

Projekt 2020-04

**Ökologische Wärme- und Kälteversorgung basierend auf
Wärmepumpen mit maximaler Systemeffizienz durch
Systemkühlung, Regeneration des Sondenfeldes und
intelligenter Steuerung der Energieströme**

Abschlussbericht



Ansprechpartner: Christian Nübling
badenovaWÄRMEPLUS GmbH & Co. KG

Erstellungsdatum: 13.06.2024

Inhalt

1	Projektüberblick	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Wissenschaftliche und technische Ziele	1
1.3	Herausforderungen	3
2	Projektbeschreibung	4
2.1	Projektablauf	4
2.1.1	Projektidee	4
2.1.2	Terminplan	4
2.1.3	Budgetplanung und Förderung	5
2.2	Projektplanung	7
2.2.1	Energiedaten im Überblick	7
2.2.2	Anlagenkonzept/ Hauptkomponenten	7
2.3	Technische Umsetzung	8
2.3.1	Technische Daten	8
2.3.2	Anlagenbau	10
2.3.3	Schemata und Pläne	12
2.4	Anlagenbetrieb	15
2.4.1	Auswertung der Betriebsergebnisse	15
2.4.2	Aufgetretene Störungen und Lösungsansätze im Betrieb	20
2.5	Ökologischer Nutzen	21
2.6	Betrachtung der Wirtschaftlichkeit	22
2.6.1	Investitionskosten	22
2.6.2	Betriebskosten	22
2.6.3	Verbesserung der Wirtschaftlichkeit	23
3	Wirkung der Umsetzung	24
3.1	Zukünftiger Betrieb	24
3.2	Übertragbarkeit der Projektergebnisse	24
4	Öffentlichkeitsarbeit	25
4.1	Vorträge	25
4.2	Flyer, Presse, Veröffentlichungen	25
5	Zusammenfassung/Fazit	25
6	Anlage: Projekterkenntnisse	26

1 Projektüberblick

1.1 Ausgangslage

Knapp 40 % der CO₂-Emissionen in Deutschland entstehen durch die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser, doch die Energiewende im Wärmesektor stagnierte bisher seit mehreren Jahren und nimmt erst seit neustem wieder Fahrt auf. Sämtliche Szenarien für eine CO₂-freie Wärmeversorgung in Deutschland gehen davon aus, dass elektrisch angetriebene Wärmepumpen eine größere Rolle spielen müssen, um die Wärmewende zu realisieren.

In Horben am Fuße des Schauinslands und in direkter Nachbarschaft zur Stadt Freiburg bietet sich ein idealer Anwendungsfall, um den Ausbau der Wärmepumpen und damit auch den Ausbau einer CO₂-armen Wärmeversorgung voranzutreiben. Dort entsteht das „Gesundheitsresort Schwarzwald Luisenhöhe“, ein Hotel der gehobenen Klasse mit hohem Wärme- und Kältebedarf.



Abbildung 1, 2: Gesundheitsresort Schwarzwald Luisenhöhe

Das Resort soll durch ein innovatives und zukunftsweisendes Konzept basierend auf mehreren Sole-Wasser-Wärmepumpen in Kombination mit Erdsonden und zwei Luft-Wärmetauschern mit Wärme und Kälte versorgt werden. Durch Minimierung der elektrischen Stromaufnahme bei Maximierung der Nutzung von Umweltwärme soll sichergestellt werden, dass Wärme und auch Kälte langfristig ökologisch und damit möglichst CO₂-arm bereitgestellt werden.

1.2 Wissenschaftliche und technische Ziele

Der Anteil erneuerbarer Wärme an der Wärmeerzeugung betrug in Deutschland 2023 nur 18,8 %, der überwiegende Teil wird noch mit fossilen Energieträgern gedeckt. Wärmepumpen werden als große Chance gesehen, die Wärmewende und Abkehr von fossilen Energien zu beschleunigen, zumal der Anteil erneuerbaren Stroms 2023 bereits bei 51,8 % lag (vgl. Abbildung 3).

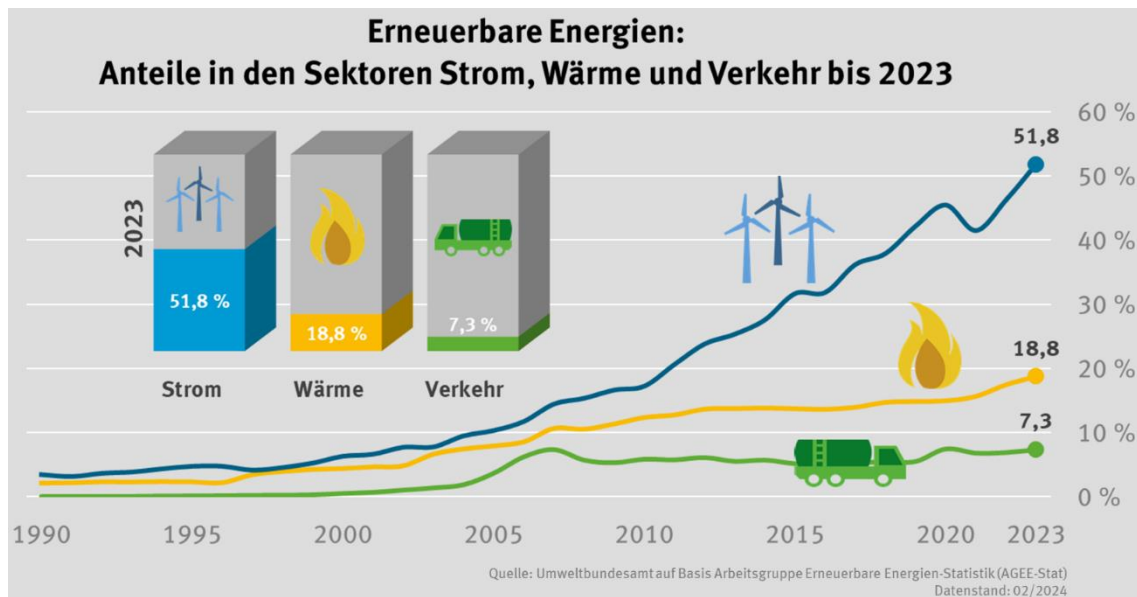


Abbildung 3: Erneuerbare Energien: Anteile in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr bis 2023

In der vorausgehenden Abbildung ist zu erkennen, dass der Anteil erneuerbarer Wärme nur sehr langsam ansteigt, während der Anteil erneuerbaren Stroms sehr stark ansteigt. Dieser starke Anstieg erneuerbarer Stromleistung wird an Tagen mit viel Wind und/oder Sonne zu erheblichen Stromüberschüssen führen, sodass ein Abregeln der Stromerzeugungsanlagen erforderlich sein wird. Um dies zu vermeiden, ist die Kopplung von Strom- und Wärmesektor, z. B. über Wärmepumpen sinnvoll.

