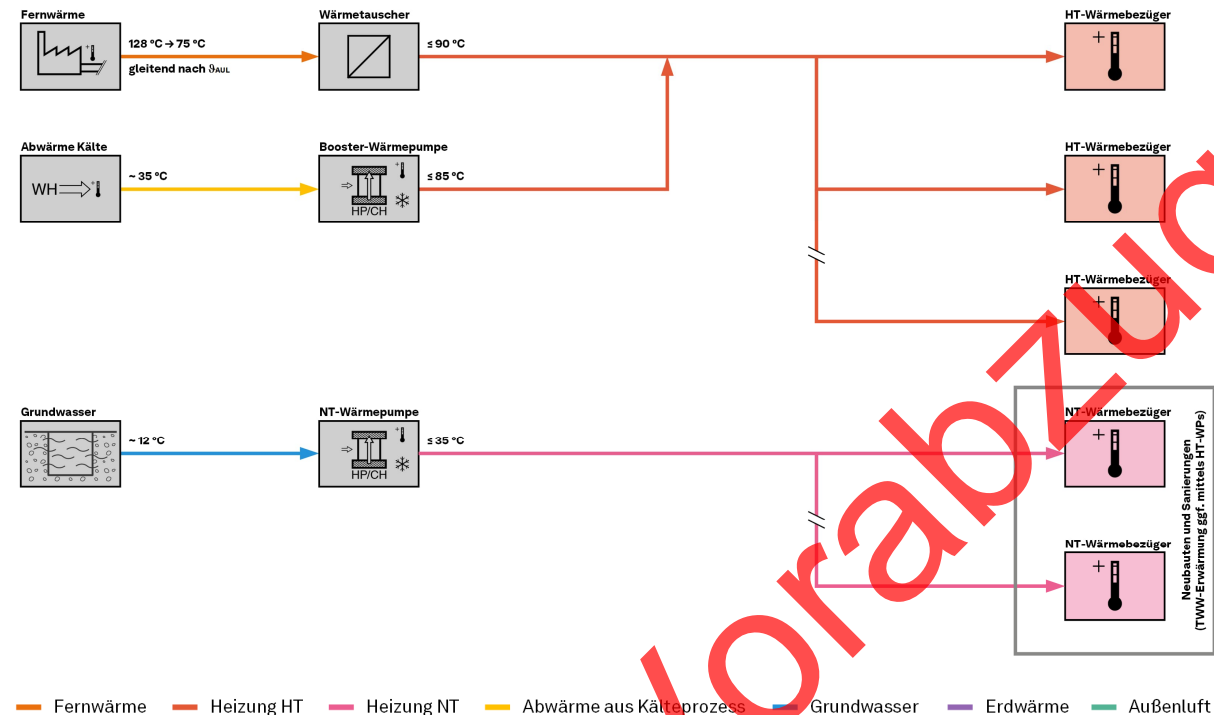
Deckungsanteil:

– Grundlastkälte	2'500 kW	21'900 MWh/a	81 %
– Spitzenlastkälte		5'100 MWh/a	19 %

9.3. Variante 02

9.3.1. Übersichtsschema

Abb. 77: Übersichtsschema Variante 02



Beschreibung

Die Wärmeversorgung erfolgt u.a. über das Fernwärmenetz der Stadtwerke Düsseldorf. Im Rahmen des geplanten Einbaus eines Wärmetauschers auf dem Campus der HHU (Systemtrennung zwischen Fernwärmenetz und Verteilnetz HHU) soll das sekundärseitige Temperaturniveau (Verteilnetz HHU) gegenüber der heutigen Situation gesenkt werden.

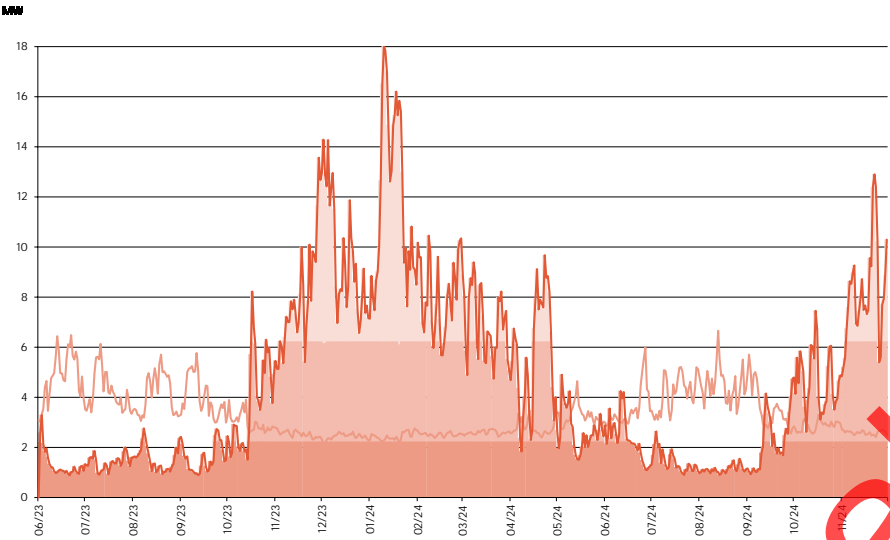
Der Campus der HHU benötigt ganzjährig Kälte. Die anfallende Abwärme aus dem Kälteprozess soll für Heizzwecke genutzt werden. Mit einer Booster-Wärmepumpe wird das heizungsseitige Temperaturniveau angehoben, so dass eine Einspeisung in das Verteilnetz (HT) der HHU ermöglicht werden kann.

Für Neubauten und sanierte Gebäude soll bei dieser Variante als Energiequelle Grundwasser genutzt werden. Die Neubauten und sanierten Gebäude sollen so geplant und realisiert werden, dass diese mit Wärme auf tiefem Temperaturniveau (NT) versorgt werden können. Die Wärmeerzeugung erfolgt für diese zentral mit NT-Wärmepumpen.

Bestandsgebäude werden ab dem bestehenden Verteilnetz der HHU mit Wärme auf hohem Temperaturniveau versorgt.

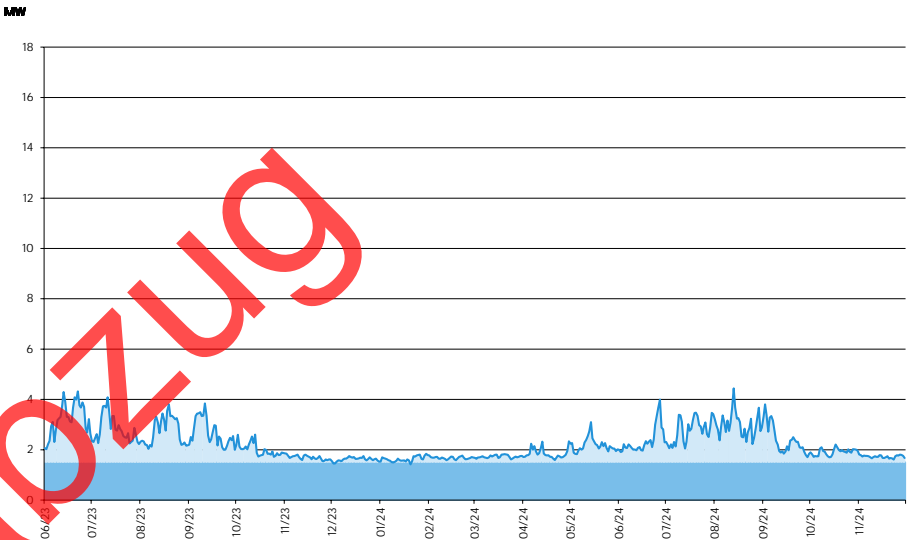
9.3.2. Deckung Wärme- / Kältebedarf

Abb. 78: Deckung Wärmebedarf Variante 02 - 2026



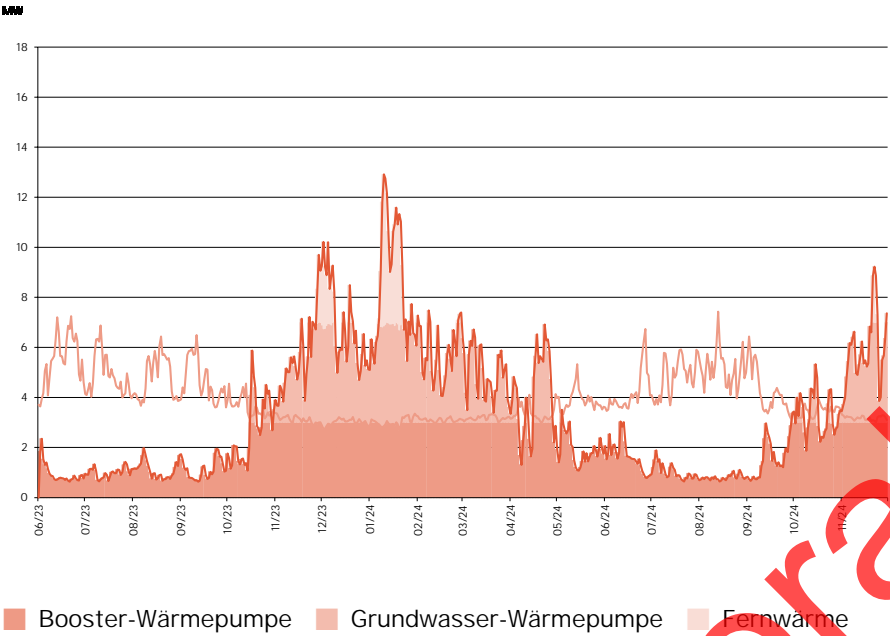
Deckungsanteil:			
– Booster-WP	2'250 kW	17'700 MWh/a	37 %
– Grundwasser-WP	4'000 kW	19'000 MWh/a	40 %
– Fernwärme		10'900 MWh/a	23 %

Abb. 79: Deckung Kältebedarf Variante 02 - 2026



Deckungsanteil:			
– Grundlastkälte	1'500 kW	13'200 MWh/a	73 %
– Grundwasserkühlung	3'000 kW	5'000 MWh/a	27 %
– Spitzenlastkälte		0 MWh/a	0 %

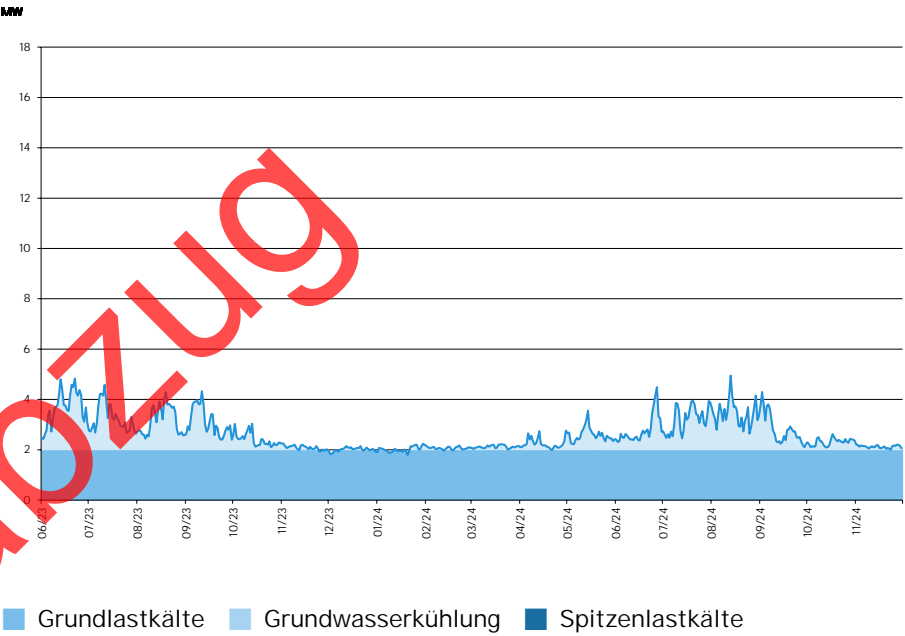
Abb. 80: Deckung Wärmebedarf Variante 02 - 2036



Deckungsanteil:

– Booster-WP	3'000 kW	20'000 MWh/a	59 %
– Grundwasser-WP	4'000 kW	11'800 MWh/a	35 %
– Fernwärme		2'200 MWh/a	6 %

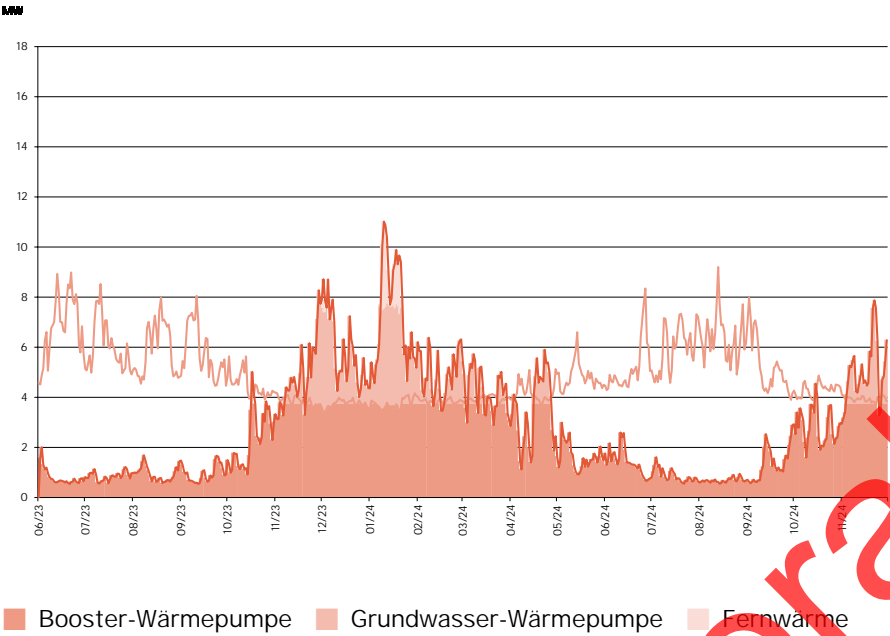
Abb. 81: Deckung Kältebedarf Variante 02 - 2036



Deckungsanteil:

– Grundlastkälte	2'000 kW	17'500 MWh/a	80%
– Grundwasserkühlung	3'000 kW	4'300 MWh/a	20%
– Spitzenlastkälte		0 MWh/a	0%

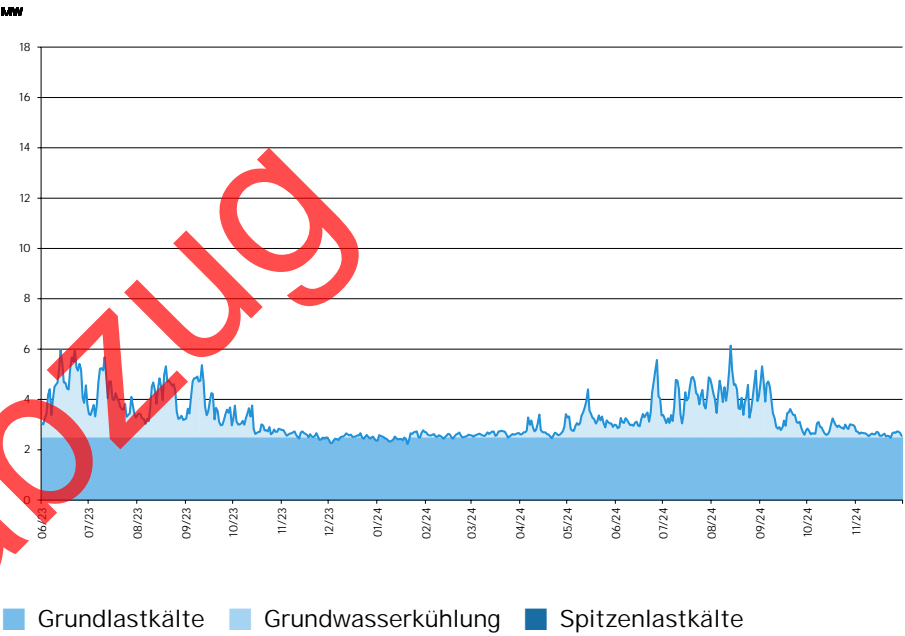
Abb. 82: Deckung Wärmebedarf Variante 02 - 2046



Deckungsanteil:

– Booster-WP	3'750 kW	22'000 MWh/a	76 %
– Grundwasser-WP	4'000 kW	6'300 MWh/a	22 %
– Fernwärme		700 MWh/a	2 %

Abb. 83: Deckung Kältebedarf Variante 02 - 2046

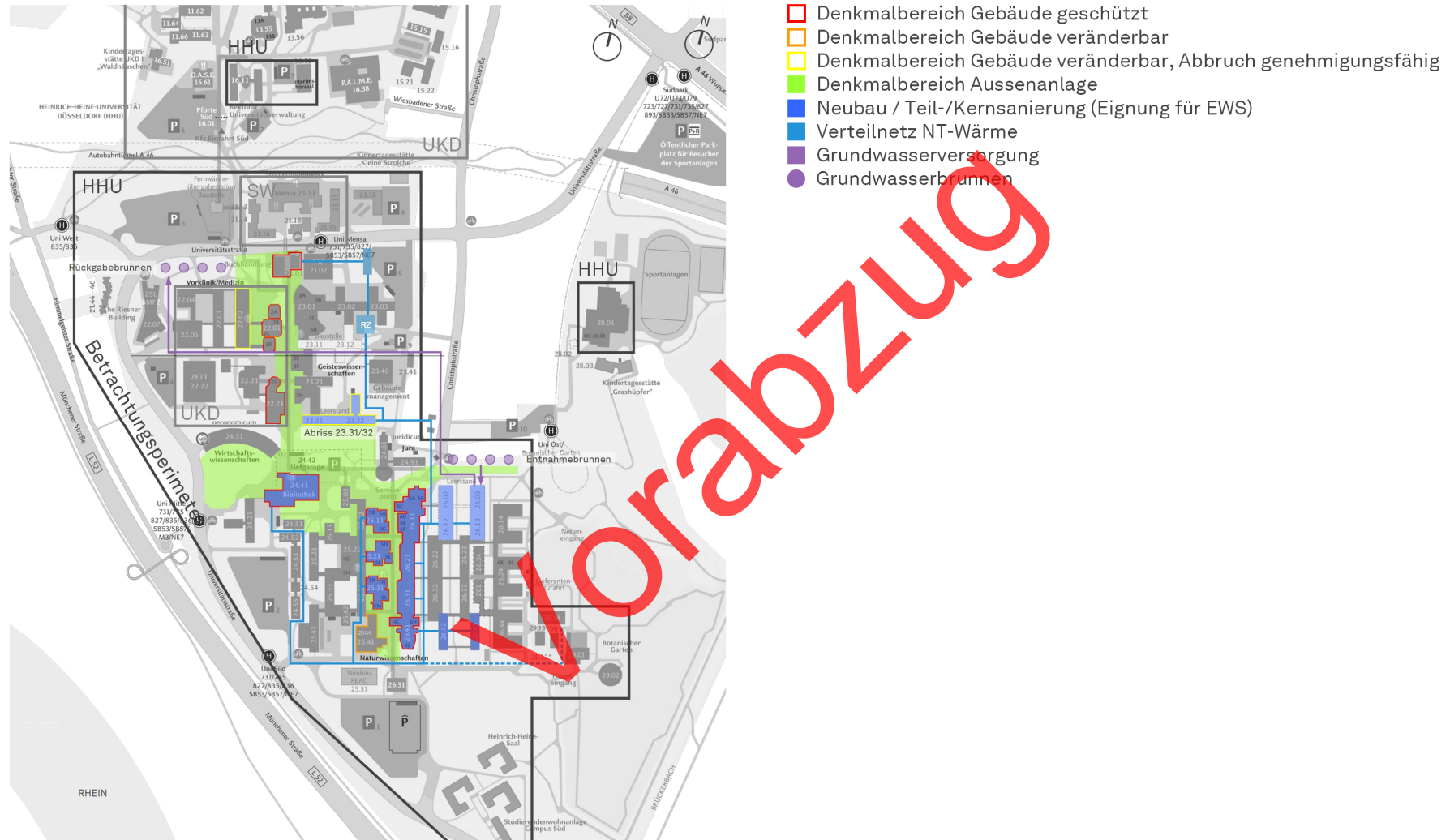


Deckungsanteil:

– Grundlastkälte	2'500 kW	21'900 MWh/a	81 %
– Grundwasserkühlung	4'000 kW	5'100 MWh/a	19 %
– Spitzenlastkälte		0 MWh/a	0 %

9.3.3. Übersichtsplan

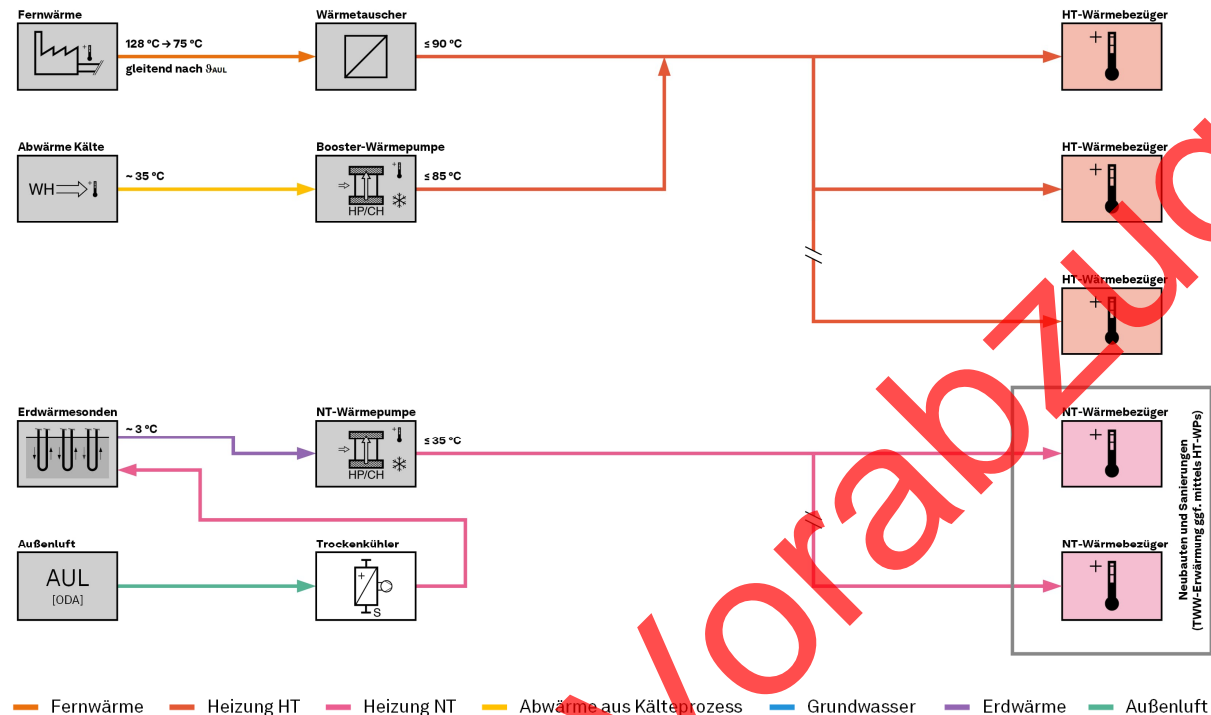
Abb. 84: Übersichtsplan mit möglicher Erschließung von NT-Wärme auf dem Campus



9.4. Variante 03

9.4.1. Übersichtsschema

Abb. 85: Übersichtsschema Variante 03



Beschreibung

Die Wärmeversorgung erfolgt u.a. über das Fernwärmenetz der Stadtwerke Düsseldorf. Im Rahmen des geplanten Einbaus eines Wärmetauschers auf dem Campus der HHU (Systemtrennung zwischen Fernwärmenetz und Verteilnetz HHU) soll das sekundärseitige Temperaturniveau (Verteilnetz HHU) gegenüber der heutigen Situation gesenkt werden.

Der Campus der HHU benötigt ganzjährig Kälte. Die anfallende Abwärme aus dem Kälteprozess soll für Heizzwecke genutzt werden. Mit einer Booster-Wärmepumpe wird das heizungsseitige Temperaturniveau angehoben, so dass eine Einspeisung in das Verteilnetz (HT) der HHU ermöglicht werden kann.

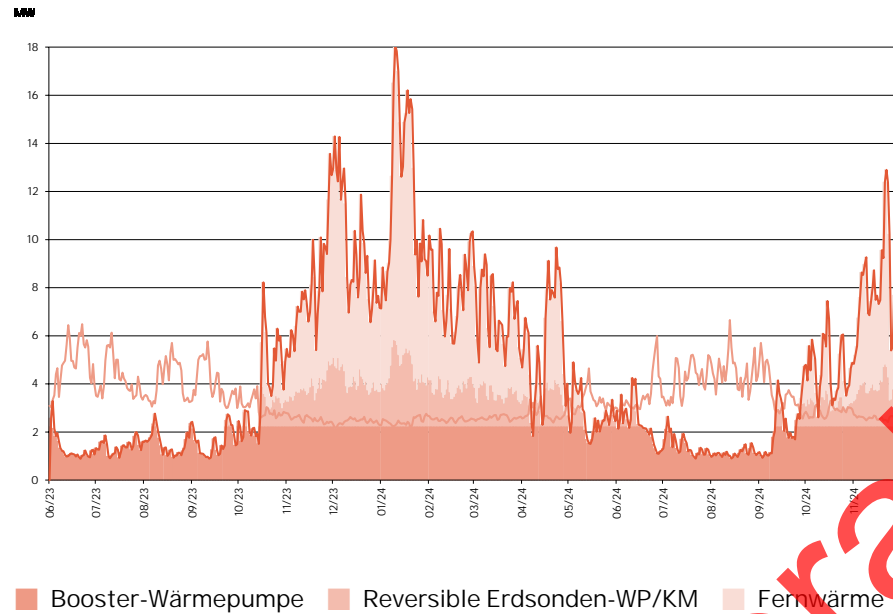
Für Neubauten und sanierte Gebäude soll bei dieser Variante als Energiequelle Erdwärme genutzt werden. Die Neubauten und sanierten Gebäude sollen so geplant und realisiert werden, dass diese mit Wärme auf tiefem Temperaturniveau (NT) versorgt werden können. Die Wärmeerzeugung erfolgt für diese zentral mit NT-Wärmepumpen.

