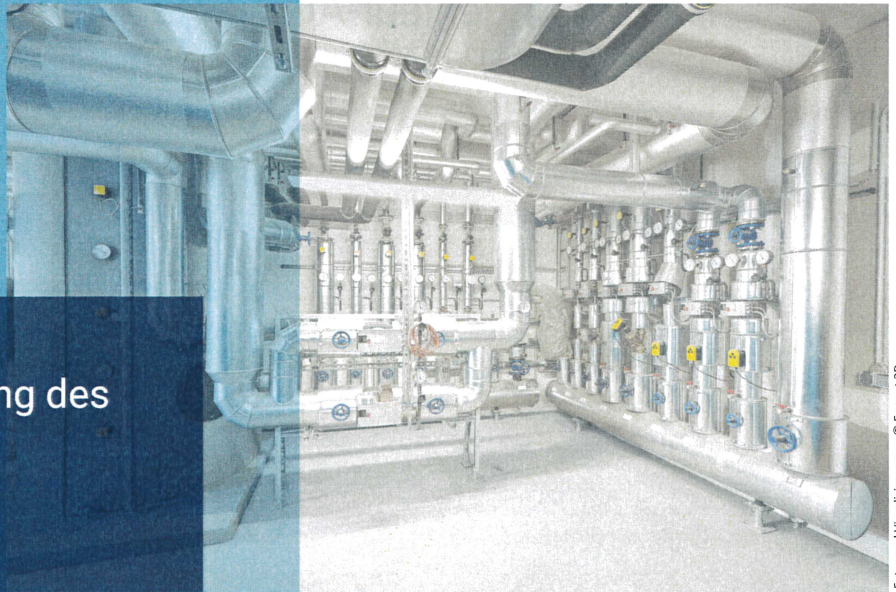


Technische Hochschule Köln Ersatzneubau Campus Deutz Köln

**Erläuterungsbericht
zur Weiterentwicklung des
Energiekonzepts**



Fotos und Visualisierungen: © Format 2D

Niederlassung

ZWP Ingenieur-AG - Innovation | An der Münze 12 -18 | 50668 Köln

Datum 04.11.2022 | **Inhalt** 73 Seiten

Thomas Bühl-Nebel

Claas Prediger

Technische Hochschule Köln Ersatzneubau Campus Deutz Köln

Bauherr **Land Nordrhein-Westfalen**
Horionplatz 1, 40213 Düsseldorf

Vertreten durch

Bau- und Liegenschaftsbetrieb NRW
Domstraße 55 - 73, 50668 Köln

TGA **ZWP Ingenieur-AG**
An der Münze 12-18, 50668 Köln

Inhalt

00	Ausgangslage und Antrieb	6
0.1	Dekarbonisierung Gebäudesektor durch CO₂-Bepreisung	7
0.2	Dekarbonisierung Strom-Mix	7
01	Energetische Potentialanalyse	9
1.1	Solarpflicht NRW	9
1.2	Standortanalyse	9
02	Bedarfsermittlung	16
2.1	Leistungsbilanz Wärme und Kälte	16
2.2	Wärme- / Kältebedarf der Campusgebäude	17
03	Energiekonzept – Varianten	19
3.1	Varianten – Qualitativ	19
3.2	Variante 0	23
3.3	Variante 1	31
3.4	Variante 2	39
3.5	Variante 3	44
3.6	Variante 4	52
04	Wirtschaftliche & ökologische Bewertung	62
4.1	Grundlagen	62
4.2	Endenergiebedarf	64
4.3	CO₂-Emissionen	65
4.4	Primärenergiefaktoren Wärme- / Kältelieferung	66
4.5	Investitionskosten	67
4.6	Bedarfs- und Betriebskosten	68
4.7	Gesamtannuität	69
4.8	Sensitivitätsanalyse	70
05	Zusammenfassung und Ausblick	71
06	Anlagen	73

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Entwicklung Kohlendioxid-Emissionen Bundesrepublik Deutschland	6
Abbildung 2 CO ₂ -Emissionen der Stromerzeugung von 1990 bis 2050	8
Abbildung 3 Fernwärmenetz am Standort (RheinEnergie AG, Google Maps)	9
Abbildung 4 Primärenergie- und CO ₂ -Faktoren Fernwärme (RheinEnergie AG)	10
Abbildung 5 Erdgasnetz am Standort.....	10
Abbildung 6 Stromnetz am Standort	11
Abbildung 7 Lithologisch-stratigrafisches Profil (Hydronik GmbH).....	12
Abbildung 8 Wasser- und Heilquellenschutzgebiete (Geologischer Dienst NRW).....	13
Abbildung 9 Grobverortung Saugbrunnen.....	13
Abbildung 10 Grobverortung Schluckbrunnen	14
Abbildung 11 Leistungsbilanz Heizung / Kälte	16
Abbildung 12 Jahresdauerlinie Wärme	17
Abbildung 13 Jahresdauerlinie Kälte.....	17
Abbildung 14 Variante 0 Schema Wärme- und Kälteerzeugung.....	23
Abbildung 15 Variante 0 Jahresdauerlinie Heizung Endausbau, saniert	24
Abbildung 16 Variante 0 Jahresdauerlinie Kühlung Endausbau, saniert	24
Abbildung 17 Variante 0 Bedarfsdeckung Strom KW3 (Winter)	25
Abbildung 18 Variante 0 Bedarfsdeckung Strom KW30 (Sommer)	25
Abbildung 19 Variante 0 Jahresdauerlinie Heizung 1. Bauabschnitt.....	26
Abbildung 20 Variante 0 Jahresdauerlinie Kühlung 1. Bauabschnitt	27
Abbildung 21 Variante 0 Bedarfsdeckung Strom KW3.....	27
Abbildung 22 Variante 0 Bedarfsdeckung Strom KW30	27
Abbildung 23 Variante 0 Jahresdauerlinie Heizung 2. Bauabschnitt	28
Abbildung 24 Variante 0 Jahresdauerlinie Kühlung 2. Bauabschnitt	29
Abbildung 25 Variante 0 Bedarfsdeckung Strom KW3 2. Bauabschnitt	29
Abbildung 26 Variante 0 Bedarfsdeckung Strom KW30 2. Bauabschnitt	29
Abbildung 27 Variante 1 Schema Wärme- und Kälteerzeugung.....	31
Abbildung 28 Variante 1 Jahresdauerlinie Heizung Endausbau, saniert	32
Abbildung 29 Variante 1 Jahresdauerlinie Kühlung Endausbau, saniert	33
Abbildung 30 Variante 1 Jahresdauerlinie Heizung 1. Bauabschnitt	34
Abbildung 31 Variante 1 Jahresdauerlinie Kühlung 1. Bauabschnitt	35
Abbildung 32 Variante 1 Jahresdauerlinie Heizung 2. Bauabschnitt	36
Abbildung 33 Variante 1 Jahresdauerlinie Kühlung 2. Bauabschnitt	37
Abbildung 34 Variante 2 Schema Wärme- und Kälteerzeugung.....	39
Abbildung 35 Variante 2 Jahresdauerlinie Heizung Endausbau, saniert	40
Abbildung 36 Variante 2 Jahresdauerlinie Kühlung Endausbau, saniert	40
Abbildung 37 Variante 2 Jahresdauerlinie Heizung 1. Bauabschnitt	41
Abbildung 38 Variante 2 Jahresdauerlinie Kühlung 1. Bauabschnitt	41
Abbildung 39 Variante 2 Jahresdauerlinie Heizung 2. Bauabschnitt	42
Abbildung 40 Variante 2 Jahresdauerlinie Kühlung 2. Bauabschnitt	42
Abbildung 41 Variante 3 Schema Wärme- und Kälteerzeugung.....	44
Abbildung 42 Variante 3 Jahresdauerlinie Heizung Endausbau, saniert	45
Abbildung 43 Variante 3 Jahresdauerlinie Kühlung Endausbau, saniert	45
Abbildung 44 Variante 3 Thermische Bilanz Grundwasser Endausbau, saniert	46
Abbildung 45 Variante 3 Thermische Bilanz Grundwasser Endausbau, saniert	46
Abbildung 46 Variante 3 Jahresdauerlinie Heizung 1. Bauabschnitt	47
Abbildung 47 Variante 3 Jahresdauerlinie Kühlung 1. Bauabschnitt	47
Abbildung 48 Variante 3 Thermische Bilanz Grundwasser 1. Bauabschnitt	48
Abbildung 49 Variante 3 Thermische Bilanz Grundwasser 1. Bauabschnitt	48
Abbildung 50 Variante 3 Jahresdauerlinie Heizung 2. Bauabschnitt	49
Abbildung 51 Variante 3 Jahresdauerlinie Kühlung 2. Bauabschnitt	49
Abbildung 52 Variante 3 Thermische Bilanz Grundwasser 2. Bauabschnitt	50
Abbildung 53 Variante 3 Thermische Bilanz Grundwasser 2. Bauabschnitt	50
Abbildung 54 Variante 4 Aufbau Wärme- und Kälteerzeugung	52
Abbildung 55 Variante 4 Jahresdauerlinie Heizung Endausbau, saniert	53

Abbildung 56 Variante 4 Jahresdauerlinie Kühlung Endausbau, saniert	53
Abbildung 57 Variante 4 Thermische Bilanz Grundwasser Endausbau, saniert I	54
Abbildung 58 Variante 4 Thermische Bilanz Grundwasser Endausbau, saniert II	55
Abbildung 59 Grundwassertemperatur 2019 bis 2022	55
Abbildung 60 Variante 4 Jahresdauerlinie Heizung 1. Bauabschnitt	57
Abbildung 61 Variante 4 Jahresdauerlinie Kühlung 1. Bauabschnitt	57
Abbildung 62 Variante 4 Thermische Bilanz Grundwasser 1. Bauabschnitt I	58
Abbildung 63 Variante 4 Thermische Bilanz Grundwasser 1. Bauabschnitt II	58
Abbildung 64 Variante 4 Jahresdauerlinie Heizung 2. Bauabschnitt	59
Abbildung 65 Variante 4 Jahresdauerlinie Kühlung 2. Bauabschnitt	59
Abbildung 66 Variante 4 Thermische Bilanz Grundwasser 2. Bauabschnitt I	60
Abbildung 67 Variante 4 Thermische Bilanz Grundwasser 2. Bauabschnitt II	60
Abbildung 68 Endenergiebedarf je Bauabschnitt	64
Abbildung 69 Durchschnittlicher Endenergiebedarf je Variante und Energieträger	64
Abbildung 70 Zukünftige Co ₂ -Emissionen.....	65
Abbildung 71 Durchschnittliche CO ₂ -Emission je Variante und Energieträger	66
Abbildung 72 Erstinvestitionen der verschiedenen Maschinen und Anlagen.....	67
Abbildung 73 Gesamtinvestitionskosten im Betrachtungszeitraum.....	67
Abbildung 74 Annuität Bedarfs- & Betriebskosten	68
Abbildung 75 Gesamtannuität	69
Abbildung 76 Zusammensetzung Gesamtannuität.....	69
Abbildung 77 Nutzwertanalyse	71

Abkürzungsverzeichnis

AKM	Absorptionskältemaschine
BHKW	Blockheizkraftwerk
BW-Kessel	Brennwertkessel
COP	Coefficient of performance (Leistungszahl)
ESEER	European seasonal energy efficiency ratio
FW	Fernwärme
Geb.	Gebäude
GEG	Gebäudeenergiegesetz
JAZ	Jahresarbeitszahl
KKM	Kompressionskältemaschine
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraftwärmekopplung
LNG	Flüssigerdgas (engl.: liquefied natural gas)
MWh	Megawattstunde
PEF	Primärenergiefaktor

00

Ausgangslage und Antrieb

Der Bau- und Liegenschaftsbetrieb Nordrhein-Westfalen (BLB NRW) hat in Zusammenarbeit mit der Hochschule eine strategische bauliche Hochschulstandortentwicklungsplanung (HSEP) für den Standort Campus Deutz der Technischen Hochschule Köln (TH Köln) erstellt.

Aktuell befinden sich im Rahmen der Standortentwicklung die Teilprojekte „Gebäude E“, Gebäude „B“ und „Infrastruktur“ in der Leistungsphase 4 bzw. 5. Die geplante Energieversorgung des Campus soll zentral aus einer Energiezentrale erfolgen. Es sind aktuell Gas-BHKWs inkl. Gas-Brennwertkessel als Heizungsversorgung und eine Absorptionskältemaschine und Kompressionskältemaschinen zur Kälteversorgung gemäß „Energiekonzept TH Köln – Entwicklung eines Energiekonzeptes für den Masterplan der TH Köln“, Fa. Deerns, 20.08.2018 geplant.

Die aktuelle geopolitische Lage sowie notwendige Klimaschutzmaßnahmen zur Reduzierung der bundesweiten CO₂-Emissionen zwingen zu einem Umdenken, so dass auf Basis der parallellaufenden geothermischen Machbarkeitsstudie eine Neubewertung des Energiekonzeptes erfolgen soll.

Durch den Krieg gegen die Ukraine ist die Abhängigkeit von fossilen Energien und der daraus resultierenden negativen Folgen sehr deutlich geworden. Eine Abkehr von dieser Abhängigkeit ist politisches Ziel. Als weiterer wesentlicher Treiber zur Überarbeitung von Energiekonzepten mit dem Ziel einer Dekarbonisierung ist die deutlich zu langsam verlaufende Energiewende. Das Tempo der deutschen Energiewende muss in etwa um den Faktor 5 gesteigert werden.

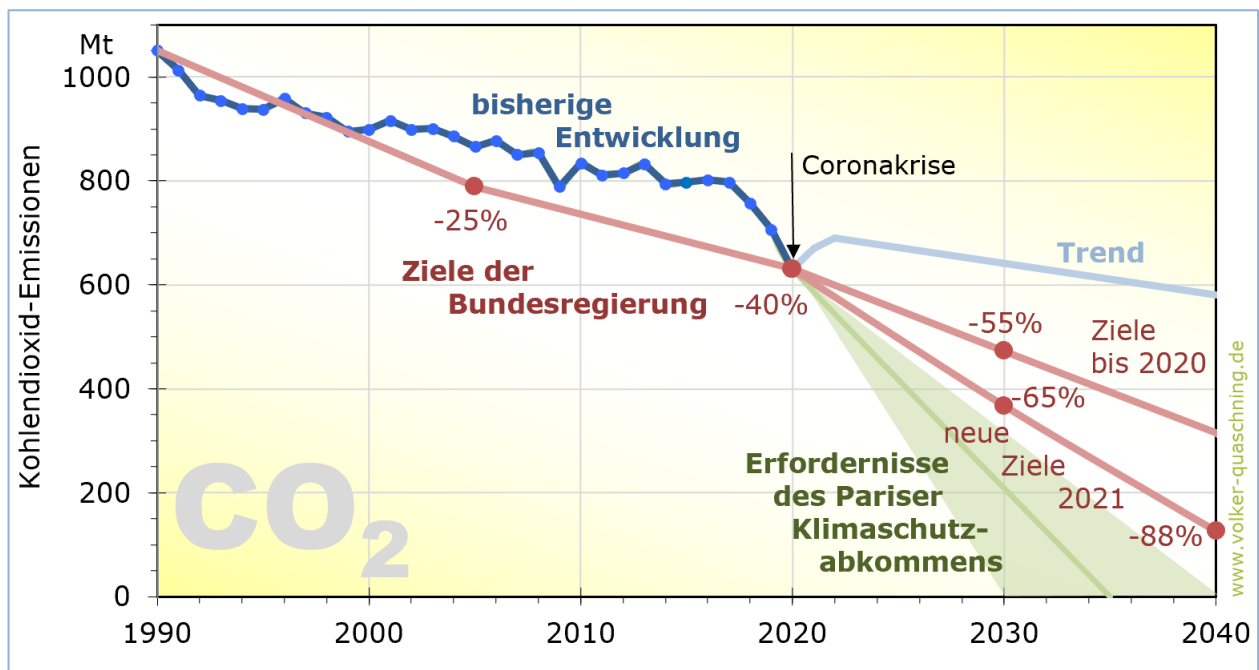


Abbildung 1 Entwicklung Kohlendioxid-Emissionen Bundesrepublik Deutschland

Dies stellte auch das Bundesverfassungsgericht im Jahr 2021 heraus mit seinem Urteil, welches folgende Reduktionen in den CO₂-Emissionen der Bundesrepublik zur Folge hatte:

bis 2030:	Reduktion der CO ₂ -Emissionen um 65%
bis 2035:	Reduktion der CO ₂ -Emissionen um 77%
bis 2040:	Reduktion der CO ₂ -Emissionen um 88%
bis 2045:	Reduktion der CO ₂ -Emissionen um 100%

0.1 Dekarbonisierung Gebäudesektor durch CO₂-Bepreisung

Ein wesentliches Steuerungselement zur Dekarbonisierung des Gebäudesektors stellt die CO₂-Bepreisung dar. Hierdurch müssen Unternehmen, die z.B. Heizöl, Erdgas, Benzin oder Diesel in den Markt bringen, ab 2021 einen CO₂-Preis zu zahlen. Sie werden verpflichtet, für den Treibhausgas-Ausstoß, den diese Brennstoffe verursachen, Emissionsrechte zu erwerben. Das geschieht über einen nationalen Emissionshandel.

In der Bundesrepublik stellt sich zunächst folgende CO₂-Bepreisung ein:

ab 2021	25€/t
bis 2025 schrittweise auf	55€/t
ab 2025 Preiskorridor	55€/t – 65€/t

Das Ziel ist, dass fossile Energieträger fortan sukzessive aus dem Markt verdrängt werden. Neben der Bundesrepublik ist ein vergleichbares Steuerungselement in weiteren Ländern bereits implementiert oder in der Planung, siehe hierzu auch Anlage 1) Präsentation zum Energiekonzept.

0.2 Dekarbonisierung Strom-Mix

Die aktuelle Nutzung einer Kilowattstunde (kWh) elektrischer Energie in Deutschland verursacht eine CO₂-Emission von ca. 393 g / kWh. Der Rückgang der CO₂-Emissionen pro Kilowattstunde erzeugtem Strom geht im Wesentlichen auf zwei Faktoren zurück:

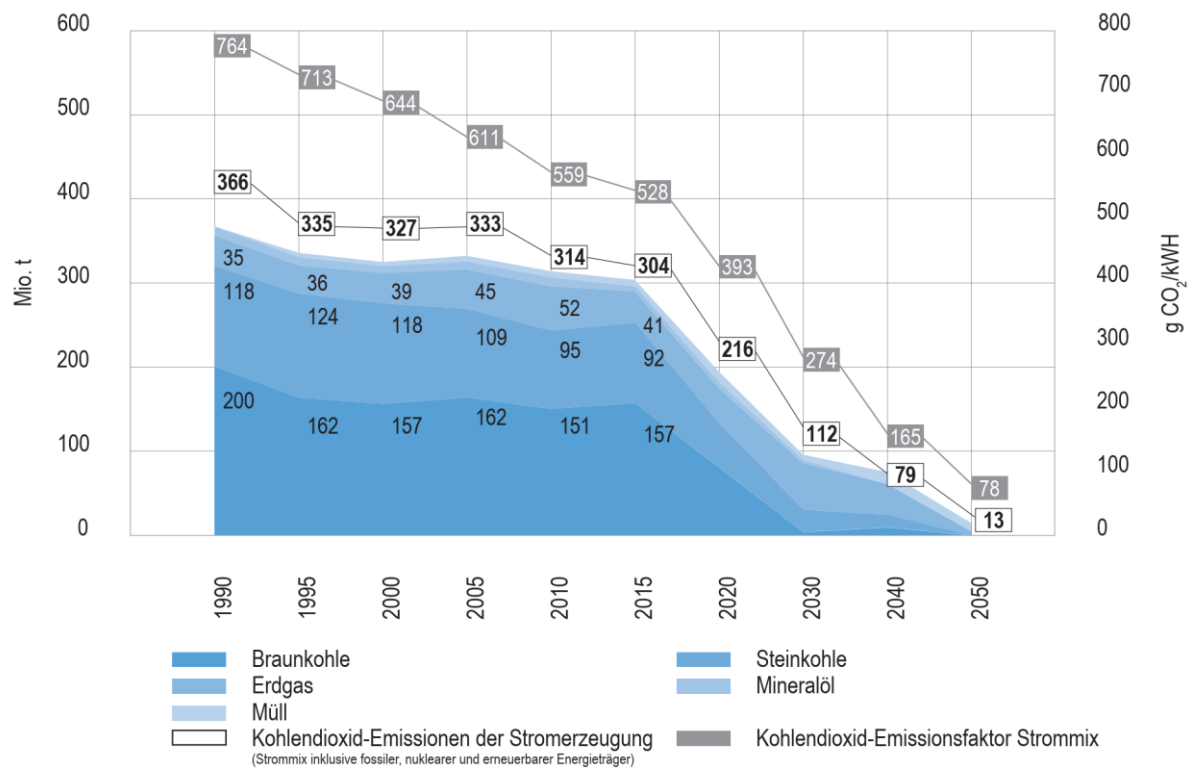
1. Der Anstieg der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (u.a. Photovoltaik, Windkraft)
2. Die Reduktion der Kohleverstromung (Braun- und Steinkohle)

Diese Faktoren sollen laut Bundesregierung weiter angetrieben werden. Ab 2038, idealerweise ab 2030 soll in Deutschland kein Strom mehr aus Kohle erzeugt werden.

In Summe soll die CO₂-Emission der öffentlichen Stromerzeugung (siehe Grafik) kontinuierlich reduziert werden und sie wird im Jahr 2050 bei voraussichtlich nur noch 78 g / kWh liegen. Es reicht also keinesfalls aus, die energetischen Konzepte auf dem Status der CO₂-Emissionen von heute zu betrachten. Primär sollten der Lebenszyklus und die Gesamtemission über die Lebensdauer einer Anlage Grundlage einer Entscheidung sein.

Der Energieträger wird somit auch im Gebäudesektor ökologisch immer attraktiver.

Rückgang bei der Kohleverstromung senkt CO₂-Emission der Stromerzeugung deutlich:
CO₂-Emissionen der Stromerzeugung von 1990 bis 2050



Berechnungen des Umweltbundesamt sowie des Fraunhofer ISI und Öko-Institutes

Abbildung 2 CO₂-Emissionen der Stromerzeugung von 1990 bis 2050

01

Energetische Potentialanalyse

1.1 Solarpflicht NRW

Im aktuellen Koalitionsvertrag von CDU und GRÜNEN heißt es auf Landesebene in Nordrhein-Westfalen:

„Ab dem 1. Januar 2024 gilt die Solarpflicht für alle gewerblichen Neubauten und ab dem 1. Juli 2024 im Bestand der kommunalen Liegenschaften, sofern das Dach umfassend saniert wird.“

In dem Projekt „Ersatzneubau Campus Deutz“ sind Photovoltaikanlagen auf den Dächern der neu zu errichtenden Campusgebäude bereits seit Beginn der Planungen durch den BLB NRW und die TH Köln als Anforderung formuliert und implementiert. Eine Nutzung der regenerativen Energiequelle Solarenergie wird somit schon umfassend behandelt und ist kein weiterer Bestandteil dieser Ausarbeitung.

1.2 Standortanalyse

1.2.1 Fernwärme

Am Standort ist Fernwärme über die RheinEnergie AG vorhanden. Aktuell werden der Altbau sowie das Hochhaus mit den benachbarten Campusgebäuden, u.a. der Bibliothek und der Hallen über Fernwärme versorgt.

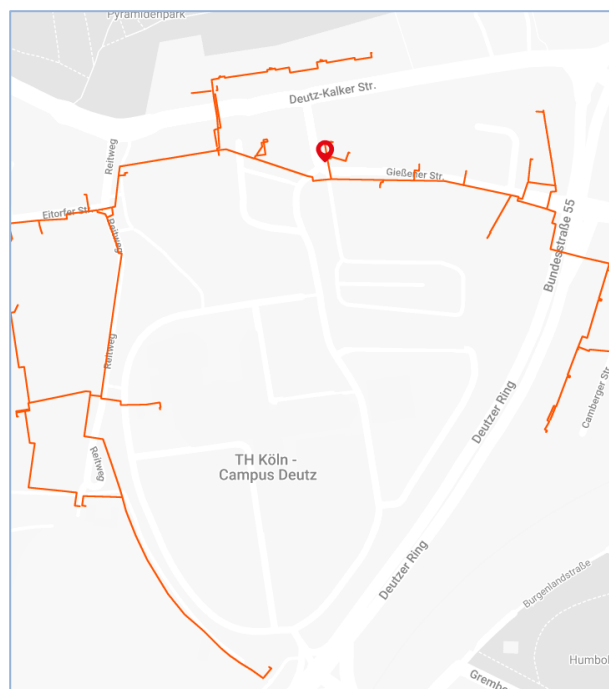


Abbildung 3 Fernwärmenetz am Standort (RheinEnergie AG, Google Maps)

Die Fernwärmeversorgung des Netzes „Innenstadt – Deutz“ erfolgt zu ca. 95% aus Kraft-Wärme-Kopplung und zu ca. 5% aus Heizkesseln jeweils auf Basis des fossilen Brennstoffes Erdgas.

Folgende standortspezifische Primärenergiefaktoren und CO₂-Äquivalente sind gegeben:

Wärmenetz	Primärenergiefaktor ¹⁾	Primärenergiefaktor ²⁾	Primärenergiefaktor ³⁾
Innenstadt-Deutz	0,00	0,30	-

Wärmenetz	CO ₂ -Faktor ¹⁾	CO ₂ -Faktor ³⁾	CO ₂ -Faktor Prognose 2025 ⁴⁾	Anteil KWK-Erzeugung ³⁾
Innenstadt-Deutz	0 g CO ₂ eq./kWh	-	105 g CO ₂ eq./kWh	95,4 %

1) gem. § 22 (2) GEG:2020-08 i.V.m. FW 309-1:2020-11
 2) gem. § 22 (3) GEG:2020-08; Liegt der ermittelte und veröffentlichte Wert des PEF eines Wärmenetzes ohne Erneuerbare Energien unter einem Wert von 0,3 ist als PEF der Wert von 0,3 zu verwenden.
 3) gem. § 22 (4) GEG:2020-08 i.V.m. DIN V 18599-1:2018-09, Tabelle A.1; findet Anwendung, wenn der PEF nicht vom Fernwärmeversorgungsunternehmen ermittelt und veröffentlicht wurde.
 4) Prognose Carnot-Methode (DIN EN 15316-4-5: 2017-09 Abschnitt 6.2.2.1.6.3)

Abbildung 4 Primärenergie- und CO₂-Faktoren Fernwärme (RheinEnergie AG)

1.2.2 Erdgas

In der Betzdorfer Straße und der Gießener Straße sind versorgeseitige Hochdruck- und Niederdruckgasleitungen der RheinEnergie AG vorhanden. Die aktuelle Planung im Teilprojekt „Infrastruktur“ sieht einen Anschluss an das Hochdruckgasnetz vor.



Abbildung 5 Erdgasnetz am Standort

Folgende Primärenergiefaktoren und CO₂-Äquivalente weist der fossile Energieträger Erdgas auf:

GEG 2020	Primärenergiefaktor [kWhPrimär / kWhEnd]	CO ₂ -Äquivalent [gCO ₂ /kWh]
Erdgas	1,1	240

1.2.3 Strom

Die Versorgung des Standorts erfolgt mittelspannungsseitig aus dem Umspannwerk 110/10 kV „UW Rols-hoven“. Das nachfolgende Bild zeigt skizzenhaft den neuen geplanten Anschluss gemäß aktuellem Pla-nungsstand des Teilprojektes „Infrastruktur“.



Abbildung 6 Stromnetz am Standort

Folgende Primärenergiefaktoren und CO₂-Äquivalente gelten für den allgemeinen Strommix in Deutsch-land:

	Primärenergiefaktor* [kWhPrimär / kWhEnd]	CO ₂ -Äquivalent aktuell** [gCO ₂ / kWh]	CO ₂ -Äquivalent Prognose** [gCO ₂ / kWh]
Strom	1,8	393	78

* nach Gebäudeenergiegesetz (GEG)

** CO₂-Äquivalente aus Berechnungen des Umweltbundesamtes

Die Novelle des GEG, welche am 01.01.2023 in Kraft tritt, sieht vor, dass für Großwärmepumpen mit einer Leistung von mindestens 500 kW ein reduzierter Primärenergiefaktor von 1,2 für den für den Betrieb der Wärmepumpe erforderlichen Strom zu verwenden ist, wenn sie Wärme für ein Wärmenetz bereitstellen.