Der Einsatz elektrisch betriebener Wärmepumpen zur Wärmebereitstellung ist bei Luft-Wärmepumpen aufgrund niedriger Wärmequellentemperaturen und des begrenzten Betriebsbereichs bei niedrigen Außentemperaturen mit geringen Jahresarbeitszahlen verbunden. Für Wärmepumpen im größeren Leistungsbereich sind sehr große Luftmengen nötig, was die Umsetzbarkeit erschwert oder unmöglich macht. Durch den Einsatz von Sole-Wasser-Wärmepumpen in Kombination mit Erdsonden wird das Erdreich als Wärmequelle erschlossen, das ganzjährig nahezu konstante Temperaturen aufweist und vor allem in den Wintermonaten im Vergleich zur Außenluft deutliche höhere Temperaturen liefert, was zu einer besseren Anlageneffizienz, und damit zu höheren Jahresarbeitszahlen führt. Der Aufbau eines hybriden Wärmequellensystems, das in den Sommermonaten die warme Außenluft als Wärmequelle nutzbar macht, und in den Wintermonaten auf das warme Erdreich als Wärmequelle zugreift, vereinigt die Vorteile beider Systeme und führt zu einer maximalen Anlageneffizienz.

Das Versorgungskonzept des Gesundheitsresort Schwarzwald Luisenhöhe basiert auf vier Sole-Wasser-Wärmepumpen in Kombination mit einem hybriden Wärmequellensystem. Das Konzept zielt darauf ab, einen möglichst effizienten Betrieb der Wärmepumpen zu realisieren. Bei der Projektierung wird der Fokus daher besonders auf ein innovatives Zusammenspiel der einzelnen Anlagen und die Optimierung der Betriebspunkte gesetzt. Durch eine intelligente Regelung sollen alle Wärmepumpen flexibel betrieben werden, sodass diese jederzeit Wärme aus einer möglichst hochtemperierten Wärmequelle beziehen können und damit eine maximale Effizienz aufweisen:

- Im Sommer kann bei hohen Außentemperaturen Wärme über den Luft-Wärmetauscher bezogen werden.

- Im Winter steht Wärme aus dem vergleichsweise warmen Erdreich mittels Erdsonden zur Verfügung.
- Zudem kann ganzjährig Wärme aus den Kältespeichern der Gebäudeklimatisierung entzogen und dem Heizsystem zugeführt werden, diese sog. Systemkühlung (Heizen und Kühlen gleichzeitig) hat die höchste Effizienz

Wenn zu gewissen Zeiten kein Wärmebedarf, sondern ausschließlich Kältebedarf besteht, wird die anfallende Abwärme aus dem Kühlprozess genutzt, um das Erdsondenfeld zu regenerieren. So kann sichergestellt werden, dass das Erdsondenfeld langfristig ausreichend hohe Temperaturen liefert.

Durch ein umfassendes Monitoring, welches alle relevanten Energieströme messtechnisch erfasst und visualisiert, soll eine kontinuierliche Anlagenoptimierung ermöglicht und der Anlagenbetrieb sowie die Leistungsfähigkeit der Wärmepumpen transparent werden.

1.3 Herausforderungen

Eine besondere Herausforderung stellte zunächst im Bau der Anlage dar. Die zur Verfügung stehenden Flächen im Bereich der Tiefgarage des Gesundheitsresorts waren stark limitiert. Der verfügbare Technikraum viel mit knapp 70 m² Grundfläche entsprechend klein aus (vgl. Abbildung 4). Entscheidend war es also, die Anlagentechnik so unterzubringen, dass alle Komponenten für Wartungs- und Instandhaltungstätigkeiten gut zugänglich sind. Gleichzeitig war die Leitungsführung so übersichtlich aufzubauen, dass die komplexe Hydraulik vor Ort für den Anlagenservice nachvollziehbar ist.

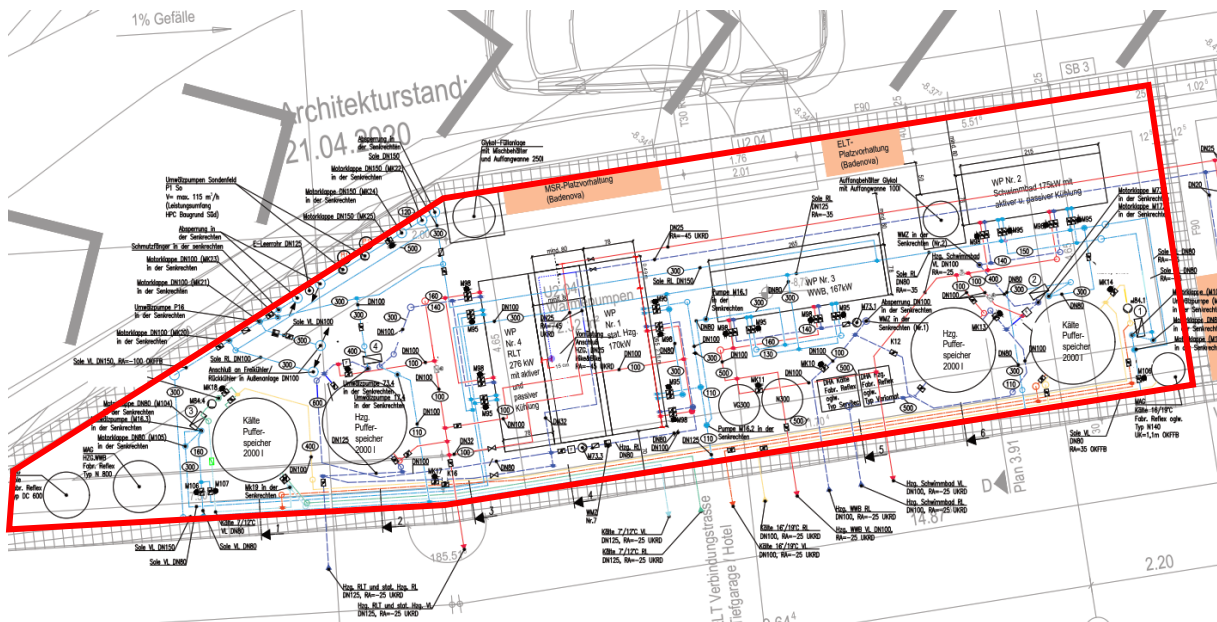


Abbildung 4: Aufstellplan Technikzentrale Tiefgarage (Quelle: Ausführungsplanung, Ingenieurbüro Dieter Relles VDI, Spiegelstraße 15, 53879 Euskirchen)

Eine weitere Herausforderung stellte die Inbetriebnahme der Anlage dar. Die Programmierung und Parametrierung der übergeordneten Anlagensteuerung, die das Herzstück der Anlage bildet, war aufgrund der Anzahl an Wärmepumpen in Kombination mit den verschiedenen Heiz- und Kühlkreisen mit unterschiedlichen Anforderungen sowie dem hybriden Wärmequellensystem sehr komplex. Ein solches Anlagenkonzept ist auch für erfahrene Planungsbüros, Wärmepumpenhersteller und

MSR-Dienstleister nicht alltäglich und erfordert ein sehr tiefes technisches Verständnis. Entsprechend aufwändig war die Inbetriebnahme der Anlage.