Abhängig von der Auslegung des Sondenfelds sind Maßnahmen zur Regeneration der Erdwärmesonden, z.B. mit Rückkühlern, erforderlich.

Bestandsgebäude werden ab dem bestehenden Verteilnetz der HHU mit Wärme auf hohem Temperaturniveau versorgt.

9.4.2. Deckung Wärme- / Kältebedarf

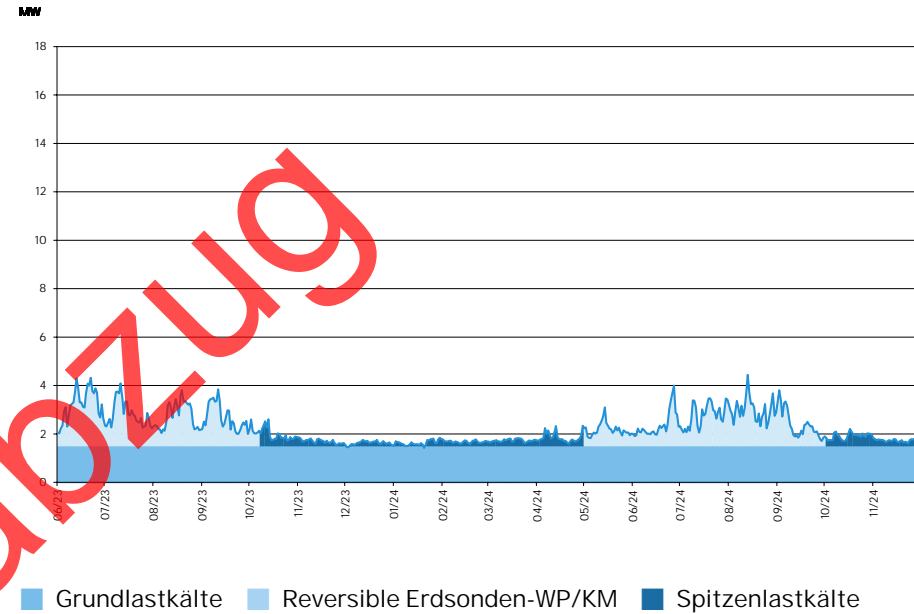
Abb. 86: Deckung Wärmebedarf Variante 03 - 2026



Deckungsanteil:

– Booster-WP	2'250 kW	17'700 MWh/a	37 %
– Rev. Erdsonden-WP/KM	3'600 kW	8'600 MWh/a	18 %
– Fernwärme		21'300 MWh/a	45 %

Abb. 87: Deckung Kältebedarf Variante 03 - 2026

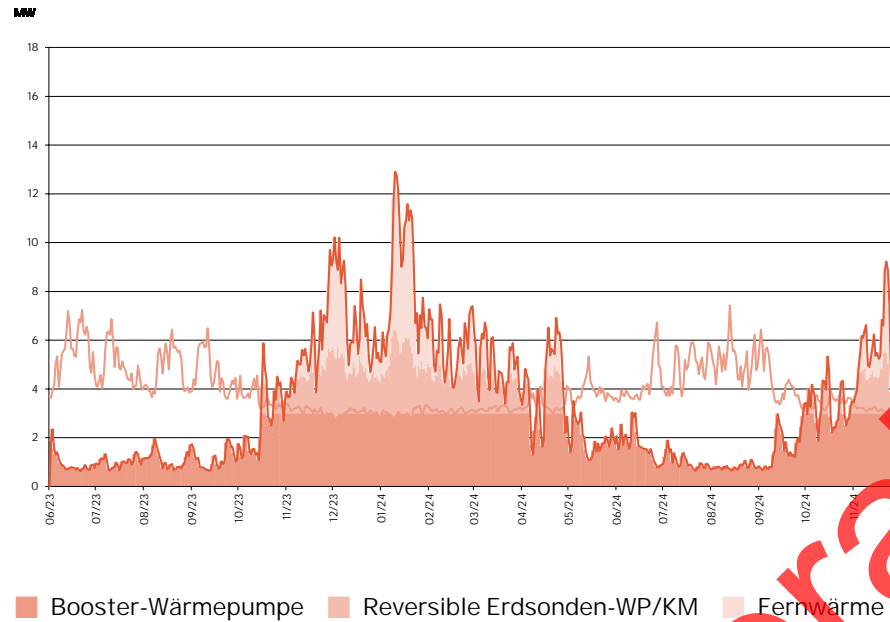


Deckungsanteil:

– Grundlastkälte	1'500 kW	13'200 MWh/a	73 %
– Rev. Erdsonden-WP/KM	2'700 kW	3'800 MWh/a	21 %
– Spitzenlastkälte		1'200 MWh/a	7 %

Anmerkung: Energiebilanz der Erdsondenanlage nicht ausgeglichen → Mittels Trockenkühlern muss im Sommer die Erdsondenanlage vollständig regeneriert werden

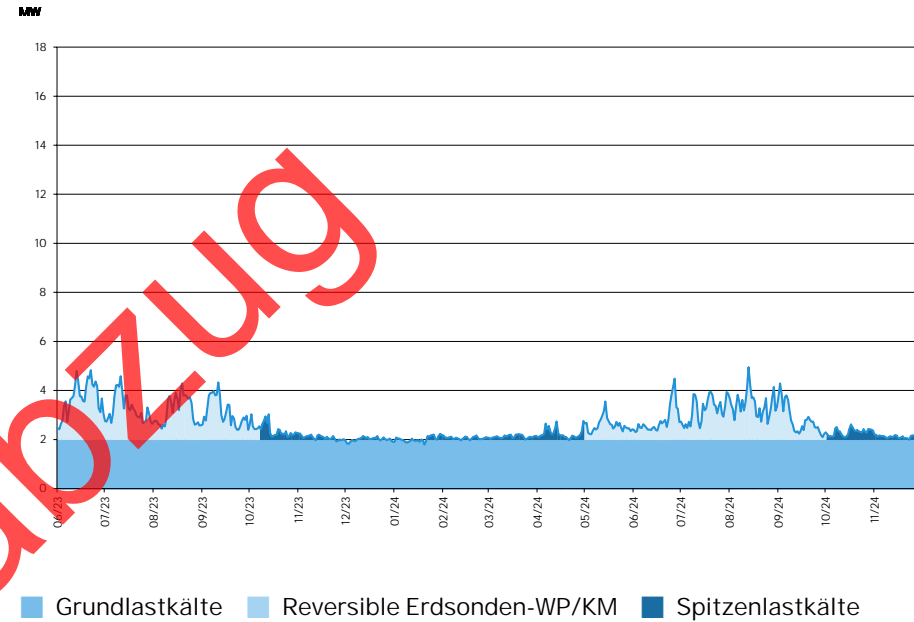
Abb. 88: Deckung Wärmebedarf Variante 03 - 2036



Deckungsanteil:

– Booster-WP	3'000 kW	20'000 MWh/a	59 %
– Rev. Erdsonden-WP/KM	3'600 kW	7'500 MWh/a	22 %
– Fernwärme		6'500 MWh/a	19 %

Abb. 89: Deckung Kältebedarf Variante 03 - 2036

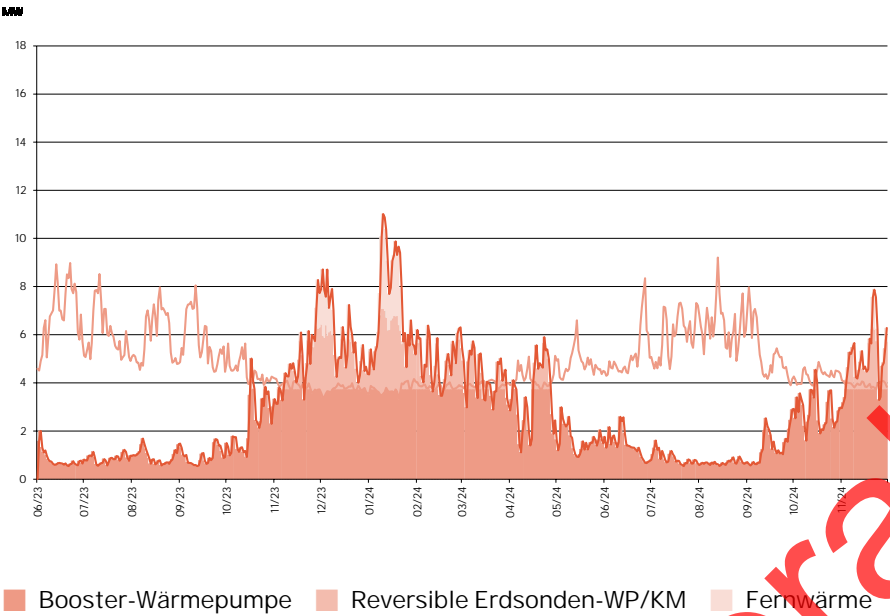


Deckungsanteil:

– Grundlastkälte	2'000 kW	17'500 MWh/a	80 %
– Rev. Erdsonden-WP/KM	4'000 kW	3'600 MWh/a	17 %
– Spitzenlastkälte		700 MWh/a	3 %

Anmerkung: Energiebilanz der Erdsondenanlage nicht ausgeglichen → Mittels Trockenkühlern muss im Sommer die Erdsondenanlage vollständig regeneriert werden

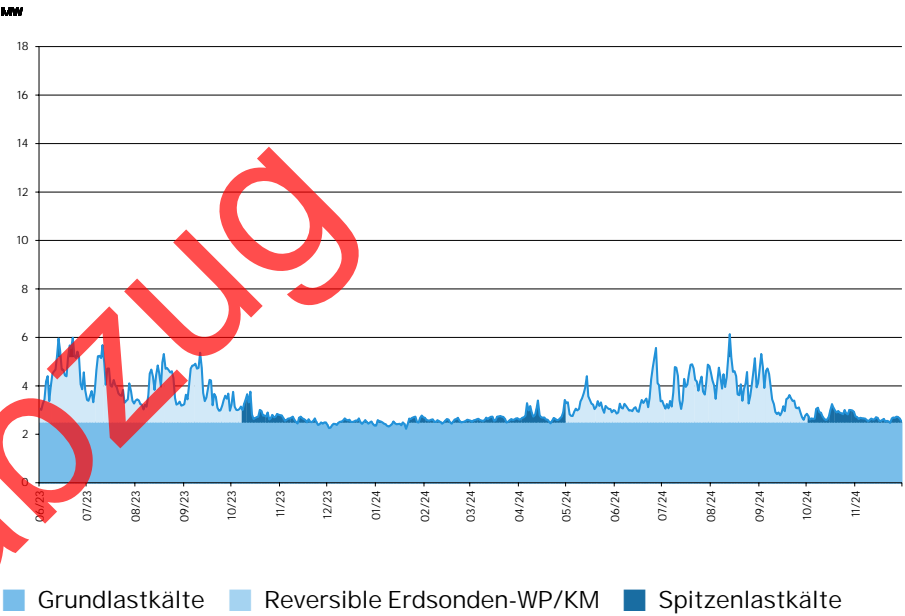
Abb. 90: Deckung Wärmebedarf Variante 03 - 2046



Deckungsanteil:

– Booster-WP	3'750 kW	22'000 MWh/a	76 %
– Rev. Erdsonden-WP/KM	3'600 kW	5'400 MWh/a	18 %
– Fernwärme		1'000 MWh/a	6 %

Abb. 91: Deckung Kältebedarf Variante 03 - 2046

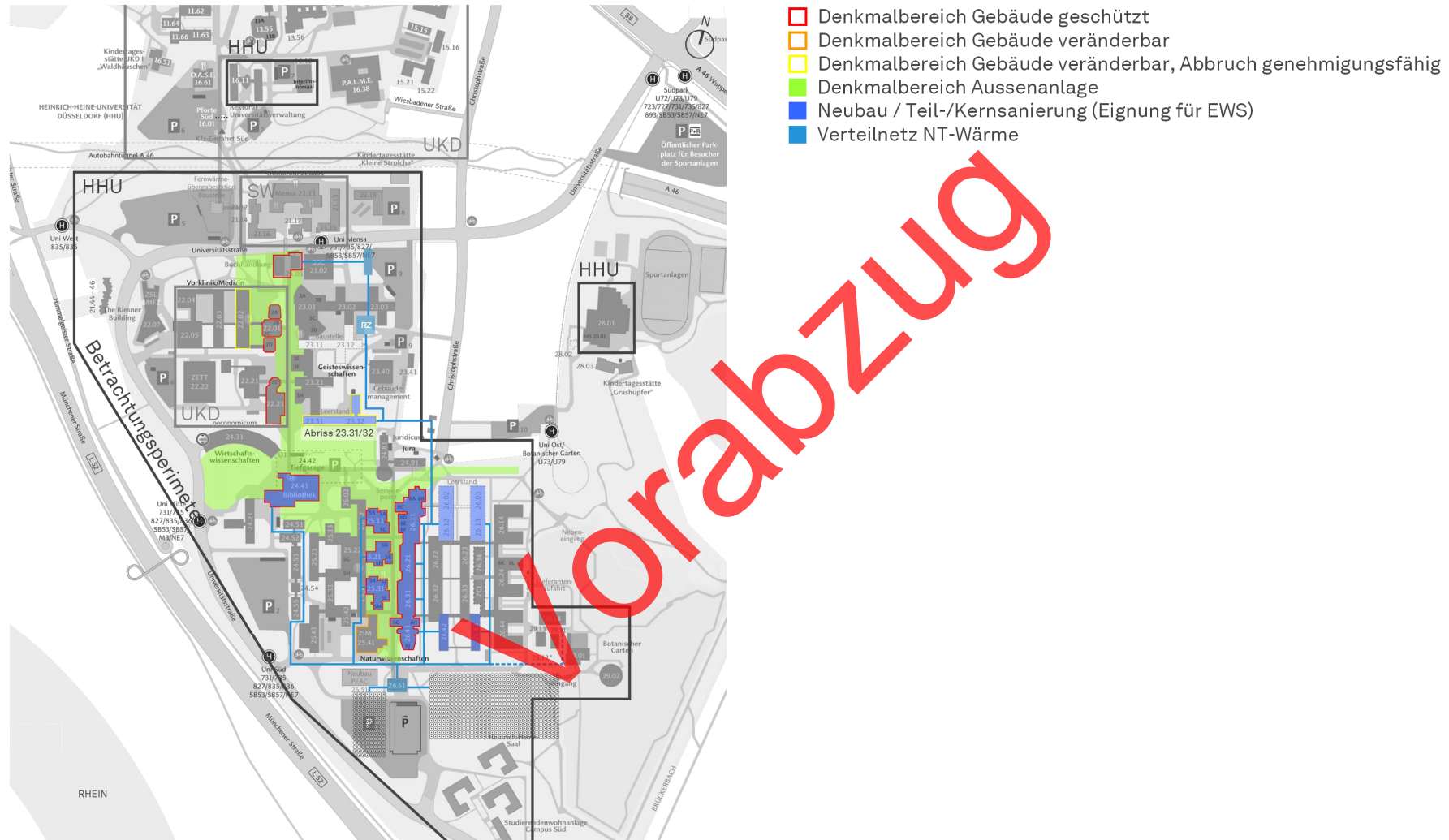


Deckungsanteil:

– Grundlastkälte	2'500 kW	21'900 MWh/a	81 %
– Rev. Erdsonden-WP/KM	2'700 kW	4'300 MWh/a	16 %
– Spitzenlastkälte		800 MWh/a	3 %

9.4.3. Übersichtsplan

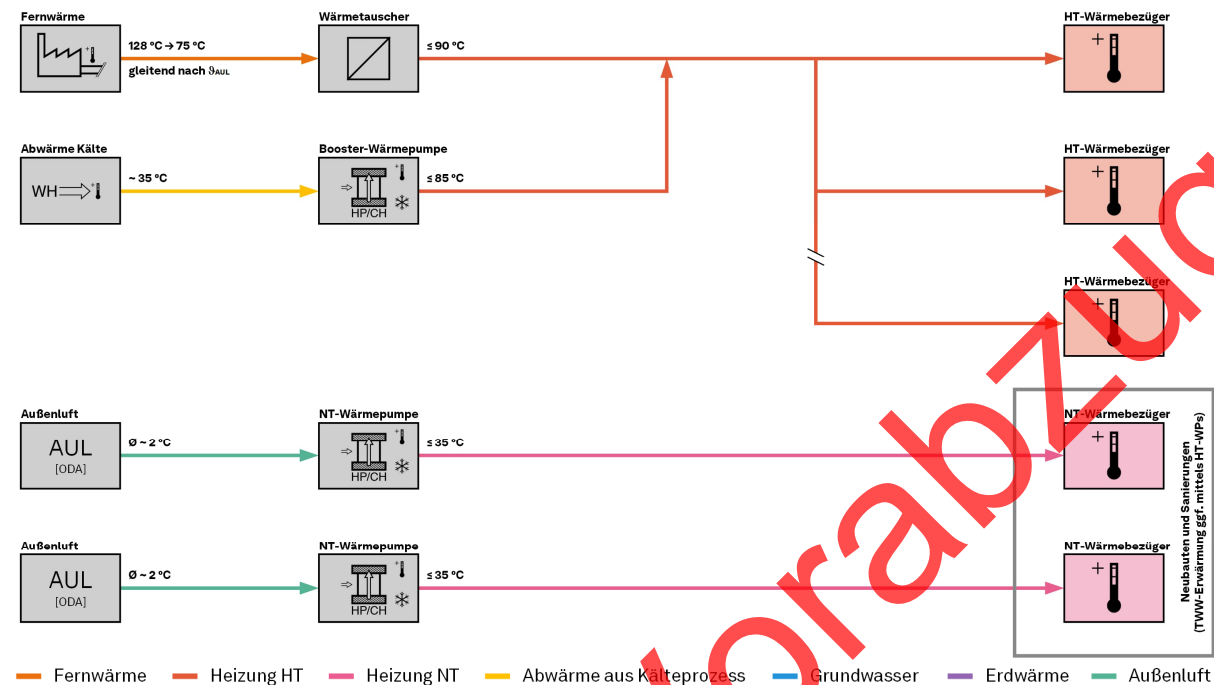
Abb. 92: Übersichtsplan mit möglicher Erschließung von NT-Wärme auf dem Campus



9.5. Variante 04

9.5.1. Übersichtsschema

Abb. 93: Übersichtsschema Variante 04



Beschreibung

Die Wärmeversorgung erfolgt u.a. über das Fernwärmenetz der Stadtwerke Düsseldorf. Im Rahmen des geplanten Einbaus eines Wärmetauschers auf dem Campus der HHU (Systemtrennung zwischen Fernwärmenetz und Verteilnetz HHU) soll das sekundärseitige Temperaturniveau (Verteilnetz HHU) gegenüber der heutigen Situation gesenkt werden.

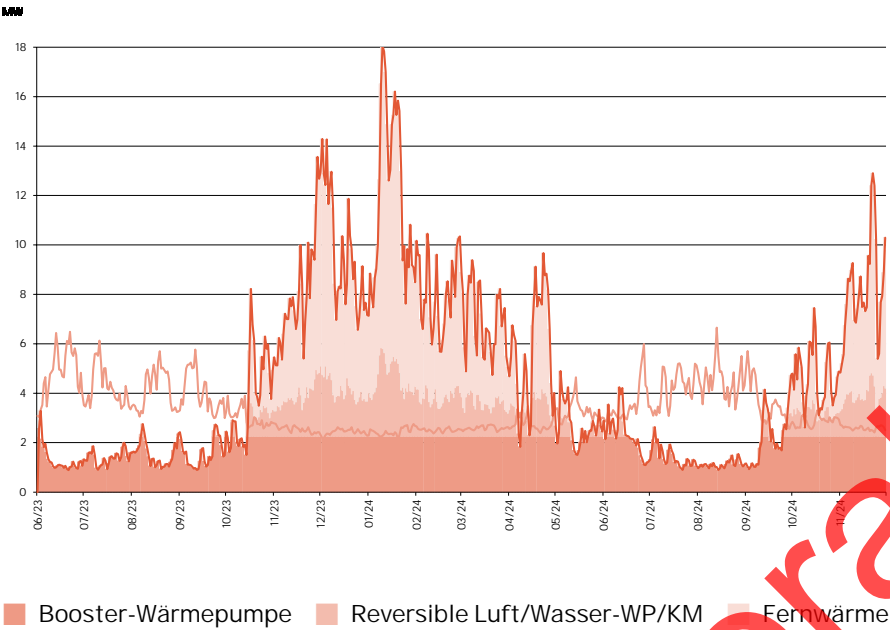
Der Campus der HHU benötigt ganzjährig Kälte. Die anfallende Abwärme aus dem Kälteprozess soll für Heizzwecke genutzt werden. Mit einer Booster-Wärmepumpe wird das heizungsseitige Temperaturniveau angehoben, so dass eine Einspeisung in das Verteilnetz (HT) der HHU ermöglicht werden kann.

Bestandsgebäude werden ab dem bestehenden Verteilnetz der HHU mit Wärme auf hohem Temperaturniveau versorgt.

Für Neubauten und sanierte Gebäude soll bei dieser Variante als Energiequelle Außenluft genutzt werden. Die Neubauten und sanierten Gebäude sollen so geplant und realisiert werden, dass diese mit Wärme auf tiefem Temperaturniveau (NT) versorgt werden können. Die Wärmeerzeugung erfolgt jeweils dezentral mit NT-Wärmepumpen.

9.5.2. Deckung Wärme- / Kältebedarf

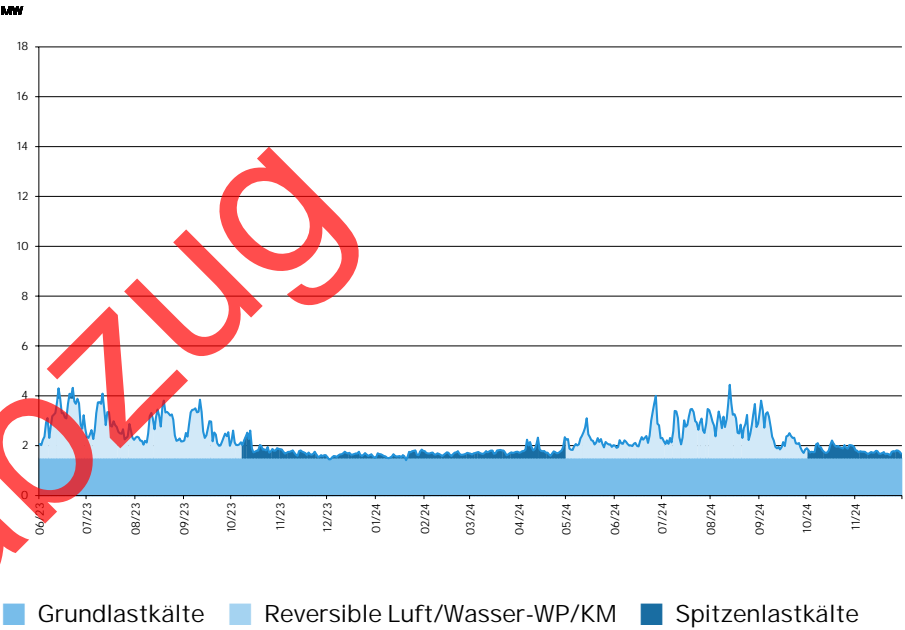
Abb. 94: Deckung Wärmebedarf Variante 04 - 2026



Deckungsanteil:

– Booster-WP	2'250 kW	17'700 MWh/a	37 %
– Reversible LW-WP/KM	3'600 kW	8'600 MWh/a	18 %
– Fernwärme		21'300 MWh/a	45 %

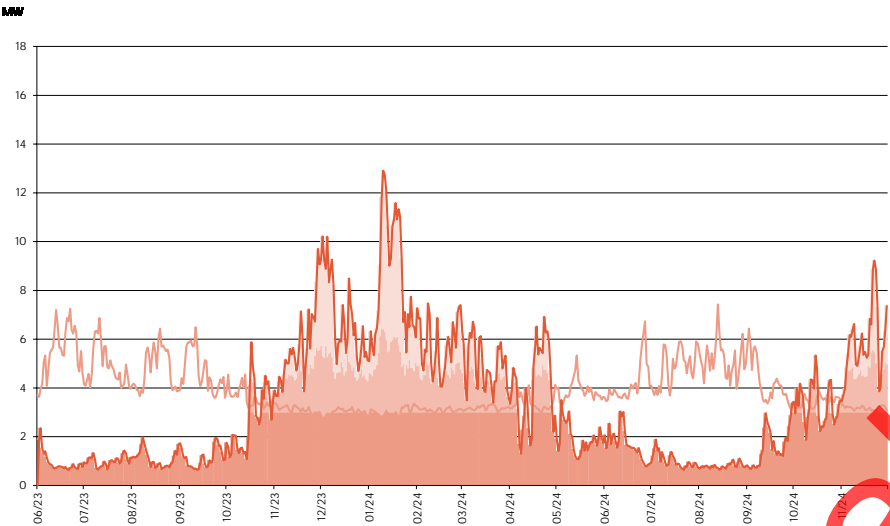
Abb. 95: Deckung Kältebedarf Variante 04 - 2026



Deckungsanteil:

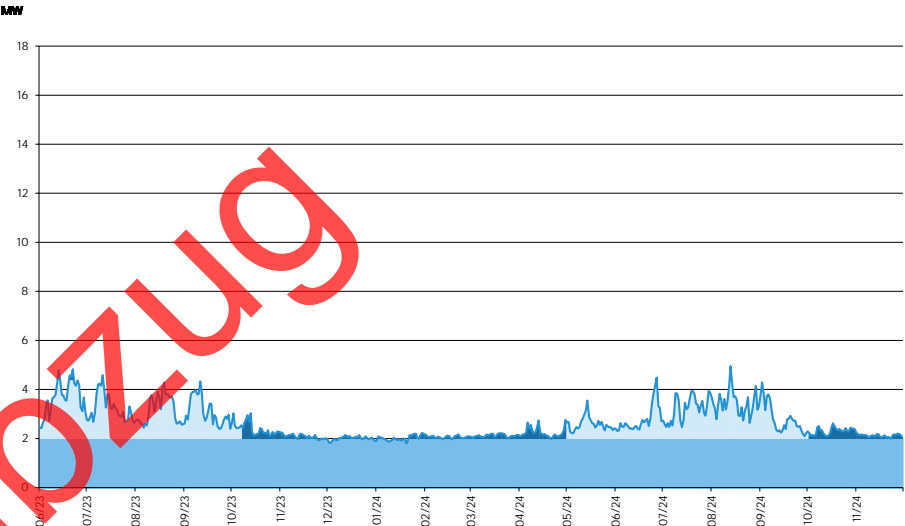
– Grundlastkälte	1'500 kW	13'200 MWh/a	73 %
– Reversible LW-WP/KM	2'400 kW	3'800 MWh/a	21 %
– Spitzenlastkälte		1'200 MWh/a	6 %