1.2.4 Grundwassernutzung

Durch eine thermische Nutzung lässt sich Grundwasser als regenerative Energiequelle vor Ort nutzen. Grundlage für die Betrachtungen ist der Vorabzug einer Machbarkeitsstudie „Einsatz von Geothermie im neuen Campus Deutz“ der Hydronik GmbH vom 08.07.2022. Laut dieser Untersuchung befinden sich unterhalb des Baufelds bedeutende Grundwasservorkommen mit einer Wassertemperatur von voraussichtlich 13 – 14 °C. Die finale Bestimmung der Grundwassertemperatur sowie des Grundwasserchemismus erfolgt erst im Oktober / November 2022 und lag zur Ausarbeitung des Energiekonzeptes noch nicht vor.

Die voraussichtlich zulässige Temperaturspreizung zur thermischen Nutzung beträgt im Heizfall 5K und im Kühlfall 4K. Auf Grund des Temperaturniveaus bieten sich eine Wärmeversorgung mittels Grundwasser-Wärmepumpe und eine direkte Kühlung über das Grundwasser an.

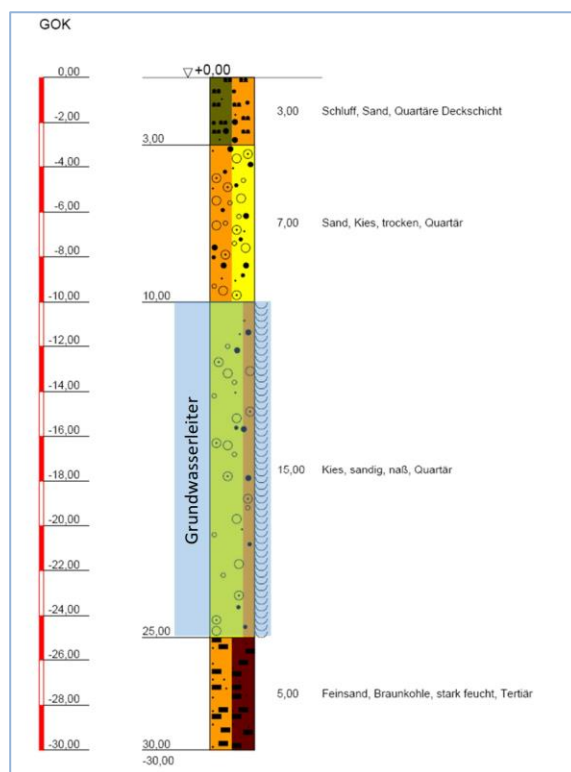


Abbildung 7 Lithologisch-stratigraphisches Profil (Hydronik GmbH)

In direkter Umgebung gibt es keine Heilquellen- oder Wasserschutzgebiete. Dennoch ist die Brunnenanlage bei der unteren Wasserbehörde genehmigungspflichtig und eine Umweltverträglichkeitsprüfung bei dieser Größenordnung erforderlich. Die Genehmigungsplanung muss hierbei durch einen Hydrogeologen erfolgen.

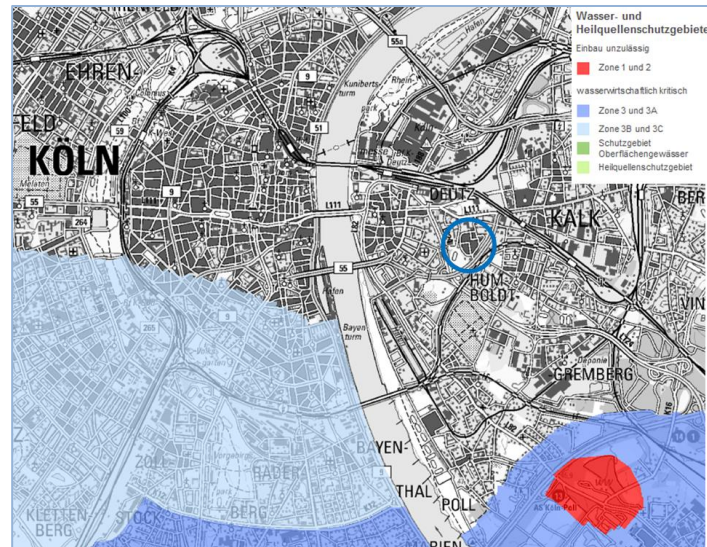


Abbildung 8 Wasser- und Heilquellenschutzgebiete (Geologischer Dienst NRW)

Die Planung, Ausschreibung und Objektüberwachung der Brunnenanlage erfolgt ebenfalls durch einen Hydrogeologen und die Verortung der Saug- und Schluckbrunnen erfolgt auf Basis einer hydrogeologischen Simulation, welche die Wärme- und Kälteverlaufskurven berücksichtigt. Zum Zeitpunkt der Erstellung des Energiekonzeptes lag eine erste Grobverortung der Saugbrunnen im Süden des Campus und der Schluckbrunnen im Norden des Campus durch die Hydronik GmbH vor.



Abbildung 9 Grobverortung Saugbrunnen

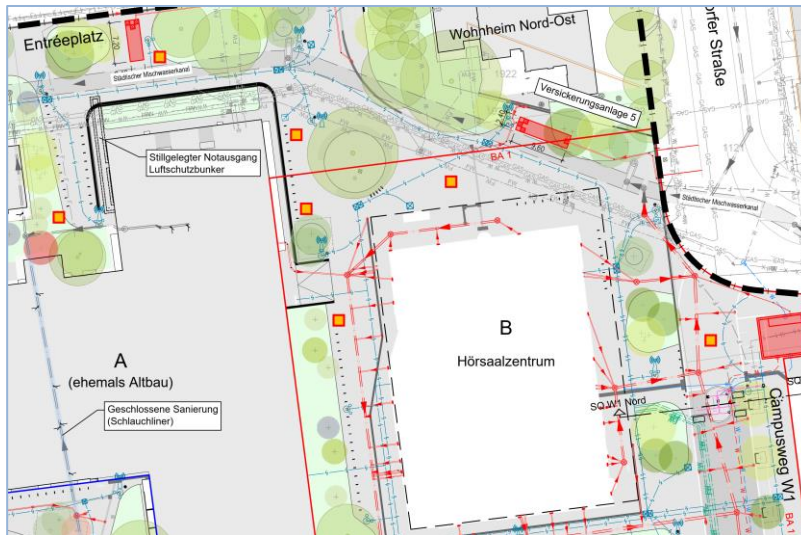


Abbildung 10 Grobverortung Schluckbrunnen

Es bedarf eines Leitungsverlaufs für das Grundwasser von den Saugbrunnen über die Energiezentrale zu den Schluckbrunnen. Zudem sind die Brunnenstuben mit den Medien Strom und Daten zu erschließen. In der Planung ist eine enge Schnittstellenabstimmung zwischen Hydrogeologie und Infrastruktur erforderlich.

Zudem werden vor der Planung der Brunnen Pumpversuche empfohlen, um die Ergiebigkeit, Durchlässigkeit und den Grundwasserchemismus zu ermitteln.

Risiken, welche neben der Genehmigungsfähigkeit auftreten können, sind:

- fehlerhafte Planung der Brunnenanlage
- falscher Betrieb (Monitoring und Schulung des Personals erforderlich)
- gegebenenfalls begrenztes Nutzungsrecht zur thermischen Grundwassernutzung

1.2.5 Zusammenfassung Potentialanalyse

Standort der Analyse: TH Köln – Campus Deutz
Betzdorfer Str. 2
50679 Köln

Wetterdaten: 31,2 °C Jahreshöchsttemperatur
- 6 °C Jahrestiefsttemperatur
11,5 °C Jahresmitteltemperatur
Übermittlung der Wetterdaten erfolgte durch BLB NRW

Grundwassernutzung: Ergiebiges Grundwasservorkommen
Geringer Flurabstand von ca. 10 m
Hydrogeologische Vorab-Untersuchung durch Hydronek GmbH
Angaben zu Grundwassertemperatur und Chemismus noch ausstehend
Risiko, da Umfang der Genehmigungsfähigkeit noch nicht vorliegend

Fernwärme: Fernwärme vorhanden
Versorger ist RheinEnergie AG
Risiko, ob Bereitschaft zur Spitzenlastversorgung (V1, V3) besteht

Erdgas: Erdgas vorhanden
Versorger ist RheinEnergie AG

Strom: MS-Versorgung auf 10 kV
Versorger ist RheinEnergie AG

Weiter Potentiale: Abwärmenutzung Kältemaschinen
Freikühlung über Luft
Erdsonden (kein Bestandteil, da „Energiedichte“ von Grundwassernutzung deutlich höher)
Abwasserwärme (kein Bestandteil dieser Ausarbeitung)
Solarenergie (kein Bestandteil dieser Ausarbeitung)

02

Bedarfsermittlung

2.1 Leistungsbilanz Wärme und Kälte

Durch den BLB NRW wurden die zu berücksichtigten Wärme- und Kälteanschlussleistungen der zu versorgenden Campusgebäude übermittelt. Folgende Darstellung zeigt die zu versorgenden Gebäude gestaffelt nach Bauabschnitten und der daraus resultierenden notwendigen Heiz- und Kälteleistungen, welche durch die Campusenergiezentrale zur Verfügung gestellt werden müssen.

Im Endausbau ist eine Wärmeleistung von 2.737 kW und eine Kälteleistung von 1.309 kW erforderlich.

Leistungsbilanz Heizung / Kälte										
Bauabschnitt	Jahr des Anschlusses	Gebäude	Gebäudeleistungen				Trasse		benötigte Leistungen	
			Q _{wärme} [kW]	GLZ Wärme [-]	Q _{kälte} [kW]	GLZ Kälte [-]	Q _{Verlust, Wärme} [kW]	Q _{Verlust, Kälte} [kW]	Q _{Wärme} [kW]	Q _{Kälte} [kW]
1	(?)	H (SAR) Studentische Arbeiten	80		40					
1	2027	Bibliothek (Bestand)	400		50					
1	2027	A (Altbau) (Bestand)	550		48					
1	2027	P2 Energiezentrale	41		5					
1	2027	B Hörsaalzentrum	330		348					
1	2027	E Fakultäts- und Verwaltungsgebäude	330		300					
1	2027	Zwischensumme	1.731	0,85	791	0,85	15	4	1.486	676
2	2031	C Fakultätsgebäude	360		100					
2	2031	D Fakultätsgebäude	450		90					
2	2032	Mensa	260		420					
2		Zwischensumme	1.070	0,85	610	0,85	5	2	2.401	1.197
3	2039	G + H Fakultäts- und Verwaltungsgebäude	350		110					
3	(?)	F Fakultätsgebäude	40		20					
3		Zwischensumme	390	0,85	130	0,85	5	2	2.737	1.309
1 - 3		Summe	3.191	0,85	1.531	0,85	25	8	2.737	1.309

Abbildung 11 Leistungsbilanz Heizung / Kälte

2.2 Wärme- / Kältebedarf der Campusgebäude

Durch den BLB NRW wurden ebenfalls die zu berücksichtigenden Wärme- und Kältebedarfe als Stundenwerte für ein Jahr übergeben. Hierbei wurden die vormaligen Bedarfswerte aus dem Energiekonzept TH Köln der Firma Deerns vom 20.08.2018 entsprechend der Planungsergebnisse aus den Teilprojekten Gebäude B und Gebäude E fortgeschrieben.

Die nachfolgenden Diagramme zeigen die bereitzustellenden Energiemengen Wärme und Kälte als geordnete Jahresdauerlinien.

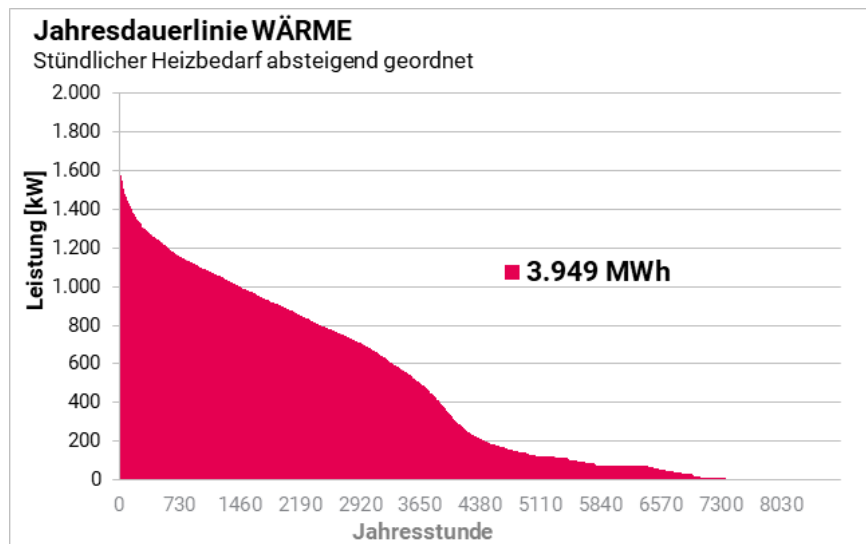


Abbildung 12 Jahresdauerlinie Wärme

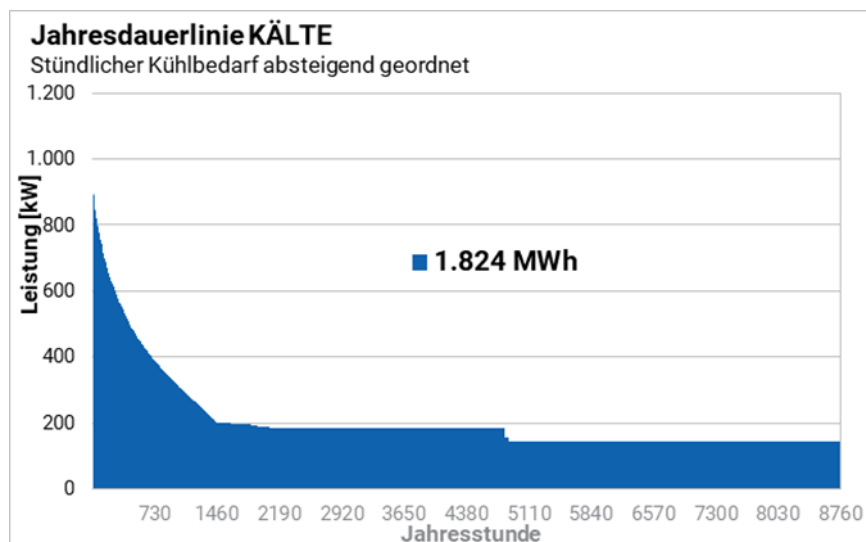


Abbildung 13 Jahresdauerlinie Kälte

Die Jahresdauerlinie weist einen ganzjährigen Kältebedarf auf. Dieser durchgehende Sockel resultiert aus dem Betrieb der Rechenzentren im Gebäude B und Gebäude E. Der Komfortkälteanteil weist einen deutlich geringeren Anteil am Gesamtkältebedarf auf. Dies lässt auf einen sehr moderaten und zurückgenommenen Kühlbetrieb in den Campusgebäuden schließen.

Im ersten Bauabschnitt werden bereits 55% des jährlichen Wärmebedarfs und sogar bereits 95% des jährlichen Kältebedarfs des Endausbaus benötigt.

Im zweiten Bauabschnitt steigert sich dies auf 89% des jährlichen Wärmebedarfs und auf 99% des jährlichen Kältebedarfs des Endausbaus.

Im dritten Bauabschnitt kommen somit lediglich 11% des jährlichen Wärmebedarfs und 1% des jährlichen Kältebedarfs hinzu.

Im Energiekonzept ist vorgesehen, dass eine Sanierung der Bestandsgebäude Altbau und Bibliothek im dritten Bauabschnitt erfolgt. Ab dann besteht die Möglichkeit diese Gebäude ebenfalls ganzjährig auf einem Temperaturniveau von 50/30°C aus der neuen Campusenergiezentrale mit Wärme zu versorgen. Bis zur Sanierung dieser Bestandsgebäude sind Lösungen erforderlich, um diese Gebäude auf einem höheren Temperaturniveau von ca. 80/60°C zu versorgen.

03

Energiekonzept – Varianten

3.1 Varianten – Qualitativ

	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Wärmeversorgung Wärmequelle	BHKW + Gasbrennwertkessel	BHKW + Fernwärme	Fernwärme	Wärmepumpe klein + Fernwärme	Wärmepumpe groß
Kälteversorgung Rückkühlung	Absorptions- + Kompressionskälte wassergekühlt an Luft KWK (nicht regenerativ)	Absorptions- + Kompressionskälte wassergekühlt an Luft KWK (nicht regenerativ)	Kompressionskälte wassergekühlt an Luft	Brunnen klein + KKM Grundwasser, wassergekühlt an Luft	Brunnen groß + KKM Grundwasser, wassergekühlt an Luft
Umweltenergie	KWK (nicht regenerativ)	KWK (nicht regenerativ)	/	Grundwasser	Grundwasser
Abwärmennutzung	Abwärme AKM + KKM	Abwärme AKM + KKM	Abwärme KKM	Vorwärmung des Grundwassers Abwärme KKM	Vorwärmung des Grundwassers Abwärme KKM
Freie Kühlung	Begrenzte Möglichkeit über Rückkühler	Begrenzte Möglichkeit über Rückkühler	Begrenzte Möglichkeit über Rückkühler	Direktkühlung über Grundwasser, begrenzte Möglichkeit über Rückkühler	Direktkühlung über Grundwasser, begrenzte Möglichkeit über Rückkühler
Wärmenetz	50/30°C	50/30°C	50/30°C	50/30°C	50/30°C
Kältenetz	13/19°C	13/19°C	13/19°C	13/19°C o. 15/21°C	13/19°C o. 15/21°C
Investitionskosten	■	■	+	○	■ ■
Platzbedarf	○	○	+	■	■
Betriebssicherheit	+	++	+	○	○
Komplexität	■	■	++	○	○
Ökologie	■	■	○	+	++
Innovation	○	○	○	+	++
Gebäudestandard	verbesserte U-Werte	EH40 + verbesserte U-Werte	EH40 + Fernwärme	EH40 EE	EH40 EE

Zu untersuchen sind fünf verschiedene Varianten zur zukünftigen Wärme- und Kälteversorgung des Campus Deutz.

Die Variante 0 stellt hierbei die Referenzvariante dar, welche sich aktuell auf Basis des Energiekonzeptes aus 2018 in dem Teilprojekt Infrastruktur in Planung befindet. Diese Variante sieht eine Grundlastwärmeerzeugung über erdgasbetriebene Blockheizkraftwerke (BHKW) sowie eine Spitzenlastwärmeerzeugung über erdgasbetriebene Gasbrennwertkessel vor. Die Grundlastkälteerzeugung erfolgt über eine Absorptionskältemaschine (AKM), welche vornehmlich durch die BHKW's angetrieben wird und somit zu langen Laufzeiten der BHKW beiträgt. Die Spitzenlastkälteerzeugung erfolgt über elektrisch betriebene Kompressionskältemaschinen (KKM).

Die Variante 1 stellt eine Abwandlung der Referenzvariante 0 dar. Hier wird die Spitzenlastwärmeerzeugung durch die städtische Fernwärme anstatt durch die Gasbrennwertkessel erbracht.

In der Variante 2 entfallen die BHKW's und die Wärmeerzeugung erfolgt gänzlich über die Fernwärme. Bei der Kälteerzeugung entfällt die AKM und die Kälteerzeugung erfolgt über Kompressionskältemaschinen.

Die Variante 3 sieht die thermische Nutzung von Grundwasser zur Grundlastwärme- sowie Grundlastkälteerzeugung vor. Die Wärmeerzeugung erfolgt hierbei in Verbindung mit einer Wärmepumpe. Im Kühlfall kommt es zu einer passiven Kühlung über das Grundwasser. Das heißt, dass neben den Unterwasser- und Umwälzpumpen keine weiteren Prozesse zur Kälteerzeugung benötigt werden. Spitzenlasten werden über Fernwärme bzw. Kompressionskälte gedeckt.

In der Variante 4 wird eine 100%ige Wärme- sowie Kälteversorgung über eine große Brunnenanlage angestrebt.

Umweltenergie

In den Varianten 0 bis 2 werden keine regenerativen Umweltenergien genutzt. In den Varianten 3 und 4 wird das Grundwasser als lokale Umweltenergie thermisch genutzt.

Abwärmenutzung

Durch den ganzjährigen Kältebedarf der Rechenzentren in den Gebäuden B und E liegt ein großer Zeitraum mit parallelen Wärme- und Kältebedarf vor.

In den Varianten 0 bis 2 wird die Abwärme aus den Kälteprozessen (Absorption und Kompression) genutzt, indem die Wärme in den Rücklauf des Campusnetzes Wärme eingespeist wird.

In den Varianten 3 und 4 wird die Abwärme indirekt genutzt, indem die Brunnenwärmetauscher Kühlen und Heizen über eine Reihenschaltung verfügen. Das ohnehin zu fördernde Grundwasser wird zunächst über den Wärmetauscher Kühlen gefördert, wo es sich erwärmt. Anschließend wird das erwärmte Grundwasser der Wärmepumpe zugeführt und erhöht hier die Wärmequellentemperatur und somit die Effizienz der Wärmepumpe. Zudem lassen sich durch die Reihenschaltung des Spitzenwassermengen gegenüber einer ausschließlichen Parallelschaltung reduzieren.

Dennoch wird empfohlen auch die Kältemaschinen in den Varianten 3 und 4 mit einer Wärmeauskopplung zu planen, um auf sich im langen Planungs-, Realisierungs- und Nutzungszeitraum ändernde Lastsituationen reagieren zu können.

Freie Kühlung

In den Varianten 0 bis 2 liegt eine begrenzte Möglichkeit zur freien Kühlung über die Rückkühler vor. Es ist jedoch vorgesehen, dass die Abwärme aus den Kälteprozessen genutzt wird. In den Varianten 3 und 4 erfolgt die freie Kühlung über das Grundwasser. Die Abwärme wird, wie im Absatz voran beschrieben, den Wärmepumpen auf der Quellenseite zugeführt.

Wärmenetz

Das Wärmenetz wurde in der aktuellen Planung im Teilprojekt „Infrastruktur“ mit einem Temperaturniveau von 50/30°C geplant. Dieses Temperaturniveau kann in allen Varianten zur Verfügung gestellt werden.

Kältenetz

Das Kältenetz wurde in der aktuellen Planung im Teilprojekt „Infrastruktur“ mit einem Temperaturniveau von 13/19°C geplant. Dieses Temperaturniveau kann voraussichtlich nicht in den Varianten 3 und 4 über eine freie Kühlung mittels Grundwasser zur Verfügung gestellt werden. Die voraussichtliche Grundwassertemperatur wurde durch den Hydrogeologen zunächst mit 14°C angegeben. Hierdurch wäre eine Kältenetztemperatur von 15/21°C möglich. Etwaige Auswirkungen auf die Gebäudeplanungen erfolgt in den Teilprojekten. Eine Vorabsprache hat zur Erstellung des Energiekonzeptes stattgefunden.

Investitionskosten

Die Investitionskosten werden im Kapitel 4 „Wirtschaftliche und ökologische Bewertung“ dargestellt.

Platzbedarf

Den geringsten Platzbedarf weist die Variante 2 auf. Es folgen die Varianten 0 und 1, welche durch ihre Vielzahl an verschiedenen Erzeugern einen höheren Platzbedarf aufweisen. Die Varianten 3 und 4 weisen neben der Zentralentechnik einen Platzbedarf für die Brunnenanlagen in den Außenanlagen auf, vergleiche die vorläufige Positionierung der Brunnen in Kapitel 1 „Energetische Potentialanalyse“.

Betriebssicherheit

Die Betriebssicherheit der Variante 1 wird aufgrund der Vielzahl der eingesetzten Energieträger (Erdgas, Fernwärme, Strom) sowie Wärme- und Kälteerzeuger am besten bewertet. Es folgen die Varianten 0, 1 und 3, in welchen mindestens zwei Energieträger eingesetzt werden. Die Variante 4 ist mit einer mittleren Betriebssicherheit bewertet. Hier wird lediglich der Energieträger Strom zur Wärme- und Kälteversorgung eingesetzt. Hier ist jedoch anzumerken, dass bei einem allgemeinen Stromausfall voraussichtlich ohnehin kein Lehrbetrieb stattfindet. Zudem verfügen die sensiblen Bereiche, wie die Rechenzentren über redundante Kälteanlagen in den Campusgebäuden, welche bei Netzausfall über die Notstromversorgung versorgt werden.

Bei allen Varianten ist ein entsprechend der eingesetzten Erzeuger geschultes Personal einzusetzen, um die Betriebssicherheit zu gewährleisten. Siehe hierzu auch den nachfolgenden Punkt.

Komplexität

Die geringste Komplexität weist die Variante 2 auf. Hier werden mit den Fernwärmeübergabestationen sowie den Kompressionskältemaschinen in ihrer Komplexität verhältnismäßig leicht zu betreibende Anlagen eingesetzt.

Es folgen die Varianten 3 und 4 mit den Brunnenanlagen und Wärmepumpen bzw. Kältemaschinen. Auch diese Anlagen sind im Betrieb ohne großen Aufwand zu betreiben. Insbesondere sind jedoch die Brunnenanlagen einem Monitoring durch geschultes Personal zu unterziehen, um falsche und ineffiziente Betriebsweisen frühzeitig zu identifizieren.

Die höchste Komplexität weisen die Varianten 0 und 1 auf. Zum einen werden hier eine Vielzahl von verschiedenen Erzeugern eingesetzt, wie Blockheizkraftwerke, Gasbrennwertkessel bzw. Fernwärme und Absorptionskältemaschinen mit feuchtem Rückkühlwerk und Kompressionskältemaschinen mit trockenem Rückkühlwerk. Insbesondere die BHKWs sowie die feuchten Rückkühlwerke bedürfen einen erhöhten Betriebsaufwand.

Ökologie

Die ökologischen Kriterien werden im Kapitel 4 „Wirtschaftliche und ökologische Bewertung“ dargestellt.

Innovation

Mit diesem Kriterium soll der Innovationscharakter der Varianten beschrieben werden. Bei den Varianten 0 bis 2 handelt es sich um konventionelle Arten der Wärme- und Kälteerzeugungen. Positiv zu benennen ist hierbei die Abwärmenutzung aus den Kälteprozessen.

In den Varianten 3 und 4 wird eine lokale Umweltenergiequelle erschlossen zur thermischen Nutzung. Insbesondere die große Brunnenanlage aus der Variante 4 mit welcher eine 100%ige Deckung des Wärme- und Kältebedarfes angestrebt wird, hätte Leuchtturmcharakter.

Gebäudestandard

Einzuhalten sind die Vorgaben zur Klimaneutralen Landesverwaltung (EH-40 Standard) sowie die Leitlinien zum Klimaschutz der Stadt Köln. Die Einhaltung dieser Standards wird durch die Bauphysiker in den jeweiligen Teilprojekten geprüft. Grundlegend lässt sich festhalten, dass eine ressourcenschonende Wärme- und Kälteversorgung positiv die Erreichbarkeit dieser Anforderungen beeinflusst.

3.2 Variante 0

Die Wärmeversorgung in dieser Variante wird mittels drei BHKW mit einer jeweiligen thermischen Leistung von 170 kW und zwei Gasbrennwertkessel mit einer jeweiligen Leistung von 1.200 kW sichergestellt. Zudem wird die Abwärme der Kältemaschinen genutzt. Die Erdgasversorgung erfolgt durch das Energieversorgungsunternehmen. Hierfür ist eine Hochdruckgasübergabestation in den Freianlagen im Norden des Campus erforderlich. Der Altbau wird zudem übergangsweise bis zur Sanierung im 3. Bauabschnitt mit Fernwärme mit einer Leistung von 550 kW versorgt. Die Bibliothek erhält übergangsweise Hochtemperatur aus der Energiezentrale über einen eigenen Verteilkreis.

Der Kältebedarf wird mittels einer Absorptionskältemaschine mit einer Leistung von 125 kW und zwei Kompressionskältemaschinen mit einer jeweiligen Leistung von 600 kW gedeckt. Die Absorptionskältemaschine erhält ein feuchtes und die Kompressionskältemaschinen trockene Rückkühlwerke.