Auch galt es im Rahmen der Inbetriebnahme die zahlreichen Schnittstellen zu Haustechnik des Gesundheitsresorts gut zu koordinieren:

- Bei der Anlage handelt es sich um ein hydraulisch offenes System, das heißt die wasserführenden Leitungen sind mit denen im Hotelgebäude direkt ohne zusätzliche Wärmetaucher verbunden. So ist bspw. der Anlagendruck der Heiz- und Kühlkreise in Abstimmung mit dem im Hotelgebäude tätigen Heizungsinstallationsunternehmen einzustellen. Werden Leitungsabschnitte im Hotelgebäude entlüftet sinkt auch der Anlagendruck in der Technikzentrale, was wiederum zu Störungen führen kann.
- Die Stromversorgung erfolgt durch die Niederspannungshauptverteilung des Hotelgebäudes.
- Die regelungstechnische Ansteuerung der Erzeugungsanlagen erfolgt u.a. durch eine Schnittstelle zur regelungstechnischen Steuerung der Verbrauchsanlagen im Hotelgebäude. Störungen an der MSR-Technik im Hotelgebäude können daher auch zu einer Fehlfunktion der Technikzentrale führen.

2 Projektbeschreibung

2.1 Projektlauf

2.1.1 Projektidee

Die grundlegende Idee für das Anlagenkonzept wurde badenovaWÄRMEPLUS von der Bauherrschaft vorgegeben. Diese hatte ein ähnliches Anlagenkonzept bei einer Hotelanlage in Österreich kennengelernt und wollten ein vergleichbares Konzept für ihr Gesundheitsresort umsetzen. Die Erarbeitung des Anlagenkonzeptes erfolgte daraufhin zunächst durch das von den Bauherren beauftragte Planungsbüro mit Unterstützung des österreichischen Wärmepumpenherstellers iDM Energiesysteme GmbH. badenovaWÄRMEPLUS wurde dieses Konzept dann zur weiteren technischen Optimierung und schlussendlichen Umsetzung übergeben.

2.1.2 Terminplan

Im Oktober 2019 wurde der Förderantrag beim Innovationsfonds für Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co. KG eingereicht. Das Anlagenkonzept wurde in den Folgemonaten weiterentwickelt, sodass nach dem Einholen von diversen Angeboten und dem Erstellen einer sehr detaillierten Wirtschaftlichkeitsrechnung im November 2020 der Bauherrschaft die Verträge zur Errichtung der Anlage und Wärme- und Kältelieferung zur Unterschrift vorgelegt werden konnten.

Im Anschluss wurden die Planung finalisiert und die Leistungsverzeichnisse für die verschiedenen Gewerke erstellt. Auf die Ausschreibung für das Gewerk Heizungstechnik hatten sich vier Firmen beworben. Der Zuschlag erfolgte nach intensiven Bietergesprächen schließlich an ein Heizungsbauunternehmen aus der Region. Die Gewerke MSR-Technik und Elektrotechnik wurden ebenfalls an regionale Firmen vergeben, die auch von der Bauherrschaft im Rahmen der Errichtung des

Gesundheitsresorts beauftragt wurden. Ziel war es, die Schnittstellen zu minimieren und Synergien für alle Beteiligten zu schaffen. Der Vergabeprozess konnte bis Mitte 2021 vollständig abgeschlossen werden.

Der Terminplan für Bau und Inbetriebnahme der Anlage orientierte sich aufgrund der Zuständigkeiten und Schnittstellen im Wesentlichen am Terminplan für die Errichtung des Gesundheitsresorts. Dies hatte schlussendlich zur Folge, dass die ursprünglich gesetzten Fristen zum Erreichen der Meilensteine nicht vollumfänglich eingehalten werden konnten (vgl. Abbildung 5).

	2020				2021				2022				2023				2024			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
AP 1 Entwicklung und optimierung Anlagenkonzept			x																	
AP 2 Ausführungsplanung, Ausschreibung, Vergabe					x	x														
AP 3 Anlagenbau und Inbetriebnahme																				
AP 4 Monitoring																				

Abbildung 5: Terminplan mit Meilensteinen und Verzögerungen

Bereits der Baustart verzögerte sich aufgrund der verzögerten Vergabeprozesse und von Lieferschwierigkeiten der Hauptkomponenten von Q1 2021 auf Q3 2021. Ferner war die Bauzeit war aufgrund diverser Gründe (siehe u.a. Kapitel 1.3 Herausforderungen) deutlich länger als erwartet und dauerte bis Q2 2022 an. Aufgrund des parallel verzögerten Baufortschritts des Gesundheitsresorts, der u.a. auf die Corona-Pandemie zurückzuführen war, konnte die Inbetriebnahme der Anlage erst im Mai 2023 erfolgen. Monitoring und Optimierung der Anlage laufen seither.

2.1.3 Budgetplanung und Förderung

Ursprünglich wurde für die Errichtung der Anlage von einer Gesamtinvestition in Höhe von 766.358 € ausgegangen. Der anteilige innovative Anteil wurde mit 279.316 € beziffert (vgl. Tabelle 1). Bei einem Eigenanteil in Höhe von 50 % an den Gesamtausgaben (innovativen Anteil) ergibt sich eine Fördersumme in Höhe von 139.658 €, die durch den badenova Innovationsfonds für Klima- und Wasserschutz bereitgestellt wurde. Aufgrund unterschiedlicher Gründe lag die Gesamtinvestition schlussendlich rund 15 % über der ursprünglichen Kostenschätzung. Ein Teil der Mehrkosten wurde von der Bauherrschaft übernommen.

Tabelle 1: Übersicht Projektkosten (Stand Antragsstellung)