Abb. 96: Deckung Wärmebedarf Variante 04 - 2036



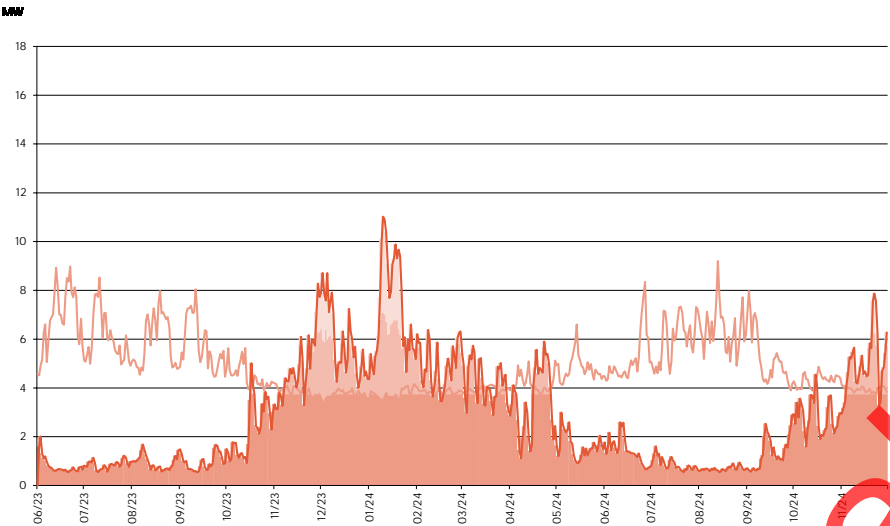
	Booster-Wärmepumpe	Reversible Luft/Wasser-WP/KM	Fernwärme	
Deckungsanteil:				
– Booster-WP	3'000 kW	20'000 MWh/a	59 %	
– Reversible LW-WP/KM	3'600 kW	7'500 MWh/a	22 %	
– Fernwärme		6'500 MWh/a	19 %	

Abb. 97: Deckung Kältebedarf Variante 04 - 2036



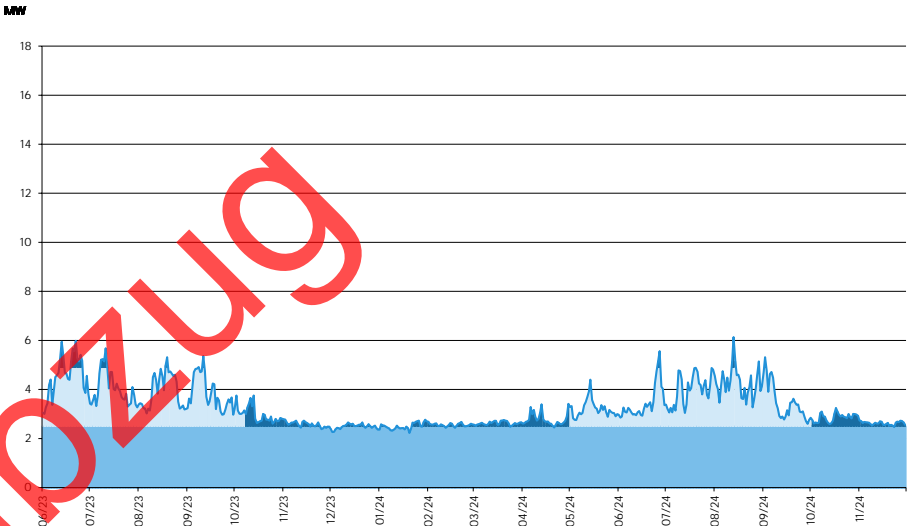
	Grundlastkälte	Reversible Luft/Wasser-WP/KM	Spitzenlastkälte	
Deckungsanteil:				
– Grundlastkälte	2'000 kW	17'500 MWh/a	80 %	
– Reversible LW-WP/KM	2'400 kW	3'600 MWh/a	17 %	
– Spitzenlastkälte		700 MWh/a	3 %	

Abb. 98: Deckung Wärmebedarf Variante 04 - 2046



Deckungsanteil:			
– Booster-WP	3'750 kW	22'000 MWh/a	76 %
– Reversible LW-WP/KM	3'600 kW	5'400 MWh/a	19 %
– Fernwärme		1'600 MWh/a	5 %

Abb. 99: Deckung Kältebedarf Variante 04 - 2046

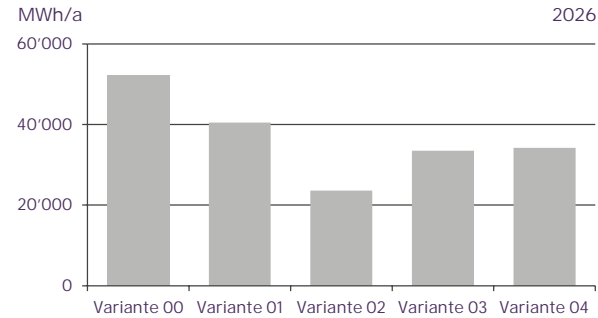


Deckungsanteil:			
– Grundlastkälte	2'500 kW	21'900 MWh/a	81 %
– Reversible LW-WP/KM	2'400 kW	4'300 MWh/a	16 %
– Spitzenlastkälte		1'600 MWh/a	5 %

10. Ökobilanz

10.1. Endenergiebedarf

Abb. 100: Endenergiebedarf für das Jahr 2026

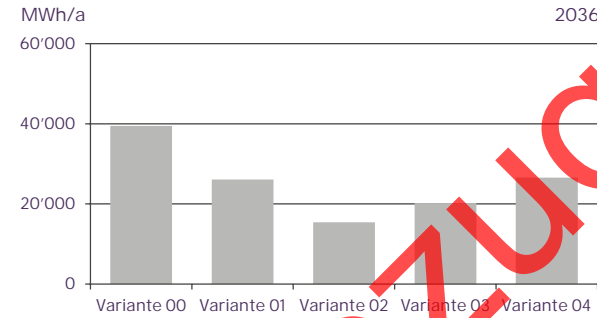


■ Endenergie

Bei der Variante V00 (IST-Zustand) resultiert der höchste Endenergiebedarf.

Der tiefste Endenergiebedarf weist die Variante V02 (Grundwasser) auf.

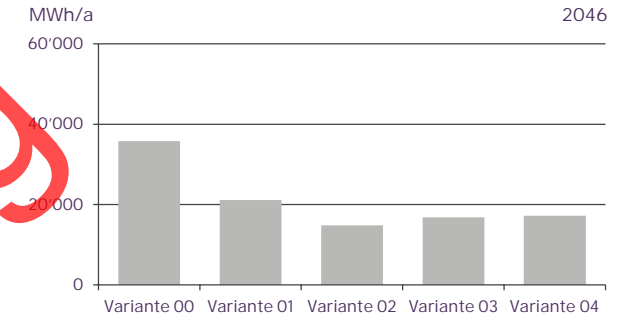
Abb. 101: Endenergiebedarf für das Jahr 2036



Insbesondere durch den Einsatz von Wärmepumpen kann bei den Varianten V01 bis V04 der Endenergiebedarf gesenkt werden.

Der tiefste Endenergiebedarf weist die Variante V02 (Grundwasser) auf.

Abb. 102: Endenergiebedarf für das Jahr 2046



Der Endenergiebedarf kann gegenüber 2036 reduziert werden.

Auch im Jahr 2046 weist die Variante V02 (Grundwasser) den tiefsten Endenergiebedarf auf.

Variante 00 (IST-Zustand)
Wärme Fernwärme

01
Wärme Fernwärme
Booster-WP

02
Wärme Fernwärme
Booster-WP
Grundwasser-WP
Kältemaschinen
Grundwasserkühlung

03
Wärme Fernwärme
Booster-WP
Erdsonden-WP
Kältemaschinen
Erdsondenkühlung

04
Wärme Fernwärme
Booster-WP
Aussenluft-WP
Kältemaschinen
Außenluft-Kühlung
(rev. WP/KM)

Kälte Kältemaschinen

Kälte Kältemaschinen

10.2. Treibhausgasemissionen

Abb. 103: Ökobilanz für das Jahr 2026

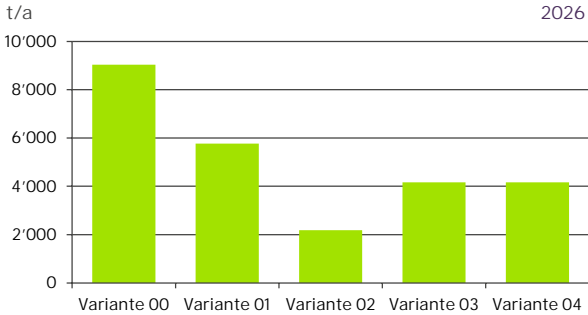


Abb. 104: Ökobilanz für das Jahr 2036

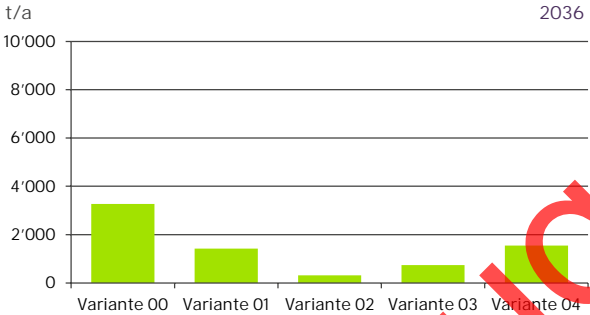
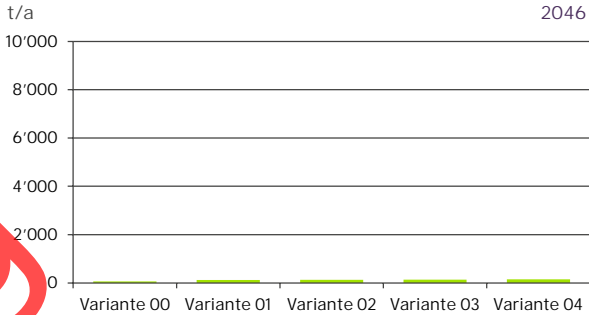


Abb. 105: Ökobilanz für das Jahr 2046



Treibhausgasemissionen

Bei der Variante 00 (IST-Zustand) resultieren die höchsten Treibhausgasemissionen.
Durch die Berücksichtigung von Wärmepumpen können die Treibhausgasemissionen bei den Varianten 01 bis 04 gegenüber der Variante V00 gesenkt werden.
Die tiefsten Treibhausgasemissionen weist die Variante 02 (Grundwasser) auf.

Insbesondere durch die angenommene kontinuierliche Verbesserung der Fernwärme sowie den Einsatz von Wärmepumpen ist bei allen Varianten eine deutliche Verbesserung bei den Treibhausgasemissionen zu verzeichnen.
Die tiefsten Treibhausgasemissionen weist die Variante 02 (Grundwasser) auf.

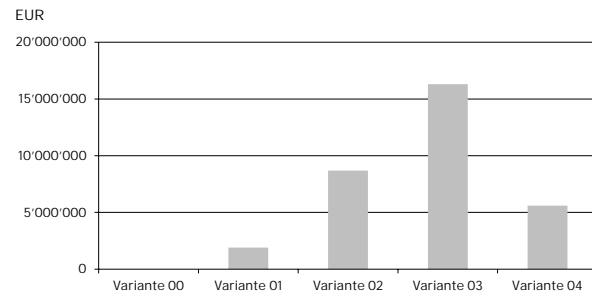
Durch die angenommene kontinuierliche Verbesserung der Fernwärme ist bei allen Varianten eine weitere Verbesserung bei den Treibhausgasemissionen zu verzeichnen.
Bei allen Varianten resultieren praktisch keine Treibhausgasemissionen im Betrieb.

Variante	00 (IST-Zustand)	01	02	03	04
Wärme	Fernwärme	Fernwärme Booster-WP	Fernwärme Booster-WP Grundwasser-WP	Fernwärme Booster-WP Erdsonden-WP	Fernwärme Booster-WP Aussenluft-WP
Kälte	Kältemaschinen	Kältemaschinen	Kältemaschinen Grundwasserkühlung	Kältemaschinen Erdsondenkühlung	Kältemaschinen Außenluft-Kühlung (rev. WP/KM)

Anmerkungen (V00 – V04)
Lineare Senkung der Treibhausgasemissionen in der Fernwärme (2025: 100% → 2035: 50% → 2045: 0%)
Treibhausgasemissionen Fernwärme gemäss Abschätzung Lemon Consult (siehe Anhang)
Strom aus Windkraft gemäss Email HHU vom 11.02.2025

11. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Abb. 106: Grobkostenschätzung



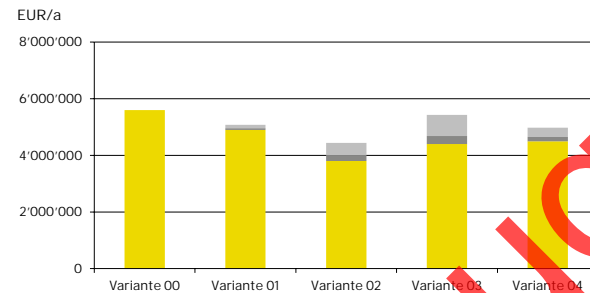
■ Investitionen

Bei Variante 00 (IST-Zustand) resultieren keine Investitionen.

Bei den restlichen Varianten weist die Variante 01 die tiefsten Investitionen auf.

Aufgrund der hohen Anzahl an Erdwärmesonden resultieren bei der Variante 03 die mit Abstand höchsten Investitionen.

Abb. 107: Jährliche Kosten (Steigerungsrate Fernwärme: 2 %)



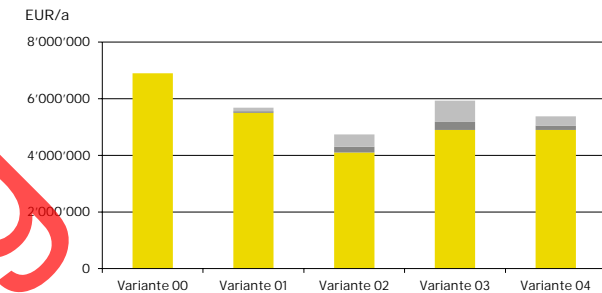
■ Kapitalkosten | ■ Unterhaltskosten | ■ Energiekosten

Die in der oberen Grafik dargestellten jährlichen Kosten basieren auf einer Steigerungsrate der Fernwärme von 2 % und dem Energiebedarf im Jahr 2036.

Die höchsten Jahreskosten weist die Variante 00 (IST-Zustand) auf.

Die tiefsten jährlichen Kosten ergeben sich bei der Variante 02 (Grundwasser).

Abb. 108: Jährliche Kosten (Steigerungsrate Fernwärme: 4 %)



Die in der oberen Grafik dargestellten jährlichen Kosten basieren auf einer Steigerungsrate der Fernwärme von 4 % und dem Energiebedarf im Jahr 2036.


Auch bei dieser Betrachtung weist die Variante 00 (IST-Zustand) die höchsten Jahreskosten auf.

Die tiefsten jährlichen Kosten resultieren wiederum bei der Variante 02 (Grundwasser).

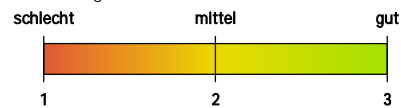
Variante	00 (IST-Zustand)	01	02	03	04
Wärme	Fernwärme	Fernwärme Booster-WP	Fernwärme Booster-WP Grundwasser-WP	Fernwärme Booster-WP Erdsonden-WP	Fernwärme Booster-WP Aussenluft-WP
Kälte	Kältemaschinen	Kältemaschinen	Kältemaschinen Grundwasserkühlung	Kältemaschinen Erdsondenkühlung	Kältemaschinen Außenluft-Kühlung (rev. WP/KM)

12. Variantenvergleich

Abb. 109: Bewertungsmatrix Energieerzeugungsvarianten

Nr.	Kriterium	Gewichtung	Variante 00 Fernwärme	Variante 01 Booster-Wärmepumpe, Fernwärme	Variante 02 Booster-Wärmepumpe, Grundwasser-Wärmepumpe, Fernwärme	Variante 03 Booster-Wärmepumpe, Reversible Erdsonden-WP/KM, Fernwärme	Variante 04 Booster-Wärmepumpe, Reversible Luft-/Wasser-WP/KM, Fernwärme
							
01	Investitionskosten	10%	3.00	2.50	1.50	1.00	2.00
02	Wirtschaftlichkeit (Kapital-, Betriebs- und Instandhaltungskosten)	40%	1.00	2.00	3.00	2.00	2.50
03	Energieeffizienz	20%	1.25	1.75	3.00	2.50	2.00
04	Nachhaltigkeit (Treibhausgasemissionen)	20%	1.25	1.75	3.00	2.25	2.00
05	Möglichkeit eines Freecoolings	5%	1.00	1.00	3.00	2.00	1.50
06	Schallemissionen	5%	3.00	2.50	2.50	2.50	1.00
	Total	100%	1.4	1.9	2.8	2.1	2.1

Bewertungsskala



Bei dieser Betrachtung schneidet die Variante 00 (IST-Zustand) am schlechtesten ab, was insbesondere auf die hohen Energiekosten sowie die vergleichsweise tiefe Energieeffizienz und Nachhaltigkeit zurückzuführen ist.

Durch eine Abwärmenutzung mittels Booster-Wärmepumpe (Variante 01) kann gegenüber der Variante 00 eine Verbesserung erzielt werden.

Die Varianten 02 (Erdwärmesonden) und 04 (Außenluft) liegen bei dieser Betrachtung im Mittelfeld.

Am besten schneidet bei dieser Betrachtung die Variante 02 (Grundwasser) ab. Diese Variante zeichnet sich durch die tiefsten Jahreskosten sowie einer guten Energieeffizienz / Nachhaltigkeit aus.

13. Anhang

Vorabzug

13.1. Anhang I: Ergänzende Informationen zu Energiequellen / -träger am Standort
13.1.1. Fernwärme

Abb. 110: Zertifikat Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen Fernwärme Düsseldorf
[Quelle: swd-ag.de]



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Fakultät Maschinenwesen Institut für Energietechnik
Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung

Zertifikat

Hiermit wird nach AGFW FW 309/7:2020 (Entwurf) bescheinigt, dass auf der Grundlage der im Zertifizierungsbericht¹ genannten Betriebsdaten

das Fernwärmeversorgungssystem Düsseldorf Innenstadt der Stadtwerke Düsseldorf AG

durch das

**Institut für Energietechnik der TU Dresden,
Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung**

geprüft und nach Gebäudeenergiegesetz 2020 folgendermaßen bewertet wurde:

Primärenergiefaktor f_p nach § 22 Absatz 2 Satz 3, GEG 2020:
(Wärmenetz mit KWK nach FW 309-1:2014)

0,00

Primärenergiefaktor f_p nach § 22 Absatz 3, GEG 2020:
(nach Kappung und EE-Bonus)

Nach GEG zu verwenden
0,29

Emissionsfaktor f_{CO_2eq} nach Anlage 9 Nr. 1c, GEG 2020:
(berechnet nach FW 309-1:2020)

0,0 kg/MWh

Anteile der Wärme²:

Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung:

93,7 %

Wärme aus regenerativer Energie³:

10,7 %

Diese Bescheinigung ist gültig bis:

23.07.2029


Erstmalig ausgestellt am:

24.07.2019

Neu ausgestellt am:

11.12.2020

Technische Universität Dresden
Fakultät Maschinenwesen
Institut für Energietechnik
Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung
Prof. Dr.-Ing. Clemens Felsmann
01062 Dresden
Stempel


Dr.-Ing. T. Sander
Bearbeiter
f_p-Gutachter-Nr.: FW 609-010

¹ Bericht - Zertifizierung des Primärenergiefaktors nach AGFW FW 309 Teil 1 und Nachweis nach EEWärmeG für das Fernwärmeversorgungssystem Innenstadt der Stadtwerke Düsseldorf AG, Dresden, 24.07.2019

² Werte enthalten Doppelnennungen!

³ Biogener Anteil von Abfall

Abb. 111: Bescheinigung des Wärmenetzbetreibers über die energetische Bewertung nach GEG für das FW-Netz Innenstadt [Quelle: swd-ag.de]



Fernwärme Testat – Innenstadt.

Energetische Bewertung nach dem Gebäudeenergiegesetz FW 309 Teile 1, 5 & 7¹⁾

Angesetzte Energiequellen Primärwärmeerzeugung der Stadtwerke Düsseldorf
Mittelwerte der Jahre 2021-2023 *

Erdgas

25,28 %

Heizöl

1,92 %

Solarthermie

0,01 %

* Zuordnung nach Carnot-Methode



Name des Wärmenetzbetreibers:
Netzgesellschaft Düsseldorf mbH
Name des Wärmenetzes: Innenstadt
Lage des Netzes: Innenstadt

Fernwärme Innenstadt

Bescheinigung des Wärmenetzbetreibers über die energetische Bewertung nach GEG für das FW-Netz Innenstadt²⁾

	Deckungsanteil DA	Pflichtanteil PA	Erfüllungsgrad EG
aus Kraft-Wärme-Kopplung	83,0%		
hiervon aus Erdgas	58,3%	50%	117%
hiervon aus unvermeidbarer Abwärme	24,7%	50%	49%
davon erneuerbarer Anteil	12,2%		
davon fossiler Anteil	12,5%		
aus sonstigen Wärmeerzeugern	17,0%		
hiervon aus Erdgas	14,5%		
hiervon aus Heizöl	1,9%		
hiervon aus unvermeidbarer Abwärme	0,6%	50%	1%
davon erneuerbarer Anteil	0,3%		
davon fossiler Anteil	0,3%		
Gesamt aus unvermeidbarer Abwärme	25,3%		
davon aus erneuerbarer Energie	12,5%		
Erfüllungsgrad der Fernwärme EGFW			167%

Die Anforderungen des § 44, GEG 2023 an die Fernwärme sind erfüllt?

JA

Primärenergiefaktor f_p FW nach § 22 Absatz 2, GEG 2024:
(berechnet nach FW 309-1_A_2023-01, mit Kappung und EE-Bonus)

0,27

(berechnet nach FW 309-1)
Anteile der Wärme³⁾:
Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung: 83,0%
Wärme aus erneuerbaren Energien oder Abwärme: 25,3%

Emissionsfaktor f_{CO_2eq} nach Anlage 9 Nr. 1c, GEG 2024:

0,0 kg/MWh

Gültigkeitsdauer: bis 21.5.2034


A. Aniska Olsson


M. Michael Zimmermann

¹⁾ AGFW FW 309-1_A_2023-01 und AGFW FW 309-7_A_2021-05
²⁾ Testierung in Bericht – Bestimmung des Primärenergiefaktors und der CO₂-Emissionen der Fernwärme für das Fernwärmenetz Düsseldorf Innenstadt der Stadtwerke Düsseldorf AG, Dresden, 20.5.24
³⁾ Werte enthalten Doppelnennungen!



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**



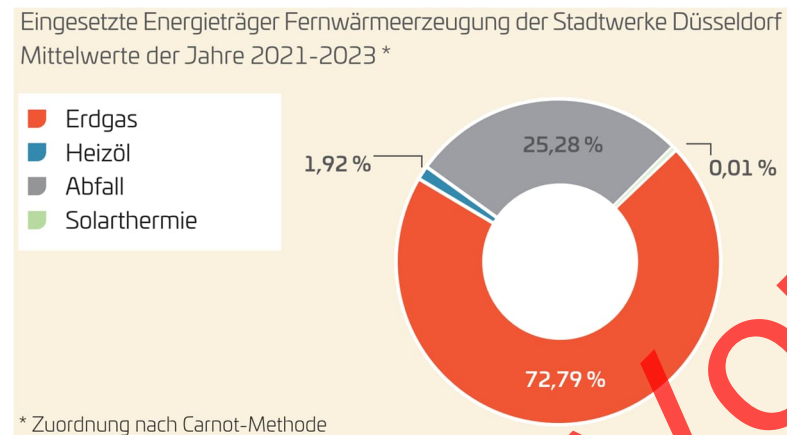
Stadtwerke
Düsseldorf

Mitten im Leben.

Anmerkungen zu Abb. 111:

- Der in der nebenstehenden Abbildung ausgewiesene Emissionsfaktor wurde mit der sogenannten Stromgutschriftsmethode (Schadstoffumlagerung auf erzeugten Strom) ermittelt. Diese Methode wird aktuell noch im Gebäudeenergiegesetz (GEG) genutzt und auf dieser basiert auch das gültige PEF- / CO₂-Testat.
- Die Fernwärme in Düsseldorf ist nach heutigem Stand nicht CO₂-neutral. Sie wird durch den Fernwärmelieferanten aber durch die hohe Brennstoffausnutzung im KWK-Prozess als klimafreundlich bezeichnet.
- Die Stadtwerke Düsseldorf kaufen für die Erzeugung von Fernwärme CO₂-Zertifikate.

Abb. 112: Übersicht Energiemix Fernwärme Düsseldorf Innenstadt [Quelle: swd-ag.de]



Tab. 12: Grobabschätzung von Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen anhand des Energiemix der Fernwärme Düsseldorf

Energieträger / -quelle	Werte gemäß GEMIS ¹ (Version: 4.95 / 04.2017)		Fernwärmemix Stadtwerke Düsseldorf (Innenstadt)		
	PE-Faktor kWh _{primär} /kWh	CO ₂ -Emissionen g/kWh	Anteil	PE-Faktor kWh _{primär} /kWh	CO ₂ -Emissionen g/kWh
Erdgas	1.15	250	72.79 %	0.84	182.0
Heizöl	1.2	326	1.92 %	0.02	6.3
Abfall ²	0.04	3	25.28 %	0.01	0.8
Solarthermie	0.08	25	0.01 %	0.00	0.0
Total			100.00 %	0.87	189

¹ Werte gemäß Tabelle 'Heizen (en) 2010' falls nicht anders vermerkt

² Werte Kehrichtverbrennung gemäß Ökobilanzdaten im Baubereich - KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022

Dekarbonisierung der Fernwärmeerzeugung (Transformationsplan)

Abb. 113: FAQ zum Gebäudeenergiegesetz [Quelle: swd-ag.de]

Das Fernwärmenetz in Düsseldorf weist keinen Anteil von 65 % an erneuerbaren Energien auf. Darf ich mich nun ab Gültigkeit des GEG nicht mehr anschließen lassen?