Die Stromversorgung erfolgt durch Eigenstromnutzung der BHKW und über das Energieversorgungsunternehmen.

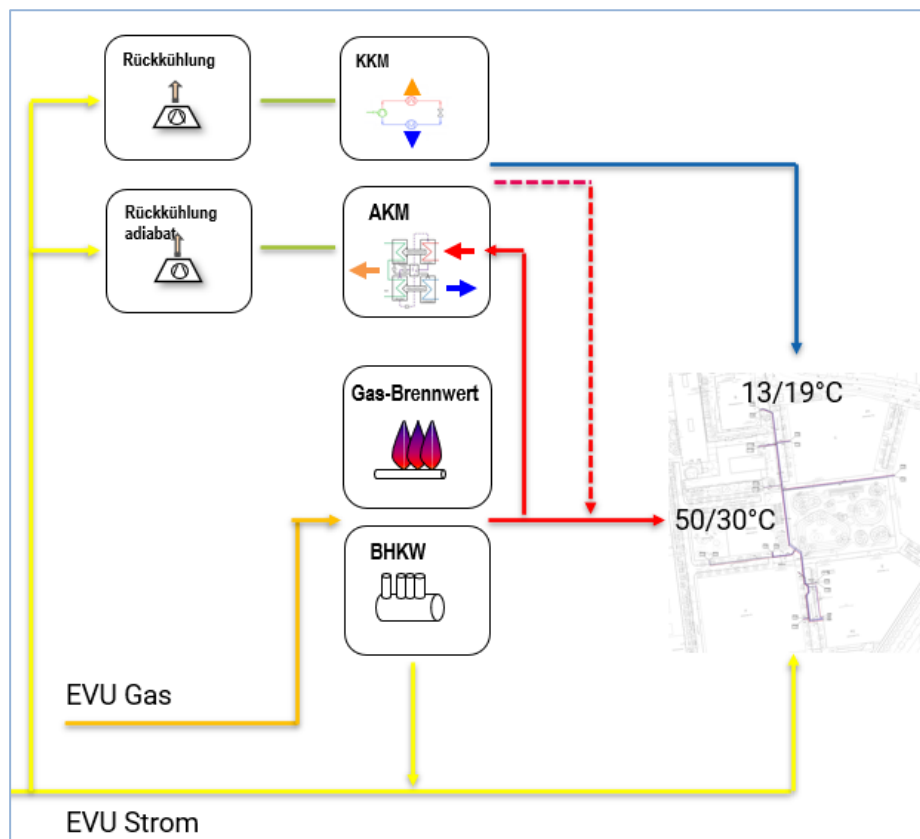


Abbildung 14 Variante 0 Schema Wärme- und Kälteerzeugung

3.2.1 Endausbau, saniert

Im 3. Bauabschnitt (Endausbau) weist die Wärme- / Kälteversorgung folgende Erzeuger auf

Wärmeversorgung	
BHKW	3 x 170 kW
Gasbrennwertkessel	2 x 1.200 kW

Kälteversorgung

Absorptionskältemaschine	1 x 125 kW
Kompressionskältemaschine	2 x 600 kW

Nach der Sanierung des Altbaus und der Bibliothek im 3. BA erfolgt die Wärmeversorgung dieser beiden Gebäude mittels einer Vorlauftemperatur von 50 °C und einer Rücklauftemperatur von 30 °C aus der Energiezentrale.

Der gesamte Wärmebedarf des neuen Campus wird zu 56% durch BHKW, 30% durch Gas-Brennwertkessel und 15% durch Abwärme gedeckt.

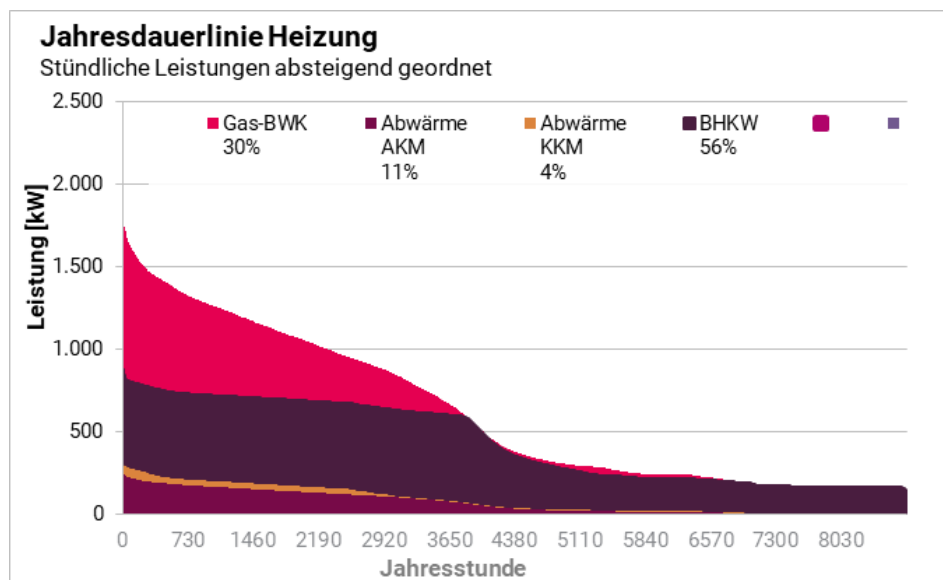


Abbildung 15 Variante 0 Jahresdauerlinie Heizung Endausbau, saniert

Der Kältebedarf wird zu 60% durch Absorptionskälte und zu 40% durch Kompressionskälte gedeckt.

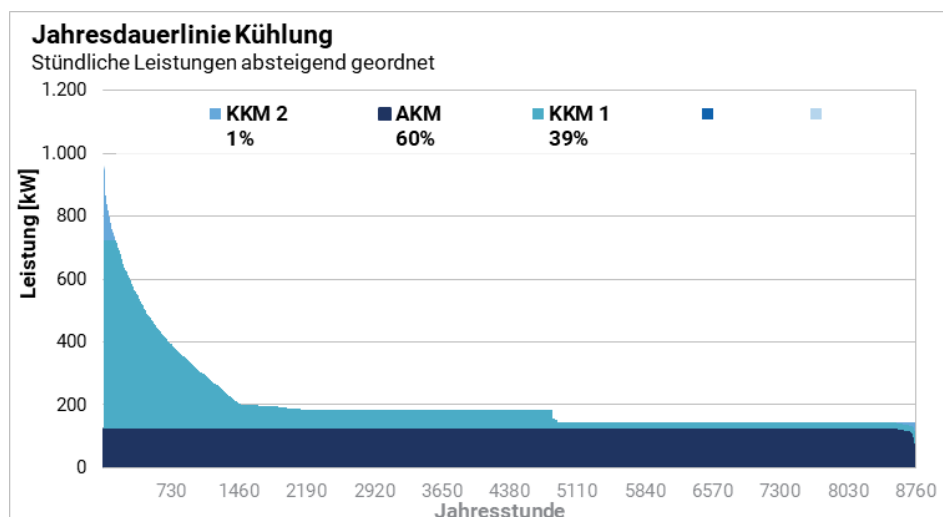


Abbildung 16 Variante 0 Jahresdauerlinie Kühlung Endausbau, saniert

Die voraussichtliche Stromerzeugung durch die BHKW's im Endausbau beträgt 1.733 MWh/a, wobei der eigenerzeugte Strom zu 100% selbst genutzt wird. Dies lässt eine gute Wirtschaftlichkeit erwarten, da der Stromnetzbezug des Campus hierdurch reduziert wird. Die verwendeten Stromlastgänge der Campusgebäude wurden durch den BLB NRW übermittelt.

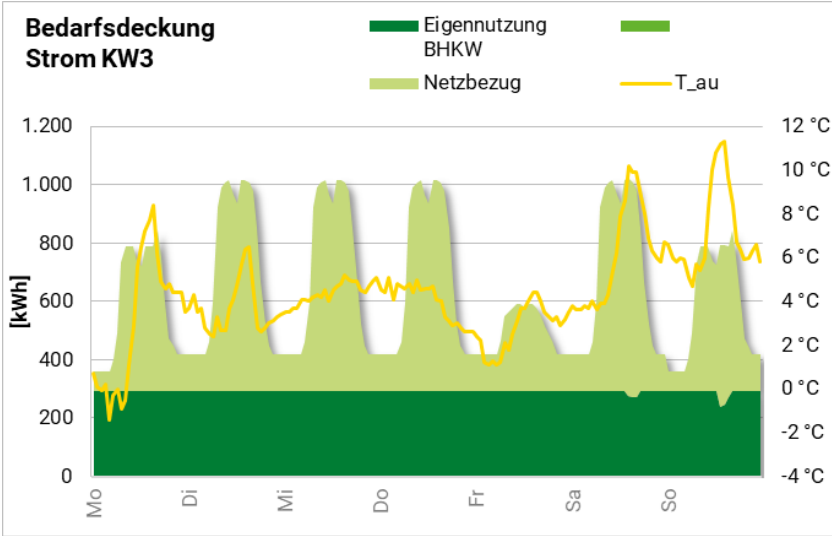


Abbildung 17 Variante 0 Bedarfsdeckung Strom KW3 (Winter)

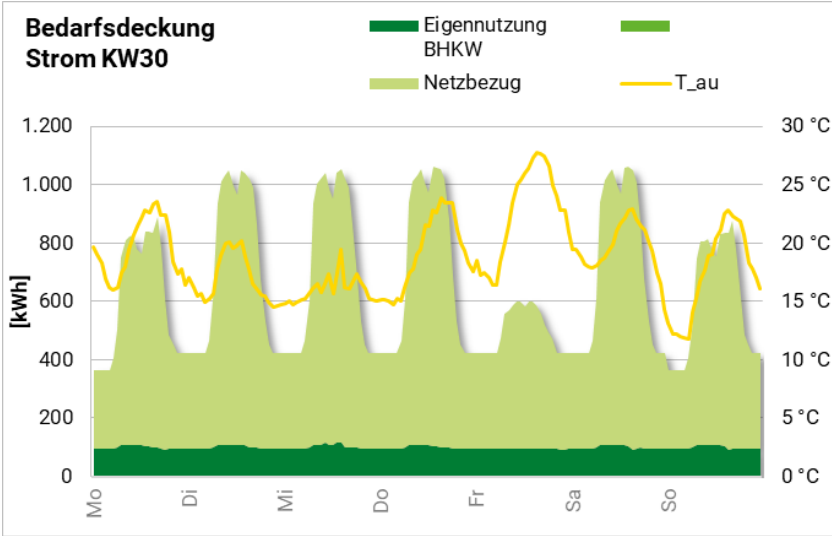


Abbildung 18 Variante 0 Bedarfsdeckung Strom KW30 (Sommer)

3.2.2 1. Bauabschnitt

Im ersten Bauabschnitt weist die Wärme- / Kälteversorgung folgende Erzeuger auf

Wärmeversorgung

BHKW	2 x 170 kW
Gasbrennwertkessel	1 x 1.200 kW
Fernwärme im Altbau	550 kW

Kälteversorgung

Absorptionskältemaschine	1 x 125 kW
Kompressionskältemaschine	1 x 600 kW

Die Sanierung der Bestandsgebäude Altbau und Bibliothek ist noch nicht erfolgt. Der Altbau wird bivalent mit Fernwärme und über das Wärmenetz der Campusenergiezentrale versorgt. Bis zu einer Außentemperatur von ca. 10°C erfolgt eine Wärmeversorgung auf hohem Temperaturniveau mittels Fernwärme. Bei Außentemperaturen oberhalb von 10°C erfolgt die Wärmeversorgung aus der Campusenergiezentrale. Die Bibliothek wird über einen eigenen Hochtemperaturverteilkreis aus der Campusenergiezentrale versorgt.

Im ersten Bauabschnitt erfolgt die Deckung des Wärmebedarfs zu 61% durch BHKW, zu 32% durch Gas-Brennwertkessel und Fernwärme (Altbau) und zu 7% durch Abwärme.

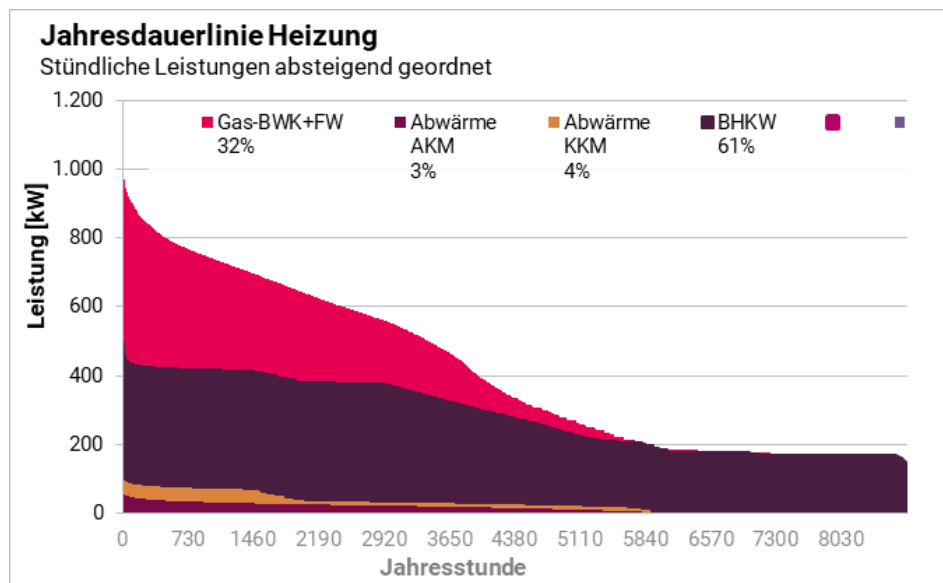


Abbildung 19 Variante 0 Jahresdauerlinie Heizung 1. Bauabschnitt

Die Deckung des Kältebedarfs erfolgt im ersten Bauabschnitt zu 63 % durch Absorptionskälte und zu 37 % durch Kompressionskälte.

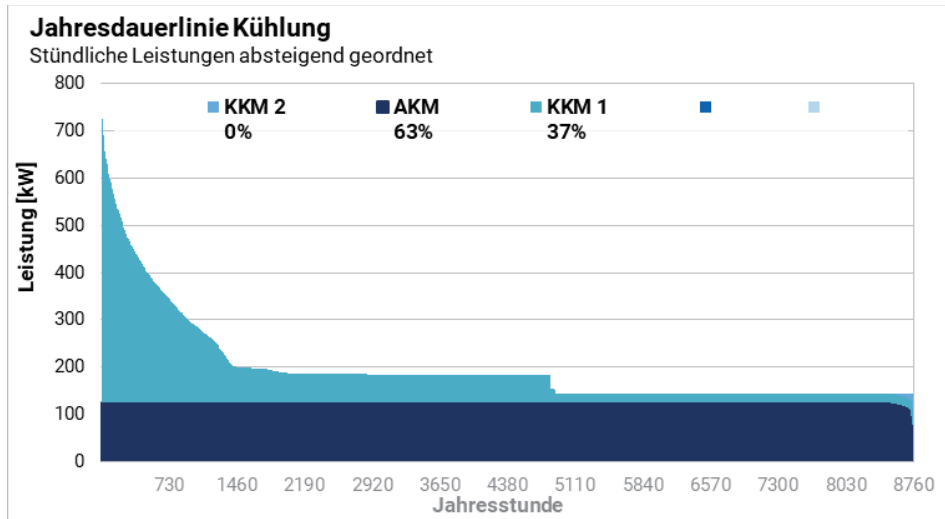


Abbildung 20 Variante 0 Jahresdauerlinie Kühlung 1. Bauabschnitt

Die voraussichtliche Stromerzeugung durch BHKW's im ersten Bauabschnitt beträgt 1.264 MWh/a, wobei dieser erzeugte Strom zu 99% selbst genutzt wird. Dies lässt ebenfalls aufgrund der Reduzierung des Stromnetzbezugs eine gute Wirtschaftlichkeit erwarten. Die aufgeführten Stromlastgänge wurden durch den BLB NRW übermittelt.

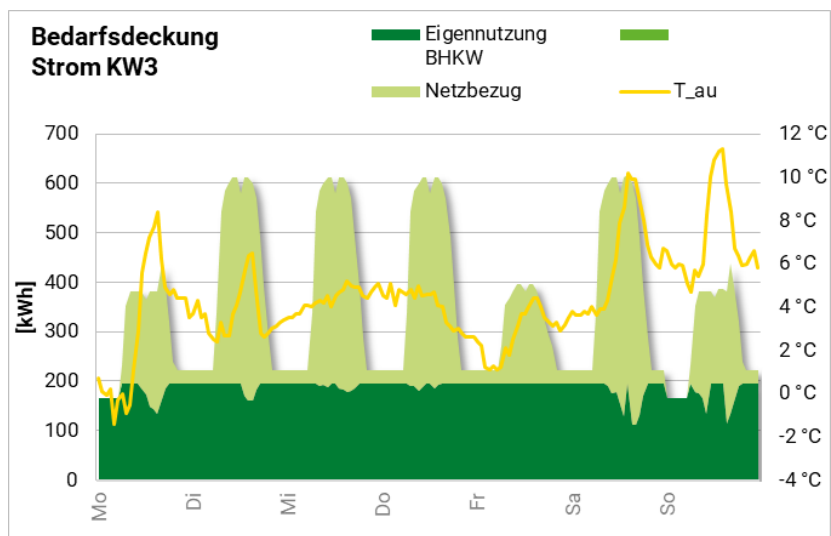


Abbildung 21 Variante 0 Bedarfsdeckung Strom KW3

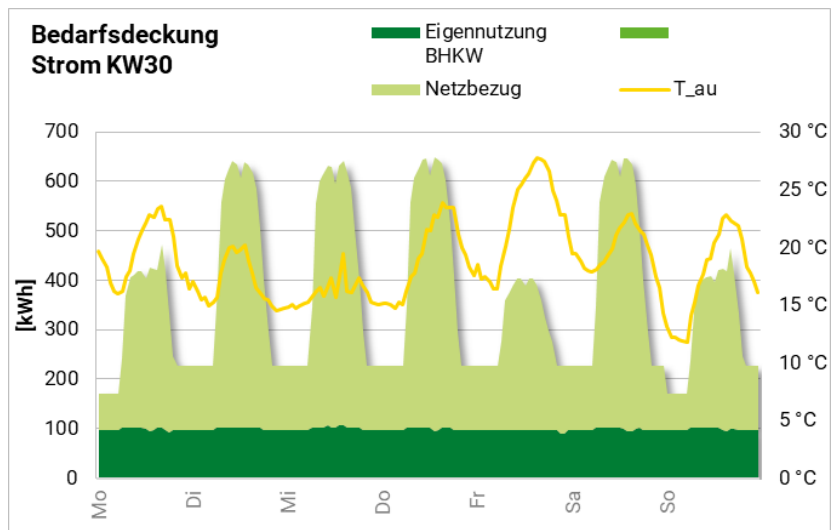


Abbildung 22 Variante 0 Bedarfsdeckung Strom KW30

3.2.3 2. Bauabschnitt

Im zweiten Bauabschnitt weist die Wärme- / Kälteversorgung folgende Erzeuger auf

Wärmeversorgung

BHKW	3 x 170 kW
Gasbrennwertkessel	2 x 1.200 kW
Fernwärme im Altbau	550 kW

Kälteversorgung

Absorptionskältemaschine	1 x 125 kW
Kompressionskältemaschine	2 x 600 kW

Die Sanierung der Bestandsgebäude Altbau und Bibliothek ist noch nicht erfolgt. Der Altbau wird bivalent mit Fernwärme und über das Wärmenetz der Campusenergiezentrale versorgt. Bis zu einer Außentemperatur von ca. 10°C erfolgt eine Wärmeversorgung auf hohem Temperaturniveau mittels Fernwärme. Bei Außentemperaturen oberhalb von 10°C erfolgt die Wärmeversorgung aus der Campusenergiezentrale. Die Bibliothek wird über einen eigenen Hochtemperaturverteilkreis aus der Campusenergiezentrale versorgt.

Im zweiten Bauabschnitt erfolgt die Deckung des Wärmebedarfs zu 59% durch BHKW, zu 31% durch Gas-Brennwertkessel und Fernwärme (Altbau) und zu 11% aus Abwärme.

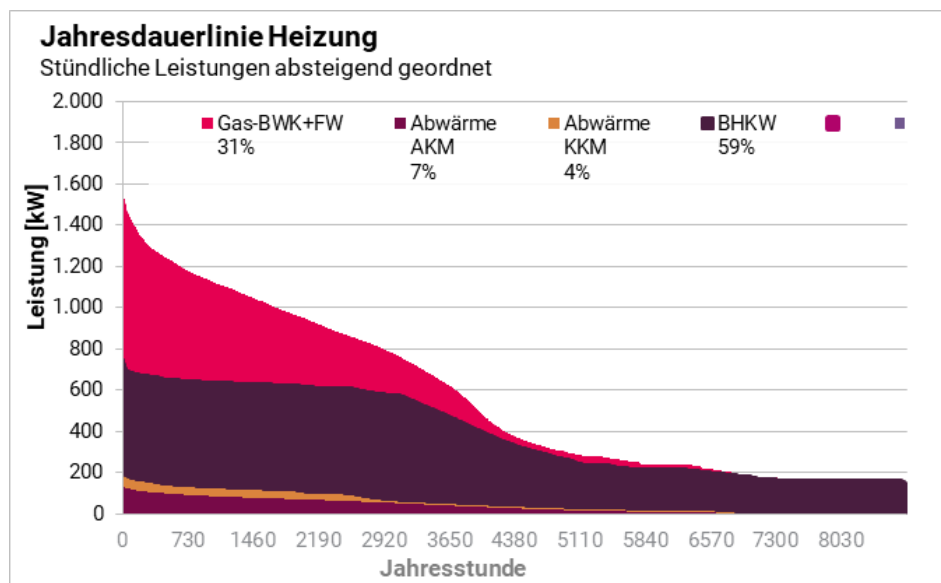


Abbildung 23 Variante 0 Jahresdauerlinie Heizung 2. Bauabschnitt

Die Deckung des Kältebedarfs im zweiten Bauabschnitt erfolgt zu 60% durch Absorptionskälte und zu 40% durch kompressionskälte.

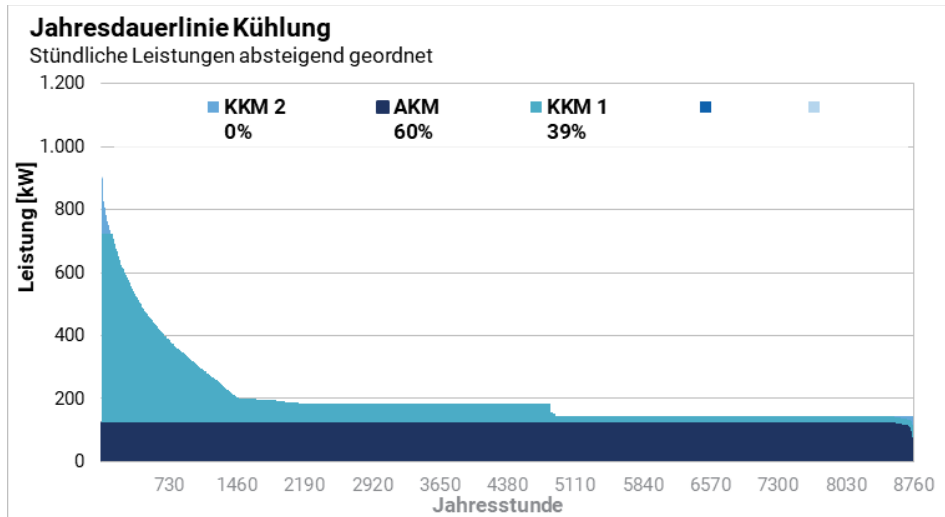


Abbildung 24 Variante 0 Jahresdauerlinie Kühlung 2. Bauabschnitt

Die voraussichtliche Stromerzeugung im zweiten Bauabschnitt durch BHKW's beträgt 1.690 MWh/a, wobei der erzeugte Strom zu 100% selbst genutzt wird. Dies lässt eine gute Wirtschaftlichkeit erwarten, da der Stromnetzbezug des Campus dadurch reduziert wird. Die aufgeführten Stromlastgänge wurden durch den BLB NRW übermittelt.

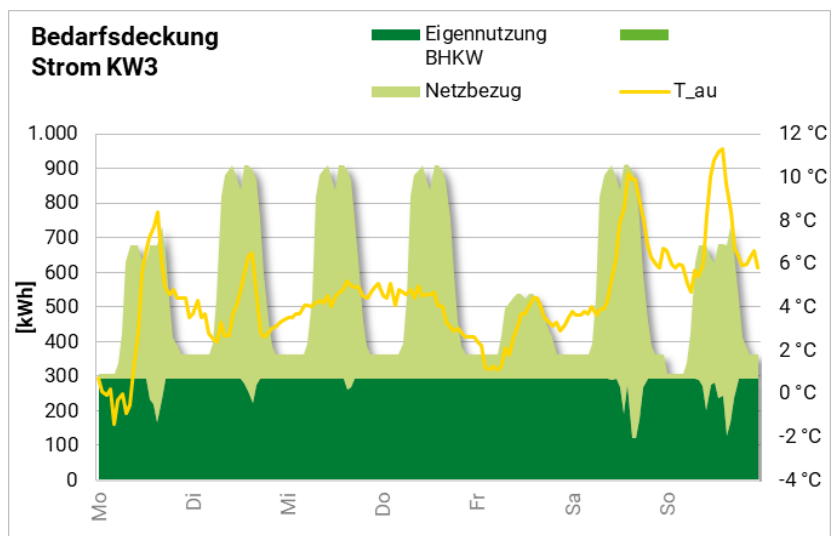


Abbildung 25 Variante 0 Bedarfsdeckung Strom KW3 2. Bauabschnitt

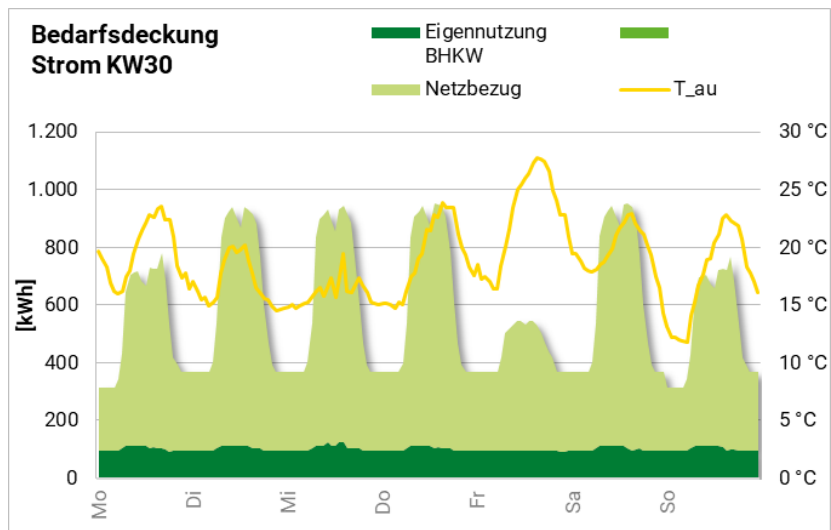


Abbildung 26 Variante 0 Bedarfsdeckung Strom KW30 2. Bauabschnitt

3.2.4 Leistungsbilanz Heizung / Kälte Variante 0

Nachfolgend sind die Leistungsbilanz Heizung und Kälte sowie die eingesetzten Wärme- und Kälteerzeuger je Bauabschnitt dargestellt.