**Projekt Gesundheitsresort Luisenhöhe
Förderantrag Innovationsfond badenova
Übersicht der gesamten Projektkosten**

1.	Wärmepumpen u. Heizungsinstallation	Menge	EP	GP	Anteil	innovativ
1.1	WP TERRA SW 170 MAX	1	45.962 €	45.962 €	0%	- €
1.2	Schlammabscheider DN80	1	1.284 €	1.284 €	0%	- €
1.3	TERRA SW Max Sole-/Ladepumpe	1	2.723 €	2.723 €	0%	- €
1.4	Ölwanne	1	210 €	210 €	0%	- €
1.5	Inbetriebnahme	1	1.889 €	1.889 €	50%	945 €
1.6	Systemkühlungsset TERRA SW Max	1	18.068 €	18.068 €	100%	18.068 €
1.7	WP TERRA SW 180 MAX H	1	71.802 €	71.802 €	35%	25.131 €
1.8	Schlammabscheider DN100	1	1.395 €	1.395 €	0%	- €
1.9	TERRA SW Max Sole-/Ladepumpe	1	2.832 €	2.832 €	0%	- €
1.10	Ölwanne	1	236 €	236 €	0%	- €
1.11	Inbetriebnahme	1	1.889 €	1.889 €	50%	945 €
1.12	WP TERRA SW 180 MAX H	1	71.802 €	71.802 €	35%	25.131 €
1.13	Schlammabscheider DN100	1	1.395 €	1.395 €	0%	- €
1.14	Anschluss-Set WW-Vorrang	1	2.216 €	2.216 €	0%	- €
1.15	TERRA SW Max Sole-/Ladepumpe	1	2.832 €	2.832 €	0%	- €
1.16	Ölwanne	1	236 €	236 €	0%	- €
1.17	Inbetriebnahme	1	1.889 €	1.889 €	50%	945 €
1.18	WP TERRA SW 280 MAX	1	72.032 €	72.032 €	0%	- €
1.19	Schlammabscheider DN100	1	1.395 €	1.395 €	0%	- €
1.20	TERRA SW Max Sole-/Ladepumpe	1	2.832 €	2.832 €	0%	- €
1.21	Ölwanne	1	236 €	236 €	0%	- €
1.22	Inbetriebnahme	1	1.889 €	1.889 €	50%	945 €
1.23	Systemkühlungsset TERRA SW Max	1	20.018 €	20.018 €	100%	20.018 €
1.24	Fundamentunterlage	4	500 €	2.000 €	0%	- €
	Pufferspeicher	Menge	EP	GP	Anteil	innovativ
1.25	Thermo 2000 Max Wärmespeicher	2	1.245 €	2.490 €	100%	2.490 €
1.26	Viels-Isoliermantel Thermo 2000 Max	2	611 €	1.223 €	100%	1.223 €
1.27	Elektroheizstab 9 kW	4	494 €	1.974 €	100%	1.974 €
1.28	Thermo 2000 Max Kältespeicher	2	1.245 €	2.490 €	100%	2.490 €
1.29	Viels-Isoliermantel Thermo 2000 Max	2	611 €	1.223 €	100%	1.223 €
	Heizungs- u. Lüftungsinstallation	Menge	EP	GP	Anteil	innovativ
1.30	automatische Sondennachspeisung	1	4.000 €	4.000 €	100%	4.000 €
1.31	Pumpen	1	20.000 €	20.000 €	30%	6.000 €
1.32	Verteiler, Armaturen, Ventile	1	30.000 €	30.000 €	30%	9.000 €
1.33	Wärmemengenzähler	7	750 €	5.250 €	100%	5.250 €
1.34	Rohrleitung inkl. Befestigung	1	25.000 €	25.000 €	30%	7.500 €
1.35	Wärmedämmung	1	17.500 €	17.500 €	30%	5.250 €
1.36	Druckhaltung	1	4.000 €	4.000 €	0%	- €
1.37	Wasseraufbereitung	1	8.500 €	8.500 €	0%	- €
1.38	Sanitärtechnik	1	2.800 €	2.800 €	25%	700 €
1.39	Lüftungstechnik	1	3.000 €	3.000 €	100%	3.000 €
1.40	Rückkühlwerk	1	28.708 €	28.708 €	100%	28.708 €
1.41	Unvorhergesehenes	5%	487.217 €	24.361 €	50%	12.180 €
	Summe			511.578 €		183.112 €
2.	Elektroinstallation	Menge	EP	GP	Anteil	innovativ
2.1	Elektrische Verkabelung	1	30.000 €	30.000 €	25%	7.500 €
2.2	Unvorhergesehenes	10%	30.000 €	3.000 €	50%	1.500 €
	Summe			33.000 €		9.000 €
3.	MSR-Installation	Menge	EP	GP	Anteil	innovativ
3.1	MSR-Technik	1	55.000 €	55.000 €	50%	27.500 €
3.2	Fernwirktechnik badenFT	1	2.500 €	2.500 €	50%	1.250 €
3.3	Übergeordnete Steuerung Insight Facilities	1	2.500 €	2.500 €	50%	1.250 €
3.4	Unvorhergesehenes	10%	60.000 €	6.000 €	50%	3.000 €
	Summe			66.000 €		33.000 €
4.	Nebenkosten	Menge	EP	GP	Anteil	innovativ
4.1	Planung u. Bauleitung, Heizung	1	92.412 €	92.412 €	25%	23.103 €
4.2	Planung u. Bauleitung, Elektro	1	6.600 €	6.600 €	30%	1.980 €
4.3	Projektmanagement, Planung u. Bauleitung	1	56.767 €	56.767 €	40%	22.880 €
4.3	Projektmanagement, Öffentlichkeitsarbeit	1	6.240 €	6.240 €	100%	6.240 €
	Summe			155.780 €		54.203 €
	Gesamtsumme			766.358 €		279.316 €

2.2 Projektplanung

2.2.1 Energiedaten im Überblick

Die im Rahmen der Projektentwicklung durchgeführte dynamische Simulation des Gebäudes lieferte einen jährlich zu erwartenden Wärmebedarf von etwa 768 MWh. Etwa ein Drittel (34 %) davon sind der ganzjährigen Beheizung des Schwimmbekens zuzuschreiben. Knapp ein weiteres Drittel (27 %) ist für die Bereitstellung von Warmwasser erforderlich. Der restliche Wärmebedarf geht auf die Beheizung von Hotelzimmern, Küche sowie Sanitär- und Wellnessbereichen zurück (39 %). Der maximal zu erwartende Leistungsbedarf beträgt 525 kW.

Trotz der hohen Lage von Horben (ca. 580 m üNN) ist in den Sommermonaten von einem Kältebedarf für die Gebäudeklimatisierung auszugehen. Die Simulation lieferte einen Wert von 191 MWh pro Jahr. Die maximal benötigten Kühlleistung wurde mit 416 kW berechnet.

Die prognostizierte monatliche Verteilung der Wärme- und Kältemengen kann der folgenden Abbildung entnommen werden:

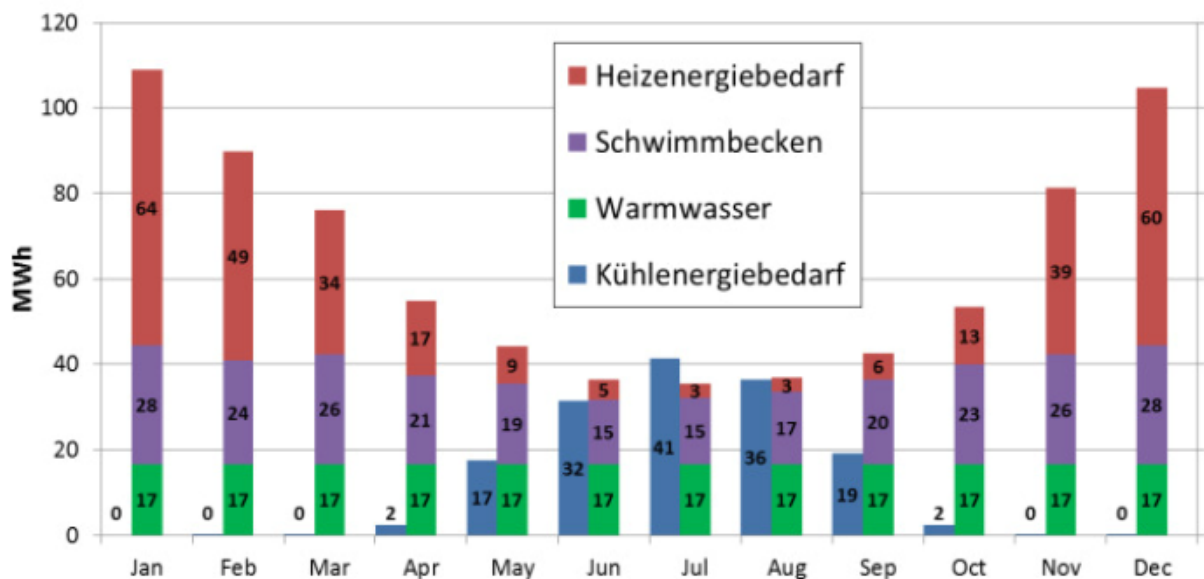


Abbildung 6: Zusammenstellung Wärme- und Kältebedarf (Auszug aus Luisenhöhe Horben – Dyn. Sim. – Stand 09.01.2019; Dynamische Gebäudesimulation, Stahl+Weiß, R. Tagliana, W. Stahl, Basler Str. 55, 79110 Freiburg)