Kurze Antwort: Doch!

Die Transformation von Wärmenetzen zu erneuerbarer Erzeugung ist mit großem infrastrukturellem Aufwand verbunden ist, der in Abhängigkeit der Bestandsstruktur und der regionalen Rahmenbedingungen einige Jahre in Anspruch nehmen kann.

Deswegen erlaubt das GEG den Anschluss an bestehende Wärmenetze auch dann, wenn diese bisher noch keinen Anteil von 65 % an erneuerbaren Wärmequellen aufweisen. Voraussetzung ist jedoch, dass der Fernwärmeversorger einen so genannten Transformationsplan erstellt und vom BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) bewilligen lässt. In diesem Transformationsplan muss der Fernwärmeversorger aufzeigen, mit welchen Maßnahmen das bestehende Fernwärmenetz sukzessive auf klimaneutrale Wärmeerzeugung umgestellt werden kann. Hierbei müssen insbesondere die folgenden Mindest- (Zwischen-)Ziele erreicht werden:

- Ab 01.01.2030: 30 % erneuerbare Erzeugung
- Ab 01.01.2040: 80 % erneuerbare Erzeugung
- Bis 31.12.2045: 100 % erneuerbare Erzeugung

Unser Ziel ist, diesen Transformationsplan im Laufe des Jahres 2024 fertig zu stellen und einzureichen, sodass die Fernwärme in Düsseldorf auch zukünftig eine gute und nachhaltige Option für Ihre Wärmebereitstellung bleibt.

Abb. 114: Transformationsplan Fernwärme Düsseldorf Innenstadt [Quelle: swd-ag.de]

Transformationsplan*: Wie wir die Fernwärmeerzeugung dekarbonisieren

Eine nachhaltige Versorgung mit grüner Fernwärme bedeutet, dass in erster Linie die Erzeugungsanlagen zukünftig mit erneuerbaren und CO₂-armen Energiequellen arbeiten. Dazu werden **umfangreiche Neu- und Umbauten im Erzeugungspark der Stadtwerke Düsseldorf** geplant. Die neuen Anlagen werden in den kommenden Jahren sukzessive für eine grünere Fernwärme sorgen.

Die vier großen Hebel für die Dekarbonisierung unserer Wärmeerzeugung sind:

- Elektrifizierung mit Grünstrom
- Wechsel auf Biomasse & Biogas
- Einsatz von Wasserstoff
- Nutzung von unvermeidbarer industrieller Abwärme

Bei den Stadtwerken Düsseldorf wird **kontinuierlich eine Vielzahl an möglichen Technologien** untersucht und für den Einsatz in der Düsseldorfer Fernwärme geprüft.

Eine Auswahl an möglichen Anlagen und Standorten lässt sich aus dem folgenden Schaubild entnehmen:



Nr. Projekte zur Dekarbonisierung der Fernwärme

- 1 Großwärmepumpe Rhein
- 2 Spitzenlastkessel (Elektrisch oder Biomassen)
- 3 Großwärmepumpe Klärwerk
- 4 Geothermie
- 5 Biomasseheizkraftwerk
- 6 verbesserter Wärmenutzung und CCS* (Abhängig von Ausgestaltung Carbon-Management-Strategie)
- 7 Abwärme aus Industrie, Rechenzentren, etc.
- 8 Zusätzliche Wasserstoffbetriebene Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) für Spitzenlast (Abhängig von Ausgestaltung Kraftwerksstrategie)
- 9 Umrüstung GUD-F auf Wasserstoff (Abhängig von Ausgestaltung Kraftwerksstrategie)

*Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

13.1.2. Geothermie

Wasserschutzzonen¹⁵

In Düsseldorf werden an fünf Stellen im Stadtgebiet landseitig zuströmendes Grundwasser und Rheinuferfiltrat in unterschiedlichen Anteilen für die öffentliche Trinkwasserversorgung gewonnen. Der Schutz des Wassers aus Rhein und Grundwasser hat daher eine hohe Bedeutung. Zum Schutz des Wassers und einer langfristigen Sicherung der ortsnahe Trinkwasserversorgung im Düsseldorfer Stadtgebiet wurden für die fünf Entnahmebereiche Wasserschutzgebiete festgesetzt:

- Wasserschutzgebiet "Bockum, Wittlaer u.a."
- Wasserschutzgebiet "Am Staad"
- Wasserschutzgebiet "Lörick"
- Wasserschutzgebiet "Flehe"
- Wasserschutzgebiet "Baumberg"

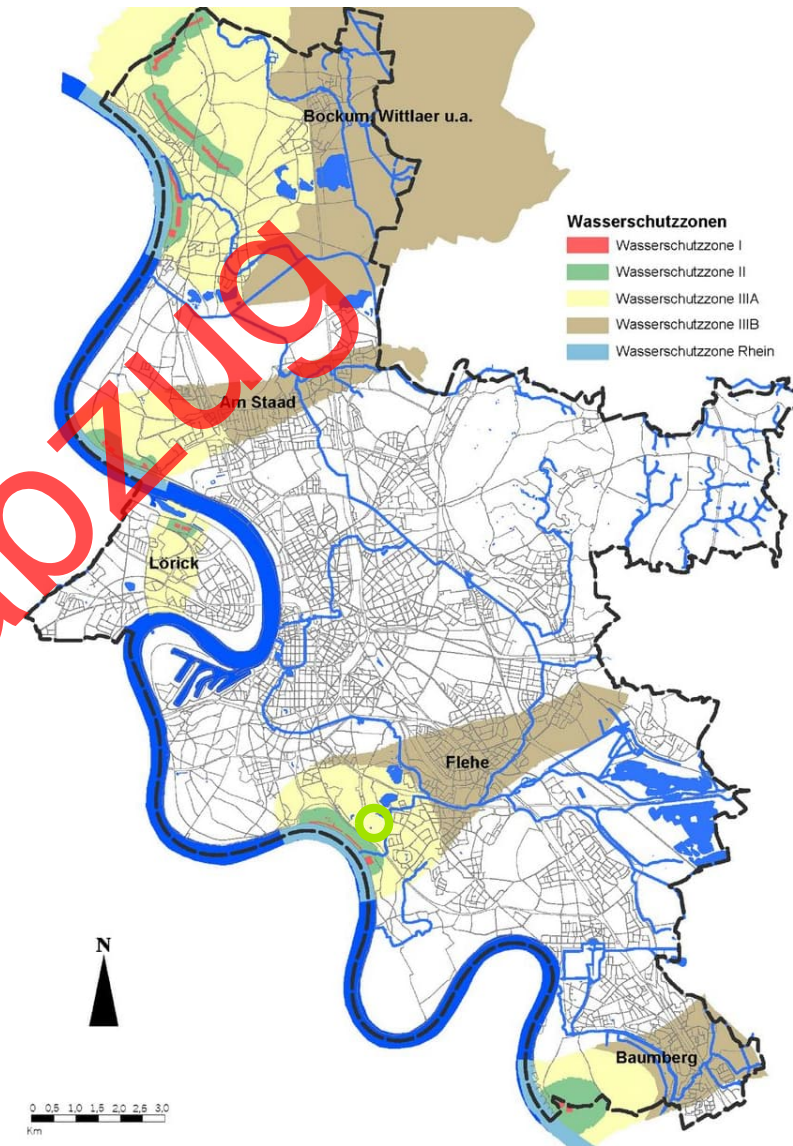
Dadurch sind ca. 35 % der Stadtfläche als Schutzzone zur Trinkwassergewinnung ausgewiesen.

Aus wasserwirtschaftlichen Gründen sind Erdwärmesonden in den Wasserschutzzonen III und IIIA grundsätzlich nicht erlaubnisfähig.

Tab. 13: Liste (Auszug) mit Straßen in Düsseldorf innerhalb von Wasserschutzzonen [Quelle: duesseldorf.de]

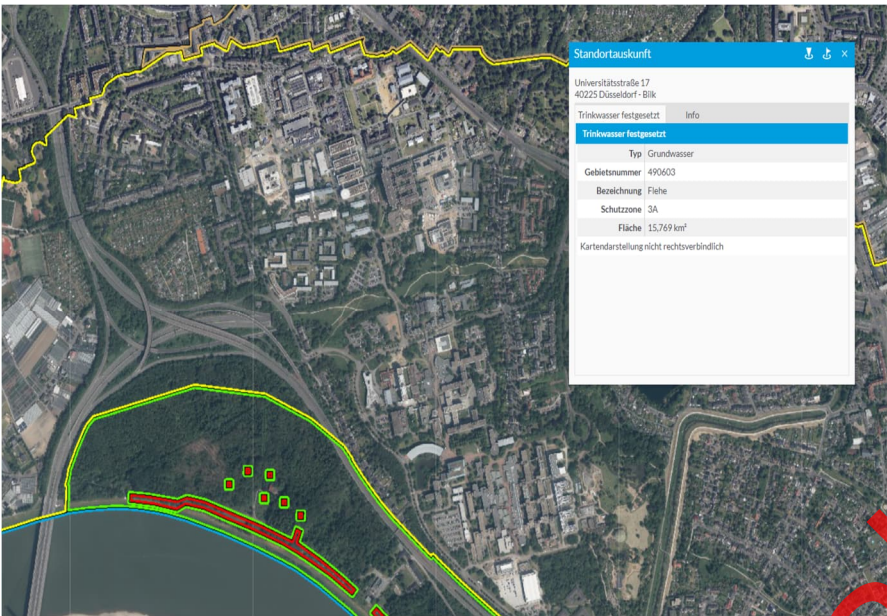
Straßenname	Name WSZ	WSZ Nr.	Hausnummern			
			gerade		ungerade	
			von	bis	von	bis
Universitätsstraße	Flehe	3a	18	82	1	35
Christophstraße	Flehe	3a	2	96	5	121

Abb. 115: Wasserschutzzonen in Düsseldorf [Quelle: duesseldorf.de]



¹⁵ Quelle: [Wasserschutzgebiete - Landeshauptstadt Düsseldorf](#)

Tab. 14: Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete [Quelle: uvo.nrw.de]

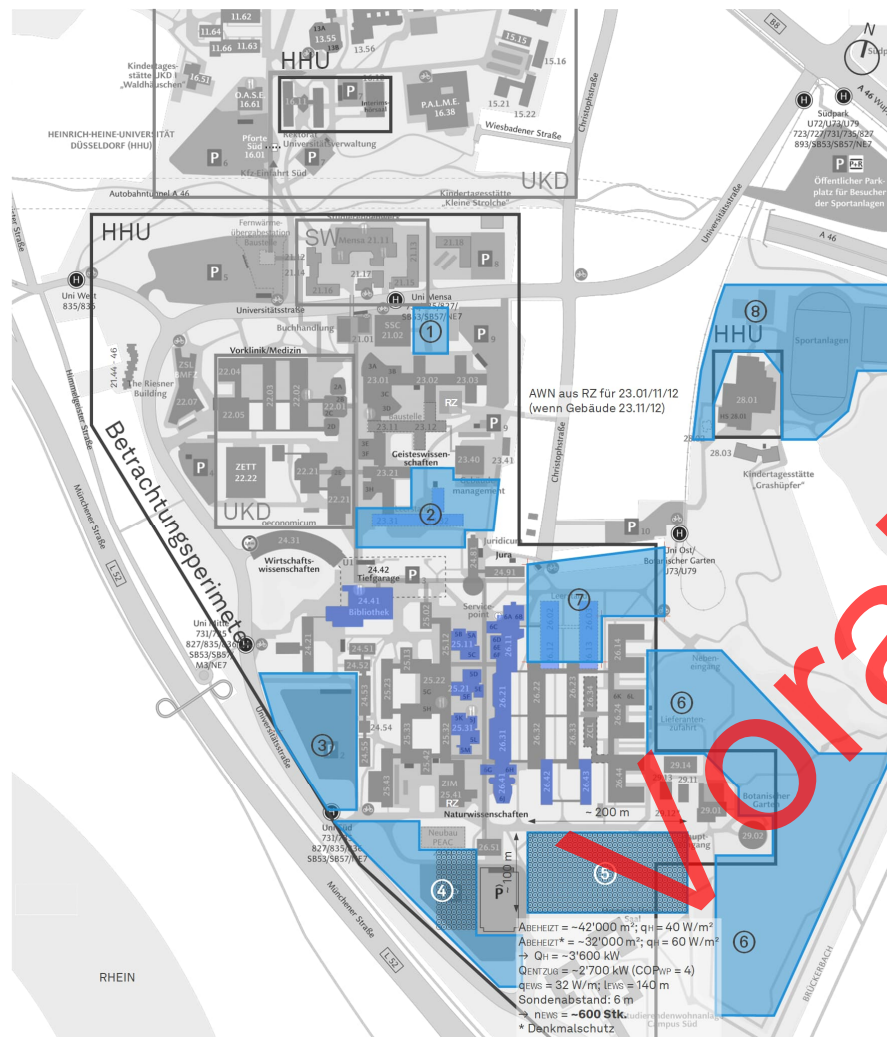


■ Zone I
 ■ Zone II
 ■ Zone III
 ■ Sonderzone Rhein

Tab. 15: Theoretisches Potential von Erdwärmesonden auf dem Campus der HHU

Nr.	Fläche	Sondenabstand	Sondenanzahl	Bohrtiefe je Erdwärmesonde	Sondenlänge	Entzugsleistung	
	[Düsseldorf Maps]					spezifisch	absolut
01	3'000 m²	6 m	80 Stk.	140 m	11'200 m	32 W/m	360 kW
02	14'000 m²	6 m	390 Stk.	140 m	54'600 m	32 W/m	1'750 kW
03	13'000 m²	6 m	360 Stk.	140 m	50'400 m	32 W/m	1'610 kW
04	18'000 m²	6 m	500 Stk.	140 m	70'000 m	32 W/m	2'240 kW
05	20'000 m²	6 m	550 Stk.	140 m	77'000 m	32 W/m	2'460 kW
	(~ 200 × 100 m)						
06	72'000 m²	6 m	2'000 Stk.	140 m	280'000 m	32 W/m	8'960 kW
07	20'000 m²	6 m	550 Stk.	140 m	77'000 m	32 W/m	2'460 kW
08	34'000 m²	6 m	940 Stk.	140 m	131'600 m	32 W/m	4'210 kW
09	194'000 m²		5'370 Stk.		420'000 m		24'050 kW

Abb. 116: Übersichtsplan mit möglichen Standorten für Erdsondenfelder



- Mögliche Standorte für Erdwärmesonden
- Neubau / Teil-/Kernsanierung (Eignung für Erdwärmesonden)

Studie zur geothermischen Nutzung des Untergrundes am Standort „Heinrich-Heine-Universität“ in Düsseldorf erstellt von UBeG GmbH & Co. KG vom 20.05.2025:

- Die vollständige Abdeckung des planungsseitig vorgegebenen, thermisch unausgeglichene Wärmeentzugs und -eintrags über ein Erdwärmesondensystem wird aufgrund des erheblichen Flächenbedarfs und der damit verbundenen hohen Investitionskosten nicht empfohlen.
- Als technisch umsetzbare und genehmigungsrechtlich voraussichtlich unbedenkliche Lösung bietet sich die Einrichtung eines geothermischen Energiespeichers mit ausgeglichener thermischer Bilanz im Untergrund ($dQ \approx 0$ J) an – insbesondere vor dem Hintergrund, dass auf dem Gelände bereits eine genehmigte Erdwärmesondenanlage existiert.
- Ein solcher Speicher kann beispielsweise so konzipiert werden, dass der Wärmeeintrag aus der Gebäudekühlung (4.900 MWh/a) als maßgebliche Bemessungsgröße für die Dimensionierung des Erdwärmesondenfeldes herangezogen wird. In diesem Fall dürfte ein Feld mit ca. 245 Sonden à 140 m Tiefe ausreichen.
- Soll hingegen ein höherer Wärmeentzug bis zur Höhe des gesamten Heizbedarfs von 13.500 MWh/a über Erdwärmesonden abgedeckt werden, sind nicht nur etwa 675 Sonden gleicher Tiefe erforderlich, sondern auch geeignete zusätzliche Quellen für den erforderlichen Wärmeeintrag. Die dafür notwendigen Regenerationssysteme sind in der aktuellen Kostenschätzung (vgl. Kap. 6) nicht berücksichtigt und mangels belastbarer Planungsdaten derzeit nicht quantifizierbar. Es ist jedoch von erheblichen Investitionskosten auszugehen.
- Zwischenlösungen, die sich zwischen den beiden genannten Extremszenarien bewegen, sind grundsätzlich möglich – vorausgesetzt, ein zusätzlicher, über die Gebäudekühlung hinausgehender Wärmeeintrag in den Untergrund kann anteilig sichergestellt werden.
- Aus technischer Sicht ist für den Betrieb der betrachteten geothermischen Systeme (Erdwärmesonden und Brunnen) eine erdseitig ausgeglichene Wärmebilanz vorteilhaft.

Tab. 16: Bewertung der geothermischen Machbarkeit, Zusammenfassung [Quelle: UBeG GmbH & Co. KG]

Nr.	Variante	Bewertung	Fündigkeits- risiko	Kosten- schätzung
01	Erdwärmesonden, > 1'000 St. (Komplettabdeckung der angegebenen Bedarfsdaten)	technisch möglich, voraussichtlich nicht wirtschaftlich, hoher Platzbedarf	sehr gering	> 10'000'000 €
02	Erdwärmesonden, ca. 245 Stk. als thermischer Untergrundspeicher mit vollständiger Untergrund-Regeneration Variante 1 mit Vollabdeckung des Wärmeeintrags zu 100 % und Teilabdeckung des Wärmeentzugs zu ca. 36 %	technisch möglich, hoher Platzbedarf	sehr gering	3'000'000 bis 3'500'000 €
03	Erdwärmesonden, ca. 675 Stk. als thermischer Untergrundspeicher mit vollständiger Untergrund-Regeneration Variante 2 mit Vollabdeckung des Wärmeentzugs zu 100% Zusätzlicher Wärmeeintrag in Untergrund neben der Abwärme aus der Gebäudekühlung hierbei zwingend erforderlich	technisch möglich, hoher Platzbedarf	sehr gering	8'500'000 bis 10'000'000 €

13.1.3. Grundwasser

Weil das Grundwasser im Jahresverlauf keinen großen Temperaturschwankungen ($\sim +12\text{ °C}$) unterliegt, ist seine Nutzung besonders wirtschaftlich. Düsseldorf zeichnet sich durch ergiebige Grundwasservorkommen aus, die in geringer Tiefe anstehen.

Das Grundwasser wird aus einem Förderbrunnen entnommen und zu einer Wärmepumpe geleitet. Diese entzieht dem Wasser Wärme. Über einen "Schluckbrunnen" fließt das Wasser anschließend wieder in den Untergrund zurück.

Aufgrund des direkten Eingriffs in den Grundwasserkörper bestehen hohe Anforderungen an eine Wasser-Wasser-Anlage.

Aus wasserwirtschaftlichen Gründen sind Wasser-Wasser-Anlagen in Trinkwasserschutzgebieten nicht erlaubnisfähig.

Studie zur geothermischen Nutzung des Untergrundes am Standort „Heinrich-Heine-Universität“ in Düsseldorf erstellt von UBeG GmbH & Co. KG vom 20.05.2025:

- Die standortspezifischen hydraulischen, hydrochemischen und hydrothermischen Voraussetzungen für die Errichtung und den Betrieb von Geothermiebrunnen auf dem Gelände der Heinrich-Heine-Universität in Düsseldorf sind als sehr gut zu bewerten. Das Grundwasserdargebot ist aufgrund der hohen Durchlässigkeit der Niederterrassensedimente und der dauerhaft gesicherten Wasserführung als ausreichend einzustufen. Ein thermischer Betrieb im Rahmen der geltenden Genehmigungsvorgaben ist grundsätzlich möglich. Der Wasserchemismus sollte im Vorfeld noch detailliert untersucht werden, wird jedoch derzeit als weitgehend unkritisch eingeschätzt.
- Ein maßgeblicher Hinderungsgrund für die Umsetzung ist die Lage des Projektstandortes innerhalb der Schutzzone IIIA des Wasserschutzgebiets Düsseldorf-Flehe.
- Für den Betrieb von Geothermiebrunnen ist eine Ausnahmegenehmigung erforderlich.
- Die UBeG GmbH & Co. KG empfiehlt daher dringend, frühzeitig ein Klärungsgespräch mit der zuständigen Genehmigungsbehörde (Umweltamt Düsseldorf) zu suchen, um die Realisierbarkeit eines Brunnensystems im Rahmen einer Ausnahmegenehmigung zu klären.

Tab. 17: Bewertung der geothermischen Machbarkeit, Zusammenfassung [Quelle: UBeG GmbH & Co. KG]

Nr.	Variante	Bewertung	Fündigkeits- risiko	Kosten- schätzung
01	Geothermiebrunnen, 8 Stk. (4 Förder- und 4 Schluck- brunnen)	technisch möglich, vermutlich nicht genehmi- gungsfähig	sehr gering	~ 2'000'000 €

13.1.4. Rheinwasser

Flusswärme als klimaneutrale Wärmequelle der Zukunft (28.08.2023) ¹⁶
Beitrag im Internet von den GRÜNEN Düsseldorf



Der Rhein ist sogar im Winter etwa 5 °C warm. Diese Wärmeenergie reicht aus, um mithilfe von Wärmepumpen Heizungswasser so weit zu erwärmen, dass über Nah- und Fernwärmenetze viele Haushalte mit Heizwärme versorgt werden können. Angeregt durch das Flusswärme-Pilotprojekt in Mannheim, haben die GRÜNEN Düsseldorf nach dem Potenzial gefragt, Flusswärme auch in Düsseldorf als klimaneutrale Wärmequelle zu nutzen.

Zur Erinnerung an dieser Stelle: 30 % der gesamten CO₂-Emissionen in Düsseldorf stammen aus dem Bereich Heizwärme.

In Mannheim wird gerade eine der größten Wärmepumpen Europas gebaut, mit einer thermischen Leistung von zirka 20 MW. Lassen sich die dort gewonnenen Erfahrungen auf den Bau weiterer Wärmepumpen übertragen, wird dort erwartet, den Flüssen Rhein und Neckar 500 MW thermisch zu entziehen und damit rund 50'000 Haushalte mit Wärme zu versorgen. Ziel des Mannheimer Energieversorgers ist eine vollständig auf grünen Energiequellen basierte Fernwärmeversorgung bis 2030.

In einer Wärmepumpe befindet sich ein Kältemittel, das schon bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen verdampft. Dieser Dampf wird komprimiert, also verdichtet, und dabei entsteht Wärme. Diese Wärme wird durch Wärmetauscher an das Heizungswasser übertragen, welches Temperaturen bis zu 99 °C erreicht.

Im Vergleich zu der Nutzung fossiler Energieträger wird der CO₂-Ausstoß und die Treibhausgasemission erheblich reduziert und die Effizienz der Wärmegewinnung steigt. Klimaneutral ist das Ganze natürlich nur, wenn der benötigte Strom aus grüner Quelle stammt.

¹⁶ Quelle: [Flusswärme als klimaneutrale Wärmequelle der Zukunft – GRÜNE Düsseldorf](#)

Abb. 117: Anfrage der Ratsfraktionen BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und CDU zur Sitzung des Ausschusses für Umwelt-, Klima- und Verbraucherschutz am 25.05.2023

Flusswärme für Wärmepumpen als klimaneutrale Energiequelle für die (Fern-)Wärme-Versorgung in Düsseldorf (09.05.2023)

Sehr geehrter Herr Thämer,
wir bitten Sie, folgende Fragen auf die Tagesordnung der Sitzung zu setzen und von der Verwaltung beantworten zu lassen.

1. Wie bewertet die Verwaltung den Einsatz von Flusswärmepumpen, wie sie in Mannheim geplant bzw. eingesetzt werden?
2. Welche Möglichkeiten sieht die Verwaltung, auch in Düsseldorf eine oder mehrere Flusswärmepumpen – ggf. als Pilotprojekte – zu installieren?
3. Welche Gewässer(teile) kämen alternativ in Betracht, die Wasser-Temperaturen für eine oder mehrere Wärmepumpen zu nutzen?

Begründung:

Im Rahmen des Reallabors der Energiewende „Großwärmepumpen in Fernwärmenetzen“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) entstehen derzeit fünf Großwärmepumpen an verschiedenen Standorten in Deutschland.

In Mannheim beispielsweise soll das Wasser des Rheins für den Einsatz in Wärmepumpen genutzt werden und ab Herbst 2023 als klimaneutrale Wärmequelle dienen, um Fernwärme zu erzeugen. Im Auftrag des örtlichen Wärmeversorgers entsteht eine Flusswärmepumpe, die mit einer thermischen Leistung von zirka 20 Megawatt und einer elektrischen Leistung von sieben Megawatt eine der größten Wärmepumpen in Europa sein wird. Lassen sich die dort gewonnenen Erfahrungen auf den Bau weiterer Wärmepumpen übertragen, wird erwartet den Flüssen Rhein und Neckar 500 Megawatt thermisch zu entziehen und damit rund 50.000 Haushalte mit Wärme zu versorgen.

Das Flusswasser des Rheins in Mannheim wird im Sommer bis zu 25°C warm, im Winter sind es nur etwa 5° C. Diese Wärmeenergie reicht aus, um das Kältemittel in der Wärmepumpe zu verdampfen, zu komprimieren, durch Kondensation in einem Wärmetauscher auf das Fernheizwasser zu übertragen, das wiederum zur Wärmeversorgung genutzt werden kann.

Die Temperaturen des Rheins bei Düsseldorf sind mit den Werten in Mannheim vergleichbar. Es ist daher zu erwägen, ob die Nutzung des Rheinwassers auch hier eine interessante klimaneutrale Wärmequelle im Zusammenspiel mit Wärmepumpen sein kann und als potenzielle Quelle im Rahmen der Kommunalen Wärmeplanung zu berücksichtigen wäre. Hierbei wären ggf. auch die Möglichkeiten für die Lausward einzubeziehen.