Leistungsbilanz Heizung / Kälte		Erzeugerleistungen Heizung / Kälte														
Gebäudeleistungen		Trasse				benötigte				Leistungen Energiezentrale						
Bauabschnitt	Jahr des Anschlusses	Gebäude	Q _{wärme} [kW]	GLZ Wärme [-]	Q _{kälte} [kW]	GLZ Kälte [-]	Q _{verlust, Wärme} [kW]	Q _{verlust, Kälte} [kW]	Q _{wärme} [kW]	Q _{kälte} [kW]	Jahr Einbringung	Wärmeerzeuger	Q _{wärme} [kW]	Jahr Einbringung	Kälteerzeuger	Q _{kälte} [kW]
1	(?)	H (SAR) Studentische Arbeiten	80	0,85	40				1.200	125	2026	BW-Kessel 1	1.200	2026	AKM	125
1	2027	Bibliothek (Bestand)	400		50					600	2026	BHKW 1 (AKM-Betrieb)	170	2026	KKM 1	600
1	2027	A (Altbau) (Bestand)	550		48				170		2026	BHKW 2				
1	2027	P2 Energiezentrale	41		5							Fernwärme in Altbau	550			
1	2027	B Hörsaalzentrum	330		348											
1	2027	E Fakultäts- und Verwaltungsgebäude	330		300											
1	2027	Zwischensumme	1.731	0,85	791	0,85	15	4	1.486	676		Installierte Leistung	1.920		Installierte Leistung	725
2	2031	C Fakultätsgebäude	360		100						2031	BW-Kessel 2	1.200	2031	KKM 2	600
2	2031	D Fakultätsgebäude	450		90						2031	BHKW 3	170			
2	2032	Mensa	260		420											
2		Zwischensumme	1.070	0,85	610	0,85	5	2	2.401	1.197		Installierte Leistung	3.290		Installierte Leistung	1.325
3	2039	G + H Fakultäts- und Verwaltungsgebäude	350		110						2039	Fernwärme in Altbau	550			
3	(?)	F Fakultätsgebäude	40		20											
3		Zwischensumme	390	0,85	130	0,85	5	2	2.737	1.309		Installierte Leistung	2.740		Installierte Leistung	1.325
1-3		Summe	3.191	0,85	1.531	0,85	25	8	2.737	1.309		Installierte Leistung	2.740		Installierte Leistung	1.325

(?) Terminierung liegt bisher nicht vor.

3.3 Variante 1

Die Wärmeversorgung in dieser Variante wird mittels drei BHKW mit einer jeweiligen thermischen Leistung von 170 kW und Fernwärme mit einer Gesamtleistung von 2.400 kW bereitgestellt. Zudem wird die Abwärme der Kältemaschinen genutzt. Die Erdgas- und Fernwärmeversorgung erfolgt durch das Energieversorgungsunternehmen. Für die Erdgasversorgung ist eine Hochdruckgasübergabestation in den Freianlagen im Norden des Campus erforderlich. Der Altbau verfügt über eine eigene Fernwärmeübergabestation mit einer Leistung von 550 kW. Die Bibliothek erhält übergangsweise Hochtemperatur aus der Energiezentrale über einen eigenen Verteilkreis.

Der Kältebedarf wird mittels einer Absorptionskältemaschine mit einer Leistung von 125 kW und zwei Kompressionskältemaschinen mit einer jeweiligen Leistung von 600 kW gedeckt. Die Absorptionskältemaschine erhält ein feuchtes und die Kompressionskältemaschinen trockene Rückkühlwerke.

Die Stromversorgung erfolgt durch Eigenstromnutzung der BHKW und über das Energieversorgungsunternehmen.

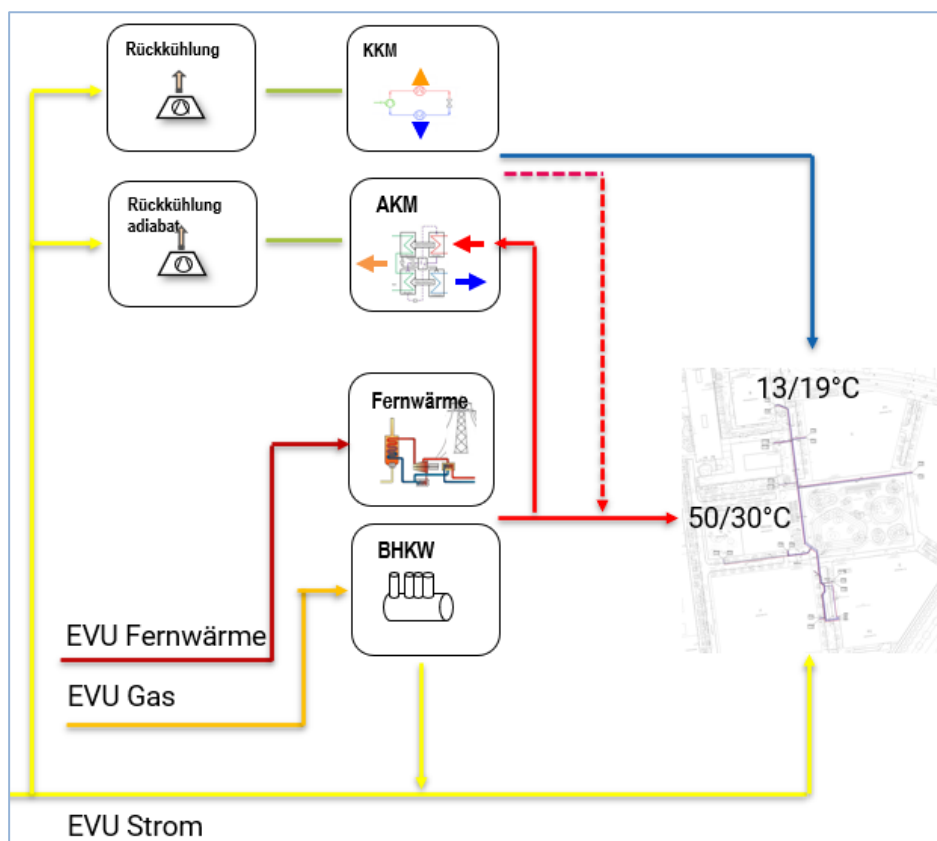


Abbildung 27 Variante 1 Schema Wärme- und Kälteerzeugung

3.3.1 Endausbau, saniert

Im 3. Bauabschnitt (Endausbau) weist die Wärme- / Kälteversorgung folgende Erzeuger auf

Wärmeversorgung

BHKW	3 x 170 kW
Fernwärme Energiezentrale	800 + 1.050 kW
Fernwärme Altbau	550 kW

Kälteversorgung

Absorptionskältemaschine	1 x 125 kW
Kompressionskältemaschine	2 x 600 kW

Nach der Sanierung des Altbaus und der Bibliothek erfolgt die Wärmeversorgung dieser beiden Gebäude mittels einer Vorlauftemperatur von 50 °C und einer Rücklauftemperatur von 30 °C aus der Energiezentrale sowie über den Fernwärmeanschluss im Altbau zu Spitzenlastzeiten. Der Wärmebedarf wird zu 56% durch BHKW, zu 30% durch Fernwärme und zu 15% durch Abwärme gedeckt.

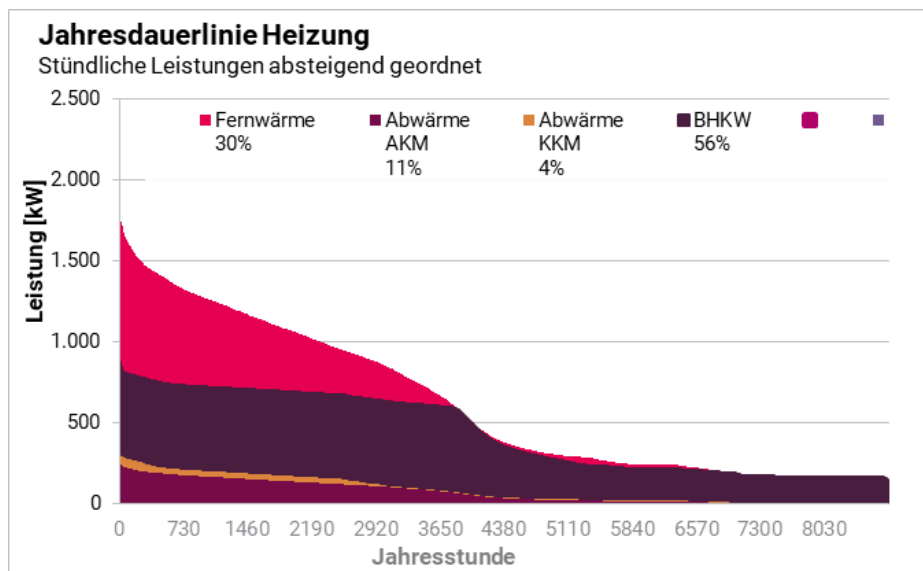


Abbildung 28 Variante 1 Jahresdauerlinie Heizung Endausbau, saniert

Der Kältebedarf wird zu 60% aus Absorptionskälte und zu 40% aus Kompressionskälte gedeckt.

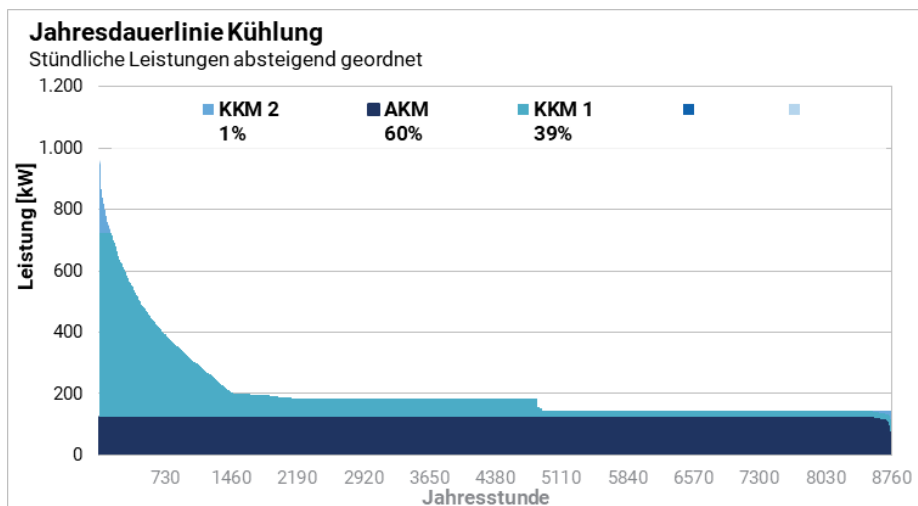


Abbildung 29 Variante 1 Jahresdauerlinie Kühlung Endausbau, saniert

Da die BHKW's die gleichen Leistungsgrößen und Deckungsanteile am Wärmebedarf aufweisen, verhält sich die Eigenstromerzeugung und -nutzung identisch wie in der Variante 0. Es ist somit auch in dieser Variante von einer Stromerzeugung von ca. 1.733 MWh/a und einer 100%igen Eigennutzung auszugehen.

3.3.2 1. Bauabschnitt

Im ersten Bauabschnitt weist die Wärme- / Kälteversorgung folgende Erzeuger auf

Wärmeversorgung

BHKW	2 x 170 kW
Fernwärme	800 kW
Fernwärme im Altbau	550 kW

Kälteversorgung

Absorptionskältemaschine	1 x 125 kW
Kompressionskältemaschine	1 x 600 kW

Die Sanierung der Bestandsgebäude Altbau und Bibliothek ist noch nicht erfolgt. Der Altbau wird bivalent mit Fernwärme und über das Wärmenetz der Campusenergiezentrale versorgt. Bis zu einer Außentemperatur von ca. 10°C erfolgt eine Wärmeversorgung auf hohem Temperaturniveau mittels Fernwärme. Bei Außentemperaturen oberhalb von 10°C erfolgt die Wärmeversorgung aus der Campusenergiezentrale. Die Bibliothek wird über einen eigenen Hochtemperaturverteilkreis aus der Campusenergiezentrale versorgt.

Im ersten Bauabschnitt wird der Wärmebedarf zu 61% durch BHKW, zu 32% durch Fernwärme und zu 7% durch Abwärme gedeckt.

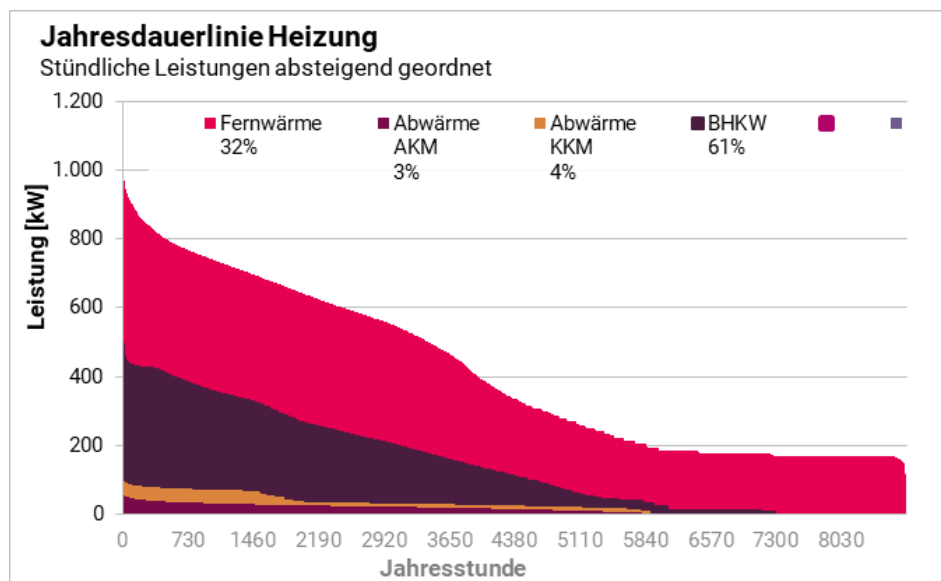


Abbildung 30 Variante 1 Jahresdauerlinie Heizung 1. Bauabschnitt

Die Deckung des Kältebedarfs erfolgt zu 63% durch Absorptionskälte und zu 37% durch Kompressionskälte.

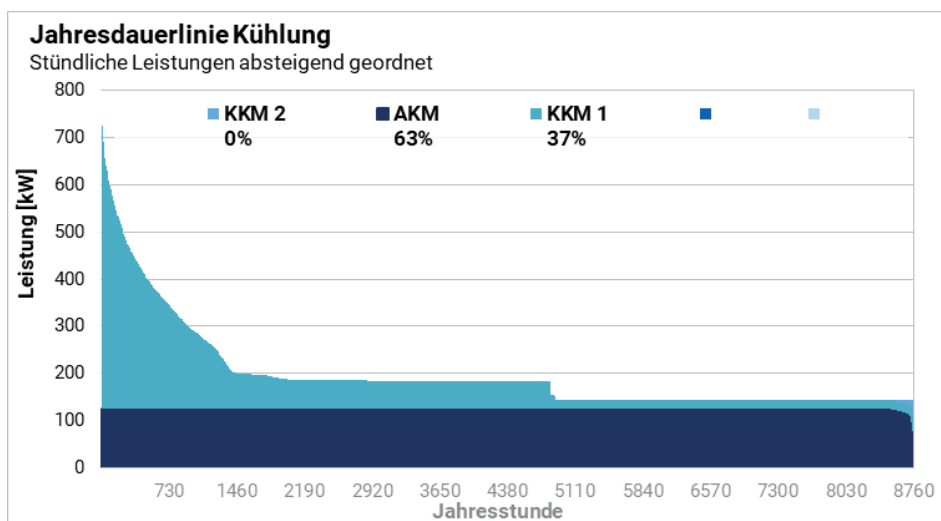


Abbildung 31 Variante 1 Jahresdauerlinie Kühlung 1. Bauabschnitt

Da die BHKW's die gleichen Leistungsgrößen und Deckungsanteile am Wärmebedarf aufweisen, verhält sich die Eigenstromerzeugung und -nutzung identisch wie in der Variante 0. Es ist somit auch in dieser Variante von einer Stromerzeugung von ca. 1.264 MWh/a und einer 99%igen Eigennutzung im ersten Bauabschnitt auszugehen.

3.3.3 2. Bauabschnitt

Im zweiten Bauabschnitt weist die Wärme- / Kälteversorgung folgende Erzeuger auf

Wärmeversorgung

BHKW	3 x 170 kW
Fernwärme	800 kW + 1.050 kW
Fernwärme im Altbau	550 kW

Kälteversorgung

Absorptionskältemaschine	1 x 125 kW
Kompressionskältemaschine	2 x 600 kW

Die Sanierung der Bestandsgebäude Altbau und Bibliothek ist noch nicht erfolgt. Der Altbau wird bivalent mit Fernwärme und über das Wärmenetz der Campusenergiezentrale versorgt. Bis zu einer Außentemperatur von ca. 10°C erfolgt eine Wärmeversorgung auf hohem Temperaturniveau mittels Fernwärme. Bei Außentemperaturen oberhalb von 10°C erfolgt die Wärmeversorgung aus der Campusenergiezentrale. Die Bibliothek wird über einen eigenen Hochtemperaturverteilkreis aus der Campusenergiezentrale versorgt.

Im zweiten Bauabschnitt wird die Wärmeversorgung zu 59% durch BHKW, zu 31% durch Fernwärme und zu 11% durch Abwärme sichergestellt.

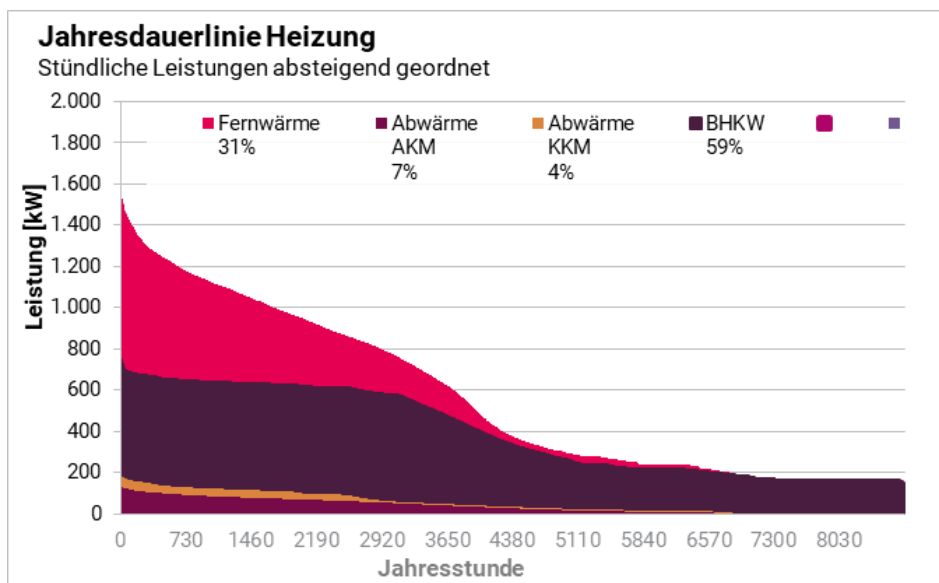


Abbildung 32 Variante 1 Jahresdauerlinie Heizung 2. Bauabschnitt

Der Kältebedarf wird zu 60% durch Absorptionskälte und zu 40% durch Kompressionskälte gedeckt.

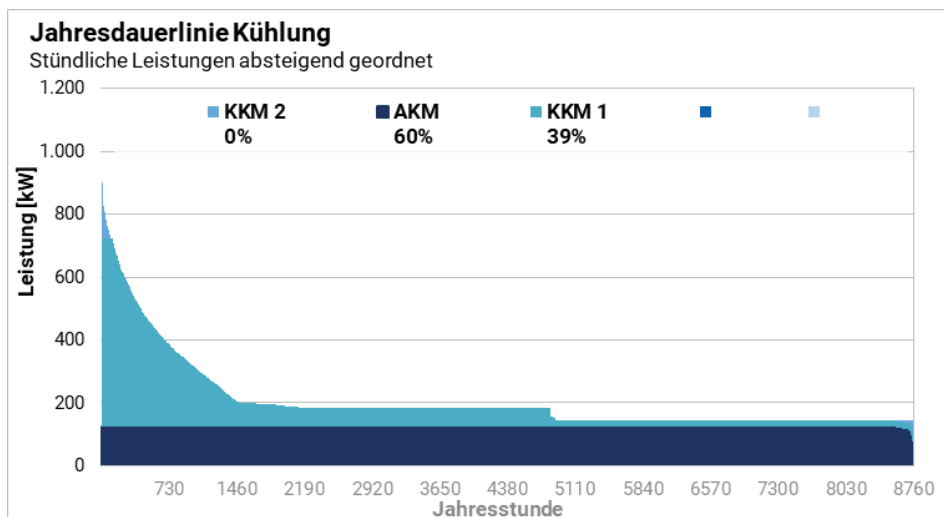


Abbildung 33 Variante 1 Jahresdauerlinie Kühlung 2. Bauabschnitt

Da die BHKW's die gleichen Leistungsgrößen und Deckungsanteile am Wärmebedarf aufweisen, verhält sich die Eigenstromerzeugung und -nutzung identisch wie in der Variante 0. Es ist somit auch in dieser Variante von einer Stromerzeugung von ca. 1.690 MWh/a und einer 100%igen Eigennutzung im zweiten Bauabschnitt auszugehen.

3.3.4 Leistungsbilanz Heizung / Kälte

Nachfolgend sind die Leistungsbilanz Heizung und Kälte sowie die eingesetzten Wärme- und Kälteerzeuger je Bauabschnitt dargestellt.

Bauabschnitt		Leistungsbilanz Heizung / Kälte										Erzeugerleistungen Heizung / Kälte			
		Gebäudeleistungen					Trasse					Leistungen Energiezentrale			
Jahr des Anschlusses	Gebäude	Q _{wärme} [kW]	GLZ Wärme [-]	Q _{älte} [kW]	GLZ Kälte [-]	Q _{verlust, Wärme} [kW]	Q _{verlust, Kälte} [kW]	Q _{wärme} [kW]	Q _{kälte} [kW]	Jahr Einbringung	Wärmeerzeuger	Q _{wärme} [kW]	Jahr Einbringung	Kälteerzeuger	Q _{kälte} [kW]
1	H (SAR) Studentische Arbeiten	80		40						2026	Fernwärme	800	2026	AKM	125
1	Bibliothek (Bestand)	400		50						2026	Fernwärme (Altbau)	560	2026	KKM 1	600
1	A (Altbau) (Bestand)	550		48						2026	BHKW 1 (AKM-Betrieb)	170			
1	P2 Energiezentrale	41		5						2026	BHKW 2	170			
1	B Hörsaalzentrum	330		348											
1	E Fakultäts- und Verwaltungsgebäude	330		300											
1	2027	1.731	0,85	791	0,85	15	4	1.486	676		Installierte Leistung	1.520		Installierte Leistung	725
2	C Fakultätsgebäude	360		100						2031	Fernwärme	1.050	2031	KKM 2	600
2	D Fakultätsgebäude	450		90						2031	BHKW 3	170			
2	Mensa	260		420											
2	Zwischensumme	1.070	0,85	610	0,85	5	2	2.401	1.197		Installierte Leistung	2.740		Installierte Leistung	1.325
3	G + H Fakultäts- und Verwaltungsgebäude	350		110											
3	F Fakultätsgebäude	40		20											
3	Zwischensumme	390	0,85	130	0,85	5	2	2.737	1.309		Installierte Leistung	2.740		Installierte Leistung	1.325
1-3	Summe	3.191	0,85	1.531	0,85	25	8	2.737	1.309		Installierte Leistung	2.740		Installierte Leistung	1.325

(?) Terminierung liegt bisher nicht vor.

3.4 Variante 2

Die Wärmeversorgung in Variante 2 wird mittels Fernwärme mit einer Leistung von 2.750 kW über das Energieversorgungsunternehmen sichergestellt. Außerdem wird die Abwärme der Kältemaschinen genutzt. Die Bibliothek erhält übergangsweise Hochtemperatur aus der Energiezentrale.

Die Kälteversorgung erfolgt mittels zwei Kompressionskältemaschinen mit einer jeweiligen Leistung von 680kW mit trockenen Rückkühlwerken.

Die Strombedarf wird durch das Energieversorgungsunternehmen abgedeckt.

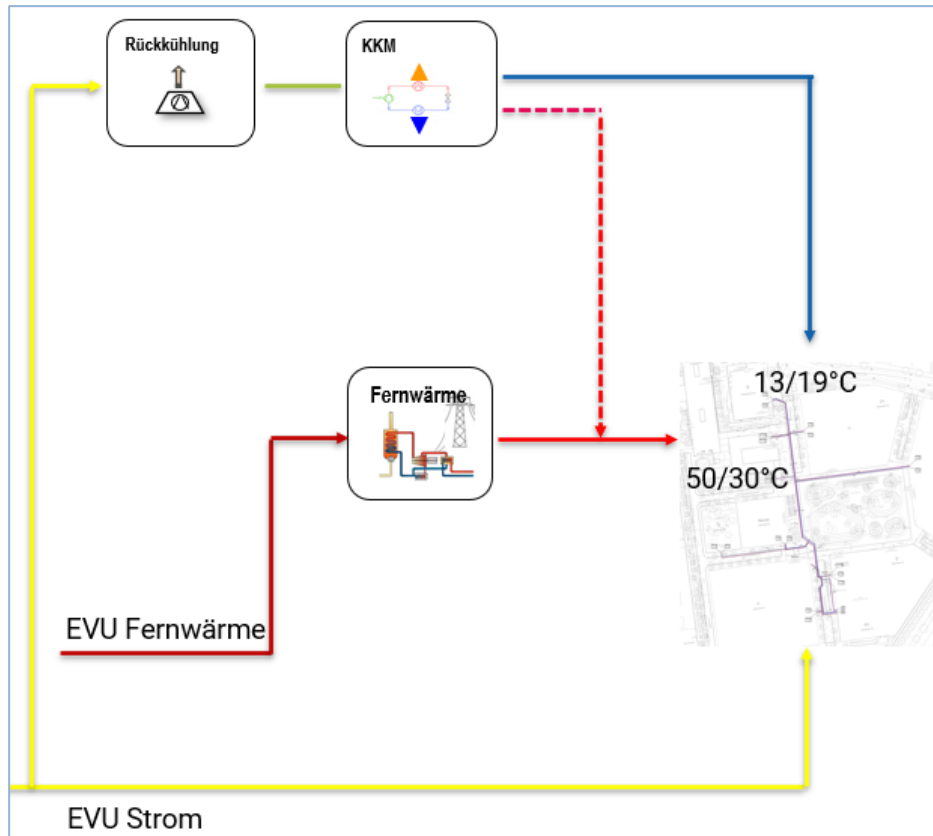


Abbildung 34 Variante 2 Schema Wärme- und Kälteerzeugung

3.4.1 Endausbau, saniert

Im 3. Bauabschnitt (Endausbau) weist die Wärme- / Kälteversorgung folgende Erzeuger auf
 Wärmeversorgung

Fernwärme Energiezentrale	2 x 1.100 kW
Fernwärme Altbau	550 kW

Kälteversorgung

Kompressionskältemaschine	2 x 680 kW
---------------------------	------------

Nach der Sanierung des Altbaus und der Bibliothek erfolgt die Wärmeversorgung des Altbaus und der Bibliothek mittels einer Vorlauftemperatur von 50 °C und einer Rücklauftemperatur von 30 °C aus der Energiezentrale und über einen Fernwärmeanschluss im Altbau. Werden die Gebäude nicht saniert, ist mit der Fernwärme auch eine Versorgung auf höherem Temperaturniveau möglich.
 Der Wärmebedarf wird zu 83 % durch Fernwärme und zu 17% durch Abwärme gedeckt.

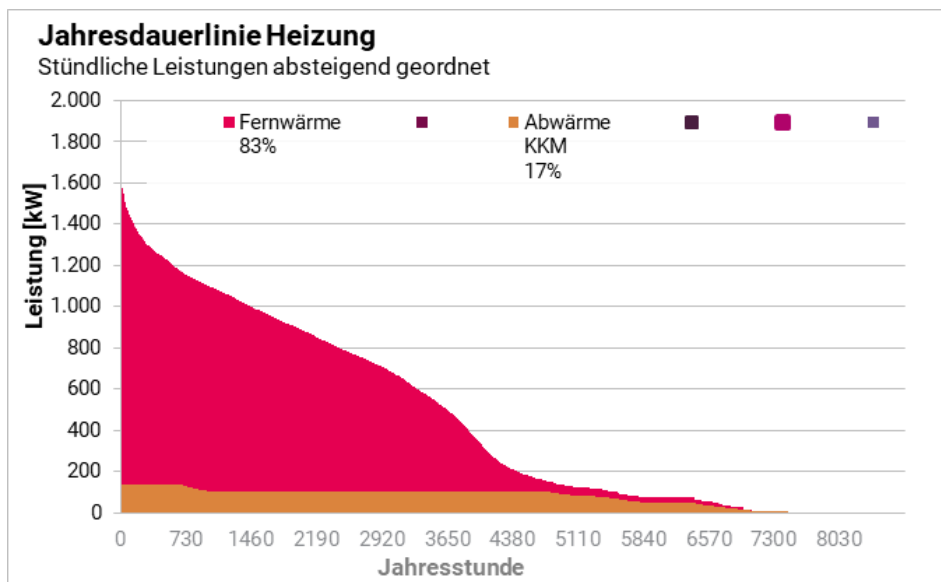


Abbildung 35 Variante 2 Jahresdauerlinie Heizung Endausbau, saniert

Die Deckung des Kältebedarfs erfolgt zu 100% durch Kompressionskälte.