2.2.2 Anlagenkonzept/ Hauptkomponenten

Das Anlagenkonzept umfasst vier Sole-Wasser-Wärmepumpen des Herstellers iDM Energietechnik GmbH. Die Wärmepumpen sind für die Versorgung verschiedener Heizkreise zuständig:

- Wärmepumpe 1: Heizkreis dynamische und statische Heizung (Spitzenlast)
- Wärmepumpe 2: Heizkreis Wärmetauscher Schwimmbad
- Wärmepumpe 3: Heizkreis Warmwasserbereiter
- Wärmepumpe 4: Heizkreis dynamische und statische Heizung (Grundlast)

Durch eine gezielte hydraulische Verschaltung und den Einsatz von zusätzlichen Wärmetauschern können die Wärmepumpen 2 und 4 zusätzlich zum Kühlen benutzt werden:

- Wärmepumpe 2: Kühlkreis statische Heizflächen
- Wärmepumpe 4: Kühlkreis RLT

Als Luft-Wärmetauscher kommen zwei Freikühler des Herstellers Cabero zum Einsatz.

Das Erdsondenfeld, das als primäre Wärmequelle für die Wärmepumpen dienen wird, besteht aus 58 Erdsonden mit einer Bohrtiefe von jeweils 145 m.

2.3 Technische Umsetzung

2.3.1 Technische Daten

Alle vier Wärmepumpeneinheiten bestehen jeweils aus einer Master- und einer Slave-Einheit, die wiederum über einen Kaskadenregler steuerungstechnisch miteinander verbunden sind. Jede Master- und Slave-Einheit verfügt über zwei Verdichterstufen, die in Abhängigkeit vom Lastfall einzeln zu- oder weggeschaltet werden können.

Alle Wärmepumpen sind für die Wärmeversorgung des Objektes vorgesehen. Durch eine gezielte hydraulische Verschaltung und den Einsatz von zusätzlichen Wärmetauschern können die Wärmepumpen 2 und 4 ergänzend zum Kühlen benutzt werden. Dabei entziehen die Wärmepumpen den zur Gebäudekühlung eingesetzten Kältespeichern die Wärme und geben sie an andere Stelle wieder ab. Die anfallende „Abwärme“ kann entweder dem Erdreich zur Regeneration zugeführt oder idealerweise gezielt für Heizzwecke verwendet werden, wodurch sich eine besonders hohe Effizienz der Anlage erreichen lässt.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Kenndaten der einzelnen Wärmepumpen zusammengefasst:

Tabelle 2: Kenndaten Wärmepumpen

Bezeichnung	Wärmepumpe 1	Wärmepumpe 2	Wärmepumpe 3	Wärmepumpe 4
Hersteller	iDM Energietechnik GmbH	iDM Energietechnik GmbH	iDM Energietechnik GmbH	iDM Energietechnik GmbH
Typ	TERRA SW 170 Max	TERRA SW 180 Max H	TERRA SW 180 Max H	TERRA SW 208 Max
Thermische Leistung (Heizen)	170 kW	180 kW	180 kW	280 kW
Wärmesenke	Heizkreis dynamische und statische Heizung (45/33 °C)	Heizkreis Wärmetauscher Schwimmbad (40/30 °C)	Heizkreis Warmwasserbereiter (65/60°C)	Heizkreis dynamische und statische Heizung (45/33 °C)
Thermische Leistung (Kühlen)	-	160 kW	-	260 kW
Kältesenke	-	Kühlkreis statische Heizflächen (16/19 °C)	-	Kühlkreis RLT (7/12 °C)

Das Erdsondenfeld, das als primäre Wärmequelle für die Wärmepumpen dienen wird, besteht aus 58 Erdsonden mit einer Bohrtiefe von jeweils 145 m, was in Summe eine Gesamtlänge der Erdsonden von 8.410 m ergibt. Mit einer erwarteten spezifischen Entzugsleistung von 55 W/m soll eine maximale Entzugsleistung von etwa 460 kW erzielt werden können. Die einzelnen Erdsonden haben einen Abstand von ca. 8 m und wurden als Doppel-U-Sonde ausgeführt.

(Hinweis: Die Errichtung der Erdsondenfeldes war nicht Bestandteil der Leistungen von badenovaWÄRMEPLUS, sondern wurde von der Bauherrschaft anderweitig beauftragt.)

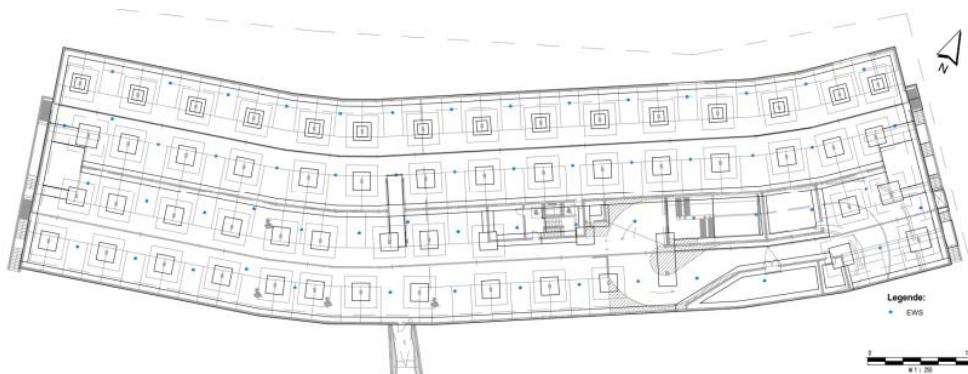


Abbildung 7: Erdsondenfeld (Quelle: Erdwärmesondenfeld Luisenhöhe, Detaillageplan, HPC AG, Ziegelhofstraße 210a, 79110 Freiburg)

Die Zirkulation des Wärmeträgermediums (25 Vol.-% Glykol, 75 Vol.-% VE-Wasser) durch das Erdsondenfeld erfolgt primär durch die vier dezentralen Solepumpen an jeder Wärmepumpeneinheit. Im Spitzenlastfall, also wenn alle vier Wärmepumpen mit allen vier Verdichterstufen in Betrieb sind, wird gemäß den vorliegenden Berechnungen der Volumenstrom durch das Erdsondenfeld jedoch so groß, dass die vier dezentralen Pumpen den Druckverlust nicht mehr überwinden können. In diesem Fall öffnet sich ein Bypass und zwei weitere, zentrale Solepumpen werden unterstützend in Betrieb genommen, um den erforderlichen Volumenstrom aufrechtzuerhalten.



Abbildung 8: Externe Sole-Pumpen

Als ergänzende Wärmequelle kommen zwei Luft-Wärmetauscher in Form von zwei Freikühler des Herstellers Cabero mit einer Leistung von jeweils 115 kW_{th} zum Einsatz. Diese sind jeweils mit einer Glykol-Auffangwanne und einem Glykolprotektor ausgestattet.