Mit freundlichen Grüßen

Dr. Andreas Schröder Lukas Mielczarek

Abb. 118: Beantwortung der Anfrage der Ratsfraktion von CDU und BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN zur Sitzung des Umweltausschusses vom 17.08.2023

Vorlage AUS/041/2023
Beigeordneter Jochen Kral

Beantwortung der Anfrage der Ratsfraktionen von CDU und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN zur Sitzung des Umweltausschusses am 17.08.2023
Hier: Nutzung von Flusswärmepumpen für die (Fern-)Wärme-Versorgung

Die Verwaltung nimmt nach Abstimmung mit der Stadtwerke Düsseldorf AG (SWD) zu der Anfrage der Ratsfraktionen von CDU und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN wie folgt Stellung:

Frage 1.:

Wie bewertet die Verwaltung den Einsatz von Flusswärmepumpen, wie sie in Mannheim geplant bzw. eingesetzt werden?

Antwort zu 1.:

Die MVV Energie AG in Mannheim plant ab Herbst 2023 im Rahmen des Reallabors der Energiewende „Großwärmepumpen im Fernwärmenetz“ den Betrieb einer Flusswärmepumpe mit einer Leistung von ca. 20 MWth und 7 MWel. Ziel der MVV Energie AG ist eine vollständig auf grünen Energiequellen basierte Fernwärmeversorgung bis 2030.

Der Einsatz von Flusswärmepumpen bietet zahlreiche Vorteile. Flusswärmepumpen nutzen erneuerbare Energiequellen, indem sie die Wärmeenergie aus Flüssen oder anderen Gewässern nutzen. Im Vergleich zu der Nutzung fossiler Energieträger wird weniger Primärenergie für die Wärmeengewinnung eingesetzt, wodurch der CO₂-Ausstoß und die Treibhausgasemission reduziert werden und die Effizienz der Wärmeengewinnung steigt.

Obwohl die anfänglichen Investitionskosten für den Bau und die Installation einer Flusswärmepumpe höher sein können, können langfristig betrachtet Kosten eingespart werden. Durch die Nutzung kostenloser Umweltenergie kann der Energieverbrauch und damit verbundene Kosten reduziert werden.

Durch den Einsatz einer Flusswärmepumpe reduziert sich die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen wie Öl oder Gas. Dies kann besonders in Zeiten steigender Energiepreise oder politischer Konflikte von Vorteil sein.

Umfangreiche Genehmigungsverfahren stellen den Schutz von Flora und Fauna sicher. In Mannheim wurde die Flusswärmepumpe auf einem bestehenden Kraftwerksgelände errichtet. Aufgrund der dort bereits bestehenden Kühlwasserinfrastruktur mussten keine weiteren baulichen Eingriffe für die Entnahme und Rückführung des Rheinwassers getätigt werden. Für den Betrieb der Flusswärmepumpe werden dem Rhein geringe Wassermengen entnommen. Das entnommene Wasser wird nach dem Wärmeentzug durch die Flusswärmepumpe mit einer um 2-5 °C geringeren Temperatur vollständig zurück in den Rhein geleitet. Im Gegensatz zu der Entnahme von Rheinwasser zu Kühlzwecken eines Kraftwerks, bei der das Wasser anschließend mit erhöhter Temperatur eingeleitet wird, kann die Wiedereinleitung nach dem Durchlaufen der Flusswärmepumpe positiv dazu beitragen, den Rhein zu kühlen. Im Hinblick auf den Temperaturanstieg des Rheinwassers durch den Klimawandel und die damit einhergehende Beeinflussung des Ökosystems hat die kühlende Wirkung einen positiven Einfluss. Da

1

jedoch nur geringe Wassermengen entnommen und wieder eingeleitet werden, ist die Abkühlung des Rheins voraussichtlich nicht messbar.

Das Kältemittel der Flusswärmepumpe wird in einem separaten, geschlossenen Kreislauf geführt, so dass kein Kontakt mit dem Rheinwasser besteht. Des Weiteren wurde als Voraussetzung für die Genehmigung ein Kältemitteldetektionssystem verbaut, dass die Anlage zusätzlich vor einer Vermischung von Kältemittel und Rheinwasser absichert.

Herausforderungen für die Planung und die Installation einer solchen Anlage stellen die umfangreichen Genehmigungsverfahren dar. Fehlende oder geringe Fördermöglichkeiten erschweren die Realisierung derartiger Projekte ebenfalls.

Frage 2.:

Welche Möglichkeiten sieht die Verwaltung, auch in Düsseldorf eine oder mehrere Flusswärmepumpen – ggf. als Pilotprojekt – zu installieren?

Antwort zu 2.:

Durch die Lage Düsseldorfs am Rhein ist die Installation von Flusswärmepumpen technisch möglich. Die SWD setzen sich bereits intensiv mit dem Thema Großwärmepumpen auseinander. Eine Potentialstudie für die Errichtung einer Großwärmepumpe im Leistungsbereich 20-60 MW wurde bereits durchgeführt. Derzeit wird eine weiterführende Machbarkeitsstudie erstellt. Als Standort für die Großwärmepumpe wird das Gelände des Kraftwerks Lausward betrachtet. Wie auch in Mannheim bietet dieser Standort die direkte Lage am Rhein und eine bereits bestehenden Infrastruktur zur Entnahme und Rückführung des Flusswassers. Sollte die Machbarkeit bestätigt und mit der Installation einer Großwärmepumpe begonnen werden, könnte diese 2028 in Betrieb gehen.

Grundsätzlich können weitere Standorte entlang des Rheinufer für die Installation einer Flusswärmepumpe in Frage kommen. Kriterien für die Eignung eines Standortes können Zugänglichkeit, der vorhandene Platz und die Infrastruktur sein. Diese und weitere relevante Kriterien gilt es für den Einzelfall zu prüfen.

Frage 3.:

Welche Gewässer(teile) kämen alternativ in Betracht, die Wasser-Temperatur für eine oder mehrere Wärmepumpen zu nutzen?

Antwort zu 3.:

Neben weiteren Standorten entlang des Rheinufer ist eine Installation auch in Nebenflüssen oder Seen möglich.

Für die Installation einer Wärmepumpe zur Nutzung der Wärme aus dem Lichtenbroicher Baggersee ist die Planung bereits weitestgehend abgeschlossen, mit der Verwaltung abgestimmt und ein Antrag wird in Kürze erwartet. Das Projekt ermöglicht die Versorgung des anliegenden EUREF-Campus mit ca. 3 MW Kälte im Sommer und 2,5 MW Wärme im Winter. Die Inbetriebnahme der Wärmepumpe ist für 2025/2026 geplant. Diese erstmalige thermische Nutzung eines stehenden Gewässers in Düsseldorf wird durch ein umfangreiches Überwachungsprogramm begleitet, um die Auswirkungen auf das Gewässer und die Lebewelt zu dokumentieren.

Im Stadtgebiet Düsseldorf befinden sich in einer ähnlichen Größenordnung wie der Lichtenbroicher Baggersee der Unterbacher See und der Elbsee sowie die im siedlungsnahen Bereich liegenden Seen Südparksee und der Unisee, die für eine solche thermi-

2

sche Nutzung in Betracht kämen. Beim Unisee wäre der Einfluss einer geplanten Floating Photovoltaik-Anlage zu berücksichtigen. Ausschlaggebende Kriterien für die Nutzung von der im See enthaltenen Wärme sind neben der Größe des Sees auch die Wassertiefe, die Wassertemperatur, die Wasserqualität und die Zugänglichkeit. Es ist zu prüfen, ob die technischen und wirtschaftliche Nutzung der enthaltenen Wärme der anderen Düsseldorfer Seen möglich ist. Die Lage in Schutzgebieten ist hierbei zu berücksichtigen. Auch hier ist im Einzelfall die Verträglichkeit der thermischen Nutzung mit der Lebenswelt im Gewässer zu prüfen.

Ebenfalls denkbar ist die Nutzung von Wärme aus Abwasser mittels einer Wärmepumpe. Besonders an Abschnitten, in die konstant Abwasser auf einem warmen Temperaturniveau eingeleitet wird oder die einen hohen Volumenstrom führen, ist das Potential hoch. Die Stadtwerke Düsseldorf AG und die Verwaltung (insbesondere Stadtentwässerung) möchten diese Potentiale identifizieren und wenn möglich als Potential für die Wärmegewinnung erschließen. Eine mögliche technische Umsetzung könnte beispielsweise die Einbindung der im Wasser enthaltenen Wärme nach der Reinigung im Klärwerk Süd an die Großwärmepumpe Lauisward sein. Diese Option wird im Rahmen einer aktuellen Machbarkeitsstudie mituntersucht.

Beigeordneter Jochen Kral

3

Abb. 119: Verlauf Wassertemperatur Rhein - Messstation Düsseldorf-Flehe – Zeitraum: Dezember 2023 – November 2024 [Quelle: [LANUV - Hydrologische Messdaten Online](#)]



13.2. Anhang II: Systemtemperaturen

13.2.1. Wärme

Temperaturen (Sekundär-Netz):

- Maximum: 126 / 60 °C
- Regelbetrieb: 90 / 60 °C (aussen temperaturabhängig)
- Regelbetrieb: 70 / 60 °C (aussen temperaturabhängig)

Quelle: Auszug zu Wärmeversorgung auf Hochschulcloud Sciebo

13.2.2. Kälte

Temperaturen:

- Sommer: 8 / 14 °C
- Winter: 14 / 18 °C

Quelle: Prinzipschema TZ 2 auf Hochschulcloud Sciebo

Vorabzug

13.3. Anhang III: Abwärmenutzung

13.3.1. Abwärme RZ 23.11 – 12

$P_{IT} = 200 \dots 270 \text{ kW}$ Quelle: Bericht auf Hochschulcloud Sciebo

$\eta_{AWN} = 95 \%$ Annahme Lemon Consult

$VLS = 8'760 \text{ h/a}$ Annahme Lemon Consult

$Q_{AWN} = P_{IT} \times \eta_{AWN} \times VLS = 200 \dots 270 \text{ kW} \times 95 \% \times 8'760 \text{ h/a} = 1'650 \dots 2'250 \text{ MWh/a}$
 → 6 ... 8 % von Wärmeleistungsbedarf (Campus ohne 22er-Bereich)

13.3.2. Abwärme RZ 25.41

$P_{IT} = 350 \text{ kW}$ Quelle: Bericht auf Hochschulcloud Sciebo

$\eta_{AWN} = 95 \%$ Annahme Lemon Consult

$VLS = 8'760 \text{ h/a}$ Annahme Lemon Consult

$Q_{AWN} = P_{IT} \times \eta_{AWN} \times VLS = 350 \text{ kW} \times 95 \% \times 8'760 \text{ h/a} = 2'900 \text{ MWh/a}$
 → 10 % von Wärmeleistungsbedarf (Campus ohne 22er-Bereich)

13.3.3. Abwärme Druckluft

$V_{DL} = 400 \text{ m}^3/\text{h}$ Quelle: Efficio

Unterlagen Atlas Copco:

$V_{DL} = 0.4 \dots 2.3 \text{ m}^3/\text{min} = 24 \dots 140 \text{ m}^3/\text{h}$

$V_{DL} = 140 \text{ m}^3/\text{h} \Leftrightarrow P_{el} = 19 \text{ kW} \rightarrow V_{DL} = 400 \text{ m}^3/\text{h} \Leftrightarrow P_{el} = 54 \text{ kW}$

$P_{el} = 54 \text{ kW}$ Quelle: Hochrechnung aus Unterlagen Atlas Copco

$\eta_{AWN} = 80 \%$ Annahme Lemon Consult

$VLS = 8'760 \text{ h/a}$ Annahme Lemon Consult

$Q_{AWN} = P_{IT} \times \eta_{AWN} \times VLS = 54 \text{ kW} \times 80 \% \times 8'760 \text{ h/a} = 380 \text{ MWh/a}$
 → 1.5 % von Wärmeleistungsbedarf (Campus ohne 22er-Bereich)

13.3.4. Abwärme Kälteerzeugung TZ1

Ganzjährige Rückkühlleistung (unabhängig von Außentemperatur): > 1 MW

Kein Freecooling-Betrieb

Temperaturniveau Rückkühlung: 36 / 29 °C

13.3.5. Abwärme Kälteerzeugung PEAC

Rückkühlung auf hohem Temperaturniveau

Freecooling bei $t_{AUL} < 4 \text{ °C}$

Temperaturniveau Rückkühlung: 45 / 40 °C

Rückkühlleistung: ca. 1'000 kW / Wärmeleistung: ca. 800 kW

13.4. Anhang IV: Photovoltaik

13.4.1. Photovoltaik mit extensiver Dachbegrünung

Abb. 120: PVA mit extensiver Dachbegrünung [Süd-Ausrichtung]



Beschreibung

Die Kombination von extensiver Begrünung mit Photovoltaik fördert einerseits die Biodiversität (in den Städten ist der Honig wesentlich vielfältiger als auf dem Land) und andererseits kann der Wirkungsgrad der PV-Module infolge der geringeren Hitzeentwicklung leicht verbessert werden.

Vorteile

- Nachhaltige Stromerzeugung vor Ort
- Förderung der Biodiversität
- Möglichkeit der Realisierung eines ZEV (Zusammenschluss zum Eigenverbrauch)

Nachteile

- Pflege der extensiven Begrünung notwendig, damit diese nicht über die PV-Module wächst und diese verschattet

Abb. 121: PVA mit extensiver Dachbegrünung [Ost-West-Ausrichtung]



13.4.2. Photovoltaik in der Fassade

Beschreibung

PV-Module können farblich vielfältig in der Fassade eingesetzt werden.

Vorteile

- An hohen Bauten ist die Dachfläche zu gering, um nennenswerten Ertrag zu erzielen
- PV ist ein kostengünstiges Fassadenmaterial (hagelsicher Scheibe zu ca. < € 50/m²)

Nachteile

- Geringerer Ertrag in Fassade
- Möglichkeit der Verschattung durch umliegende Gebäude, Bäume
- Brandschutzauflagen

Abb. 122: Solarertrag in Abhängigkeit der Fassadenausrichtung

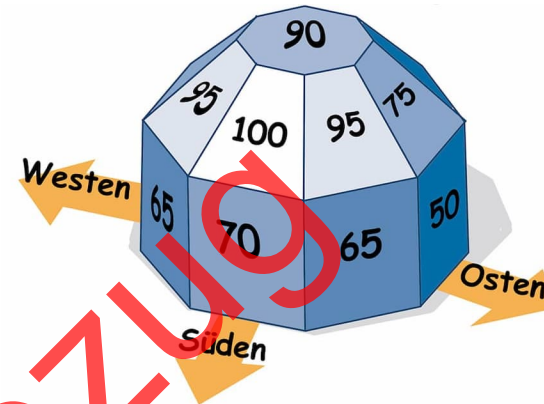


Abb. 123: Photovoltaik-Module in der Fassade (StoVentec ARTline Invisible) beim Grosspeter Tower, Basel [Quelle: swiss-architects.com / espazium.ch]

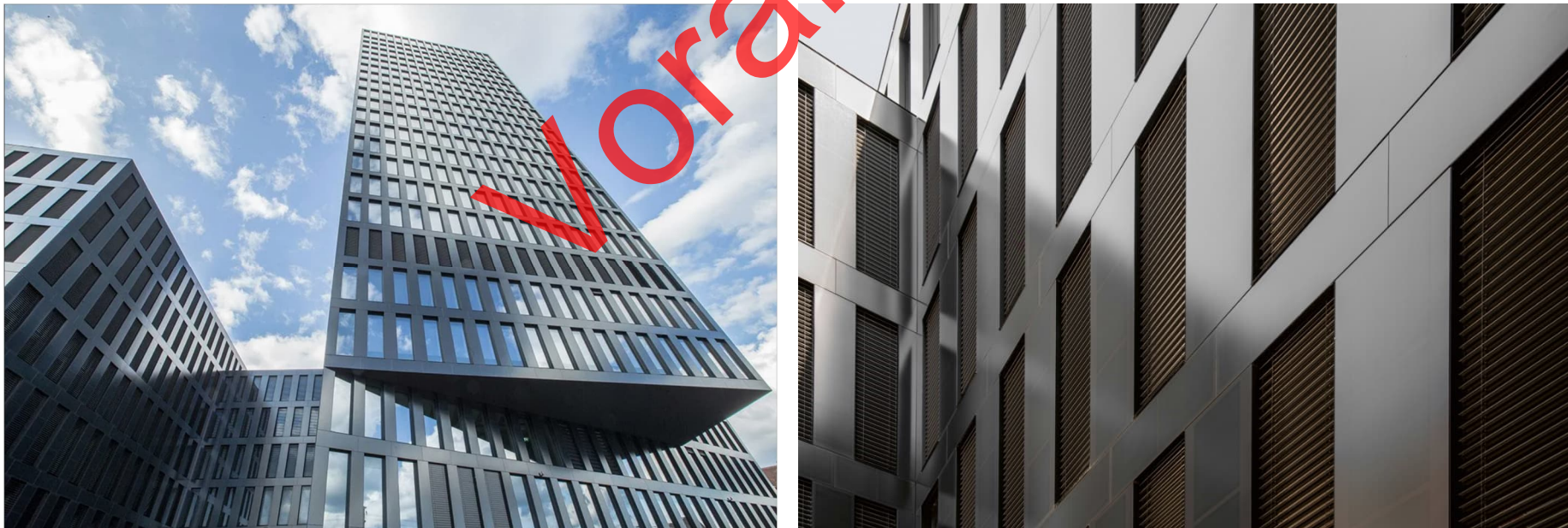
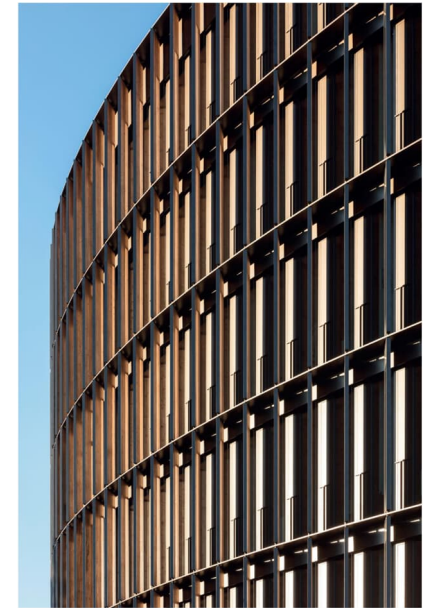


Abb. 124: Photovoltaik-Module in der Fassade des neuen Rathauses in Freiburg im Breisgau [Quelle: tropp-lighting.com / dbz.de]



Vorab

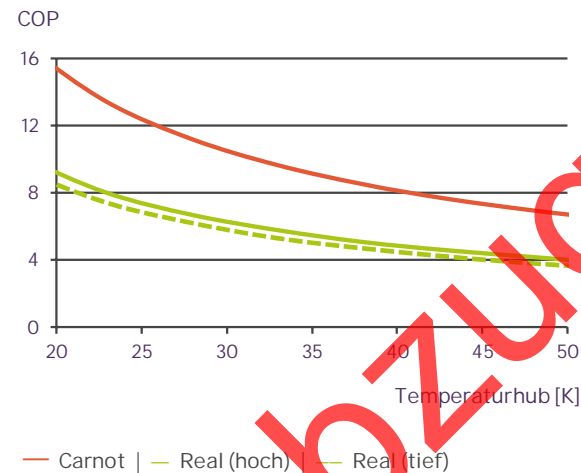
13.5. Anhang V: Wärmepumpen

13.5.1. Wärmepumpen mit Ammoniak (NH₃ / R717) als Kältemittel (Sole)

$$\text{COP}_{\text{CARNOT}} = \frac{T_{\text{VORLAUF}} + 273}{T_{\text{VORLAUF}} - T_{\text{SOLE}}}$$

Bei Wasser-Wasser-Wärmepumpen (bei Volllast):
 $\text{COP}_{\text{REAL}} = \text{COP}_{\text{CARNOT}} \times 0.55 \dots 0.60$

Im COP nicht enthalten sind Pumpen und Speicher-
 verluste.

Abb. 125: Vergleich COP_{REAL} mit COP_{CARNOT}

Tab. 18: COP in Abhängigkeit des Temperaturhubes

T _{SOLE}	T _{VORLAUF}	T _{HUB}	COP _{REAL}
12 °C	30 °C	18 °C	9.3 ... 10.1
12 °C	35 °C	23 °C	7.4 ... 8.0
12 °C	40 °C	28 °C	6.2 ... 6.7
12 °C	45 °C	33 °C	5.3 ... 5.8
12 °C	50 °C	38 °C	4.7 ... 5.1
12 °C	55 °C	43 °C	4.2 ... 4.6
12 °C	60 °C	48 °C	3.8 ... 4.2

Anmerkungen

Eine NH₃-Wärmepumpe weist mit unter die höchste Performance auf. Das Kältemittel Ammoniak ist hochgiftig. Deshalb sind die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen sowie der Wartungsaufwand entsprechend hoch.

Hubkolben- oder Schraubenverdichter

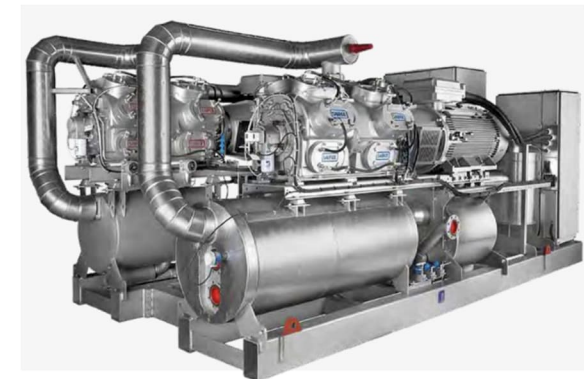
Min. Verdampfertemperatur: -10 °C (-15 °C)

Max. Verflüssigertemperatur: 90 °C (95 °C)

Kältemittel: R717 / GWP 0

Gering brennbar

Hoch toxisch

Abb. 126: NH₃-Wärmepumpe (Sabroe DualPAC / 400-2'000 kW)

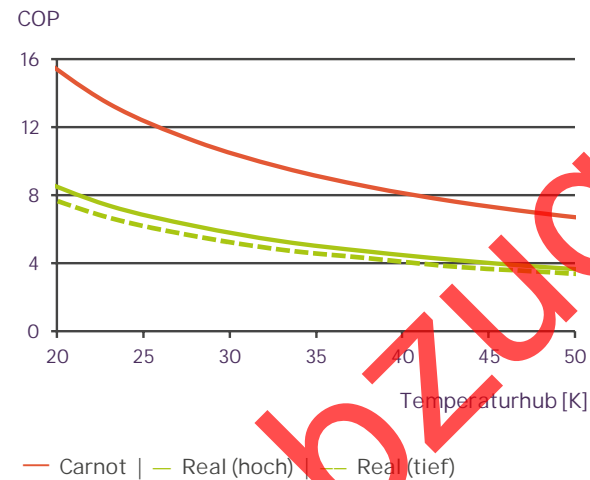
13.5.2. Niederhub-Wärmepumpen (Grundwasser)

$$\text{COP}_{\text{CARNOT}} = \frac{T_{\text{VORLAUF}} + 273}{T_{\text{VORLAUF}} - T_{\text{SOLE}}}$$

Bei Wasser-Wasser-Wärmepumpen (bei Volllast):

$$\text{COP}_{\text{REAL}} = \text{COP}_{\text{CARNOT}} \times 0.50 \dots 0.55$$

Im COP nicht enthalten sind Pumpen und Speicherverluste.

Abb. 127: Vergleich COP_{REAL} mit COP_{CARNOT}

Tab. 19: COP in Abhängigkeit des Temperaturhubs

T _{SOLE}	T _{VORLAUF}	T _{HUB}	COP _{REAL}
12 °C	30 °C	18 °C	8.4 ... 9.3
12 °C	35 °C	23 °C	6.7 ... 7.4
12 °C	40 °C	28 °C	5.6 ... 6.2
12 °C	45 °C	33 °C	4.8 ... 5.3
12 °C	50 °C	38 °C	4.3 ... 4.7
12 °C	55 °C	43 °C	3.8 ... 4.2
12 °C	60 °C	48 °C	3.5 ... 3.8

Anmerkungen

Ölfreie Turbo-Wärmepumpen / Kältemaschinen ermöglichen optimale EER- / COP-Kennzahlen. Insbesondere im Teillast weisen die Maschinen mit überflutetem Verdampfer steigende Wirkungsgrade auf.

Ölfreie Turbo-Verdichter

Min. Verdampfertemperatur: 0 °C

Max. Verflüssigertemperatur: 60 °C

Max. Spreizung: 50 K

Kältemittel:

R1234ze / GWP 7

Gering brennbar

Gering toxisch

Abb. 128: Turbo-WP / KM (Engie Quantum / 250-2'500 kW)

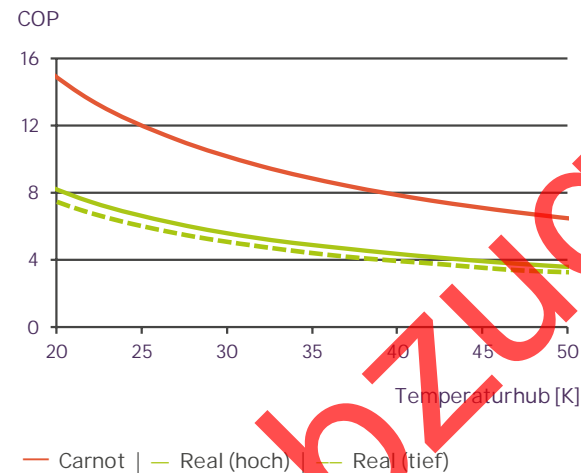


13.5.3. Niederhub-Wärmepumpen (Erdwärmesonden)

$$\text{COP}_{\text{CARNOT}} = \frac{T_{\text{VORLAUF}} + 273}{T_{\text{VORLAUF}} - T_{\text{SOLE}}}$$

Bei Sole-Wasser-Wärmepumpen (bei Volllast):
 $\text{COP}_{\text{REAL}} = \text{COP}_{\text{CARNOT}} \times 0.50 \dots 0.55$

Im COP nicht enthalten sind Pumpen und Speicher-
 verluste.