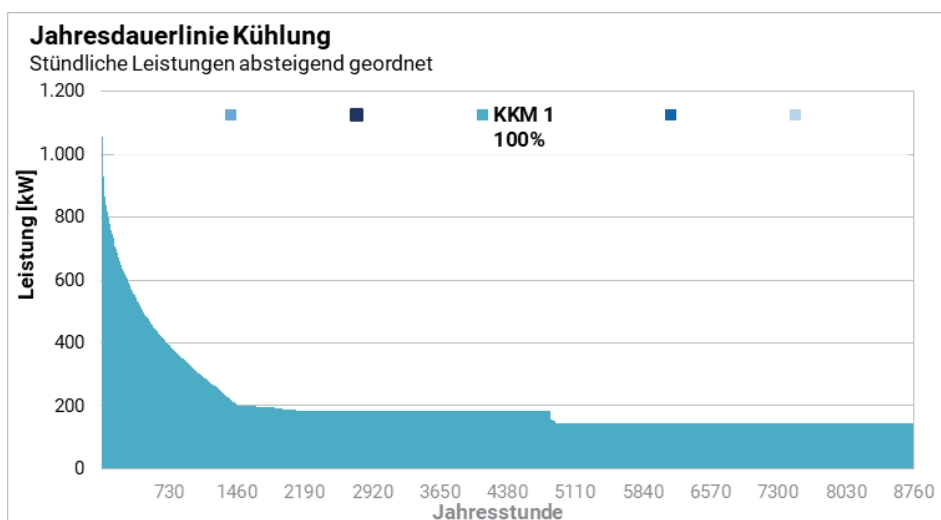


Abbildung 36 Variante 2 Jahresdauerlinie Kühlung Endausbau, saniert

3.4.2 1. Bauabschnitt

Im ersten Bauabschnitt weist die Wärme- / Kälteversorgung folgende Erzeuger auf

Wärmeversorgung	
Fernwärme	1 x 1.100 kW
Fernwärme im Altbau	550 kW
Kälteversorgung	
Kompressionskältemaschine	1 x 680 kW

Im ersten Bauabschnitt erfolgt die Deckung des Wärmebedarfs zu 77% durch Fernwärme und zu 23% durch Abwärme.

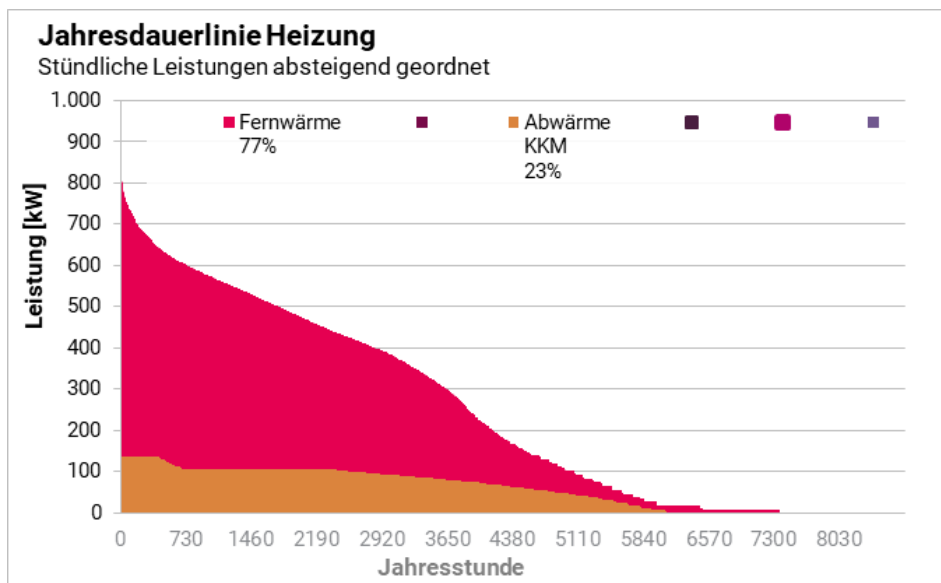


Abbildung 37 Variante 2 Jahresdauerlinie Heizung 1. Bauabschnitt

Die Deckung des Kältebedarfs wird zu 100% durch Kompressionskälte sichergestellt.

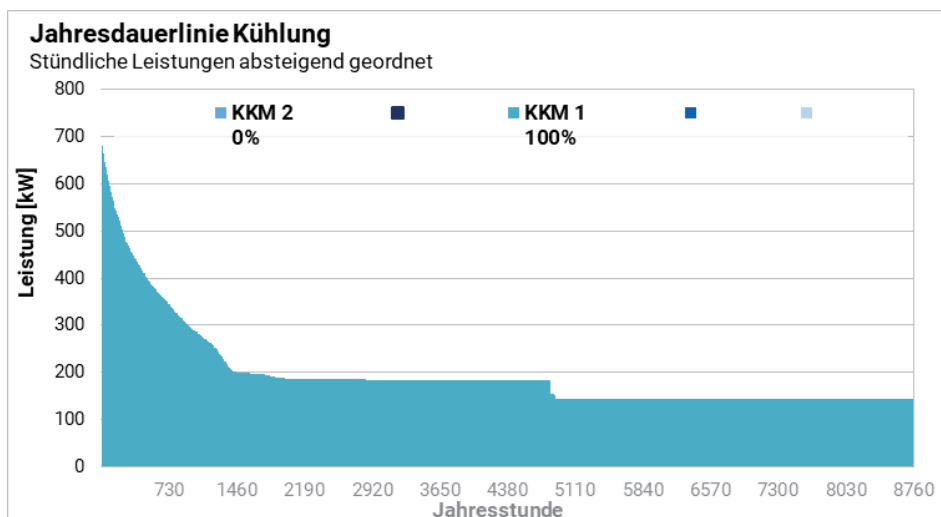


Abbildung 38 Variante 2 Jahresdauerlinie Kühlung 1. Bauabschnitt

3.4.3 2. Bauabschnitt

Im zweiten Bauabschnitt weist die Wärme- / Kälteversorgung folgende Erzeuger auf

Wärmeversorgung	
Fernwärme	2 x 1.100 kW
Fernwärme im Altbau	550 kW
Kälteversorgung	
Kompressionskältemaschine	2 x 680 kW

Im zweiten Bauabschnitt wird der Wärmebedarf zu 82% durch Fernwärme und zu 18% durch Abwärme gedeckt.

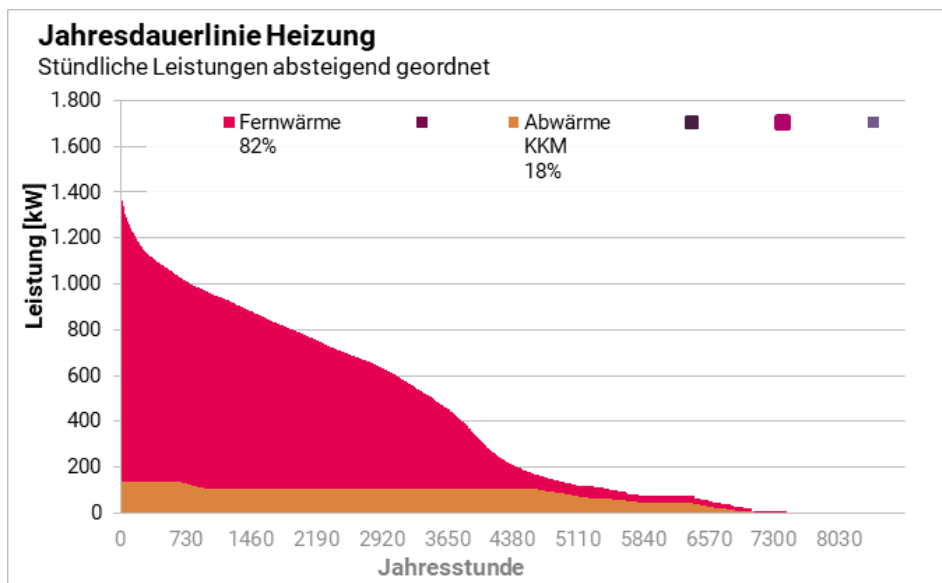


Abbildung 39 Variante 2 Jahresdauerlinie Heizung 2. Bauabschnitt

Die Deckung des Kältebedarfs wird zu 100% durch Kompressionskälte erreicht.

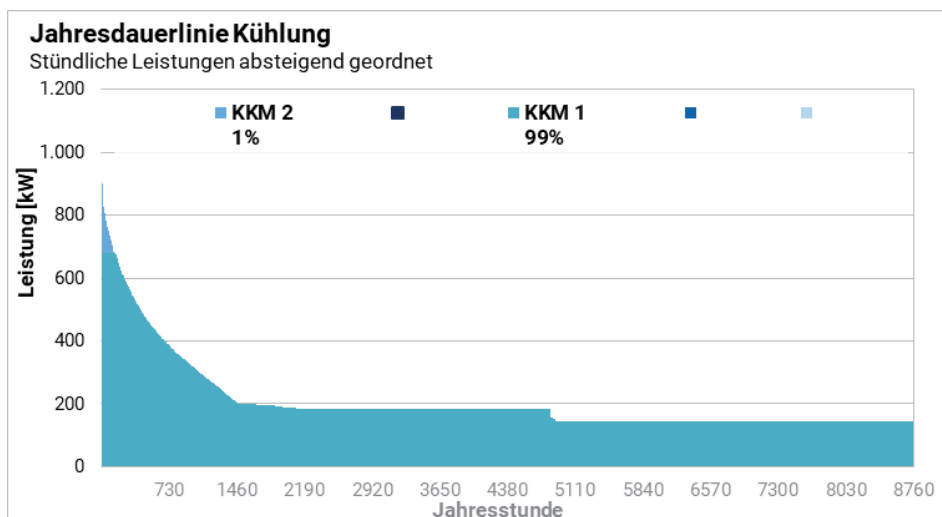


Abbildung 40 Variante 2 Jahresdauerlinie Kühlung 2. Bauabschnitt

3.4.4 Leistungsbilanz Wärme / Kälte

Leistungsbilanz Heizung / Kälte Variante 2

Bauabschnitt	Jahr des Anschlusses	Gebäudeleistungen						Leistungsbilanz Heizung / Kälte				Erzeugerleistungen Heizung / Kälte						
		Gebäude	Q _{wärme} [kW]	GLZ Wärme [-]	Q _{kälte} [kW]	GLZ Kälte [-]	Q _{verlust, Wärme} [kW]	Q _{verlust, Kälte} [kW]	Q _{wärme} [kW]	Q _{kälte} [kW]	benötigte	Trasse		Leistungen Energiezentrale				
											Q _{wärme} [kW]	Q _{kälte} [kW]	Jahr Einbringung	Wärmeerzeuger	Q _{wärme} [kW]	Jahr Einbringung	Kälteerzeuger	Q _{kälte} [kW]
1	(?)	H (SAR) Studentische Arbeiten	80	0,85	791	0,85	15	4	1.486	676			2026 Fernwärme	1.100	2026 KKM 1	680		
1	2027	Bibliothek (Bestand)	400		50													
1	2027	A (Altbau) (Bestand)	550		48													
1	2027	P2 Energiezentrale	41		5													
1	2027	B Hörsaalzentrum	330		348													
1	2027	E Fakultäts- und Verwaltungsgebäude	330		300													
1	2027	Zwischensumme	1.731	0,85	791	0,85	15	4	1.486	676			2026 Fernwärme	1.100	2026 KKM 1	680		
2	2031	C Fakultätsgebäude	360		100													
2	2031	D Fakultätsgebäude	450		90													
2	2032	Mensa	260		420													
2		Zwischensumme	1.070	0,85	610	0,85	5	2	2.401	1.197			2031 Fernwärme	1.100	2031 KKM 2	680		
3	2039	G + H Fakultäts- und Verwaltungsgebäude	350		110													
3	(?)	F Fakultätsgebäude	40		20													
3		Zwischensumme	390	0,85	130	0,85	5	2	2.737	1.309			Installierte Leistung	2.750	Installierte Leistung	1.360		
1-3		Summe	3.191	0,85	1.531	0,85	25	8	2.737	1.309			Installierte Leistung	2.750	Installierte Leistung	1.360		

(?) Terminierung liegt bisher nicht vor.

3.5.1 Endausbau, saniert

Im 3. Bauabschnitt (Endausbau) weist die Wärme- / Kälteversorgung folgende Erzeuger auf

Wasser-Wasser-Wärmepumpe	550 kW
Fernwärme Energiezentrale	550 + 1.100 kW
Fernwärme Altbau	550 kW

Kälteversorgung

Brunnenanlage	340 kW
Kompressionskältemaschine	2 x 500 kW

Nach der Sanierung des Altbaus und der Bibliothek erfolgt die Wärmeversorgung dieser beiden Gebäude mittels einer Vorlauftemperatur von 50 °C und einer Rücklauftemperatur von 30 °C aus der Energiezentrale sowie über den Fernwärmeanschluss im Altbau zu Spitzenlastzeiten. Der Wärmebedarf wird zu 64% durch eine Wärmepumpe und zu 36% durch Fernwärme gedeckt.

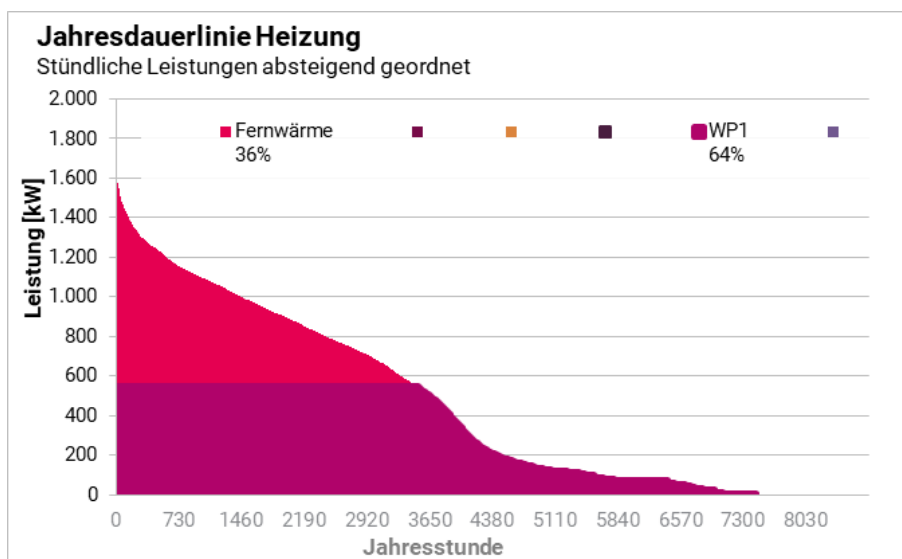


Abbildung 42 Variante 3 Jahresdauerlinie Heizung Endausbau, saniert

Die Kälteversorgung wird zu 91% durch Grundwasser und zu 9% durch Kompressionskälte sichergestellt.

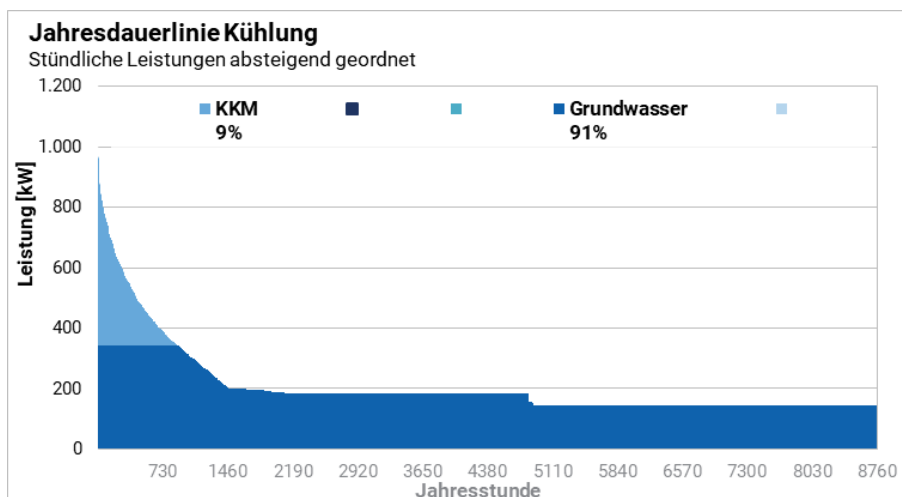


Abbildung 43 Variante 3 Jahresdauerlinie Kühlung Endausbau, saniert

Eine wesentliche Anforderung der Unteren Wasserbehörden für die thermische Nutzung von Brunnenwasser ist, dass im Jahresverlauf nicht mehr Wärme in das Grundwasser eingespeist wird als im Heizbetrieb entzogen wird. Dies ist im Betrieb messtechnisch zu erfassen und zu dokumentieren.

Folgende Parameter weist der Betrieb der Brunnenanlage der Variante 3 im Endausbau auf.

Heizleistung Wärmepumpe:	550kW
COP:	ca. 4,6
Spreizung Brunnenwasser Heizen:	5K
Kälteleistung Brunnenkühlung:	ca. 340 kW
Spreizung Brunnenwasser Kühlen:	4K
Förderleistung Brunnen H/K:	80 m ³ /h
Anzahl Förder- / Schluckbrunnen:	voraussichtlich 2 / 2 (Planung durch Hydrogeologen)
Thermische Entnahme Heizen:	1.972 MWh
Thermische Einspeisung Kühlen:	1.656 MWh
Energiebilanz Kühlen / Heizen:	0,84
Grundwassermenge Parallelschaltung:	695.000 m ³ /a
Grundwassermenge Reihenschaltung:	400.000 m ³ /a

Empfohlen wird die Reihenschaltung der Wärmetauscher Kühlen und Heizen zur Reduzierung der zu fördernden Wassermengen. Es wird zudem empfohlen für etwaige Regelungsverluste sowie Extremjahre einen Aufschlag bei der Grundwassermenge von 30% zu berücksichtigen.

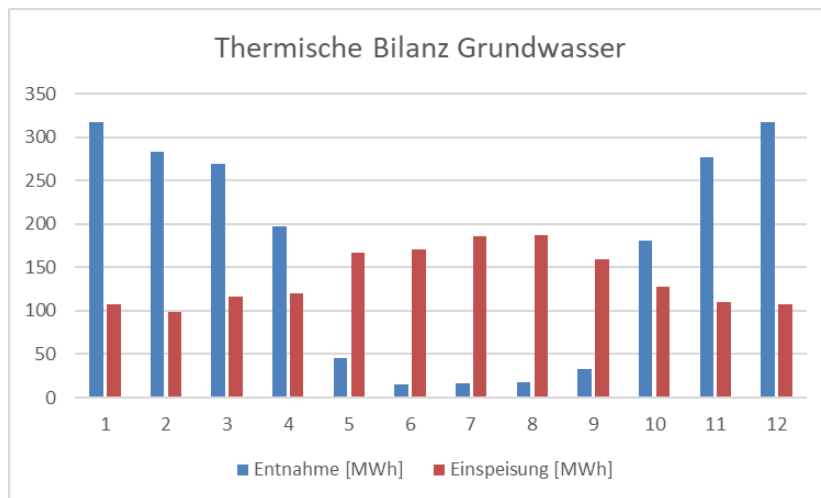


Abbildung 44 Variante 3 Thermische Bilanz Grundwasser Endausbau, saniert

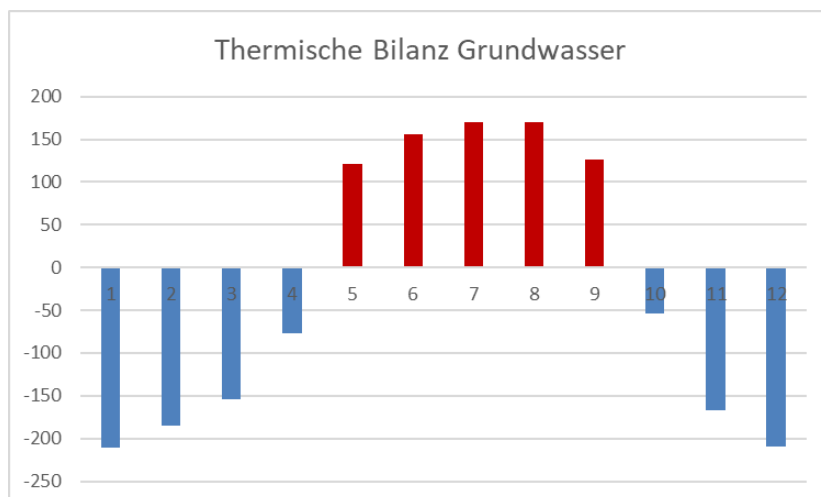


Abbildung 45 Variante 3 Thermische Bilanz Grundwasser Endausbau, saniert

3.5.2 1. Bauabschnitt

Im 1. Bauabschnitt weist die Wärme- / Kälteversorgung folgende Erzeuger auf

Wärmeversorgung

Wasser-Wasser-Wärmepumpe	550 kW
Fernwärme Energiezentrale	550 kW
Fernwärme Altbau	550 kW

Kälteversorgung

Brunnenanlage	340 kW
Kompressionskältemaschine	1 x 500 kW

Die Sanierung der Bestandsgebäude Altbau und Bibliothek ist noch nicht erfolgt. Der Altbau wird bivalent mit Fernwärme und über das Wärmenetz der Campusenergiezentrale versorgt. Bis zu einer Außentemperatur von ca. 10°C erfolgt eine Wärmeversorgung auf hohem Temperaturniveau mittels Fernwärme. Bei Außentemperaturen oberhalb von 10°C erfolgt die Wärmeversorgung aus der Campusenergiezentrale. Die Bibliothek wird über einen eigenen Hochtemperaturverteilkreis aus der Campusenergiezentrale versorgt.

Im ersten Bauabschnitt wird der Wärmebedarf zu 39% durch eine Wärmepumpe und zu 61% durch Fernwärme gedeckt.

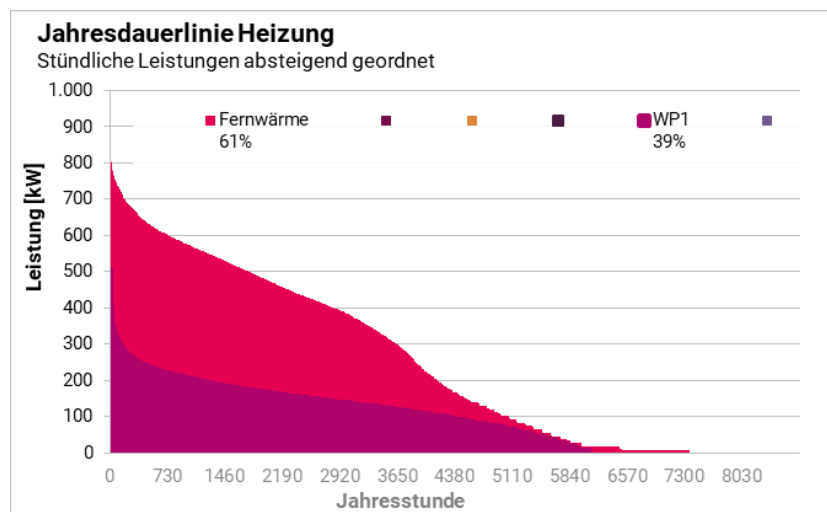


Abbildung 46 Variante 3 Jahresdauerlinie Heizung 1. Bauabschnitt

Die Deckung des Kältebedarfs erfolgt zu 34% durch Grundwasser und zu 66% durch Kompressionskälte.

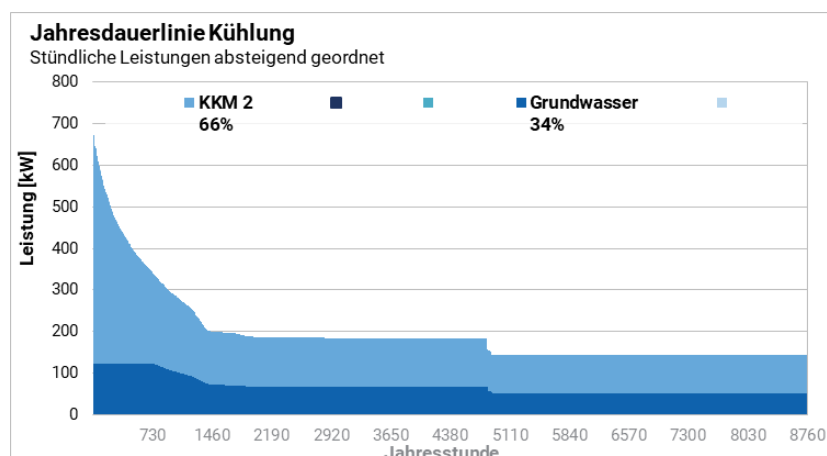


Abbildung 47 Variante 3 Jahresdauerlinie Kühlung 1. Bauabschnitt

Folgende Parameter weist der Betrieb der Brunnenanlage der Variante 3 im ersten Bauabschnitt auf.

Heizleistung Wärmepumpe:	550kW
COP:	ca. 4,6
Spreizung Brunnenwasser Heizen:	5K
Kälteleistung Brunnenkühlung:	ca. 340 kW
Spreizung Brunnenwasser Kühlen:	4K
Förderleistung Brunnen H/K:	80 m³/h
Anzahl Förder- / Schluckbrunnen:	voraussichtlich 2 / 2 (Planung durch Hydrogeologen)
Thermische Entnahme Heizen:	659 MWh
Thermische Einspeisung Kühlen:	590 MWh
Energiebilanz Kühlen / Heizen:	0,89
Grundwassermenge Parallelschaltung:	240.500 m³/a
Grundwassermenge Reihenschaltung:	140.000 m³/a

Empfohlen wird die Reihenschaltung der Wärmetauscher Kühlen und Heizen zur Reduzierung der zu fördernden Wassermengen. Es wird zudem empfohlen für etwaige Regelungsverluste sowie Extremjahre einen Aufschlag bei der Grundwassermenge von 30% zu berücksichtigen.