Abbildung 9: Freikühler

2.3.2 Anlagenbau

Im Folgenden sind verschiedene Bilder während des Baufortschritts dargestellt:

- Anlieferung der Hauptkomponenten



- Technikraum



- Bauphase



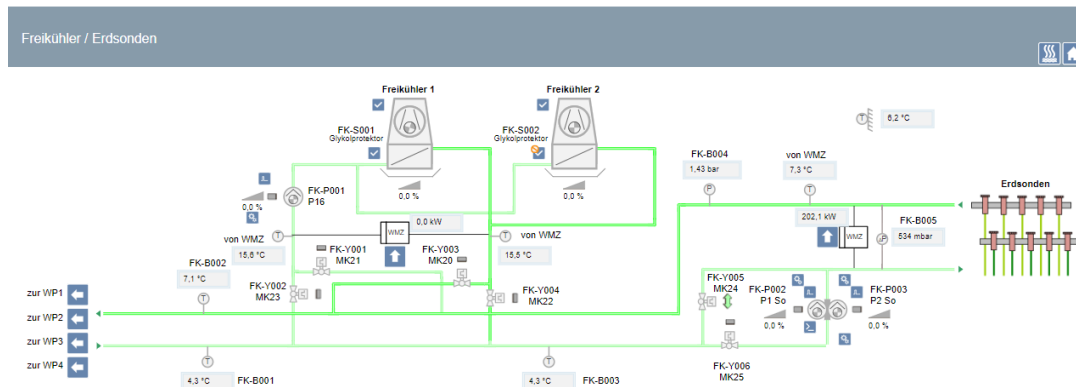
- Fertigstellung



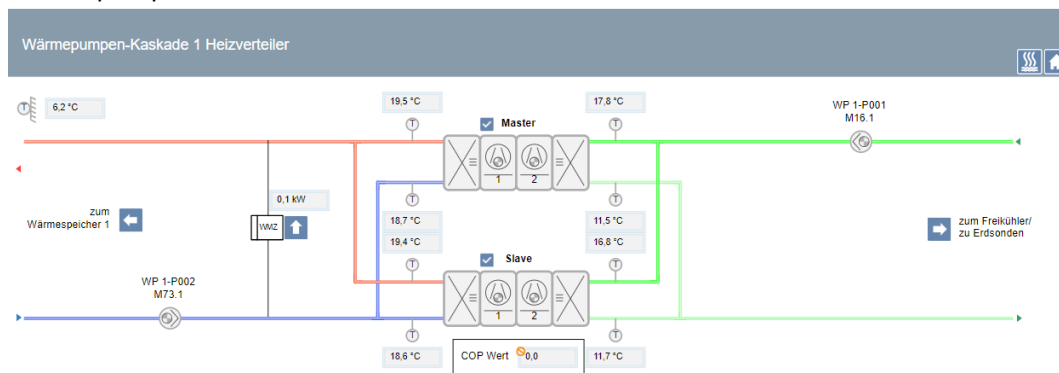
2.3.3 Schemata und Pläne

Nachfolgend sind Ausschnitte aus der Visualisierung der Anlagensteuerung darstellt, anhand derer das Hydraulikkonzept der Anlage nachvollzogen werden kann:

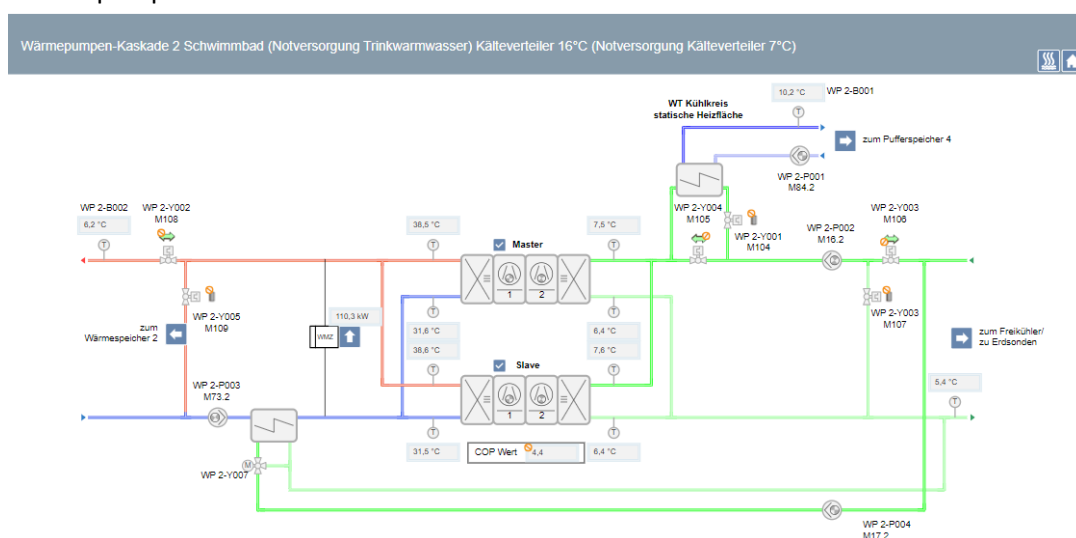
- Freikühler und Erdsondenfeld



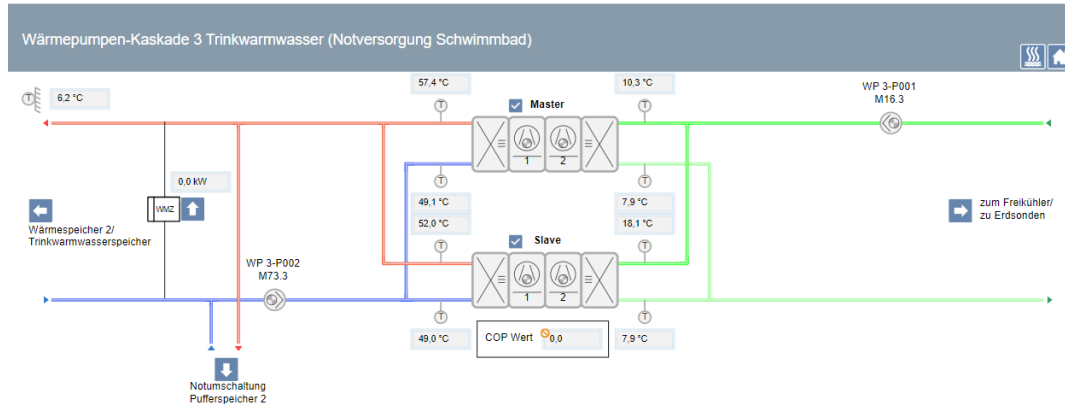
- Wärmepumpe 1



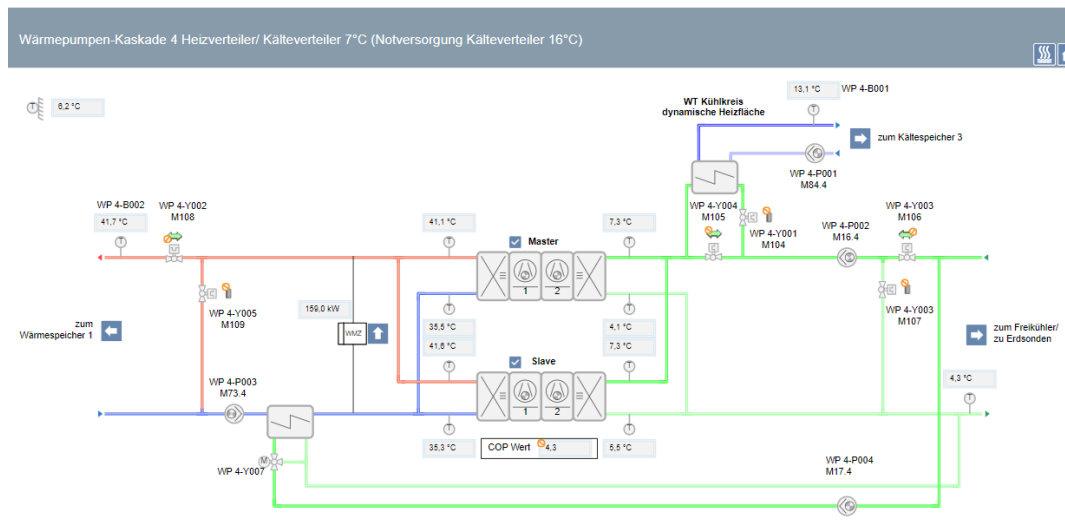
- Wärmepumpe 2



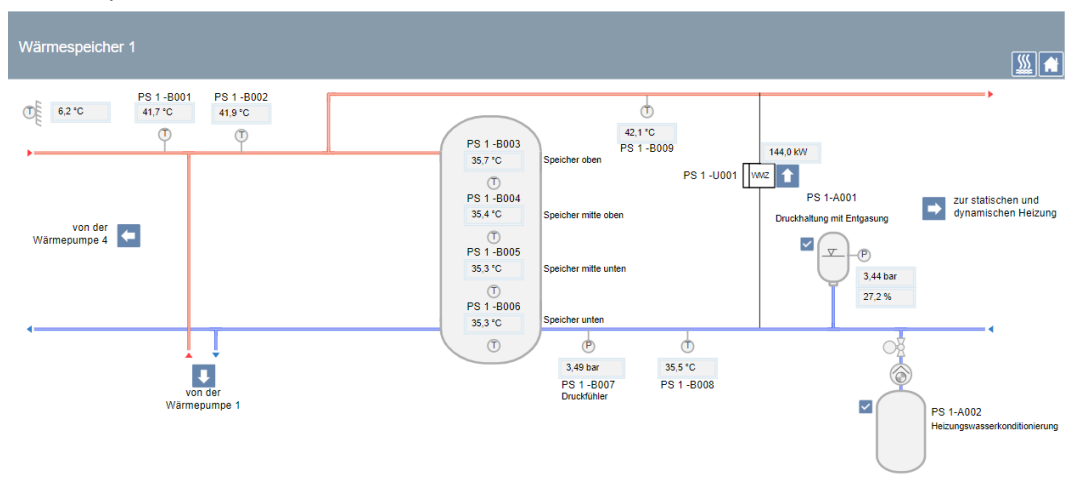
- Wärmepumpe 3



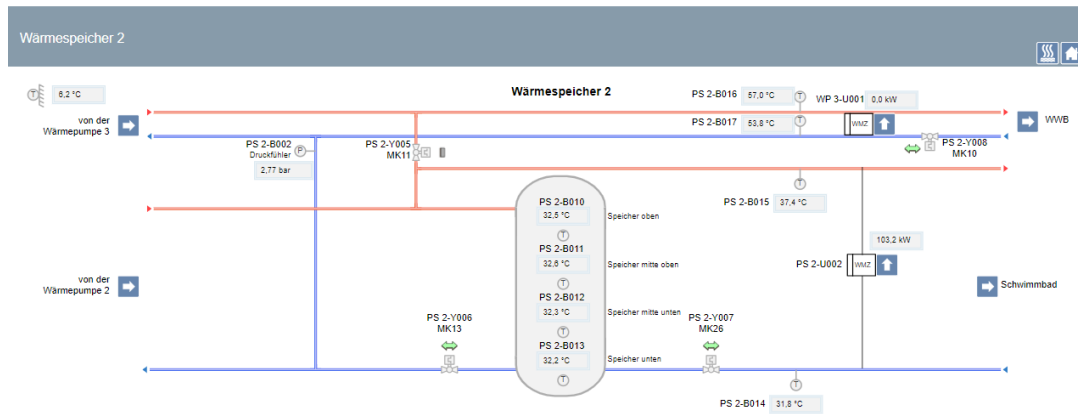
- Wärmepumpe 4



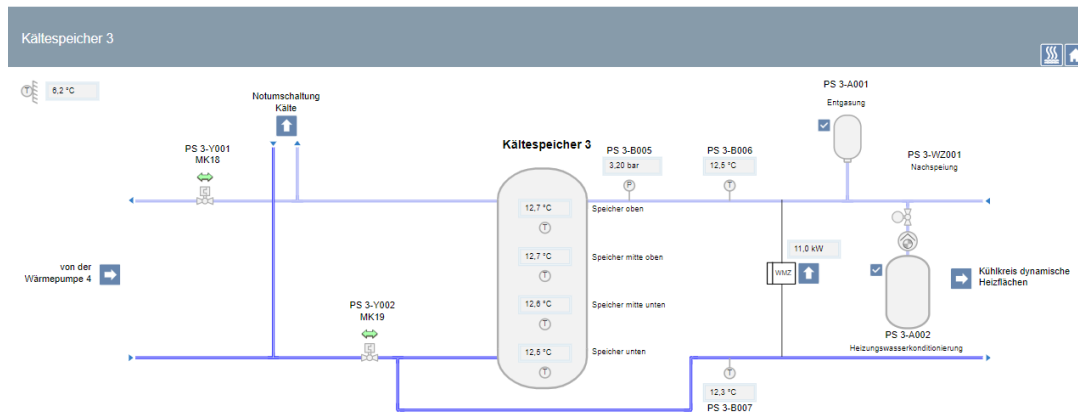
- Wärmespeicher 1



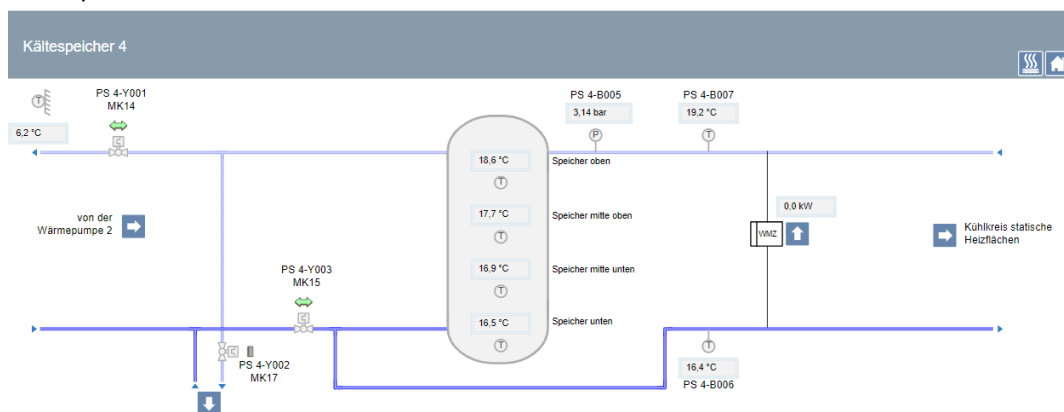
- Wärmespeicher 2



- Kältespeicher 3



- Kältespeicher 4



2.4 Anlagenbetrieb

2.4.1 Auswertung der Betriebsergebnisse

Im September 2022 wurde die Wärmepumpe 1 zur Bereitstellung von Wärme für die Baubeheizung zunächst provisorisch in Betrieb genommen. Seit Mai 2023 befindet sich die gesamte Anlage nun vollständig im Regelbetrieb. Anhand der verbauten Messeinrichtungen lassen sich sämtliche Energieströme (Strom, Heizwärme, Kälte, Umweltwärme) nachverfolgen und für die nachfolgende Auswertung bilanzieren.