Abb. 129: Vergleich COP_{REAL} mit COP_{CARNOT}

Tab. 20: COP in Abhängigkeit des Temperaturhubs

T _{SOLE}	T _{VORLAUF}	T _{HUB}	COP _{REAL}
3 °C	20 °C	17 °C	8,6 ... 9,5
3 °C	25 °C	22 °C	6,8 ... 7,5
3 °C	30 °C	27 °C	5,6 ... 6,2
3 °C	35 °C	32 °C	4,8 ... 5,3
3 °C	40 °C	37 °C	4,2 ... 4,7
3 °C	45 °C	42 °C	3,8 ... 4,2
3 °C	50 °C	47 °C	3,4 ... 3,8

Anmerkungen

Ölfreie Turbo-Wärmepumpen / Kältemaschinen ermöglichen optimale EER- / COP-Kennzahlen. Insbesondere im Teillast weisen die Maschinen mit überflutetem Verdampfer steigende Wirkungsgrade auf.

Ölfreie Turbo-Verdichter

Min. Verdampfertemperatur: 0 °C

Max. Verflüssigertemperatur: 60 °C

Max. Spreizung: 50 K

Kältemittel:

R1234ze / GWP 7

Gering brennbar

Gering toxisch

Abb. 130: Turbo-WP / KM (Engie Quantum / 250-2'500 kW)



13.5.4. Booster-Wärmepumpen (Abwärmenutzung Kälteerzeugung)

$$\text{COP}_{\text{CARNOT}} = \frac{T_{\text{VORLAUF}} + 273}{T_{\text{VORLAUF}} - T_{\text{SOLE}}}$$

Bei Wasser-Wasser-Wärmepumpen (bei Volllast):

$$\text{COP}_{\text{REAL}} = \text{COP}_{\text{CARNOT}} \times 0.40 \dots 0.45$$

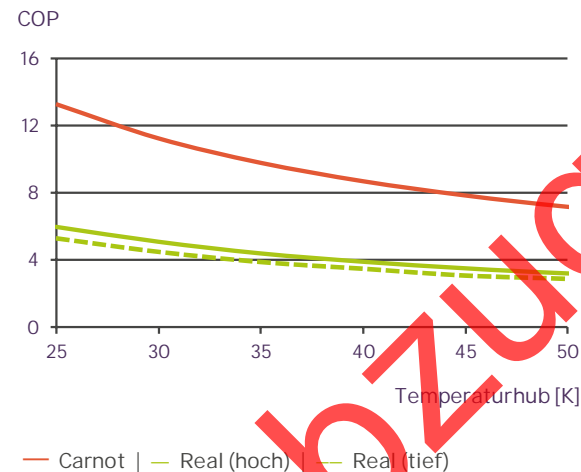
Beispiel für 2-stufige Wärmepumpe:

	Hub	COP
Sole/W-WP	12 → 35 °C	6.7 ... 7.4
Booster-WP	35 → 85 °C	3.2 ... 3.6
Total ca.		4.9 ... 5.5

Beispiel für 1-stufige Wärmepumpe (CO₂):

	Hub	COP
Sole/W-WP	12 → 85 °C	2.5 ... 3.3

Im COP nicht enthalten sind Pumpen und Speicher-
verluste.

Abb. 131: Vergleich COP_{REAL} mit COP_{CARNOT}

Tab. 21: COP in Abhängigkeit des Temperaturhubes

T _{SOLE}	T _{VORLAUF}	T _{HUB}	COP _{REAL}
35 °C	60 °C	25 °C	5.3 ... 6.0
35 °C	65 °C	30 °C	4.5 ... 5.1
35 °C	70 °C	35 °C	3.9 ... 4.4
35 °C	75 °C	40 °C	3.5 ... 3.9
35 °C	80 °C	45 °C	3.1 ... 3.5
35 °C	85 °C	50 °C	2.9 ... 3.2
35 °C	90 °C	55 °C	2.6 ... 3.0

Anmerkungen

Eine Booster-Wärmepumpe eignet sich, um das Temperaturniveau auf Vorlauftemperaturen von ca. 85 °C anzuheben.

Schraubenverdichter

Min. Verdampfertemperatur: 35 °C

Max. Verflüssigertemperatur: 85 °C

Max. Spreizung: 50 K

Kältemittel: R1234ze / GWP 7

Gering brennbar

Gering toxisch

Abb. 132: Booster-Wärmepumpe



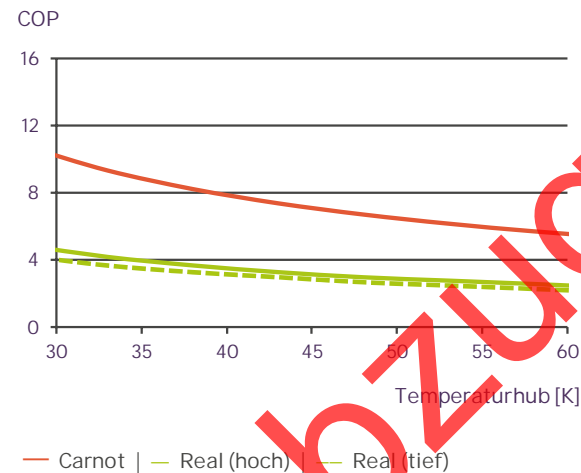
13.5.5. Wärmepumpen mit Propan (R290) als Kältemittel (Aussenluft)

$$\text{COP}_{\text{CARNOT}} = \frac{T_{\text{VORLAUF}} + 273}{T_{\text{VORLAUF}} - T_{\text{LUFT}}}$$

Bei Luft-Wasser-Wärmepumpen (bei Volllast):

$$\text{COP}_{\text{REAL}} = \text{COP}_{\text{CARNOT}} \times 0.40 \dots 0.45$$

Die Jahresarbeitszahl (JAZ), welche auch den Stromverbrauch der Pumpen sowie die Abtauung u. Speicherverluste beinhaltet, ist ca. 0.5 tiefer als der Coefficient of Performance (COP).

Abb. 133: Vergleich COP_{REAL} mit COP_{CARNOT}

Tab. 22: COP in Abhängigkeit des Temperaturhubs

T _{SOLE}	T _{VORLAUF}	T _{HUB}	COP _{REAL}
2 °C	30 °C	28 °C	4.3 ... 4.9
2 °C	35 °C	33 °C	3.7 ... 4.2
2 °C	40 °C	38 °C	3.3 ... 3.7
2 °C	45 °C	43 °C	3.0 ... 3.3
2 °C	50 °C	48 °C	2.7 ... 3.0
2 °C	55 °C	53 °C	2.5 ... 2.8
2 °C	60 °C	58 °C	2.3 ... 2.6

Anmerkungen

Größere Propan-Wärmepumpen werden infolge der hohen Brennbarkeit des Kältemittels vorwiegend außen aufgestellt.

Schraubenverdichter

Min. Verdampfertemperatur: -20 °C

Max. Verflüssigertemperatur: 55 °C

Max. Spreizung: 50 K

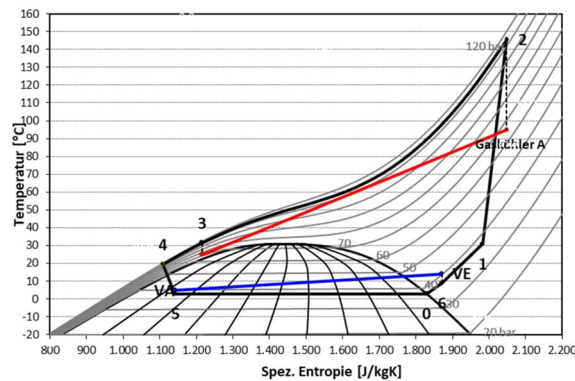
Kältemittel: R290 / GWP 3

Hoch brennbar

Gering toxisch

Abb. 134: Reversible Propan Wärmepumpe (CTA)



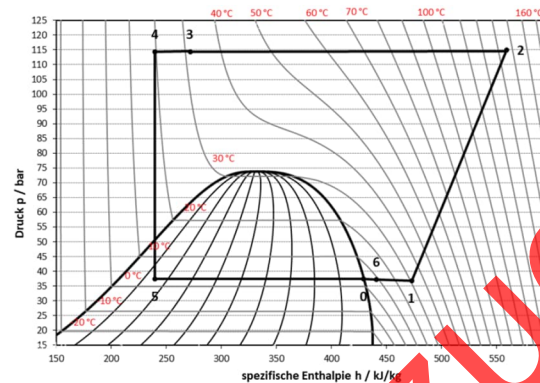
13.5.6. Hochtemperatur-Wärmepumpen (CO₂)

Beispiel für 1-stufige Wärmepumpe (CO₂):

14 °C → 90 / 25 °C COP = 3.3

14 °C → 90 / 40 °C COP = 2.8

Im COP nicht enthalten sind Pumpen und Speicherverluste.



● BP 14/5 °C // 25/90 °C

● $COP_h = \frac{Q_h}{P_{el}} = \frac{h''(2) - h''(3)}{h''(2) - h''(1)} = \frac{559 - 271}{559 - 472,7} = 3,3$

● Sauggastemperatur 31 °C

Anmerkungen

Eine CO₂-Hochtemperatur-Wärmepumpe ermöglicht Vorlauftemperaturen von mehr als 90 °C. Das spezielle an einer CO₂-Wärmepumpe ist der hohe Hub (hoher Druck bis 130 bar im tanskritischen Bereich). Die Rücklauftemperatur muss < 50 °C betragen. Der COP ist umso höher, je tiefer die Rücklauftemperatur ist.

Schraubenverdichter

Min. Verdampfertemperatur: -20 °C (-30 °C)

Max. Verflüssigertemperatur: 90 °C (110 °C)

Max. Spreizung: 60 – 120 K

Kältemittel: R744 / GWP 1

Nicht brennbar

Gering toxisch

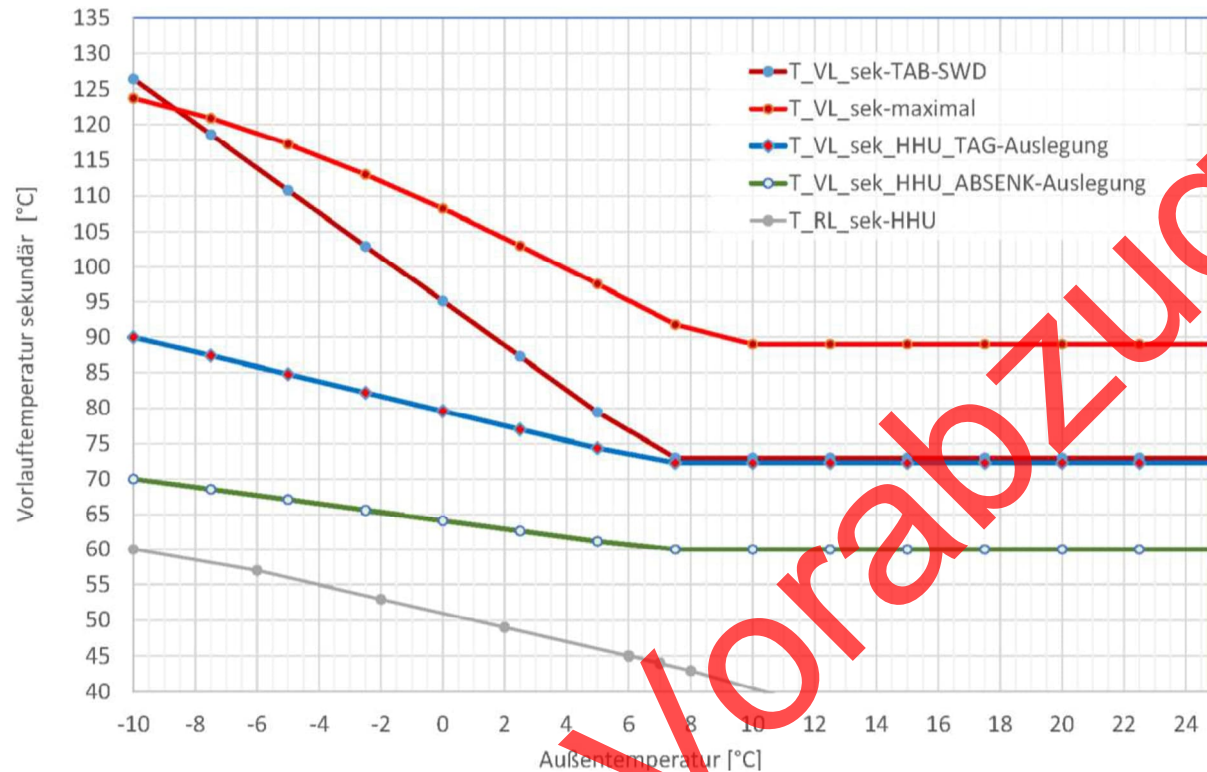
Abb. 135: WP / KM (thermeco 2 / 45 – 1'400 kW)



13.6. Anhang VI: Maßnahmen zur Senkung der Vorlauftemperatur im bestehenden Wärmeverteilungsnetz

13.6.1. Systemtemperaturen

Abb. 136: Systemtemperaturen Wärmeverteilung HHU in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur



Reduktion des Wärmeleistungsbedarfs

- Gute Wärmedämmung (Dach, Fenster, opake Fassade)
- Nutzung passiver Solargewinne im Winter
- Effiziente Lüftungstechnik mit guter Wärmerückgewinnung

Prüfung, ob Trennung von Hochtemperatur- / Niedertemperaturverbrauchern möglich ist

- Ermittlung / Lokalisierung der Hochtemperaturverbraucher wie z.B. WW-Bereitung, Lufterwärmung, Befeuchtung etc.
- Prüfen, ob WW überhaupt erforderlich ist (in ICE ist kein WW in WC vorhanden)

Kontinuierliche Senkung der Vorlauftemperatur auf ein Zielniveau

- Bei Neubauten konsequente Auslegung der Wärmeabgabesysteme auf $< 30\text{ °C}$
- Einsatz von Flächen-Heiz-/Kühlsystemen
- Einsatz von Umluft-Heiz-/Kühlsystemen

13.6.2. Akustisch wirksames und thermisch leitendes Deckensegelsystem

Abb. 137: .. Beispiel Heiz- / Kühldeckensystem Akustiktherm Base [Quelle: barcolair.com]



Beschreibung

- Akustisch wirksames und thermisch leitendes Deckensegelsystem für den Einsatz in Objekten mit Bauteilaktivierung
- Bei Bedarf Möglichkeit zur Erhöhung der Kühlleistung (neben der Bauteilaktivierung) durch aktivierbare Kühlregister
- Möglichkeit zur Integration von Beleuchtungselementen, Rauchmeldern und Sprinkler in die Deckenmodule

Vorteile

- Ästhetische Heiz- / Kühldeckensystem
- Aktivierung Betonmasse
- Geringe Aufbauhöhe
- Integrierte Akustikelemente
- Sowohl als thermoaktive Decke als auch als flinke Heiz-/ Kühldecke nutzbar

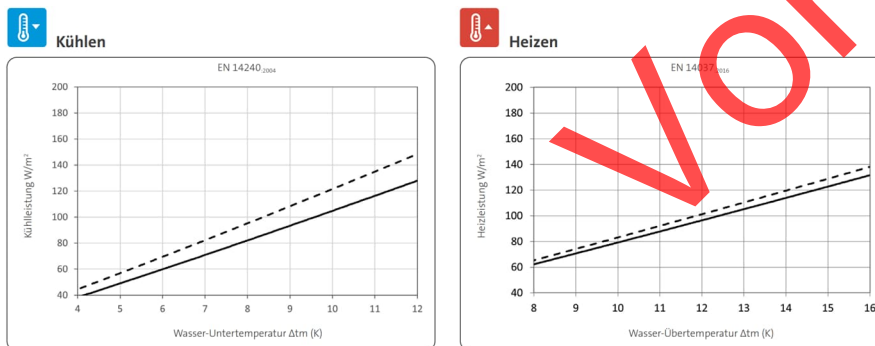
Nachteile

- Je nach Installationskonzept TGA sichtbar an Decke oder in Decken-koffer
- Relativ hohe Investitionskosten

Hersteller

- Barcol-Air Group AG / Barcol-Air GmbH

Abb. 138: Heiz-/Kühlleistung Akustiktherm Base Plus [Quelle: barcolair.com]



— Herkömmliches Heiz-/Kühlsegel --- Akustiktherm Base Plus*

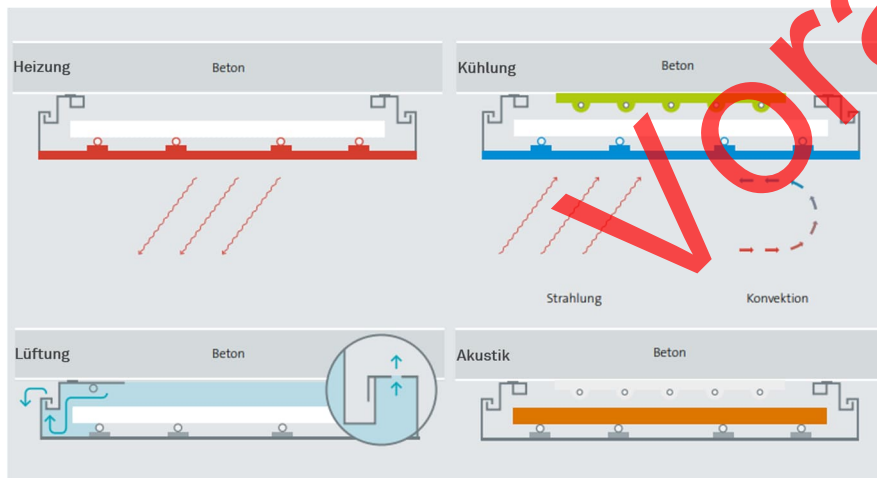
* inkl. Aktivierungsregister für Heiz-/Kühlfunktion

13.6.3. Hybrides Heiz-/Kühldeckenmodul

Abb. 139: Beispiel hybrides Heiz- / Kühldeckensystem [Quelle: barcolair.com]



Abb. 140: Funktionen hybrides Heiz- / Kühldeckensystem [Quelle: barcolair.com]



Beschreibung

- Multifunktionales Klimadeckensystem mit integriertem Luftauslass, Heiz-, Kühl- und Akustikfunktion
- Miteinbezug der Gebäudemasse durch die direkte Bewirtschaftung der Betondecke
- Möglichkeit zur Integration von Beleuchtungselementen, Rauchmeldern und Sprinkler in die Deckenmodule

Vorteile

- Multifunktionales Klimadeckensystem (alle Komponenten in einem Element)
- Möglichkeit zur Nutzung der thermischen Speichermasse
- Als klassische Heiz-/Kühldecke nutzbar
- Aus bauökologischer Sicht sinnvoll, da einfach ersetzbar / rückbaubar

Nachteile

- Je nach Installationskonzept TGA sichtbar an Decke oder in Decken-koffer
- Relativ hohe Investitionskosten

Hersteller

- Barcol-Air Group AG / Barcol-Air GmbH
- Lindner Group

13.6.4. Fancoil

Abb. 141: Beispiel eines Büros mit Fancoils [Quelle: erichkeller.com]



Abb. 142: Leistung von Fancoils in Abhängigkeit der mittleren Übertemperatur



T Vorlauf: 20 °C, T Raum: 26 °C; Wassermenge: 45 l/h
 Mittlere Übertemperatur: 4,2 K; Kühlleistung: 200 W

Beschreibung

- Das Fancoil-System Riotherm wird im Winter mit höchstens 26 °C, im Sommer mit tiefstens 20 °C betrieben. Dies ist die Voraussetzung für eine weitestgehende Freecooling-Anwendung.

Vorteile

- Flinke Reaktionszeit
- Energieeffiziente Lösung, da optimal für Niedertemperaturhup-WP
- Optimal für Freecooling-Betrieb
- Keine Kondensatbildung da Vorlauf > 20 °C
- Geringer Stromverbrauch 1 W/m Gerät

Nachteile

- Betriebsgeräusche
- Luftumsatz (Staubverteilung)

Hersteller

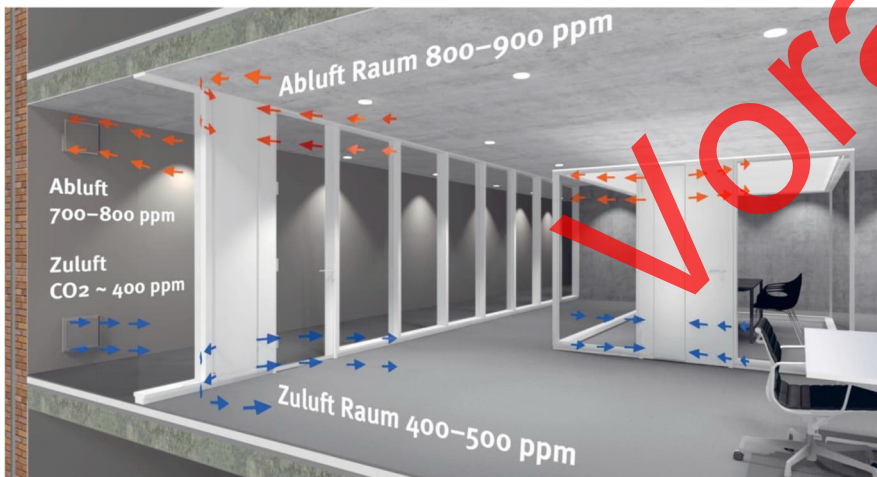
- Erich Keller AG

13.6.5. Verbundlüfter

Abb. 143: Beispiel eines Büros mit Verbundlüftern [Quelle: erichkeller.com]



Abb. 144: Funktionsprinzip Verbundlüfter [Quelle: erichkeller.com]



Beschreibung

- Bei Verbundlüftern handelt es sich um ein Lüftungssystem, welches beinahe lautlos Luft zwischen dem Korridor und dem Raum austauscht.
- Verbundlüfter erweitern Türe und Wände zu einem Lüftungselement, welches ohne Verlegen von Lüftungskanälen in den Korridorbereichen auskommt.
- Das Ergebnis ist eine äußerst effiziente sowie bedarfsgerechte Lüftung.

Vorteile

- Kombination mit einer Quelllüftung (Durchlass im Korridorbereich) möglich
- Kein Kanalnetz in den Korridorbereichen erforderlich
- Belüftung von Besprechungsräumen möglich (Box in Box)
- Gut geeignet für Sanierungen

Nachteile

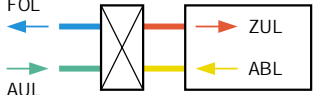
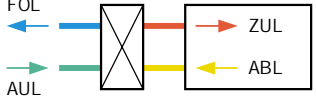
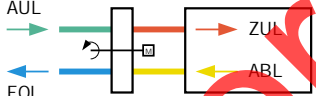
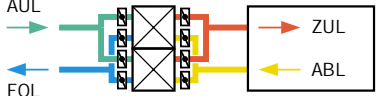
- Hohe Investitionen für Überströmelemente in Türen und Wänden
- Überströmung von Mischluft (keine Frischluft) von Korridor in Büro-bereich
- Ventilatoren nicht völlig geräuschlos

Hersteller

- Erich Keller AG

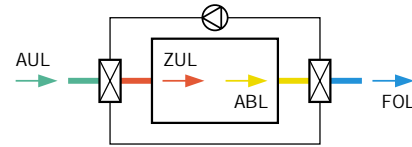
13.7. Anhang VII: Vergleich von Wärmerückgewinnungssystemen bei RLT-Anlagen

Tab. 23: Vergleich von Wärmerückgewinnungssystemen bei RLT-Anlagen

Nr.	System		Vorteile	Nachteile
01	Platten-Wärmetauscher		<ul style="list-style-type: none"> – Sehr geringe Leckrate oder absolut dicht – Große Oberflächen (Übertragungsflächen) möglich – Geringe Verschmutzung – Gute Reinigungsmöglichkeit – Einfache Leistungsregulierung durch Bypassklappe – Keine bewegten Teile 	<ul style="list-style-type: none"> – Große Abmessungen bei hohen Luftmengen – Keine Feuchteübertragung möglich
02	Enthalpie-Plattentauscher		<ul style="list-style-type: none"> – Sehr gute Feuchteübertragung – Keine Übertragung von Gerüchen und Keimen – Sehr geringe Leckrate oder absolut dicht – Keine bewegten Teile 	<ul style="list-style-type: none"> – Große Abmessungen bei hohen Luftmengen – Hohe Investitionen
03	Rotations-Wärmetauscher		<ul style="list-style-type: none"> – Hohe Wirkungsgrade – Sehr gute Feuchteübertragung – Niedrige Druckverluste – Einfache Leistungsregulierung 	<ul style="list-style-type: none"> – Zusammenführung der Luftströme notwendig – Z.T. hohe Leckraten (mit Alter zunehmend) – Geruchsübertragung aus Fortluft möglich – Verschleiß am Rotor und an Dichtungen
04	Speicherplatten-Wärmetauscher (Umschalt-Speicher)		<ul style="list-style-type: none"> – Sehr hoher Wirkungsgrade – Nachwärmung der Zuluft auch bei tiefen Außenlufttemperaturen nicht erforderlich – Sehr gute Feuchteübertragung – Keine Vereisungsgefahr – Einfache Leistungsregulierung durch Schaltzeitsteuerung – Gute Reinigungsmöglichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> – Zusammenführung der Luftströme notwendig – Geruchsübertragung aus Fortluft möglich – Verschleiß an bewegten Teilen – Hohe Investitionen

Nr. System

05 Kreislaufverbundsystem



Vorteile

- Einzige Möglichkeit der Wärmerückgewinnung bei räumlich getrennten Luftströmen
- Geringer Platzbedarf
- Keine Leckrate
- Entkoppelung von Wärme und Kälte möglich

Nachteile


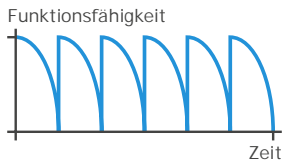
- Keine Feuchteübertragung
- Hoher luftseitiger Druckverlust
- Vergleichsweise tiefer Wirkungsgrad
- Gesamtsystem sehr aufwendig (hohe Investitionen)
- Hoher Wartungsaufwand
- Komplizierte Regelung
- Frostschutzmittel erforderlich

Vorabzug

13.8. Anhang VIII: Systemtrennung

Konsequente Trennung von Primär-, Sekundär- und Tertiär-System zur Optimierung des Unterhalts, zur Vereinfachung bei Umbauten sowie zur kostengünstigen Erneuerung des Gebäudes entsprechend der unterschiedlichen Lebensnutzungsdauer der einzelnen Bauwerksteile.