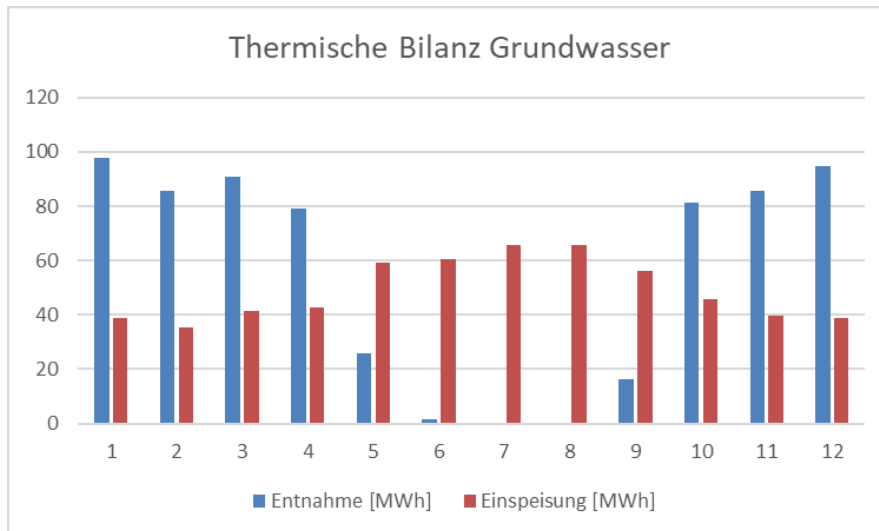


Abbildung 48 Variante 3 Thermische Bilanz Grundwasser 1. Bauabschnitt I

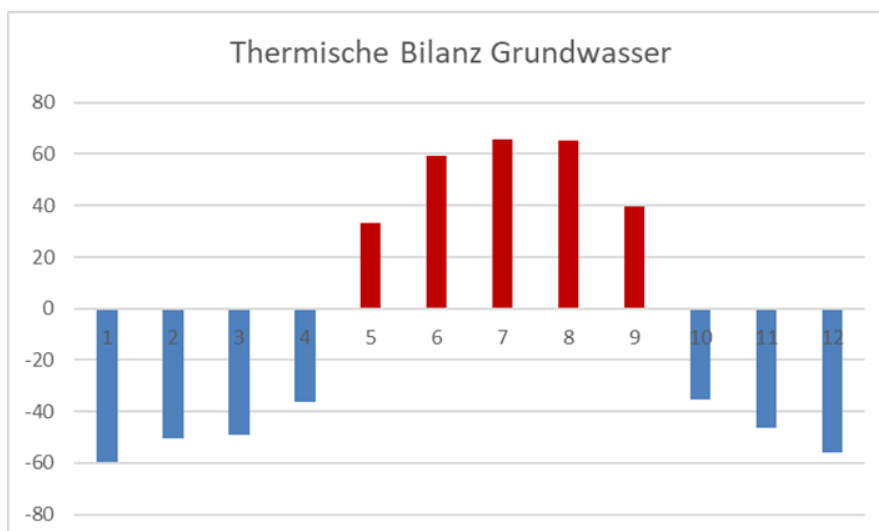


Abbildung 49 Variante 3 Thermische Bilanz Grundwasser 1. Bauabschnitt II

3.5.3 2. Bauabschnitt

Im 2. Bauabschnitt weist die Wärme- / Kälteversorgung folgende Erzeuger auf

Wärmeversorgung

Wasser-Wasser-Wärmepumpe	550 kW
Fernwärme Energiezentrale	550 kW + 1.100 kW
Fernwärme Altbau	550 kW

Kälteversorgung

Brunnenanlage	340 kW
Kompressionskältemaschine	2 x 500 kW

Die Sanierung der Bestandsgebäude Altbau und Bibliothek ist noch nicht erfolgt. Der Altbau wird bivalent mit Fernwärme und über das Wärmenetz der Campusenergiezentrale versorgt. Bis zu einer Außentemperatur von ca. 10°C erfolgt eine Wärmeversorgung auf hohem Temperaturniveau mittels Fernwärme. Bei Außentemperaturen oberhalb von 10°C erfolgt die Wärmeversorgung aus der Campusenergiezentrale. Die Bibliothek wird über einen eigenen Hochtemperaturverteilkreis aus der Campusenergiezentrale versorgt.

Im zweiten Bauabschnitt erfolgt die Deckung des Wärmebedarfs zu 59% durch eine Wärmepumpe und zu 41% durch Fernwärme.

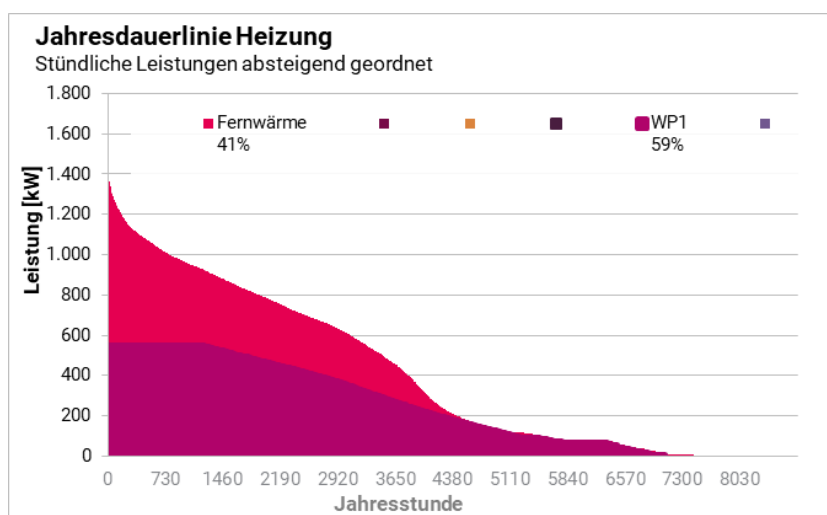


Abbildung 50 Variante 3 Jahresdauerlinie Heizung 2. Bauabschnitt

Der Kältebedarf wird zu 80% durch Grundwasser und zu 20% durch Kompressionskälte gedeckt.

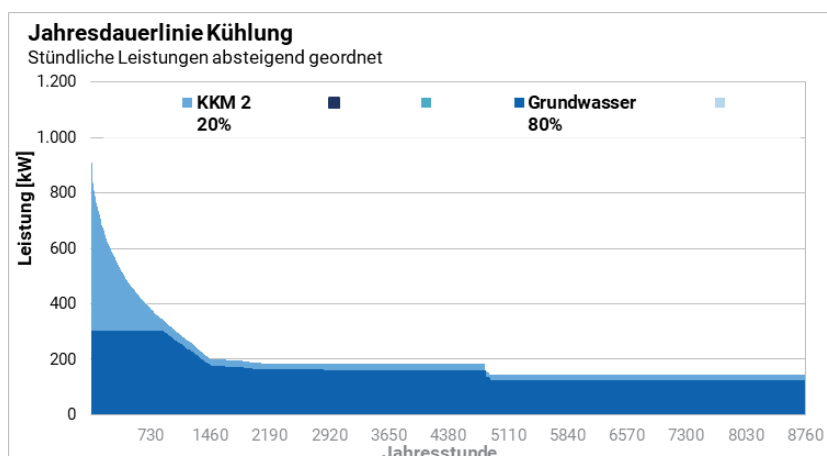


Abbildung 51 Variante 3 Jahresdauerlinie Kühlung 2. Bauabschnitt

Folgende Parameter weist der Betrieb der Brunnenanlage der Variante 3 im 2. Bauabschnitt auf.

Heizleistung Wärmepumpe:	550kW
COP:	ca. 4,6
Spreizung Brunnenwasser Heizen:	5K
Kälteleistung Brunnenkühlung:	ca. 340 kW
Spreizung Brunnenwasser Kühlen:	4K
Förderleistung Brunnen H/K:	80 m³/h
Anzahl Förder- / Schluckbrunnen:	voraussichtlich 2 / 2 (Planung durch Hydrogeologen)
Thermische Entnahme Heizen:	1.624 MWh
Thermische Einspeisung Kühlen:	1.453 MWh
Energiebilanz Kühlen / Heizen:	0,89
Grundwassermenge Parallelschaltung:	592.000 m³/a
Grundwassermenge Reihenschaltung:	340.000 m³/a

Empfohlen wird die Reihenschaltung der Wärmetauscher Kühlen und Heizen zur Reduzierung der zu fördernden Wassermengen. Es wird zudem empfohlen für etwaige Regelungsverluste sowie Extremjahre einen Aufschlag bei der Grundwassermenge von 30% zu berücksichtigen.

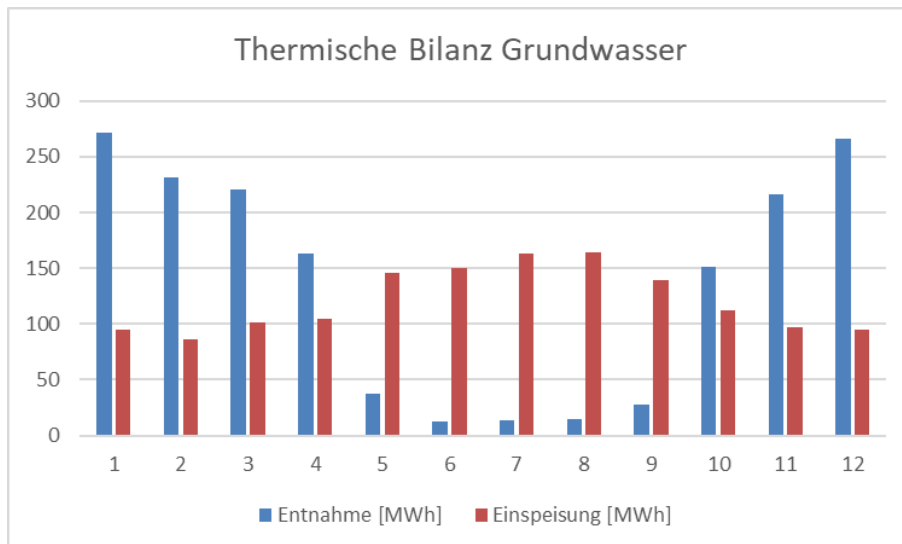


Abbildung 52 Variante 3 Thermische Bilanz Grundwasser 2. Bauabschnitt

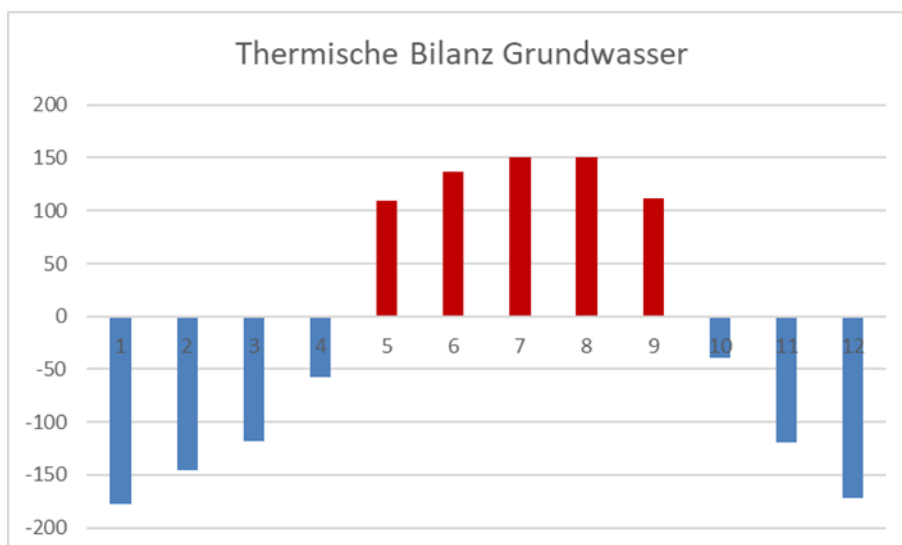


Abbildung 53 Variante 3 Thermische Bilanz Grundwasser 2. Bauabschnitt

3.5.4 Leistungsbilanz Wärme / Kälte

Leistungsbilanz Heizung / Kälte Variante 3

Bauabschnitt	Jahr des Anschlusses	Gebäudeleistungen						Leistungsbilanz Heizung / Kälte				Erzeugerleistungen Heizung / Kälte							
		Gebäude	$Q_{\text{wärme}}$ [kW]	GLZ Wärme [-]	$Q_{\text{kälte}}$ [kW]	GLZ Kälte [-]	$Q_{\text{verlust, Wärme}}$ [kW]	$Q_{\text{verlust, Kälte}}$ [kW]	$Q_{\text{wärme}}$ [kW]	$Q_{\text{kälte}}$ [kW]	benötigte	Trasse	Jahr Einbringung	Wärmeerzeuger	$Q_{\text{wärme}}$ [kW]	Jahr Einbringung	Kälteerzeuger	$Q_{\text{kälte}}$ [kW]	
1	(?)	H (SAR) Studentische Arbeiten	80																
1	2027	Bibliothek (Bestand)	400		40										550	2026	Brunnenkühlung	340	
1	2027	A (Altbau) (Bestand)	550		50										550	2026	KKM	500	
1	2027	P2 Energiezentrale	41		48										550				
1	2027	B Hörsaalzentrum	330		5														
1	2027	E Fakultäts- und Verwaltungsgebäude	330		348														
1	2027	Zwischensumme	1.731	0,85	791	0,85	15	4	1.486	676				1.650		Installierte Leistung		840	
2	2031	C Fakultätsgebäude	360		100										1.100	2031	KKM	500	
2	2031	D Fakultätsgebäude	450		90														
2	2032	Mensa	260		420														
2		Zwischensumme	1.070	0,85	610	0,85	5	2	2.401	1.197				2.750		Installierte Leistung		1.340	
3	2039	G + H Fakultäts- und Verwaltungsgebäude	350		110														
3	(?)	F Fakultätsgebäude	40		20														
3		Zwischensumme	390	0,85	130	0,85	5	2	2.737	1.309				2.750		Installierte Leistung		1.340	
1-3		Summe	3.191	0,85	1.531	0,85	25	8	2.737	1.309				2.750		Installierte Leistung		1.340	

(?) Terminierung liegt bisher nicht vor.

3.6 Variante 4

In der vierten Variante wird die Wärmeversorgung durch Wasser-Wasser-Wärmepumpen mit einer Leistung von 2.750 kW bereitgestellt. Im Altbau wird die Wärme übergangsweise über Fernwärme mit einer Leistung von 550 kW und in der Bibliothek übergangsweise über eine Hochtemperatur- Wärmepumpe mit einer Leistung von 400kW bereitgestellt. Die Hochtemperatur-Wärmepumpe wird der Wasser-Wasser-Wärmepumpe nachgeschaltet.

Die Kälteversorgung erfolgt über die Brunnenanlage, welche auch die Wärmepumpe versorgt mit einer Leistung von ca. 1.350 kW und einer Kompressionskältemaschine mit 450 kW Leistung. Die Kompressionskältemaschine wird in den ersten zwei Bauabschnitten benötigt, um die Energiebilanz des Grundwassers über den Jahresverlauf einzuhalten. Im Endausbau bietet sie eine Redundanz in der Kälteerzeugung, sowie die Möglichkeit zur Freikühlung über den Rückkühler bei tiefen Außentemperaturen sowie zu einer Abwärmenutzung. Aufgrund der hohen zu erwartenden Grundwassertemperaturen von ca. 14°C wird die Kältenetztemperatur auf 15/21°C angehoben.

In Variante 4 wird eine größtmögliche Deckung des Wärme- und Kältebedarfes über das Grundwasser angestrebt. Bei parallelem Wärme- und Kältebedarf wird die Abwärme der Rechenzentrumsabkühlung indirekt genutzt, indem die Brunnenwasserwärmetauscher Kühlen und Heizen mit einer Reihenschaltung ausgestattet werden. Das Brunnenwasser kühlt somit zunächst das Campusnetz Kälte und wird anschließend erwärmt der Quellenseite der Wärmepumpe zugeführt. Dies erhöht leicht die Arbeitszahl (COP) und reduziert die zu fördernden Wassermengen. Eine Abwärmenutzung der Kältemaschinen sollte als Vorhaltung dennoch in der Planung vorgesehen werden. Dies bietet die Möglichkeit im langen Planungs-, Realisierungs- und Nutzungszeitraum auf ändernde Last- und Betriebssituationen reagieren zu können.

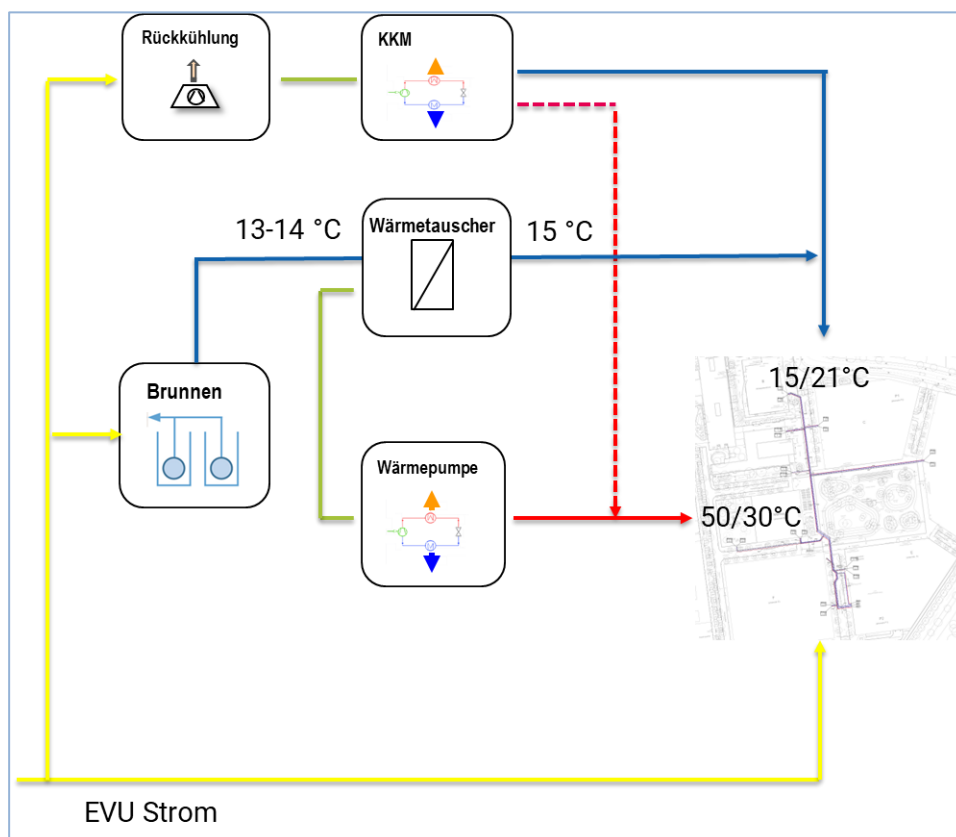


Abbildung 54 Variante 4 Aufbau Wärme- und Kälteerzeugung

3.6.1 Endausbau, saniert

Im 3. Bauabschnitt (Endausbau) weist die Wärme- / Kälteversorgung folgende Erzeuger auf
 Wärmeversorgung

Wasser-Wasser-Wärmepumpe 1.250 kW + 1.500 kW

Kälteversorgung

Brunnenanlage 680 kW + 630 kW

Kompressionskältemaschine 450 kW

Nach der Sanierung des Altbaus und der Bibliothek erfolgt die Wärmeversorgung des Altbaus und der Bibliothek mittels einer Vorlauftemperatur von 50 °C und einer Rücklauftemperatur von 30 °C aus der Energiezentrale.

Der Wärmebedarf wird zu 100% durch eine Wärmepumpe gedeckt.

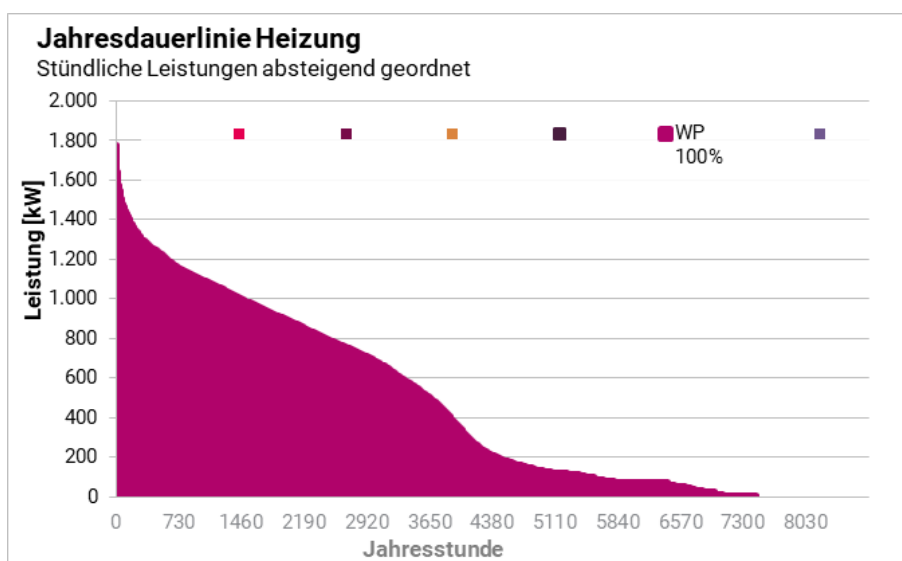


Abbildung 55 Variante 4 Jahresdauerlinie Heizung Endausbau, saniert

Die Deckung des Kältebedarfs erfolgt zu 100% durch Grundwasser.

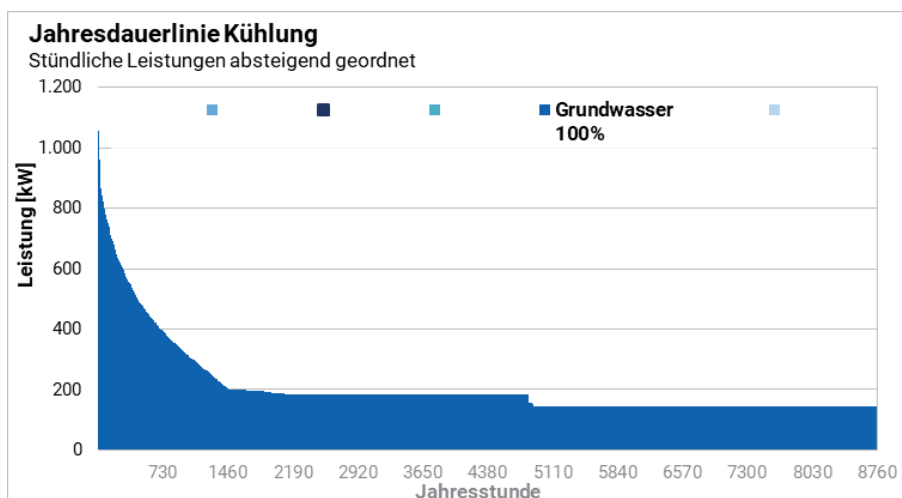


Abbildung 56 Variante 4 Jahresdauerlinie Kühlung Endausbau, saniert

Eine wesentliche Anforderung der Unteren Wasserbehörden für die thermische Nutzung von Brunnenwasser ist, dass im Jahresverlauf nicht mehr Wärme in das Grundwasser eingespeist wird als im Heizbetrieb entzogen wird. Dies ist im Betrieb messtechnisch zu erfassen und zu dokumentieren.

Folgende Parameter weist der Betrieb der Brunnenanlage der Variante 4 im Endausbau auf.

Heizleistung Wärmepumpen:	2.750 kW
COP:	ca. 4,6
Spreizung Brunnenwasser Heizen:	5K
Kälteleistung Brunnenkühlung:	ca. 1.310 kW
Spreizung Brunnenwasser Kühlen:	4K
Förderleistung Brunnen H/K:	380 m³/h
Anzahl Förder- / Schluckbrunnen:	voraussichtlich 4 / 5 (Planung durch Hydrogeologen)
Thermische Entnahme Heizen:	3.160 MWh
Thermische Einspeisung Kühlen:	1.824 MWh
Energiebilanz Kühlen / Heizen:	0,59
Grundwassermenge Parallelschaltung:	930.000 m³/a
Grundwassermenge Reihenschaltung:	650.000 m³/a

Empfohlen wird die Reihenschaltung der Wärmetauscher Kühlen und Heizen zur Reduzierung der zu fördernden Wassermengen. Es wird zudem empfohlen für etwaige Regelungsverluste sowie Extremjahre einen Aufschlag bei der Grundwassermenge von 30% zu berücksichtigen.

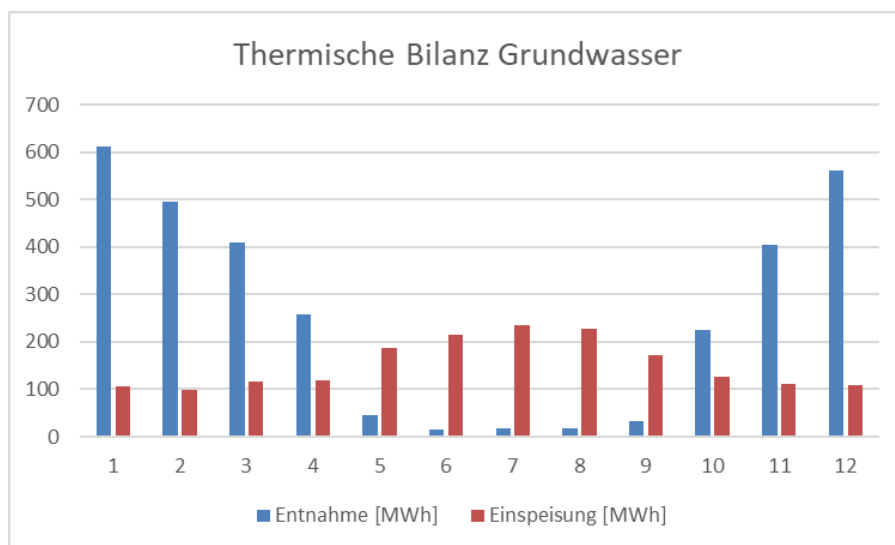


Abbildung 57 Variante 4 Thermische Bilanz Grundwasser Endausbau, saniert I

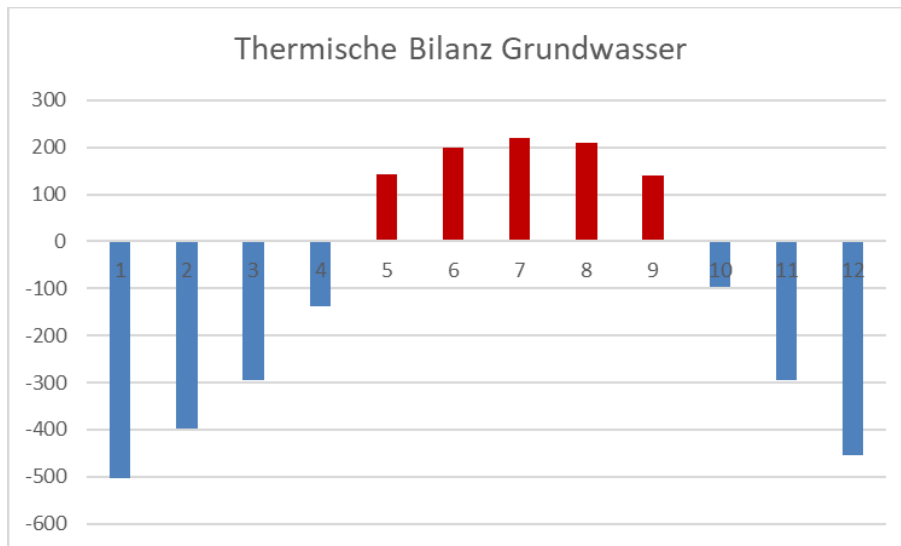


Abbildung 58 Variante 4 Thermische Bilanz Grundwasser Endausbau, saniert II

Die durch die Hydronek GmbH gemessenen Grundwassertemperaturen weisen eine Phasenverschiebung auf. Es kommt zu hohen Grundwassertemperaturen im Winter und zu niedrigen Grundwassertemperaturen im Sommer.

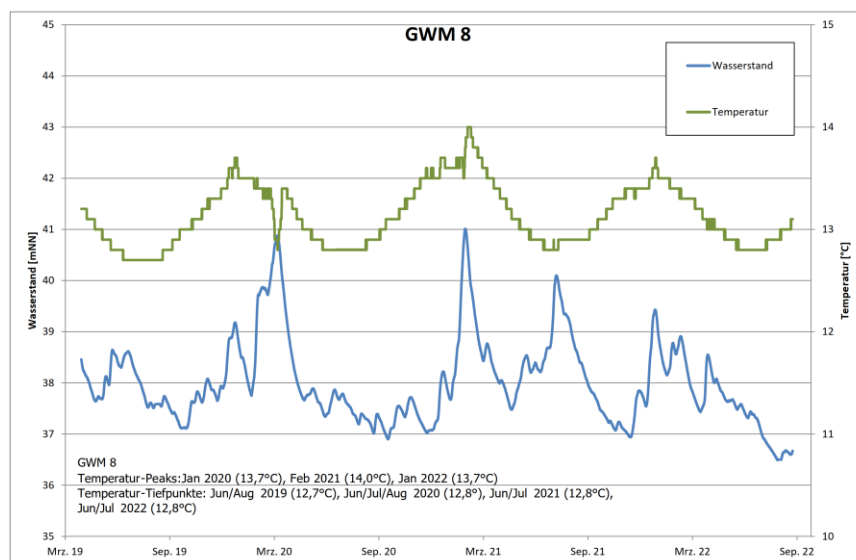


Abbildung 59 Grundwassertemperatur 2019 bis 2022

Hydronek GmbH, 21.09.2022:

„Diese natürlichen saisonalen Schwankungen der Grundwassertemperatur verlaufen im betrachteten Zeitraum 2019-2022 aufgrund der Trägheit des konduktiven und zum Teil konvektiven Wärmetransport durch Sickerwasser phasenverschoben zu den saisonalen Temperaturverläufen an der Erdoberfläche/Luft, sodass hier die höchsten Grundwassertemperaturen im Winter gemessen wurden, während die tiefsten GW-Temperaturen im Sommer gemessen wurden. Dieser (ungestörte) natürliche Zustand ist für einen effizienten Anlagenbetrieb grundsätzlich vorteilhaft - mit hohen Quellentemperatur für den Heizfall im Winter und niedrigen Quellentemperaturen für den sommerlichen Kühlfall.“

Sofern es im Winter zu noch höheren Grundwassertemperaturen kommen sollte, lässt sich die Kühlung (Winterkältebedarf 144 kW) über eine Freikühlung über den Rückkühler der im ersten Bauabschnitt installierten Kompressionskältemaschine mit einer Rückkühlleistung von ca. 540 kW im Auslegungsfall, wie folgt erzielen:

Kältenetz 15/21°C:

- bis zu einer Außentemperatur von 11°C
- mit einer Leistung von ca. 150 kW

Kältenetz 13/19°C:

- bis zu einer Außentemperatur von 9°C
- mit einer Leistung von ca. 300 kW

Zudem stellen die Kompressionskältemaschine mit 450 kW sowie der Rückkühler ein Back-Up System im Endausbau dar. Die Leistung der Kompressionskältemaschine deckt ca. 1/3 des gesamten Leistungsbedarfs.

3.6.2 1. Bauabschnitt

Im 1. Bauabschnitt weist die Wärme- / Kälteversorgung folgende Erzeuger auf

Wärmeversorgung	
Wasser-Wasser-Wärmepumpe	1.250 kW
Hochtemperatur-Wärmepumpe	400 kW
Fernwärme Altbau	550 kW
Kälteversorgung	
Brunnenanlage	680 kW
Kompressionskältemaschine	450 kW

Die Sanierung der Bestandsgebäude Altbau und Bibliothek ist noch nicht erfolgt. Der Altbau wird bivalent mit Fernwärme und über das Wärmenetz der Campusenergiezentrale versorgt. Bis zu einer Außentemperatur von ca. 10°C erfolgt eine Wärmeversorgung auf hohem Temperaturniveau mittels Fernwärme. Bei Außentemperaturen oberhalb von 10°C erfolgt die Wärmeversorgung aus der Campusenergiezentrale. Die Bibliothek wird über eine Hochtemperatur-Wärmepumpe aus der Energiezentrale versorgt.

Die Deckung des Wärmebedarfs erfolgt zu 39% durch eine Wärmepumpe und zu 61% durch Fernwärme (Altbau) beziehungsweise durch die Hochtemperatur-Wärmepumpe.

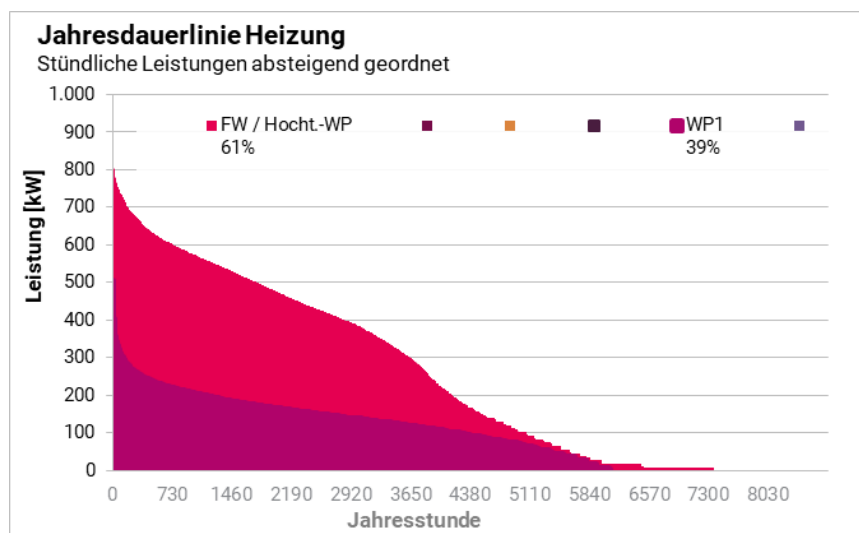


Abbildung 60 Variante 4 Jahresdauerlinie Heizung 1. Bauabschnitt

Der Kältebedarf wird zu 46% durch Grundwasser und zu 54% durch Kompressionskälte gedeckt.

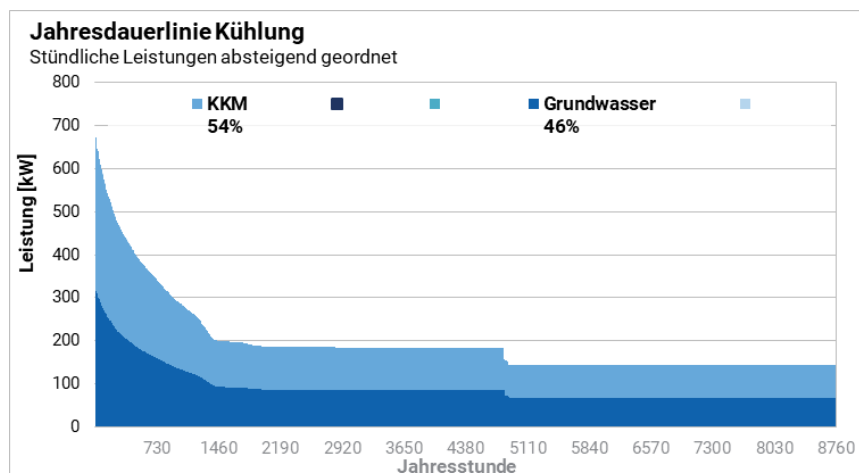


Abbildung 61 Variante 4 Jahresdauerlinie Kühlung 1. Bauabschnitt

Folgende Parameter weist der Betrieb der Brunnenanlage der Variante 4 im ersten Bauabschnitt auf.

Heizleistung Wärmepumpe:	1.250 kW
COP:	ca. 4,6
Spreizung Brunnenwasser Heizen:	5K
Kälteleistung Brunnenkühlung:	ca. 680 kW
Spreizung Brunnenwasser Kühlen:	4K
Förderleistung Brunnen H/K:	205 m³/h
Anzahl Förder- / Schluckbrunnen:	voraussichtlich 4 / 5 (Planung durch Hydrogeologen)
Thermische Entnahme Heizen:	888 MWh
Thermische Einspeisung Kühlen:	799 MWh
Energiebilanz Kühlen / Heizen:	0,90
Grundwassermenge Parallelschaltung:	325.000 m³/a
Grundwassermenge Reihenschaltung:	200.000 m³/a

Empfohlen wird die Reihenschaltung der Wärmetauscher Kühlen und Heizen zur Reduzierung der zu fördernden Wassermengen. Es wird zudem empfohlen für etwaige Regelungsverluste sowie Extremjahre einen Aufschlag bei der Grundwassermenge von 30% zu berücksichtigen.

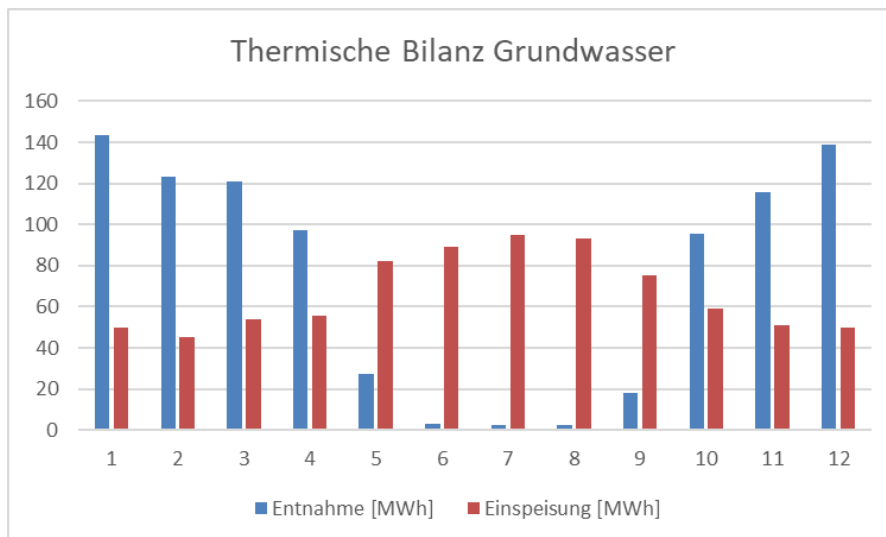


Abbildung 62 Variante 4 Thermische Bilanz Grundwasser 1. Bauabschnitt I

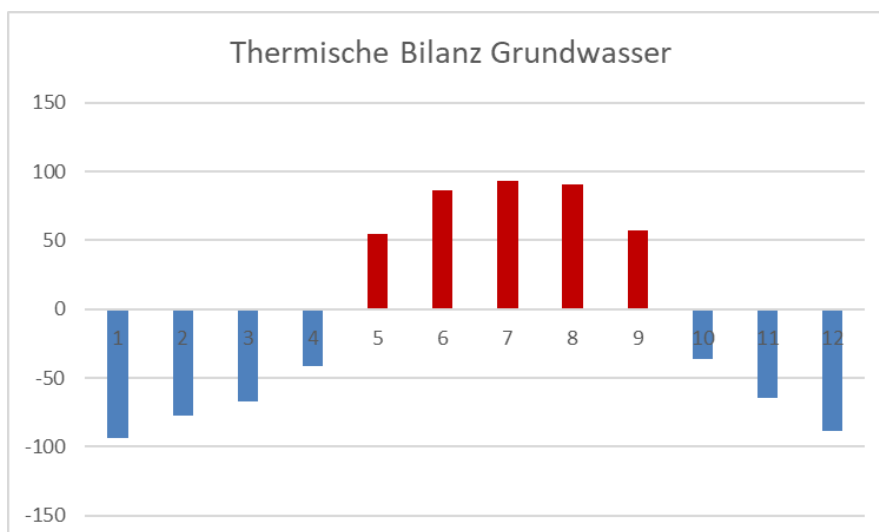


Abbildung 63 Variante 4 Thermische Bilanz Grundwasser 1. Bauabschnitt II

3.6.3 2. Bauabschnitt

Im 2. Bauabschnitt weist die Wärme- / Kälteversorgung folgende Erzeuger auf

Wärmeversorgung

- Wasser-Wasser-Wärmepumpe 1.250 kW + 1.500 kW
- Hochtemperatur-Wärmepumpe 400 kW
- Fernwärme Altbau 550 kW

Kälteversorgung

- Brunnenanlage 680 kW + 630 kW
- Kompressionskältemaschine 450 kW

Die Sanierung der Bestandsgebäude Altbau und Bibliothek ist noch nicht erfolgt. Der Altbau wird bivalent mit Fernwärme und über das Wärmenetz der Campusenergiezentrale versorgt. Bis zu einer Außentemperatur von ca. 10°C erfolgt eine Wärmeversorgung auf hohem Temperaturniveau mittels Fernwärme. Bei Außentemperaturen oberhalb von 10°C erfolgt die Wärmeversorgung aus der Campusenergiezentrale. Die Bibliothek wird über eine Hochtemperatur-Wärmepumpe aus der Energiezentrale versorgt.

Die Deckung des Wärmebedarfs erfolgt zu 63% durch eine Wärmepumpe und zu 37% durch Fernwärme (Altbau) und einer Hochtemperatur-Wärmepumpe.

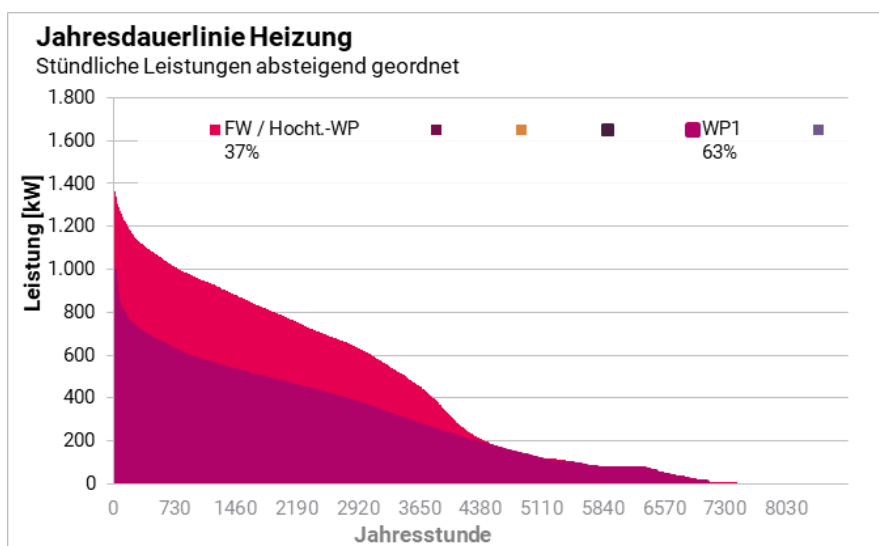


Abbildung 64 Variante 4 Jahresdauerlinie Heizung 2. Bauabschnitt

Der Kältebedarf wird zu 95% durch das Grundwasser und zu 5 % durch Kompressionskälte gedeckt.

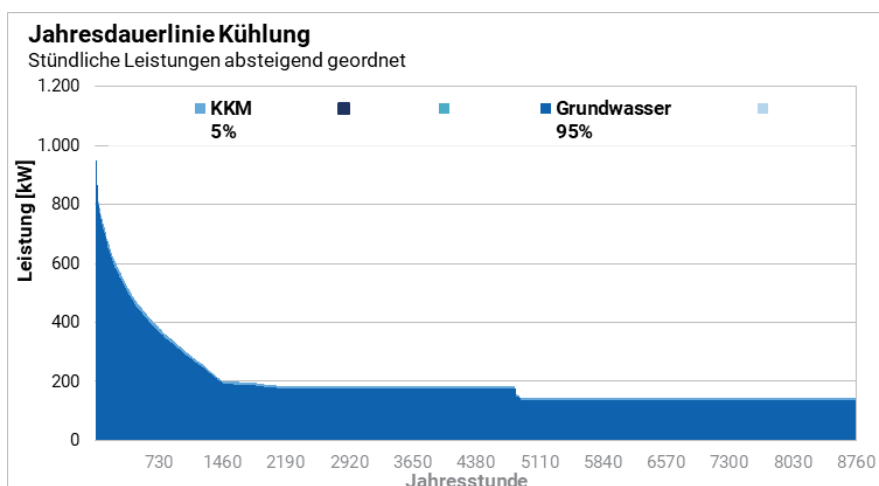


Abbildung 65 Variante 4 Jahresdauerlinie Kühlung 2. Bauabschnitt

Folgende Parameter weist der Betrieb der Brunnenanlage der Variante 4 im zweiten Bauabschnitt auf.

Heizleistung Wärmepumpe:	1.250 kW + 1.500 kW
COP:	ca. 4,6
Spreizung Brunnenwasser Heizen:	5K
Kälteleistung Brunnenkühlung:	ca. 340 kW
Spreizung Brunnenwasser Kühlen:	4K
Förderleistung Brunnen H/K:	380 m³/h
Anzahl Förder- / Schluckbrunnen:	voraussichtlich 4 / 5 (Planung durch Hydrogeologen)
Thermische Entnahme Heizen:	1.955 MWh
Thermische Einspeisung Kühlen:	1.727 MWh
Energiebilanz Kühlen / Heizen:	0,88
Grundwassermenge Parallelschaltung:	708.000 m³/a
Grundwassermenge Reihenschaltung:	440.000 m³/a

Empfohlen wird die Reihenschaltung der Wärmetauscher Kühlen und Heizen zur Reduzierung der zu fördernden Wassermengen. Es wird zudem empfohlen für etwaige Regelungsverluste sowie Extremjahre einen Aufschlag bei der Grundwassermenge von 30% zu berücksichtigen.

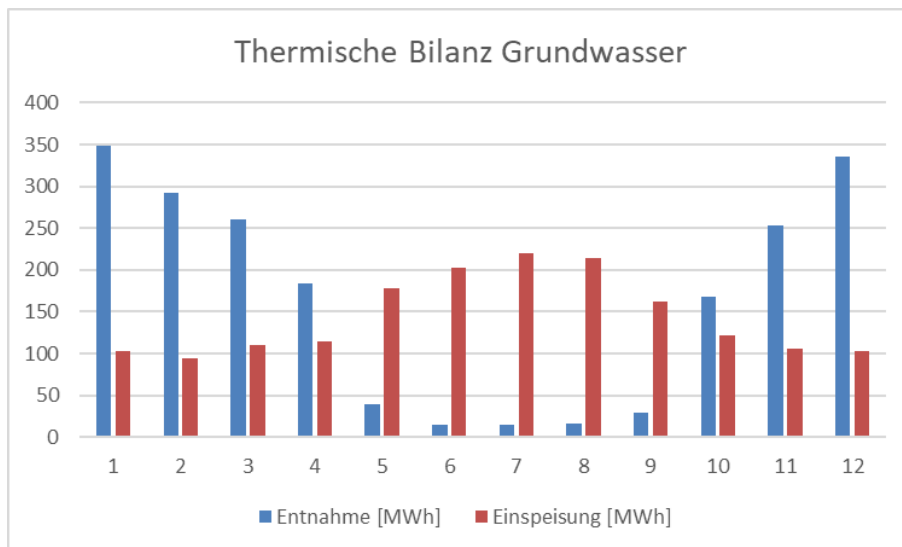


Abbildung 66 Variante 4 Thermische Bilanz Grundwasser 2. Bauabschnitt I

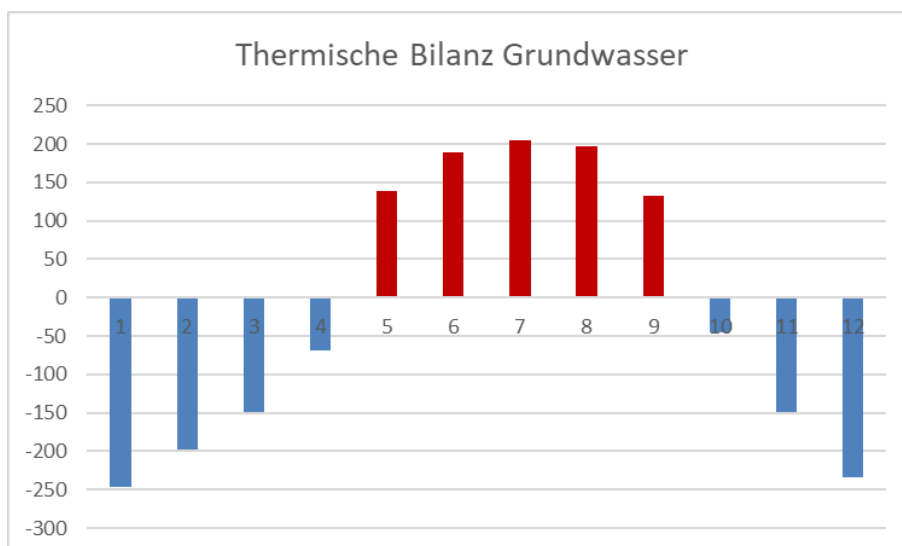


Abbildung 67 Variante 4 Thermische Bilanz Grundwasser 2. Bauabschnitt II

3.6.4 Leistungsbilanz Wärme / Kälte

Leistungsbilanz Heizung / Kälte Variante 4

		Leistungsbilanz Heizung / Kälte						Erzeugerleistungen Heizung / Kälte						
		Gebäudeleistungen			Trasse			Leistungen Energiezentrale						
Bauabschnitt	Jahr des Anschlusses	Gebäude	$Q_{\text{w\ddot{a}}rme}$ [kW]	GLZ Wärme [-]	$Q_{\text{k\ddot{a}}lte}$ [kW]	GLZ Kälte [-]	$Q_{\text{verlust, w\ddot{a}}rme}$ [kW]	$Q_{\text{verlust, k\ddot{a}}lte}$ [kW]	$Q_{\text{w\ddot{a}}rme}$ [kW]	$Q_{\text{k\ddot{a}}lte}$ [kW]	Jahr Einbringung	Wärmeerzeuger	$Q_{\text{w\ddot{a}}rme}$ [kW]	$Q_{\text{k\ddot{a}}lte}$ [kW]
1	(?)	H (SAR) Studentische Arbeiten	80	0,85	40						2026	W-W-Wärmepumpe	1.250	680
1	2027	Bibliothek (Bestand)	400		50						2026	Hochtemp.-WP	400	450
1	2027	A (Altbau) (Bestand)	550		48						2026	Fernwärme in Altbau	550	
1	2027	P2 Energiezentrale	41		5									
1	2027	B Hörsaalzentrum	330		348									
1	2027	E Fakultäts- und Verwaltungsgebäude	330		300									
1	2027	Zwischensumme	1.731	0,85	791	0,85	15	4	1.486	676		Installierte Leistung	1.800	1.130
2	2031	C Fakultätsgebäude	360		100						2031	W-W-Wärmepumpe	1.500	630
2	2031	D Fakultätsgebäude	450		90									
2	2032	Mensa	260		420									
2		Zwischensumme	1.070	0,85	610	0,85	5	2	2.401	1.197		Installierte Leistung	3.300	1.760
3	2039	G + H Fakultäts- und Verwaltungsgebäude	350		110						2039	Fernwärme in Altbau	-	550
3	(?)	F Fakultätsgebäude	40		20						2039	Hochtemp.-WP	-400	
3		Zwischensumme	390	0,85	130	0,85	5	2	2.737	1.309		Installierte Leistung	2.750	1.760
1-3		Summe	3.191	0,85	1.531	0,85	25	8	2.737	1.309		Installierte Leistung	2.750	1.760

(?) Terminierung liegt bisher nicht vor.

04

Wirtschaftliche & ökologische Bewertung

4.1 Grundlagen

In der Wirtschaftlichkeitsberechnung werden die Unterschiede zwischen den Anlagenvarianten in Bezug auf die folgenden Parameter untersucht:

- Endenergie MWh pro Jahr
- CO₂ Emission t pro Jahr
- Investitionskosten €
- Betriebskosten € pro Jahr
- Gesamtkosten: € pro Jahr

Zur Berechnung wurden folgende Randbestimmungen mit dem Bauherrn abgestimmt:

- Betrachtungszeitraum: 30 a
- Zins: 2 %
- Inflation: 2 %

Grundsätzlich wird die Wirtschaftlichkeit nach der Annuitätenmethode der VDI 2067 berechnet. Konkret bedeutet das mit den obigen Randbedingungen:

- Für den Invest wird davon ausgegangen, dass die Investition über einen Kredit (Laufzeit gleich Betrachtungszeitraum) finanziert wird (Zinssatz 2 %).
- Auch die über die gesamte Laufzeit anfallenden Betriebskosten (Wartung, Instandsetzung, Bedienung, Strom, Wärme etc.) werden über einen zum Anfangszeitpunkt aufgenommenen Kredit finanziert, der ebenfalls bis zum Ende des Betrachtungszeitraumes läuft.
- Mögliche Neubeschaffungen von Anlagen oder Einrichtungen während der Laufzeit werden berücksichtigt. Restwerte am Ende der Laufzeit fließen ebenso ein.
- Zur Ermittlung der Investkosten werden spezifische Kosten bezogen auf Leistung etc. herangezogen.
- Rechnerische Nutzungsdauer sowie Aufwand für Instandsetzung, Wartung und Bedienung gemäß VDI 2067 Blatt 1 Anhang A und eigenen Erfahrungswerten.
- Bei den Varianten wurde ausschließlich mit anlagenspezifischen Zentralen- und Infrastrukturkosten gerechnet.
- Anlagengleiche Bauteile werden gemäß VDI 2067 nicht berücksichtigt.
- Alle Preise sind in brutto berücksichtigt

Für die Entwicklung des CO₂-Preises wurde folgendes Szenario berücksichtigt:

CO ₂ -Preisszenario	2021: 25 €/tCO ₂
	2022: 30 €/tCO ₂
	2023: 35 €/tCO ₂
	2024: 45 €/tCO ₂
	2025: 55 €/tCO ₂
	2026: 60 €/tCO ₂
	Ab 2027 mittleres Szenario: Lineare Er- höhung bis 180 €/t in 2040

4.2 Endenergiebedarf

In dieser Untersuchung wird auf Basis der ermittelten Wärme- und Kältebedarfe (Nutzenergiebedarf) der Endenergiebedarf der Varianten berechnet. Die Endenergie ist die Energie, welche einem Verbraucher oder Kunden, hier in der Energiezentrale bzw. der Fernwärmeübergabestation im Altbau geliefert wird.

Die folgenden Abbildungen zeigen die errechneten Endenergien in MWh für Strom, Erdgas und Fernwärme pro Jahr für die betrachteten Varianten. In der ersten Abbildung werden die Summen je Bauabschnitt dargestellt. Die zweite Abbildung zeigt den durchschnittlichen Endenergiebedarf je Energieträger und Variante über den Betrachtungszeitraum.

Für dieses Bauvorhaben steigt der Endenergiebedarf von Bauabschnitt zu Bauabschnitt an. Eine Ausnahme ist dabei die Variante 4. Hier nimmt im dritten Bauabschnitt der Endenergiebedarf ab. Der Grund dafür ist der Anschluss des Altbaus sowie der Bibliothek an das Niedertemperaturnetz und dem daraus resultierenden Wegfall der Fernwärme im Altbau und der Hochtemperatur-Wärmepumpe in der Bibliothek.

In Summe liegt ein abnehmender Endenergiebedarf über den Betrachtungszeitraum von Variante 0 zu Variante 4 vor.

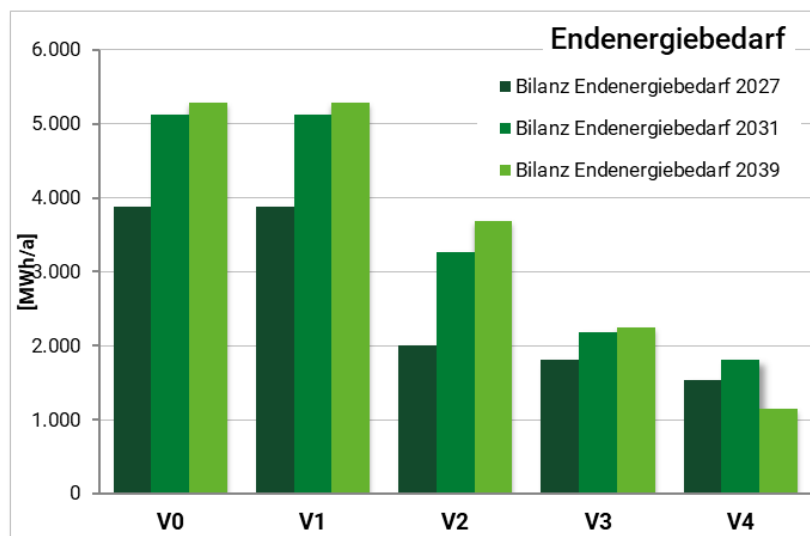


Abbildung 68 Endenergiebedarf je Bauabschnitt

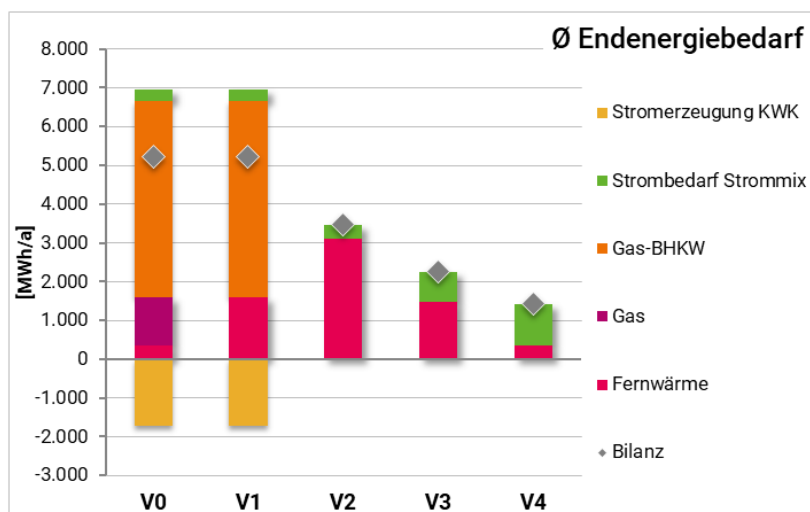


Abbildung 69 Durchschnittlicher Endenergiebedarf je Variante und Energieträger

4.3 CO₂-Emissionen

Anhand von spezifischen CO₂-Emissionen lässt sich über die Endenergie der CO₂-Ausstoß pro Jahr berechnen, um die Umweltauswirkungen der Energieerzeugungsvarianten miteinander zu vergleichen.