Tab. 24: Zuordnung der Bauelemente in die Systemstufen Primär-, Sekundär- und Tertiärsystem [Quelle Bilder: www.bve.be.ch]

Primärsystem		Sekundärsystem		Tertiärsystem	
Bauelemente mit langer Lebensdauer (50 – 100 Jahre)		Bauelemente mit mittlerer Lebensdauer (15 – 50 Jahre)		Bauelemente mit kurzer Lebensdauer (5 – 15 Jahre)	
unveränderbar		anpassbar		veränderbar	
Beispiele:		Beispiele:		Beispiele:	
<ul style="list-style-type: none"> – Innere und äußere Erschließung – Tragkonstruktion (horizontales und vertikales Raster) – Gebäudehülle (Fassaden, Dach) 		<ul style="list-style-type: none"> – Innenausbau (Wände, Böden, Decken) – Feste haustechnische Installationen – Beleuchtung, Sicherheit, Kommunikationsmittel 		<ul style="list-style-type: none"> – Apparate – Einrichtung – Mobiliar 	

Anmerkungen

- Primärelemente enthalten sämtliche statischen Konstruktionselemente.
- Sekundärelemente enthalten sämtliche nicht tragenden Elemente für die Raumstrukturen.
- Die Gebäudetechnik-Installationen sind konsequent von der Primärstruktur zu trennen.
- Auf eingelegte Haustechnik-Installationen soll konsequent verzichtet werden.
- Zudem ist der Innenausbau ebenfalls getrennt von der Primärstruktur, wodurch eine langfristige, flexible Gestaltung ermöglicht wird

13.9. Anhang IX: Ökobilanz

13.9.1. Bezugsjahr: 2026

Variante 00 – 2026 (IST)

System		Nutzenergie		Betrachtungssperimeter	
Wärme	Fernwärme	Wärme	MWh/a	47'600 MWh/a	Energiebedarf für Wärme- und Kälteerzeugung
Kälte	Kältemaschinen	Kälte	MWh/a	18'200 MWh/a	
Strom	Strom aus Windkraft	Strom	MWh/a	0 MWh/a	

Ökobilanzierung

Erzeugung	Deckungsgrad	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Energieträger	Primärenergie gesamt	Primärenergie n.e.	Treibhausgas- emissionen
	[%]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[MWh/a]	[t/a]
Wärme								
Fernwärme	100	47'600	1.0	47'600	Fernwärme	N/A	N/A	8'995
Booster-Wärmepumpe	-	-	3.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Grundwasser-Wärmepumpe	-	-	6.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Erdsonden-Wärmepumpe	-	-	5.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Aussenluft-Wärmepumpe	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Kälte								
Grundlast-Kälte	100	18'200	4.0	4'600	Strom	N/A	N/A	40
Spitzenlast-Kälte	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Grundwasserkühlung	-	-	15.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Erdsondenkühlung	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Aussenluft-Kühlung (rev. WP/KM)	-	-	3.5	-	Strom	N/A	N/A	-
Strom	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
-	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Total		65'800		52'200		-	-	9'035

Variante 01 – 2026

System		Nutzenergie		Betrachtungssperimeter	
Wärme	Fernwärme / Booster-WP	Wärme	MWh/a	47'600 MWh/a	Energiebedarf für Wärme- und Kälteerzeugung
Kälte	Kältemaschine	Kälte	MWh/a	18'200 MWh/a	
Strom	Strom aus Windkraft	Strom	MWh/a	0 MWh/a	

Ökobilanzierung

Erzeugung	Deckungsgrad	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Energieträger	Primärenergie gesamt	Primärenergie n.e.	Treibhausgas- emissionen
	[%]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[MWh/a]	[t/a]
Wärme								
Fernwärme	63	30'000	1.0	30'000	Fernwärme	N/A	N/A	5'640
Booster-Wärmepumpe	37	17'600	3.0	5'900	Strom	N/A	N/A	55
Grundwasser-Wärmepumpe	-	-	6.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Erdsonden-Wärmepumpe	-	-	5.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Aussenluft-Wärmepumpe	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Kälte								
Grundlast-Kälte	72	13'100	4.0	3'300	Strom	N/A	N/A	30
Spitzenlast-Kälte	28	5'100	4.0	1'300	Strom	N/A	N/A	10
Grundwasserkühlung	-	-	15.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Erdsondenkühlung	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Aussenluft-Kühlung (rev. WP/KM)	-	-	3.5	-	Strom	N/A	N/A	-
Strom	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
-	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Total		65'800		40'500		-	-	5'765

Variante 02 – 2026

System		Nutzenergie		Betrachtungssperimeter	
Wärme	Fernwärme / Booster-WP / GW-WP	Wärme	MWh/a	47'600 MWh/a	Energiebedarf für Wärme- und Kälteerzeugung
Kälte	Kältemaschine / GW-Kühlung	Kälte	MWh/a	18'200 MWh/a	
Strom	Strom aus Windkraft	Strom	MWh/a	0 MWh/a	

Ökobilanzierung

Erzeugung	Deckungsgrad	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Energieträger	Primärenergie gesamt	Primärenergie n.e.	Treibhausgas- emissionen
	[%]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[MWh/a]	[t/a]
Wärme								
Fernwärme	23	10'900	1.0	10'900	Fernwärme	N/A	N/A	2'060
Booster-Wärmepumpe	37	17'600	3.0	5'900	Strom	N/A	N/A	55
Grundwasser-Wärmepumpe	40	19'000	6.0	3'200	Strom	N/A	N/A	30
Erdsonden-Wärmepumpe	-	-	5.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Aussenluft-Wärmepumpe	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Kälte								
Grundlast-Kälte	73	13'300	4.0	3'300	Strom	N/A	N/A	30
Spitzenlast-Kälte	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Grundwasserkühlung	27	4'900	15.0	300	Strom	N/A	N/A	5
Erdsondenkühlung	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Aussenluft-Kühlung (rev. WP/KM)	-	-	3.5	-	Strom	N/A	N/A	-
Strom	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
-	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Total		65'700		23'600		-	-	2'180

Variante 03 – 2026

System		Nutzenergie		Betrachtungssperimeter	
Wärme	Fernwärme / Booster-WP / EWS-WP	Wärme	MWh/a	47'600 MWh/a	Energiebedarf für Wärme- und Kälteerzeugung
Kälte	Kältemaschine / EWS-Kühlung	Kälte	MWh/a	18'200 MWh/a	
Strom	Strom aus Windkraft	Strom	MWh/a	0 MWh/a	

Ökobilanzierung

Erzeugung	Deckungsgrad	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Energieträger	Primärenergie gesamt	Primärenergie n.e.	Treibhausgas- emissionen
	[%]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[MWh/a]	[t/a]
Wärme								
Fernwärme	45	21'400	1.0	21'400	Fernwärme	N/A	N/A	4'045
Booster-Wärmepumpe	37	17'600	3.0	5'900	Strom	N/A	N/A	55
Grundwasser-Wärmepumpe	-	-	6.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Erdsonden-Wärmepumpe	18	8'600	5.0	1'700	Strom	N/A	N/A	15
Aussenluft-Wärmepumpe	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Kälte								
Grundlast-Kälte	73	13'300	4.0	3'300	Strom	N/A	N/A	30
Spitzenlast-Kälte	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Grundwasserkühlung	27	4'900	15.0	300	Strom	N/A	N/A	5
Erdsondenkühlung	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Aussenluft-Kühlung (rev. WP/KM)	20	3'600	3.5	900	Strom	N/A	N/A	10
Strom	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
-	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Total		65'800		33'500		-	-	4'160

Variante 04 – 2026

System		Nutzenergie		Betrachtungssperimeter	
Wärme	Fernwärme / Booster-WP / AUL-WP	Wärme	MWh/a	47'600 MWh/a	Energiebedarf für Wärme- und Kälteerzeugung
Kälte	Kältemaschine / AUL-Kühlung	Kälte	MWh/a	18'200 MWh/a	
Strom	Strom aus Windkraft	Strom	MWh/a	0 MWh/a	

Ökobilanzierung

Erzeugung	Deckungsgrad	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Energieträger	Primärenergie gesamt	Primärenergie n.e.	Treibhausgas- emissionen
	[%]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[MWh/a]	[t/a]
Wärme								
Fernwärme	45	21'400	1.0	21'400	Fernwärme	N/A	N/A	4'045
Booster-Wärmepumpe	37	17'600	3.0	5'900	Strom	N/A	N/A	55
Grundwasser-Wärmepumpe	-	-	6.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Erdsonden-Wärmepumpe	-	-	5.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Aussenluft-Wärmepumpe	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Kälte								
Grundlast-Kälte	73	13'300	4.0	3'300	Strom	N/A	N/A	30
Spitzenlast-Kälte	6	1'100	4.0	300	Strom	N/A	N/A	5
Grundwasserkühlung	-	-	15.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Erdsondenkühlung	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Aussenluft-Kühlung (rev. WP/KM)	21	3'800	3.5	1'100	Strom	N/A	N/A	10
Strom	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
-	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Total		65'800		34'200		-	-	4'165

13.9.2. Bezugsjahr: 2036

Variante 00 – 2036 (IST)

System		Nutzenergie			Betrachtungssperimeter	
Wärme	Fernwärme	Wärme	MWh/a	34'000 MWh/a	Energiebedarf für Wärme- und Kälteerzeugung	
Kälte	Kältemaschinen	Kälte	MWh/a	21'800 MWh/a		
Strom	Strom aus Windkraft	Strom	MWh/a	0 MWh/a		

Ökobilanzierung

Erzeugung	Deckungsgrad	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Energieträger	Primärenergie gesamt	Primärenergie n.e.	Treibhausgas- emissionen
	[%]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[MWh/a]	[t/a]
Wärme					Fernwärme	N/A	N/A	3'215
	100	34'000	1.0	34'000	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	3.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	6.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	5.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Kälte					Strom	N/A	N/A	50
	100	21'800	4.0	5'500	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	15.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	3.5	-	Strom	N/A	N/A	-
Strom					Strom	N/A	N/A	-
	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Total	-	55'800	-	39'500	-	-	-	3'265

Variante 01 – 2036

System		Nutzenergie			Betrachtungssperimeter	
Wärme	Fernwärme / Booster-WP	Wärme	MWh/a	34'000 MWh/a	Energiebedarf für Wärme- und Kälteerzeugung	
Kälte	Kältemaschine	Kälte	MWh/a	21'800 MWh/a		
Strom	Strom aus Windkraft	Strom	MWh/a	0 MWh/a		

Ökobilanzierung

Erzeugung	Deckungsgrad	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Energieträger	Primärenergie gesamt	Primärenergie n.e.	Treibhausgas- emissionen
	[%]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[MWh/a]	[t/a]
Wärme					Fernwärme	N/A	N/A	1'345
	41	13'900	1.0	13'900	Strom	N/A	N/A	60
	59	20'100	3.0	6'700	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	6.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	5.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Kälte					Strom	N/A	N/A	40
	80	17'400	4.0	4'400	Strom	N/A	N/A	-
	20	4'400	4.0	1'100	Strom	N/A	N/A	10
	-	-	15.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	3.5	-	Strom	N/A	N/A	-
Strom					Strom	N/A	N/A	-
	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Total	-	55'800	-	26'100	-	-	-	1'425

Variante 02 – 2036

System		Nutzenergie			Betrachtungssperimeter	
Wärme	Fernwärme / Booster-WP / GW-WP	Wärme	MWh/a	34'000 MWh/a	Energiebedarf für Wärme- und Kälteerzeugung	
Kälte	Kältemaschine / GW-Kühlung	Kälte	MWh/a	21'800 MWh/a		
Strom	Strom aus Windkraft	Strom	MWh/a	0 MWh/a		

Ökobilanzierung

Erzeugung	Deckungsgrad	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Energieträger	Primärenergie gesamt	Primärenergie n.e.	Treibhausgas- emissionen
	[%]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[MWh/a]	[t/a]
Wärme					Fernwärme	N/A	N/A	190
	6	2'000	1.0	2'000	Strom	N/A	N/A	60
	59	20'100	3.0	6'700	Strom	N/A	N/A	20
	35	11'900	6.0	2'000	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	5.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Kälte					Strom	N/A	N/A	40
	80	17'400	4.0	4'400	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	20	4'400	15.0	300	Strom	N/A	N/A	5
	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	3.5	-	Strom	N/A	N/A	-
Strom					Strom	N/A	N/A	-
	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Total	-	55'800	-	15'400	-	-	-	315

Variante 03 – 2036

System		Nutzenergie			Betrachtungssperimeter	
Wärme	Fernwärme / Booster-WP / EWS-WP	Wärme	MWh/a	34'000 MWh/a	Energiebedarf für Wärme- und Kälteerzeugung	
Kälte	Kältemaschine / EWS-Kühlung	Kälte	MWh/a	21'800 MWh/a		
Strom	Strom aus Windkraft	Strom	MWh/a	0 MWh/a		

Ökobilanzierung

Erzeugung	Deckungsgrad	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Energieträger	Primärenergie gesamt	Primärenergie n.e.	Treibhausgas- emissionen
	[%]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[MWh/a]	[t/a]
Wärme					Fernwärme	N/A	N/A	615
	19	6'500	1.0	6'500	Strom	N/A	N/A	60
	59	20'100	3.0	6'700	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	6.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	22	7'500	5.0	1'500	Strom	N/A	N/A	15
	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Kälte					Strom	N/A	N/A	40
	80	17'400	4.0	4'400	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	17	3'700	15.0	200	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	3.5	-	Strom	N/A	N/A	-
Strom					Strom	N/A	N/A	-
	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Total	-	55'900	-	20'200	-	-	-	740

Variante 04 – 2036

System		Nutzenergie			Betrachtungssperimeter	
Wärme	Fernwärme / Booster-WP / AUL-WP	Wärme	MWh/a	34'000 MWh/a	Energiebedarf für Wärme- und Kälteerzeugung	
Kälte	Kältemaschine / AUL-Kühlung	Kälte	MWh/a	21'800 MWh/a		
Strom	Strom aus Windkraft	Strom	MWh/a	0 MWh/a		

Ökobilanzierung

Erzeugung	Deckungsgrad	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Energieträger	Primärenergie gesamt	Primärenergie n.e.	Treibhausgas- emissionen
	[%]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[MWh/a]	[t/a]
Wärme					Fernwärme	N/A	N/A	1'445
	45	15'300	1.0	15'300	Strom	N/A	N/A	40
	37	12'600	3.0	4'200	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	6.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	5.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Kälte					Strom	N/A	N/A	35
	73	15'900	4.0	4'000	Strom	N/A	N/A	-
	6	1'300	4.0	300	Strom	N/A	N/A	5
	-	-	15.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	21	4'600	3.5	1'300	Strom	N/A	N/A	10
Strom					Strom	N/A	N/A	-
	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Total	-	55'800	-	26'600	-	-	-	1'550

13.9.3. Bezugsjahr: 2046

Variante 00 – 2046 (IST)

System		Nutzenergie			Betrachtungssperimeter	
Wärme	Fernwärme	Wärme	MWh/a	29'000 MWh/a	Energiebedarf für Wärme- und Kälteerzeugung	
Kälte	Kältemaschinen	Kälte	MWh/a	27'000 MWh/a		
Strom	Strom aus Windkraft	Strom	MWh/a	0 MWh/a		

Ökobilanzierung

Erzeugung	Deckungsgrad	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Energieträger	Primärenergie gesamt	Primärenergie n.e.	Treibhausgas- emissionen
	[%]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[MWh/a]	[t/a]
Wärme								
Fernwärme	100	29'000	1.0	29'000	Fernwärme	N/A	N/A	-
Booster-Wärmepumpe	-	-	3.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Grundwasser-Wärmepumpe	-	-	6.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Erdsonden-Wärmepumpe	-	-	5.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Aussenluft-Wärmepumpe	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Kälte								
Grundlast-Kälte	100	27'000	4.0	6'800	Strom	N/A	N/A	60
Spitzenlast-Kälte	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Grundwasserkühlung	-	-	15.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Erdsondenkühlung	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Aussenluft-Kühlung (rev. WP/KM)	-	-	3.5	-	Strom	N/A	N/A	-
Strom	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
-	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Total	-	56'000	-	35'800	-	-	-	60

Variante 01 – 2046

System		Nutzenergie			Betrachtungssperimeter	
Wärme	Fernwärme / Booster-WP	Wärme	MWh/a	29'000 MWh/a	Energiebedarf für Wärme- und Kälteerzeugung	
Kälte	Kältemaschine	Kälte	MWh/a	27'000 MWh/a		
Strom	Strom aus Windkraft	Strom	MWh/a	0 MWh/a		

Ökobilanzierung

Erzeugung	Deckungsgrad	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Energieträger	Primärenergie gesamt	Primärenergie n.e.	Treibhausgas- emissionen
	[%]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[MWh/a]	[t/a]
Wärme								
Fernwärme	24	7'000	1.0	7'000	Fernwärme	N/A	N/A	-
Booster-Wärmepumpe	76	22'000	3.0	7'300	Strom	N/A	N/A	65
Grundwasser-Wärmepumpe	-	-	6.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Erdsonden-Wärmepumpe	-	-	5.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Aussenluft-Wärmepumpe	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Kälte								
Grundlast-Kälte	81	21'900	4.0	5'500	Strom	N/A	N/A	50
Spitzenlast-Kälte	19	5'100	4.0	1'300	Strom	N/A	N/A	10
Grundwasserkühlung	-	-	15.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Erdsondenkühlung	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Aussenluft-Kühlung (rev. WP/KM)	-	-	3.5	-	Strom	N/A	N/A	-
Strom	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
-	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Total	-	56'000	-	21'100	-	-	-	125

Variante 02 – 2046

System		Nutzenergie			Betrachtungssperimeter	
Wärme	Fernwärme / Booster-WP / GW-WP	Wärme	MWh/a	29'000 MWh/a	Energiebedarf für Wärme- und Kälteerzeugung	
Kälte	Kältemaschine / GW-Kühlung	Kälte	MWh/a	27'000 MWh/a		
Strom	Strom aus Windkraft	Strom	MWh/a	0 MWh/a		

Ökobilanzierung

Erzeugung	Deckungsgrad	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Energieträger	Primärenergie gesamt	Primärenergie n.e.	Treibhausgas- emissionen
	[%]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[MWh/a]	[t/a]
Wärme								
Fernwärme	2	600	1.0	600	Fernwärme	N/A	N/A	-
Booster-Wärmepumpe	76	22'000	3.0	7'300	Strom	N/A	N/A	65
Grundwasser-Wärmepumpe	22	6'400	6.0	1'100	Strom	N/A	N/A	10
Erdsonden-Wärmepumpe	-	-	5.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Aussenluft-Wärmepumpe	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Kälte								
Grundlast-Kälte	81	21'900	4.0	5'500	Strom	N/A	N/A	50
Spitzenlast-Kälte	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Grundwasserkühlung	19	5'100	15.0	300	Strom	N/A	N/A	5
Erdsondenkühlung	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Aussenluft-Kühlung (rev. WP/KM)	-	-	3.5	-	Strom	N/A	N/A	-
Strom	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
-	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Total	-	56'000	-	14'800	-	-	-	130

Variante 03 – 2046

System		Nutzenergie			Betrachtungssperimeter	
Wärme	Fernwärme / Booster-WP / EWS-WP	Wärme	MWh/a	29'000 MWh/a	Energiebedarf für Wärme- und Kälteerzeugung	
Kälte	Kältemaschine / EWS-Kühlung	Kälte	MWh/a	27'000 MWh/a		
Strom	Strom aus Windkraft	Strom	MWh/a	0 MWh/a		

Ökobilanzierung

Erzeugung	Deckungsgrad	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Energieträger	Primärenergie gesamt	Primärenergie n.e.	Treibhausgas- emissionen
	[%]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[MWh/a]	[t/a]
Wärme								
Fernwärme	6	1'700	1.0	1'700	Fernwärme	N/A	N/A	-
Booster-Wärmepumpe	76	22'000	3.0	7'300	Strom	N/A	N/A	65
Grundwasser-Wärmepumpe	-	-	6.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Erdsonden-Wärmepumpe	18	5'200	5.0	1'000	Strom	N/A	N/A	10
Aussenluft-Wärmepumpe	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Kälte								
Grundlast-Kälte	81	21'900	4.0	5'500	Strom	N/A	N/A	50
Spitzenlast-Kälte	-	-	4.0	200	Strom	N/A	N/A	-
Grundwasserkühlung	16	4'300	15.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Erdsondenkühlung	-	-	4.0	1'100	Strom	N/A	N/A	10
Aussenluft-Kühlung (rev. WP/KM)	-	-	3.5	-	Strom	N/A	N/A	-
Strom	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
-	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Total	-	55'900	-	16'800	-	-	-	135

Variante 04 – 2046

System		Nutzenergie			Betrachtungssperimeter	
Wärme	Fernwärme / Booster-WP / AUL-WP	Wärme	MWh/a	29'000 MWh/a	Energiebedarf für Wärme- und Kälteerzeugung	
Kälte	Kältemaschine / AUL-Kühlung	Kälte	MWh/a	27'000 MWh/a		
Strom	Strom aus Windkraft	Strom	MWh/a	0 MWh/a		

Ökobilanzierung

Erzeugung	Deckungsgrad	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Energieträger	Primärenergie gesamt	Primärenergie n.e.	Treibhausgas- emissionen
	[%]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[-]	[MWh/a]	[MWh/a]	[t/a]
Wärme								
Fernwärme	5	1'500	1.0	1'500	Fernwärme	N/A	N/A	-
Booster-Wärmepumpe	76	22'000	3.0	7'300	Strom	N/A	N/A	65
Grundwasser-Wärmepumpe	-	-	6.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Erdsonden-Wärmepumpe	-	-	5.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Aussenluft-Wärmepumpe	-	-	4.0	1'400	Strom	N/A	N/A	-
Kälte								
Grundlast-Kälte	81	21'900	4.0	5'500	Strom	N/A	N/A	50
Spitzenlast-Kälte	4	1'100	4.0	300	Strom	N/A	N/A	5
Grundwasserkühlung	-	-	15.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Erdsondenkühlung	-	-	4.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Aussenluft-Kühlung (rev. WP/KM)	15	4'100	3.5	1'200	Strom	N/A	N/A	10
Strom	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
-	-	-	1.0	-	Strom	N/A	N/A	-
Total	-	56'100	-	17'200	-	-	-	145

13.10.1. Steigerungsrate Fernwärme: 2 %

[illegible]

Variante 01

Wirtschaftlichkeitsannahmen		Mittelwertfaktor über 30 a
Betrachtungszeitraum	30 a	
Kapitalzinssatz	2.0 %	
Preissteigerungsrate allg. Teuerung	2.0 %	1.34
Risikobeitrag auf Wartung, Instandhaltung	1.5 %	1.25
Steigerungsrate Energiekosten Strom	2.0 %	1.34
Steigerungsrate Energiekosten Fernwärme	2.0 %	1.34

Strompreise (Netz)		
Leistungspreis	[€/kW×a]	
Arbeitspreis	[€/kWh]	0.165

Fernwärme		
Leistungspreis	[€/kW×a]	31.22
Arbeitspreis	[€/kWh]	0.081

Kapital- und Instandhaltungskosten [exkl. MwSt. / ± 25%]

KG	Gewerk		Einheit	Menge	Einheitspreis	Investition	Nutzungsdauer	Annuität	Kapitalkosten		Unterhaltskosten
			...	[-]	[€/...]	[€]	[a]	[%]	[€/a]	[%]	[€/a]
Heizung / Kälte											
	Booster-WP	1'000 kW	Stk.	3	300	900'000	20	6.1	60'300	3.5	31'500
	Hydraulische Einbindung	1'000 kW	Stk.	3	120	360'000	35	4.0	13'900	1.0	3'600
	Elektrische Einbindung	250 kW	Stk.	3	15'000	45'000	35	4.0	1'700	1.5	700
	MSRL-Komponenten und Einbindung ins Leitsystem		Stk.	3	15'000	45'000	20	6.1	3'100	3.5	1'600
									-		
									-		
									-		
									-		
									-		
	Unvorhergesehenes	20	%	1		270'000	20	6.1	18'100	3.0	8'100
	Honorar Planung	20	%	1		324'000	20	6.1	21'700	-	-
Total						1'940'000			118'800		45'500

Endenergieverbrauch & -kosten

Parameter	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Leistungspreis		Arbeitspreis		Total
	[MWh/a]		[MWh/a]	[kW]	[€/kW]	[€/kW×a]	[€/kWh]	[€/a]
Energiebedarf Fernwärme (Spitzenlast = 12.5 MW / 0.75 = 16.6 MW)	14'000	1.0	14'000	16'600	31	518'000	0.081	1'134'000
Strombedarf Booster-WP	20'000	3.0	6'667				0.165	1'100'000
Strombedarf Kühlung (KM)	21'800	4.0	5'450				0.165	899'300
Total								3'700'000

Mittlere Jährliche Kosten

	Jährliche Kosten	Mittelwertfaktor	mittlere jährliche Kosten
	[€/a]	[-]	[€/a]
Kapitalkosten	118'800		118'800
Instandhaltungskosten	45'500	1.25	56'800
Energiekosten Strom für Heizen / Kühlen	1'999'300	1.34	2'678'100
Energiekosten Fernwärme	1'652'000	1.34	2'212'900
Jahreskosten			5'100'000
Investitionskosten (exkl. bauliche Massnahmen, exkl. MwSt)			1'900'000
Instandhaltungskosten (ausschliesslich oben aufgeführte Komponenten exkl. MwSt)			
Energiekosten (exkl. MwSt)			

Variante 02

Wirtschaftlichkeitsannahmen		Mittelwertfaktor über 30 a	Strompreise (Netz)		Fernwärme	
Betrachtungszeitraum	30 a		Leistungspreis	[€/kW×a]	Leistungspreis	[€/kW×a]
Kapitalzinssatz	2.0 %		Arbeitspreis	[€/kWh]	Arbeitspreis	[€/kWh]
Preissteigerungsrate allg.	2.0 %	1.34		0.165		31.22
Risikobeitrag auf Instandhaltung	1.5 %	1.25				0.081
Steigerungsrate Energiekosten Strom	2.0 %	1.34				
Steigerungsrate Energiekosten Fernwärme	2.0 %	1.34				