Die CO₂-Emissionen wurden wie folgt angesetzt:

Aktuell 2022:

- Strom Netzbezug (Strommix): 393 g CO₂/kWhEnd
- Erdgas: 240 g CO₂/kWhEnd
- Fernwärme: 105 g CO₂/kWhEnd

Im Jahr 2050:

- Strom Netzbezug (Strommix): 78 g CO₂/kWhEnd
- Erdgas: 240 g CO₂/kWhEnd
- Fernwärme: 105 g CO₂/kWhEnd

Die folgende Abbildung zeigt die berechneten CO₂-Emissionen pro Jahr für Strom und Wärme für die Varianten 0 und 4.

In den Varianten 0 bis 2 steigen die CO₂-Emissionen von Bauabschnitt zu Bauabschnitt an. In den Varianten 3 und 4, welche einen höheren Anteil an strombasierten Wärme- und Kälteerzeugung haben, fällt dieser Anstieg geringer bzw. negativ aus.

In Summe liegen abnehmende CO₂-Emissionen über den Betrachtungszeitraum von Variante 0 zu Variante 4 vor.

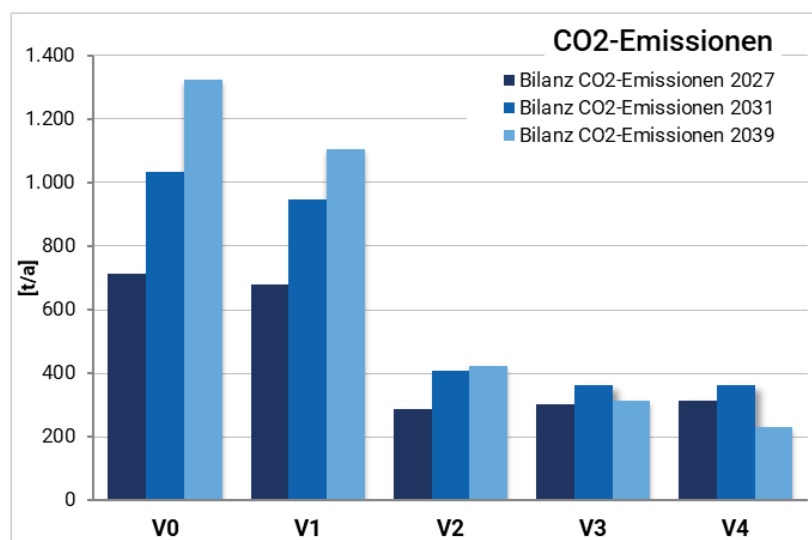


Abbildung 70 Zukünftige CO₂-Emissionen

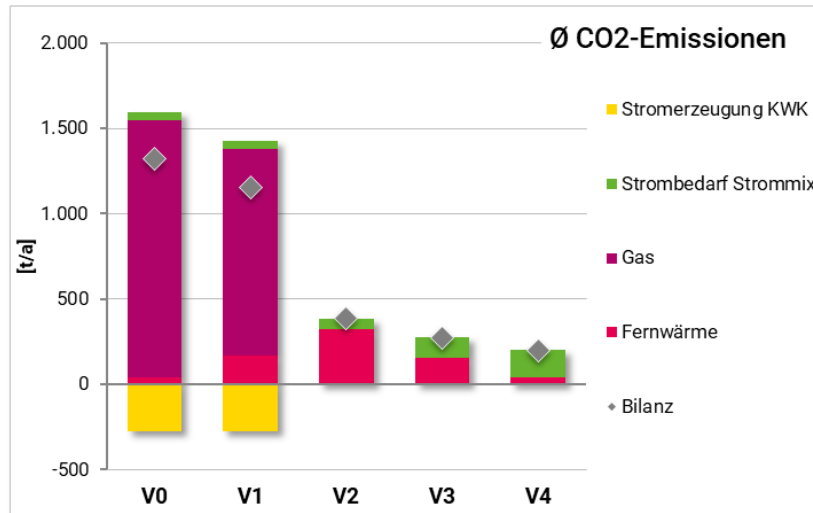


Abbildung 71 Durchschnittliche CO2-Emission je Variante und Energieträger

Der eigenerzeugte und eigengenutzte Strom wurde mit dem CO₂-Äquivalent des allgemeinen Strommixes gutgeschrieben, da er den Strombezug des Campus aus dem öffentlichen Netz verringert.

4.4 Primärenergiefaktoren Wärme- / Kältelieferung

Für die zu untersuchenden Varianten wurden die Primärenergiefaktoren für die Wärme- / Kältelieferung für die Campusgebäude über die Campusnetze ermittelt. Die nachfolgende Tabelle zeigt lediglich die Ergebnisse dieser Ermittlung. Weitere Informationen sind dem gesonderten Bericht zur Ermittlung der Primärenergiefaktoren der Wärme- & Kältbereitstellung vom 30.09.2022 zu entnehmen.

Variante	$Q_{f, \text{Wärme}}$ [MWh/a]	Wärme $f_{p, \text{ext}}$	$Q_{f, \text{Kälte}}$ [MWh/a]	Kälte $f_{p, \text{ext}}$	Kombiniert $f_{p, \text{ext}}$
0	3.948,49	0,50	1.823,54	0,45	0,48
1	3.948,49	0,25	1.823,54	0,45	0,31
2	3.948,49	0,27	1.823,54	0,33	0,29
3	3.948,49	0,33	1.823,54	0,17	0,28
4	3.948,49	0,33	1.823,54	0,15	0,27

Der kombinierte Primärenergiefaktor wurde entsprechende Gewichtung der Primärenergiefaktoren für Wärme und Kälte anhand der zu liefernden Wärme- und Kältemengen ($Q_{f, \text{Wärme}}$ und $Q_{f, \text{Kälte}}$) ermittelt.

Der Primärenergiebedarf eines Systems umfasst zusätzlich zum eigentlichen Endenergiebedarf an einem Energieträger die nicht erneuerbare Energiemenge, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb der Systemgrenze bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung des Energieträgers benötigt wird.

Das Ergebnis zeigt, dass die Varianten 1 bis 4 sich deutlich von der Basisvariante 0 absetzen.

4.5 Investitionskosten

Die folgende Grafik berücksichtigt die Erstinvestitionen der verschiedenen Maschinen und Anlagen zu ihrem jeweiligen Investitionszeitpunkt:

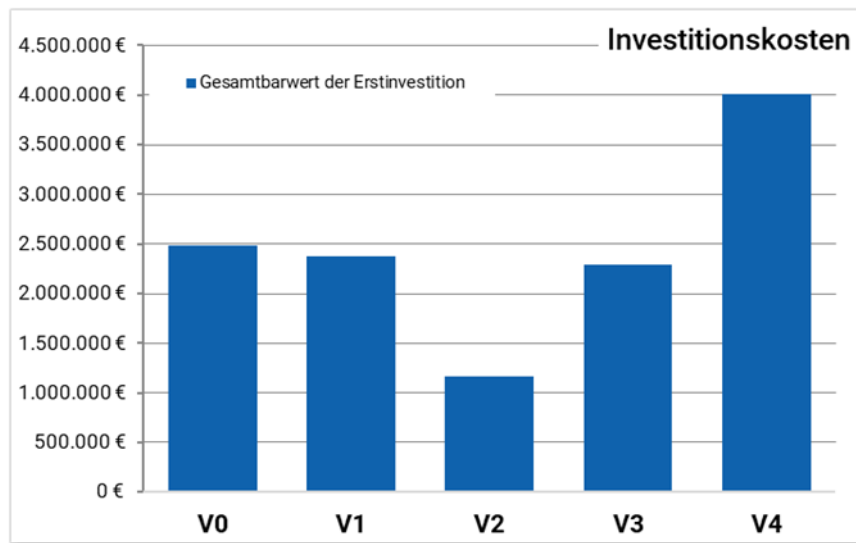


Abbildung 72 Erstinvestitionen der verschiedenen Maschinen und Anlagen

Die nachfolgende Grafik berücksichtigt zusätzlich etwaige Ersatzinvestitionen nach Ablauf der rechnerischen Nutzungsdauer der Maschinen und Anlagen im Betrachtungszeitraum sowie Restwerte nach Ablauf des Betrachtungszeitraums:

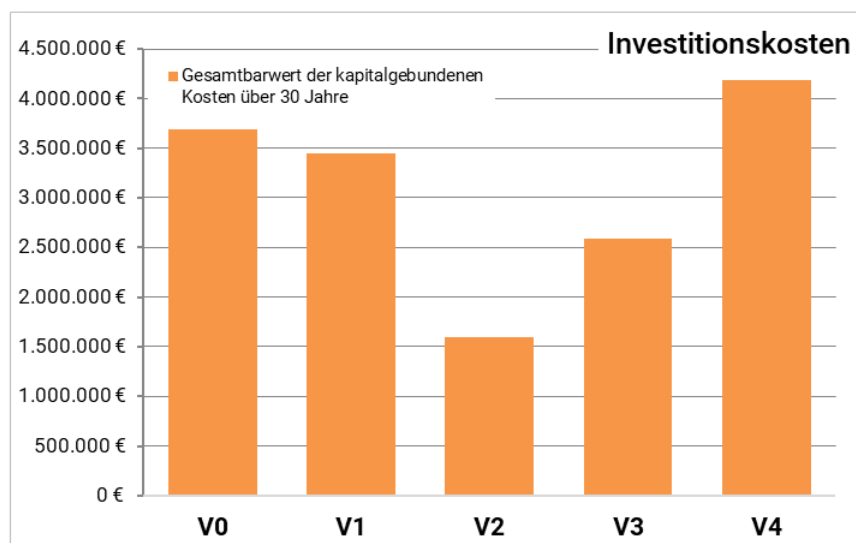


Abbildung 73 Gesamtinvestitionskosten im Betrachtungszeitraum

Die Variante 4 weist die höchsten kapitalgebundenen Kosten über den Betrachtungszeitraum auf.

- + 162% gegenüber Variante 2
- + 61% gegenüber Variante 3
- + 21% gegenüber Variante 1
- + 13% gegenüber Variante 0

Eine detaillierte Herleitung der Investitionskosten und Investzeitpunkte kann der Anlage 2 „VDI2067 Berechnungsblätter“ entnommen werden.

4.6 Bedarfs- und Betriebskosten

Zur Berechnung der Energiekosten sind die zwischen BLB NRW, TH Köln und ZWP abgestimmten Preisprognosen für Strom, Erdgas und Fernwärme für das Jahr 2027 zugrunde gelegt. Die Herleitung kann der Anlage 1 „Präsentation zum Energiekonzept“ entnommen werden. Daraus ergeben sich die Energiepreise wie folgt:

- Bezugspreis Strom: 36,5 ct/kWh
- Preissteigerung Strom: 4 %/a
- Bezugspreis Erdgas: 14,4 ct/kWh
- Leistungspreis Erdgas: 13,0 €/(kW*a)
- Preissteigerung Erdgas: 4 %/a
- Bezugspreis Fernwärme: 17,2 ct/kWh
- Leistungspreis Fernwärme: 79,90 €/(kW*a) für die ersten 300 kW
68,00 €/(kW*a) für die weiteren kW
- Preissteigerung Fernwärme: 4 %/a
- Alle Preise in brutto

Die folgende Abbildung zeigt die Betriebskosten, resultierend aus den Energiekosten sowie den Wartungs- und Instandhaltungskosten in € pro Jahr für alle betrachteten Varianten.

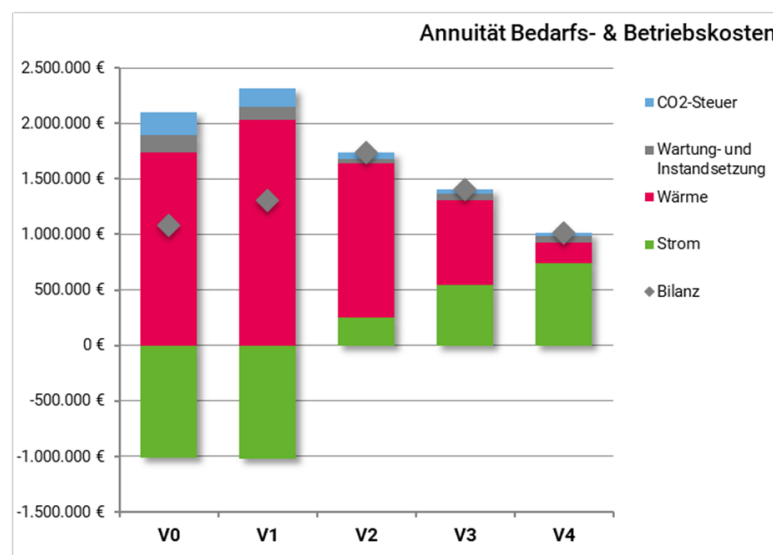


Abbildung 74 Annuität Bedarfs- & Betriebskosten

In den Varianten 1 und 2 kommt es zu bilanziellen Gutschriften durch die Eigenstromerzeugung und -nutzung.

Die Variante 4 weist die niedrigsten bedarfs- und betriebsgebundenen Kosten über den Betrachtungszeitraum auf.

- - 7% gegenüber Variante 0
- - 22% gegenüber Variante 1
- - 38% gegenüber Variante 3
- - 42% gegenüber Variante 2

4.7 Gesamtannuität

Die folgenden Abbildungen zeigen die Gesamtjahreskosten (Annuität) in € für Varianten 0 bis 4. Die Annuität resultiert aus den jährlichen Betriebskosten für Energie, Wartung und Instandhaltung sowie aus den Investitionskosten betrachtet über die Laufzeit mit Zins und Inflation, der Nutzungsdauer der Anlagenteile und der daraus resultierenden Neuanschaffungen und Restwerte nach Ablauf des Betrachtungszeitraumes. Die Gesamtjahreskosten geben Aufschluss über die Gesamtwirtschaftlichkeit der betrachteten Varianten

Die Variante 4 weist die niedrigste Gesamtannuität über den Betrachtungszeitraum auf.

- - 4% gegenüber Variante 0
- - 18% gegenüber Variante 1
- - 21% gegenüber Variante 3
- - 34% gegenüber Variante 2

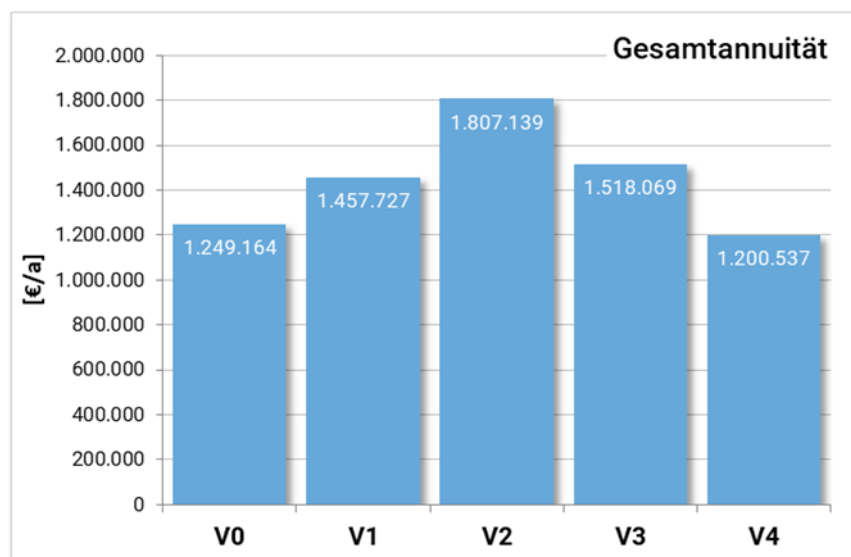


Abbildung 75 Gesamtannuität

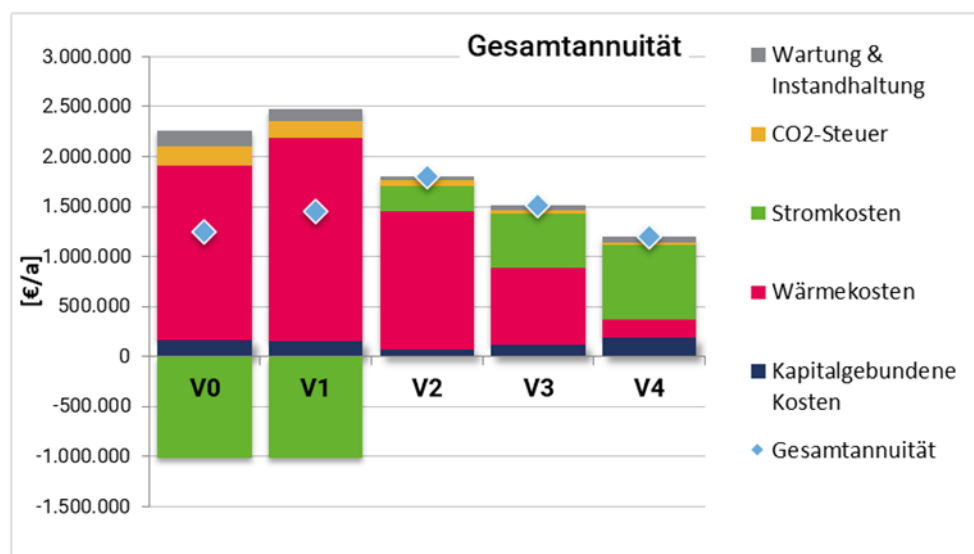


Abbildung 76 Zusammensetzung Gesamtannuität

4.8 Sensitivitätsanalyse

Die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung beruht auf Annahmen, welche eingangs dieses Kapitels beschrieben wurden und in nachfolgender Tabelle nochmals dargestellt sind.

Annahmen Wirtschaftlichkeitsberechnung - 2027

Betrachtungszeitraum	30 Jahre
Zins	2,0 %
Inflation	2,0 %
Arbeitspreis Strom	36,5 ct/kWh
Preissteigerung Strom	4,0 %
Arbeitspreis Erdgas	14,4 ct/kWh
Leistungspreis Erdgas	13,0 €/(kW*a)
Preissteigerung Erdgas	4,0 %
Arbeitspreis Fernwärme	17,2 ct/kWh
Leistungspreis Fernwärme ersten 300kW	79,90 €/(kW*a)
Leistungspreis Fernwärme weitere kW	68,00 €/(kW*a)
Preissteigerung Fernwärme	4,0 %

Mittels einer Sensitivitätsanalyse soll untersucht werden, wo die Kippunkte in den Annahmen liegen, so dass ein anderes wirtschaftliches Ergebnis vorliegt.

Die Variante 0 (BHKW + Gasbrennwertkessel & AKM + KKM) wird wirtschaftlich vorteilhaft bei Eintritt eines der folgenden Szenarien:

- ab einem Strompreis von 37,6 ct/kWh oder höher
- ab einer Strompreissteigerung von 4,2% oder größer
- ab einem Gaspreis von 12,6 ct/kWh oder geringer
- ab einer Gaspreissteigerung von 3,8% oder geringer
- ab einem Zins von circa 5%

Die Variante 1 (BHKW + Fernwärme & AKM + KKM) wird wirtschaftlich vorteilhaft bei Eintritt eines der folgenden Szenarien:

- bei einem Strompreis von 38,6 ct/kWh oder höher und einem Fernwärmepreis von 8,9 ct/kWh

Die Variante 2 (Fernwärme & KKM) wird wirtschaftlich vorteilhaft bei Eintritt eines der folgenden Szenarien:

- ab einem Fernwärmepreis von 5,4 ct/kWh oder geringer

05 Zusammenfassung und Ausblick

In der Untersuchung zur Weiterentwicklung bzw. Dekarbonisierung des Energiekonzeptes für den Ersatzneubau des Campus Deutz wurden verschiedene Varianten hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit sowie ökologischen Auswirkungen betrachtet. Hierfür wurden zunächst die verschiedenen Wärme- und Kälteerzeuger grob dimensioniert und ihre jeweiligen Deckungsanteile an den zukünftigen Wärme- und Kältebedarfen des neuen Campus je Bauabschnitt ermittelt. In den Betrachtungen ist die sukzessive Aufrüstung der Erzeuger in der Campusenergiezentrale sowie Interimsversorgungen der Gebäude Bibliothek und Altbau auf einem höheren Temperaturniveau bis zum 3. Bauabschnitt berücksichtigt.

Der Grundstein für eine Dekarbonisierung der Wärme- und Kälteerzeugung wurde bereits in der Planung des Infrastrukturprojektes gelegt, indem das zukünftige Wärmenetz mit tiefen Netztemperaturen von 50/30°C geplant wurde. Entsprechend sind auch die bereits in der Planung befindlichen Wärmeversorgungsanlagen der Gebäude E/P2 sowie B (Hörsaalgebäude) auf ein Niedertemperaturniveau ausgelegt. Dieses tiefe Temperaturniveau lässt den wirtschaftlichen Einsatz von Wärmepumpen in der Campusenergiezentrale zu.

Das Kältenetz wurde in der Planung des Infrastrukturprojektes mit Netztemperaturen von 13/19°C geplant. In den Varianten 0 bis 2 können diese Temperaturen problemlos realisiert werden. Über eine freie Kühlung mittels Grundwasser in den Varianten 3 und 4 werden diese Temperaturen voraussichtlich nicht bereitgestellt werden können. Dies hat zur Folge, dass die Netztemperaturen anzupassen wären auf ca. 15/21°C.

Auf Basis der VDI 2067-1 „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen“ sind die Varianten hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit und Ökologie bewertet worden. Das Ergebnis stellt nachfolgende Nutzwertanalyse dar.

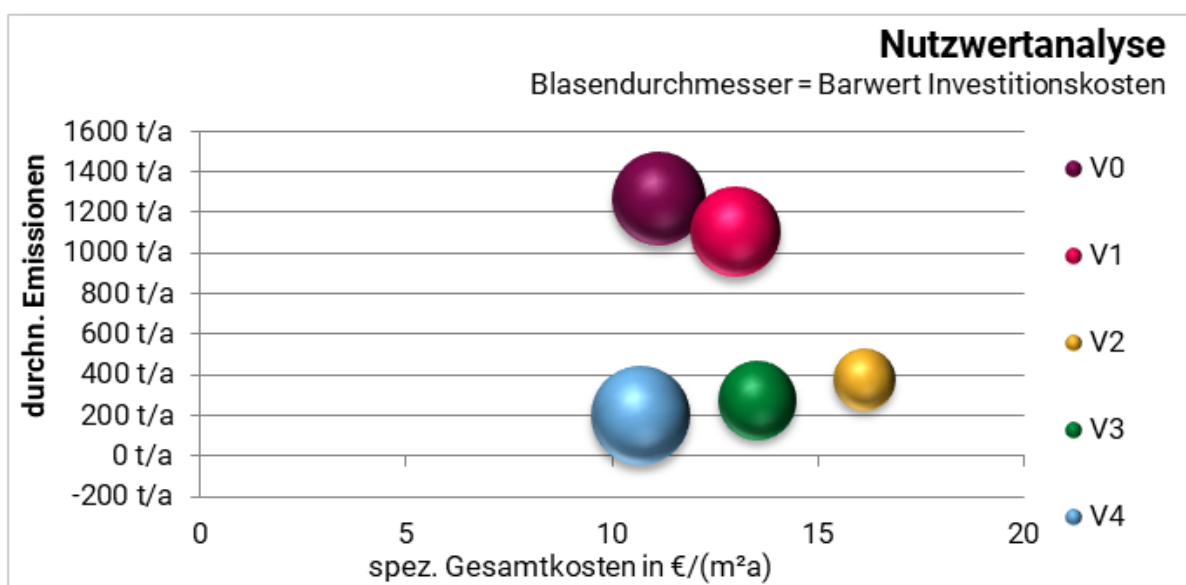


Abbildung 77 Nutzwertanalyse

Wirtschaftlich auf Augenhöhe sind die Varianten 0 „BHKW + Gasbrennwertkessel & Absorptions- + Kompressionskältemaschine“ und 4 „Wärmepumpe & Brunnenkühlung“. Es folgen die Varianten 1 „BHKW + Fernwärme & Absorptions- + Kompressionskältemaschine“ und 3 „Wärmepumpe + Fernwärme & Brunnenkühlung + Kompressionskältemaschine“. Die Variante 2 „Fernwärme & Kompressionskälte“ reiht sich zum Schluss ein.

Im Anschluss an die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Diese zeigt nochmals, dass die Varianten 0 und 4 beinahe gleichauf liegen. Durch geringfügige Anpassungen hinsichtlich der Annahmen und Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung kann sich die Variante 0 als vorteilhaft über den Betrachtungszeitraum darstellen. Dass sich die Annahmen und Grundlagen soweit verändern, dass eine der anderen Variante das wirtschaftliche Ergebnis anführt, ist dagegen unwahrscheinlicher aber dennoch nicht ausgeschlossen. Der weite Blick in die Zukunft mit einer ersten Inbetriebnahme der Campusenergiezentrale im Jahr 2027 stellt bei den Prognosen zu Energiepreisen, Preissteigerungen, Annahmen zu Zins und Inflation eine Unsicherheit dar.

Aus gesamtheitlicher Betrachtung hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Ökologie ist die Variante 4 „Wärmepumpe & Brunnenkühlung“ zu empfehlen.

Folgende **wesentliche Risiken** weisen die Varianten auf:

Variante 0) BHKW + Gasbrennwertkessel & Absorptions- + Kompressionskältemaschine

- Hohe CO₂-Emissionen
- Klimaneutraler Betrieb nicht in Sicht
- Abhängigkeit von fossilen Energieträgern

Variante 1) BHKW + Fernwärme & Absorptions- + Kompressionskältemaschine

- Hohe CO₂-Emissionen
- Klimaneutraler Betrieb nicht in Sicht
- Abhängigkeit von fossilen Energieträgern
- Bereitschaft des Fernwärmeversorgers zur Spitzenlastdeckung fraglich
- Hohe Trassenbelegung (Erdgas, Fernwärme, Campusnetz Wärme, Campusnetz Kälte)

Variante 2) Fernwärme & Kompressionskältemaschine

- Klimaneutraler Betrieb liegt in Händen des Fernwärmeversorgers
- Hohe Trassenbelegung (Fernwärme, Campusnetz Wärme, Campusnetz Kälte)

Variante 3) Wärmepumpe + Fernwärme & Brunnenkühlung + Kompressionskältemaschine

- Genehmigungsfähigkeit Brunnenanlage
- Bereitschaft des Fernwärmeversorgers zur Spitzenlastdeckung fraglich
- Anzusetzende Grundwassertemperatur noch nicht vorliegend
- Anhebung des Temperaturniveaus des Kältenetzes
- Hohe Trassenbelegung (Brunnenleitungen, Fernwärme, Campusnetz Wärme, Campusnetz Kälte)

Variante 4) Wärmepumpe & Brunnenkühlung

- Genehmigungsfähigkeit Brunnenanlage
- Anzusetzende Grundwassertemperatur noch nicht vorliegend
- Anhebung des Temperaturniveaus des Kältenetzes
- Hohe Trassenbelegung (Brunnenleitungen, Campusnetz Wärme, Campusnetz Kälte)

Der Vollständigkeit halber bleibt zu erwähnen, dass folgende Punkte keine Berücksichtigung in den Kosten der verschiedenen Varianten gefunden haben:

- Umplanungshonorare für die verschiedenen Gewerke, Teilprojekte etc.
- Etwaige Mehrungen bei den Herstellkosten der Campusgebäude
- Etwaige Kosten durch Terminverzögerungen

Für die empfohlene Variante 4 wird weiterhin empfohlen, dass die Risiken der Variante 4 durch die jeweiligen Beteiligten geprüft und eingeschätzt werden. In der Planung wird empfohlen zu prüfen, ob eine kleinteiligere Maschinenaufteilung der Wärme- und Kälteerzeuger (Teilredundanz) in den Bauabschnitten vorzusehen ist.

06 Anlagen

Folgende Anlagen gelten in Verbindung mit diesem Bericht

- 1) Präsentation zum Energiekonzept
- 2) VDI 2067-1 Berechnungsblätter
- 3) Bericht zur Ermittlung der Primärenergiefaktoren