Kapital- und Instandhaltungsskosten [exkl. MwSt. / ± 25%]

KG	Gewerk	Einheit	Menge	Einheitspreis	Investition	Nutzungsdauer	Annuität	Kapitalkosten	Unterhaltskosten
		...	[-]	[€/...]	[€]	[a]	[%]	[€/a]	[%]
Heizung / Kalte									
	Booster-WP	1'000 kW	Stk.	3	300	900'000	20	6.1	31'500
	Hydraulische Einbindung	1'000 kW	Stk.	3	120	360'000	35	4.0	3'600
	Elektrische Einbindung		Stk.	3	15'000	45'000	35	4.0	700
	MSRL-Komponenten und Einbindung ins Leitsystem		Stk.	3	15'000	45'000	20	6.1	1'600
	Niedertemperatur-WP	2'000 kW	Stk.	2	250	1'000'000	20	6.1	35'000
	Grundwasser-Förder- u. Rückgabeburgen		Stk.	8	250'000	2'000'000	50	3.2	40'000
	Grundwasserbrunnen-Anbindelitung (Annahme)	1'000 m	Stk.	1	500	500'000	50	3.2	5'000
	Hydraulische Einbindung inkl. Verteiler u. Speicher	2'000 kW	Stk.	2	120	480'000	35	4.0	4'800
	Elektrische Einbindung		Stk.	2	15'000	30'000	35	4.0	450
	MSRL-Komponenten und Einbindung ins Leitsystem		Stk.	2	15'000	30'000	20	6.1	1'050
	NT-Verteilung zu den Gebäuden (Annahme)	1'500 m	Stk.	1	500	750'000	50	3.2	7'500
	Unvorhergesehenes	20	%	1	1'078'000	20	6.1	72'200	32'350
	Honorar Planung	20	%	1	1'443'600	20	6.1	96'800	-
Total					8'660'000			436'900	163'550

Endenergieverbrauch & -kosten

Parameter	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Leistungspreis	Arbeitspreis	Total
	[MWh/a]		[MWh/a]	[kW]	[€/kWh]	[€/a]
Energiebedarf Fernwärme (Spitzenlast = 12.5 MW / 0.75 = 16.6 MW)	2'200	1.0	2'200	16'600	518'000	696'000
Strombedarf Booster-WP	20'000	3.0	6'667		0.165	1'100'000
Strombedarf Grundwasser-NT-WP	11'800	6.5	1'815		0.165	299'500
Strombedarf Kühlung (KM)	17'500	4.0	4'375		0.165	721'900
Strombedarf Kühlung Grundwasser	4'300	15.0	287		0.165	47'300
Total						2'900'000

Mittlere Jährliche Kosten

	Jährliche Kosten	Mittelwertfaktor	mittlere jährliche Kosten
	[€/a]		[€/a]
Kapitalkosten	436'900		436'900
Instandhaltungskosten	163'550	1.25	204'300
Energiekosten Strom für Heizen / Kühlen	2'168'700	1.34	2'905'000
Energiekosten Fernwärme	696'000	1.34	932'300
Jahreskosten			
			4'500'000

Investitionskosten (exkl. bauliche Massnahmen, exkl. MwSt)

Instandhaltungskosten (ausschliesslich oben aufgeführte Komponenten exkl. MwSt)

Energiekosten (exkl. MwSt)

8'700'000

Variante 03

Wirtschaftlichkeitsannahmen		Mittelwertfaktor über 30 a		Strompreise (Netz)		Fernwärme	
Betrachtungszeitraum	30 a			Leistungspreis	[€/kW×a]	Leistungspreis	[€/kW×a]
Kapitalzinssatz	2.0 %			Arbeitspreis	[€/kWh]	Arbeitspreis	[€/kWh]
Preissteigerungsrate allg.	2.0 %	1.34			0.165		31.22
Risikobeitrag auf Instandhaltung	1.5 %	1.25					0.081
Steigerungsrate Energiekosten Strom	2.0 %	1.34					
Steigerungsrate Energiekosten Fernwärme	2.0 %	1.34					

Kapital- und Instandhaltungsskosten [exkl. MwSt. / ± 25%]										
KG	Gewerk	Einheit	Menge	Einheitspreis	Investition	Nutzungsdauer	Annuität	Kapitalkosten		Unterhaltskosten
		...	[-]	[€/...]	[€]	[a]	[%]	[€/a]	[%]	[€/a]
Heizung / Kälte										
	Booster-WP	1'000 kW	Stk.	3	300	900'000	20	6.1	60'300	3.5
	Hydraulische Einbindung	1'000 kW	Stk.	3	120	360'000	35	4.0	13'900	1.0
	Elektrische Einbindung		Stk.	3	15'000	45'000	35	4.0	1'700	1.5
	MSRL-Komponenten und Einbindung ins Leitsystem		Stk.	3	15'000	45'000	20	6.1	3'100	3.5
	Niedertemperatur-WP	1'800 kW	Stk.	2	250	900'000	20	6.1	60'300	3.5
	Erdsondenanlage inkl. Anbindung	140 m	Stk.	600	95	7'980'000	50	3.2	245'400	1.0
	Hydraulische Einbindung inkl. Verteiler u. Speicher	1'800 kW	Stk.	2	120	432'000	35	4.0	16'700	1.0
	Elektrische Einbindung		Stk.	2	15'000	30'000	35	4.0	1'200	1.5
	MSRL-Komponenten und Einbindung ins Leitsystem		Stk.	2	15'000	30'000	20	6.1	2'000	3.5
	NT-Verteilung zu den Gebäuden (Annahme)	1'500 m	Stk.	1	500	750'000	50	3.2	23'100	1.0
	Unvorhergesehenes	20	%	1		2'144'400	20	6.1	143'700	3.0
	Honorar Planung	20	%	1		2'723'280	20	6.1	182'400	-
Total					16'340'000			753'800		226'350

Endenergieverbrauch & -kosten									
Parameter	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Leistungspreis		Arbeitspreis			Total
	[MWh/a]		[MWh/a]	[kW]	[€/kW]	[€/kW×a]	[€/kWh]	[€/kWh×a]	[€/a]
Energiebedarf Fernwärme (Spitzenlast = 12.5 MW / 0.75 = 16.6 MW)	6'500	1.0	6'500	16'600	31	518'000	0.081	527'000	1'045'000
Strombedarf Booster-WP	20'000	3.0	6'667				0.165	1'100'000	1'100'000
Strombedarf Erdsonden-NT-WP	7'500	5.0	1'500				0.165	247'500	247'500
Strombedarf Kühlung (KM)	18'200	4.0	4'550				0.165	750'800	750'800
Strombedarf Kühlung Erdsonden	4'300	4.0	1'075				0.165	177'400	177'400
Total									3'300'000

Mittlere Jährliche Kosten			
	Jährliche Kosten	Mittelwertfaktor	mittlere jährliche Kosten
	[€/a]		[€/a]
Kapitalkosten	753'800		753'800
Instandhaltungskosten	226'350	1.25	282'800
Energiekosten Strom für Heizen / Kühlen	2'275'700	1.34	3'048'300
Energiekosten Fernwärme	1'045'000	1.34	1'399'800
Jahreskosten			
			5'500'000
Investitionskosten (exkl. bauliche Massnahmen, exkl. MwSt)			
			16'300'000
Instandhaltungskosten (ausschliesslich oben aufgeführte Komponenten exkl. MwSt)			
Energiekosten (exkl. MwSt)			

Variante 04

Wirtschaftlichkeitsannahmen			Mittelwertfaktor über 30 a		Strompreise (Netz)			Fernwärme		
Betrachtungszeitraum	30 a				Leistungspreis	[€/kW×a]		Leistungspreis	[€/kW×a]	31.22
Kapitalzinssatz	2.0 %				Arbeitspreis	[€/kWh]	0.165	Arbeitspreis	[€/kWh]	0.081
Preissteigerungsrate allg.	2.0 %	1.34								
Risikobeitrag auf Instandhaltung	1.5 %	1.25								
Steigerungsrate Energiekosten Strom	2.0 %	1.34								
Steigerungsrate Energiekosten Fernwärme	2.0 %	1.34								

Kapital- und Instandhaltungsskosten [exkl. MwSt. / ± 25%]										
KG	Gewerk	Einheit	Menge	Einheitspreis	Investition	Nutzungsdauer	Annuität	Kapitalkosten		Unterhaltskosten
		...	[-]	[€/...]	[€]	[a]	[%]	[€/a]	[%]	[€/a]
Heizung / Kälte										
	Booster-WP	1'000 kW	Stk.	3	300	900'000	20	6.1	60'300	3.5
	Hydraulische Einbindung	1'000 kW	Stk.	3	120	360'000	35	4.0	13'900	1.0
	Elektrische Einbindung		Stk.	3	15'000	45'000	35	4.0	1'700	1.5
	MSRL-Komponenten und Einbindung ins Leitsystem		Stk.	3	15'000	45'000	20	6.1	3'100	3.5
	Reversible Niedertemperatur-Aussenluft Kompakt WP/KM	1'800 kW	Stk.	2	400	1'440'000	20	6.1	96'500	3.5
	Hydraulische Einbindung inkl. Verteiler u. Speicher	1'800 kW	Stk.	2	120	432'000	35	4.0	16'700	1.0
	Elektrische Einbindung		Stk.	2	15'000	30'000	35	4.0	1'200	1.5
	MSRL-Komponenten und Einbindung ins Leitsystem		Stk.	2	15'000	30'000	20	6.1	2'000	3.5
	NT-Verteilung zu den Gebäuden (Annahme)	1'500 m	Stk.	1	500	750'000	50	3.2	23'100	1.0
	Unvorhergesehenes	20	%	1		656'400	20	6.1	43'900	3.0
	Honorar Planung	20	%	1		937'680	20	6.1	62'800	-
Total					5'630'000			325'200		120'800

Endenergieverbrauch & -kosten									
Parameter	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Leistungspreis		Arbeitspreis			Total
	[MWh/a]		[MWh/a]	[kW]	[€/kW]	[€/kW×a]	[€/kWh]	[€/kW×a]	[€/a]
Energiebedarf Fernwärme (Spitzenlast = 12.5 MW / 0.75 = 16.6 MW)	6'500	1.0	6'500	16'600	31	518'000	0.081	527'000	1'045'000
Strombedarf Booster-WP	20'000	3.0	6'667				0.165	1'100'000	1'100'000
Strombedarf Rev. Luft Wasser-NT-WP/KM	7'500	4.0	1'875				0.165	309'400	309'400
Strombedarf Kühlung (KM)	18'200	4.0	4'550				0.165	750'800	750'800
Strombedarf Kühlung (Rev. Luft Wasser WP/KM)	3'600	3.5	1'029				0.165	169'700	169'700
Total									3'400'000

Mittlere Jährliche Kosten			
	Jährliche Kosten	Mittelwertfaktor	mittlere jährliche Kosten
	[€/a]		[€/a]
Kapitalkosten	325'200		325'200
Instandhaltungskosten	120'800	1.25	150'900
Energiekosten Strom für Heizen / Kühlen	2'329'900	1.34	3'120'900
Energiekosten Fernwärme	1'045'000	1.34	1'399'800
Jahreskosten			5'000'000
Investitionskosten (exkl. bauliche Massnahmen, exkl. MwSt)			5'600'000
Instandhaltungskosten (ausschliesslich oben aufgeführte Komponenten exkl. MwSt)			
Energiekosten (exkl. MwSt)			

Variante 00

126

Variante 01

Wirtschaftlichkeitsannahmen		Mittelwertfaktor über 30 a		Strompreise (Netz)			Fernwärme		
Betrachtungszeitraum	30 a			Leistungspreis	[€/kW×a]		Leistungspreis	[€/kW×a]	31.22
Kapitalzinssatz	2.0 %			Arbeitspreis	[€/kWh]	0.165	Arbeitspreis	[€/kWh]	0.081
Preissteigerungsrate allg. Teuerung	2.0 %	1.34							
Risikobeitrag auf Wartung, Instandhaltung	1.5 %	1.25							
Steigerungsrate Energiekosten Strom	2.0 %	1.34							
Steigerungsrate Energiekosten Fernwärme	4.0 %	1.73							

Kapital- und Instandhaltungskosten [exkl. MwSt. / ± 25%]										
KG	Gewerk		Einheit	Menge	Einheitspreis	Investition	Nutzungsdauer	Annuität	Kapitalkosten	Unterhaltskosten
			...	[-]	[€/...]	[€]	[a]	[%]	[€/a]	[%]
Heizung / Kälte										
	Booster-WP	1'000 kW	Stk.	3	300	900'000	20	6.1	60'300	3.5
	Hydraulische Einbindung	1'000 kW	Stk.	3	120	360'000	35	4.0	13'900	1.0
	Elektrische Einbindung	250 kW	Stk.	3	15'000	45'000	35	4.0	1'700	1.5
	MSRL-Komponenten und Einbindung ins Leitsystem		Stk.	3	15'000	45'000	20	6.1	3'100	3.5
									-	
									-	
									-	
									-	
									-	
	Unvorhergesehenes	20	%	1		270'000	20	6.1	18'100	3.0
	Honorar Planung	20	%	1		324'000	20	6.1	21'700	-
Total						1'940'000			118'800	45'500

Endenergieverbrauch & -kosten									
Parameter	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Leistungspreis		Arbeitspreis			Total
	[MWh/a]		[MWh/a]	[kW]	[€/kW]	[€/kW×a]	[€/kWh]	[€/kWh×a]	[€/a]
Energiebedarf Fernwärme (Spitzenlast = 12.5 MW / 0.75 = 16.6 MW)	14'000	1.0	14'000	16'600	31	518'000	0.081	1'134'000	1'652'000
Strombedarf Booster-WP	20'000	3.0	6'667				0.165	1'100'000	1'100'000
Strombedarf Kühlung (KM)	21'800	4.0	5'450				0.165	899'300	899'300
Total									3'700'000

Mittlere Jährliche Kosten			
	Jährliche Kosten	Mittelwertfaktor	mittlere jährliche Kosten
	[€/a]	[-]	[€/a]
Kapitalkosten	118'800		118'800
Instandhaltungskosten	45'500	1.25	56'800
Energiekosten Strom für Heizen / Kühlen	1'999'300	1.34	2'678'100
Energiekosten Fernwärme	1'652'000	1.73	2'866'100
Jahreskosten			5'700'000
Investitionskosten (exkl. bauliche Massnahmen, exkl. MwSt)			1'900'000
Instandhaltungskosten (ausschliesslich oben aufgeführte Komponenten exkl. MwSt)			
Energiekosten (exkl. MwSt)			

Variante 02

Wirtschaftlichkeitsannahmen		Mittelwertfaktor über 30 a	Strompreise (Netz)		Fernwärme	
Betrachtungszeitraum	30 a		Leistungspreis	[€/kW×a]	Leistungspreis	[€/kW×a]
Kapitalzinssatz	2.0 %		Arbeitspreis	[€/kWh]	Arbeitspreis	[€/kWh]
Preissteigerungsrate allg.	2.0 %	1.34		0.165		31.22
Risikobeitrag auf Instandhaltung	1.5 %	1.25				0.081
Steigerungsrate Energiekosten Strom	2.0 %	1.34				
Steigerungsrate Energiekosten Fernwärme	4.0 %	1.73				

Kapital- und Instandhaltungsskosten [exkl. MwSt. / ± 25%]

KG	Gewerk	Einheit	Menge	Einheitspreis	Investition	Nutzungsdauer	Annuität	Kapitalkosten	Unterhaltskosten
		...	[-]	[€/...]	[€]	[a]	[%]	[€/a]	[%]
Heizung / Kalte									
	Booster-WP	1'000 kW	Stk.	300	900'000	20	6.1	60'300	3.5
	Hydraulische Einbindung	1'000 kW	Stk.	120	360'000	35	4.0	13'900	1.0
	Elektrische Einbindung		Stk.	15'000	45'000	35	4.0	1'700	1.5
	MSRL-Komponenten und Einbindung ins Leitsystem		Stk.	15'000	45'000	20	6.1	3'100	3.5
	Niedertemperatur-WP	2'000 kW	Stk.	250	1'000'000	20	6.1	67'100	3.5
	Grundwasser-Förder- u. Rückgäbebrunnen		Stk.	250'000	2'000'000	50	3.2	61'500	2.0
	Grundwasserbrunnen-Anbindelitung (Annahme)	1'000 m	Stk.	500	500'000	50	3.2	15'400	1.0
	Hydraulische Einbindung inkl. Verteiler u. Speicher	2'000 kW	Stk.	120	480'000	35	4.0	18'600	1.0
	Elektrische Einbindung		Stk.	15'000	30'000	35	4.0	1'200	1.5
	MSRL-Komponenten und Einbindung ins Leitsystem		Stk.	15'000	30'000	20	6.1	2'000	3.5
	NT-Verteilung zu den Gebäuden (Annahme)	1'500 m	Stk.	500	750'000	50	3.2	23'100	1.0
	Unvorhergesehenes	20	%		1'078'000	20	6.1	72'200	3.0
	Honorar Planung	20	%		1'443'600	20	6.1	96'800	-
Total					8'660'000			436'900	163'550

Endenergieverbrauch & -kosten

Parameter	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Leistungspreis	Arbeitspreis	Total
	[MWh/a]		[MWh/a]	[kW]	[€/kWh]	[€/a]
Energiebedarf Fernwärme (Spitzenlast = 12.5 MW / 0.75 = 16.6 MW)	2'200	1.0	2'200	16'600	518'000	696'000
Strombedarf Booster-WP	20'000	3.0	6'667		0.165	1'100'000
Strombedarf Grundwasser-NT-WP	11'800	6.5	1'815		0.165	299'500
Strombedarf Kühlung (KM)	17'500	4.0	4'375		0.165	721'900
Strombedarf Kühlung Grundwasser	4'300	15.0	287		0.165	47'300
Total						2'900'000

Mittlere Jährliche Kosten

	Jährliche Kosten	Mittelwertfaktor	mittlere jährliche Kosten
	[€/a]		[€/a]
Kapitalkosten	436'900		436'900
Instandhaltungskosten	163'550	1.25	204'300
Energiekosten Strom für Heizen / Kühlen	2'168'700	1.34	2'905'000
Energiekosten Fernwärme	696'000	1.73	1'207'500
Jahreskosten			
			4'800'000

Investitionskosten (exkl. bauliche Massnahmen, exkl. MwSt)

Instandhaltungskosten (ausschliesslich oben aufgeführte Komponenten exkl. MwSt)

Energiekosten (exkl. MwSt)

8'700'000

Variante 03

Wirtschaftlichkeitsannahmen		Mittelwertfaktor über 30 a	Strompreise (Netz)		Fernwärme	
Betrachtungszeitraum	30 a		Leistungspreis	[€/kW×a]	Leistungspreis	[€/kW×a]
Kapitalzinssatz	2.0 %		Arbeitspreis	[€/kWh]	Arbeitspreis	[€/kWh]
Preissteigerungsrate allg.	2.0 %	1.34		0.165		31.22
Risikobeitrag auf Instandhaltung	1.5 %	1.25				0.081
Steigerungsrate Energiekosten Strom	2.0 %	1.34				
Steigerungsrate Energiekosten Fernwärme	4.0 %	1.73				

Kapital- und Instandhaltungsskosten [exkl. MwSt. / ± 25%]

KG	Gewerk	Einheit	Menge	Einheitspreis	Investition	Nutzungsdauer	Annuität	Kapitalkosten	Unterhaltskosten
		...	[-]	[€/...]	[€]	[a]	[%]	[€/a]	[%]
Heizung / Kälte									
	Booster-WP	1'000 kW	Stk.	3	300	900'000	20	6.1	31'500
	Hydraulische Einbindung	1'000 kW	Stk.	3	120	360'000	35	4.0	3'600
	Elektrische Einbindung		Stk.	3	15'000	45'000	35	4.0	700
	MSRL-Komponenten und Einbindung ins Leitsystem		Stk.	3	15'000	45'000	20	6.1	1'600
	Niedertemperatur-WP	1'800 kW	Stk.	2	250	900'000	20	6.1	31'500
	Erdsondenanlage inkl. Anbindung	140 m	Stk.	600	95	7'980'000	50	3.2	79'800
	Hydraulische Einbindung inkl. Verteiler u. Speicher	1'800 kW	Stk.	2	120	432'000	35	4.0	4'300
	Elektrische Einbindung		Stk.	2	15'000	30'000	35	4.0	450
	MSRL-Komponenten und Einbindung ins Leitsystem		Stk.	2	15'000	30'000	20	6.1	1'050
	NT-Verteilung zu den Gebäuden (Annahme)	1'500 m	Stk.	1	500	750'000	50	3.2	7'500
	Unvorhergesehenes	20	%	1		2'144'400	20	6.1	64'350
	Honorar Planung	20	%	1		2'723'280	20	6.1	-
Total					16'340'000			753'800	226'350

Endenergieverbrauch & -kosten

Parameter	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Leistungspreis	Arbeitspreis	Total
	[MWh/a]		[MWh/a]	[kW]	[€/kWh]	[€/a]
Energiebedarf Fernwärme (Spitzenlast = 12.5 MW / 0.75 = 16.6 MW)	6'500	1.0	6'500	16'600	518'000	1'045'000
Strombedarf Booster-WP	20'000	3.0	6'667		0.165	1'100'000
Strombedarf Erdsonden-NT-WP	7'500	5.0	1'500		0.165	247'500
Strombedarf Kühlung (KM)	18'200	4.0	4'550		0.165	750'800
Strombedarf Kühlung Erdsonden	4'300	4.0	1'075		0.165	177'400
Total						3'300'000

Mittlere Jährliche Kosten

	Jährliche Kosten	Mittelwertfaktor	mittlere jährliche Kosten
	[€/a]		[€/a]
Kapitalkosten	753'800		753'800
Instandhaltungskosten	226'350	1.25	282'800
Energiekosten Strom für Heizen / Kühlen	2'275'700	1.34	3'048'300
Energiekosten Fernwärme	1'045'000	1.73	1'813'000
Jahreskosten			
			5'900'000

Investitionskosten (exkl. bauliche Massnahmen, exkl. MwSt)

Instandhaltungskosten (ausschliesslich oben aufgeführte Komponenten exkl. MwSt)

Energiekosten (exkl. MwSt)

16'300'000

Variante 04

Wirtschaftlichkeitsannahmen		Mittelwertfaktor über 30 a	Strompreise (Netz)		Fernwärme	
Betrachtungszeitraum	30 a		Leistungspreis	[€/kW×a]	Leistungspreis	[€/kW×a]
Kapitalzinssatz	2.0 %		Arbeitspreis	[€/kWh]	Arbeitspreis	[€/kWh]
Preissteigerungsrate allg.	2.0 %	1.34		0.165		31.22
Risikobeitrag auf Instandhaltung	1.5 %	1.25				0.081
Steigerungsrate Energiekosten Strom	2.0 %	1.34				
Steigerungsrate Energiekosten Fernwärme	4.0 %	1.73				

Kapital- und Instandhaltungsskosten [exkl. MwSt. / ± 25%]

KG	Gewerk	Einheit	Menge	Einheitspreis	Investition	Nutzungsdauer	Annuität	Kapitalkosten	Unterhaltskosten
		...	[-]	[€/...]	[€]	[a]	[%]	[€/a]	[%]
Heizung / Kälte									
	Booster-WP	1'000 kW	Stk.	300	900'000	20	6.1	60'300	3.5
	Hydraulische Einbindung	1'000 kW	Stk.	120	360'000	35	4.0	13'900	1.0
	Elektrische Einbindung		Stk.	15'000	45'000	35	4.0	1'700	1.5
	MSRL-Komponenten und Einbindung ins Leitsystem		Stk.	15'000	45'000	20	6.1	3'100	3.5
	Reversible Niedertemperatur-Aussenluft Kompakt WP/KM	1'800 kW	Stk.	2	400	20	6.1	96'500	3.5
	Hydraulische Einbindung inkl. Verteiler u. Speicher	1'800 kW	Stk.	2	120	35	4.0	16'700	1.0
	Elektrische Einbindung		Stk.	15'000	30'000	35	4.0	1'200	1.5
	MSRL-Komponenten und Einbindung ins Leitsystem		Stk.	15'000	30'000	20	6.1	2'000	3.5
	NT-Verteilung zu den Gebäuden (Annahme)	1'500 m	Stk.	1	500	50	3.2	23'100	1.0
	Unvorhergesehenes	20	%	1	656'400	20	6.1	43'900	3.0
	Honorar Planung	20	%	1	937'680	20	6.1	62'800	-
								-	-
								-	-
Total					5'630'000			325'200	120'800

Endenergieverbrauch & -kosten

Parameter	Nutzenergie	Nutzungsgrad	Endenergie	Leistungspreis	Arbeitspreis	Total
	[MWh/a]		[MWh/a]	[kW]	[€/kWh]	[€/a]
Energiebedarf Fernwärme (Spitzenlast = 12.5 MW / 0.75 = 16.6 MW)	6'500	1.0	6'500	16'600	31	518'000
Strombedarf Booster-WP	20'000	3.0	6'667		0.165	1'100'000
Strombedarf Rev. Luft Wasser-NT-WP/KM	7'500	4.0	1'875		0.165	309'400
Strombedarf Kühlung (KM)	18'200	4.0	4'550		0.165	750'800
Strombedarf Kühlung (Rev. Luft Wasser WP/KM)	3'600	3.5	1'029		0.165	169'700
Total						3'400'000

Mittlere Jährliche Kosten

	Jährliche Kosten	Mittelwertfaktor	mittlere jährliche Kosten
	[€/a]		[€/a]
Kapitalkosten	325'200		325'200
Instandhaltungskosten	120'800	1.25	150'900
Energiekosten Strom für Heizen / Kühlen	2'329'900	1.34	3'120'900
Energiekosten Fernwärme	1'045'000	1.73	1'813'000
Jahreskosten			5'400'000

Investitionskosten (exkl. bauliche Massnahmen, exkl. MwSt)

Instandhaltungskosten (ausschliesslich oben aufgeführte Komponenten exkl. MwSt)

Energiekosten (exkl. MwSt)

5'600'000

Vorabzug

Winfried Seidinger / Remo Thommen
Projektleiter Stv. / Projektleiter
Tel. +41 44 200 77 44 / +41 61 205 08 60
seidinger@lemonconsult.ch / thommen@lemonconsult.ch