Die folgende Auswertung bezieht sich auf die Betriebsdaten aus dem ersten vollständigen Betriebsjahr (Anfang Mai 2023 bis Ende Mai 2024).

Bilanzierung: Wärme

Im ersten Betriebsjahr wurden in Summe 1.586.000 kWh Wärme erzeugt. 84 % der Wärme wurden dabei von den Wärmepumpen 2 (Schwimmbad, 42 %) und 4 (dyn. und stat. Heizung, 42 %) bereitgestellt. Wärmepumpe 1, die zur Unterstützung der Wärmepumpe 4 dient, war im ersten Betriebsjahr kaum in Betrieb. Etwa 16 % der jährlichen Wärmeerzeugung sind der Wärmepumpe 3 und damit der Warmwasserbereitung zuzuordnen.

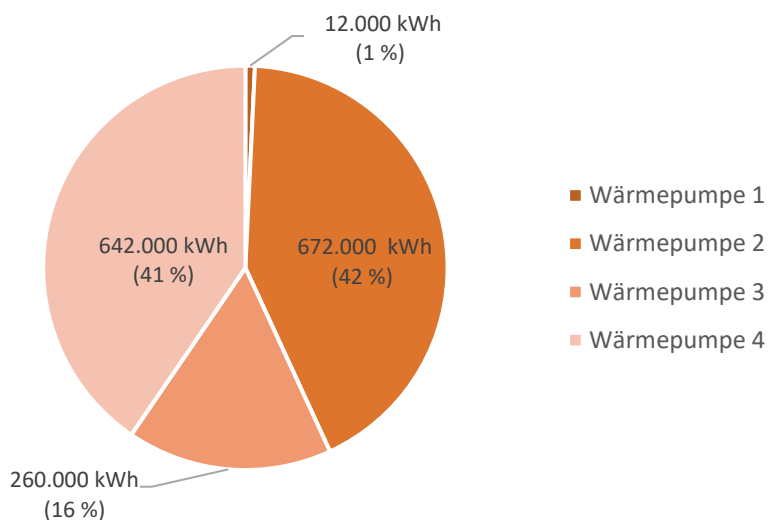


Abbildung 10: Zusammenstellung Wärmeerzeugung

Von den erzeugten 1.586.000 kWh Wärme wurden rund 1.213.000 kWh (76 %) aktiv vom Gesundheitsresort bezogen. Der Differenzbetrag setzt sich aus der Abwärme aus dem Kühlbetrieb (286.000 kWh), der nicht für Heizzwecke genutzt werden konnte und somit dem Erdreich zur Regeneration zugeführt wurde, und den internen Wärmeverlusten (86.000 kWh) zusammen.

Bilanzierung: Kälte

Wärmepumpe 2 und Wärmepumpe 4 haben im ersten Betriebsjahr rund 372.000 kWh Kälte bereitgestellt. 80 % der Kältebereitstellung ist hierbei auf Wärmepumpe 4 (Kühlkreis RLT) zurückzuführen. Der Flächenkühlung mittels Wärmepumpe 2 können etwa 20 % zugeordnet werden.

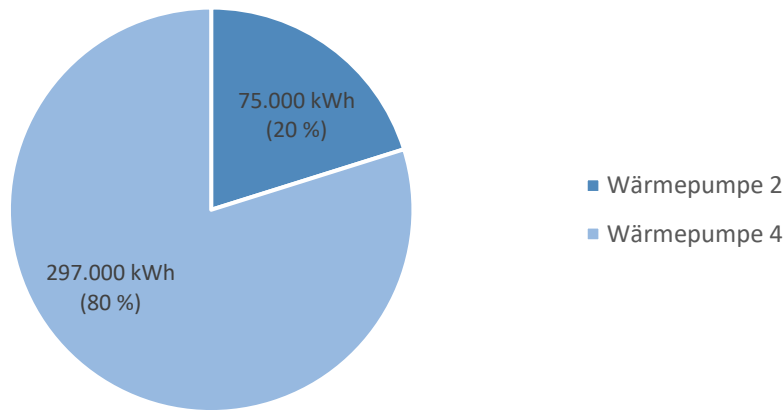


Abbildung 11: Zusammenstellung Kälteerzeugung

Bilanzierung: Wärmequellen

Zur Bereitstellung von Wärme und Kälte mittels der Wärmepumpen wurden dem Erdsondenfeld rund 680.000 kWh Wärme entzogen. Zusätzlich wurden rund 75.000 kWh durch die beiden Freikühler aus der Außenluft gewonnen. Etwa 286.000 kWh wurden dem Erdsondenfeld im Rahmen der Regeneration in Form von Abwärme wieder zugeführt.

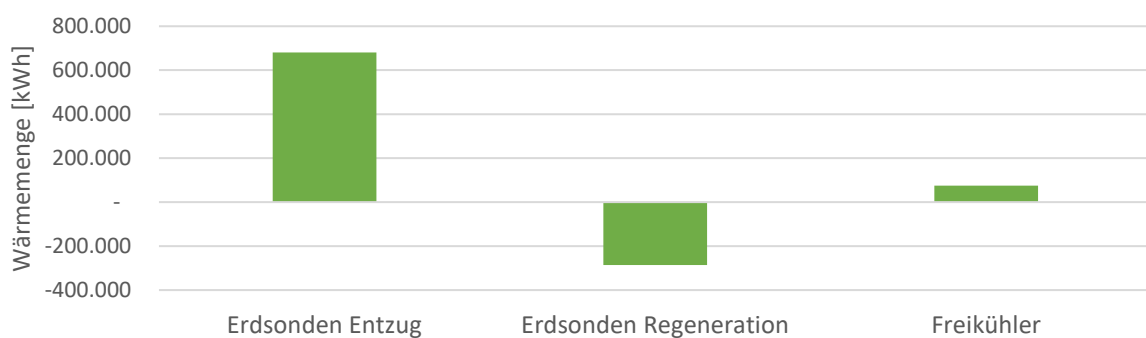


Abbildung 12: Wärmequellenbilanzierung

Energetische Bewertung:

Für die energetische Bewertung der Wärmepumpen wird das Verhältnis von erzeugter Wärme- und/ oder Kälte zu der dafür benötigten Strommenge herangezogen. Durch die Bildung entsprechender Kennzahlen (Jahresarbeitszahl, Coefficient of Performance, etc.) lässt sich die Effizienz

einer Wärmepumpe beschreiben und vergleichen. Die entsprechenden Energiemengen sind für das erste Betriebsjahr für jede Wärmepumpe in der nachfolgenden Abbildung dargestellt:

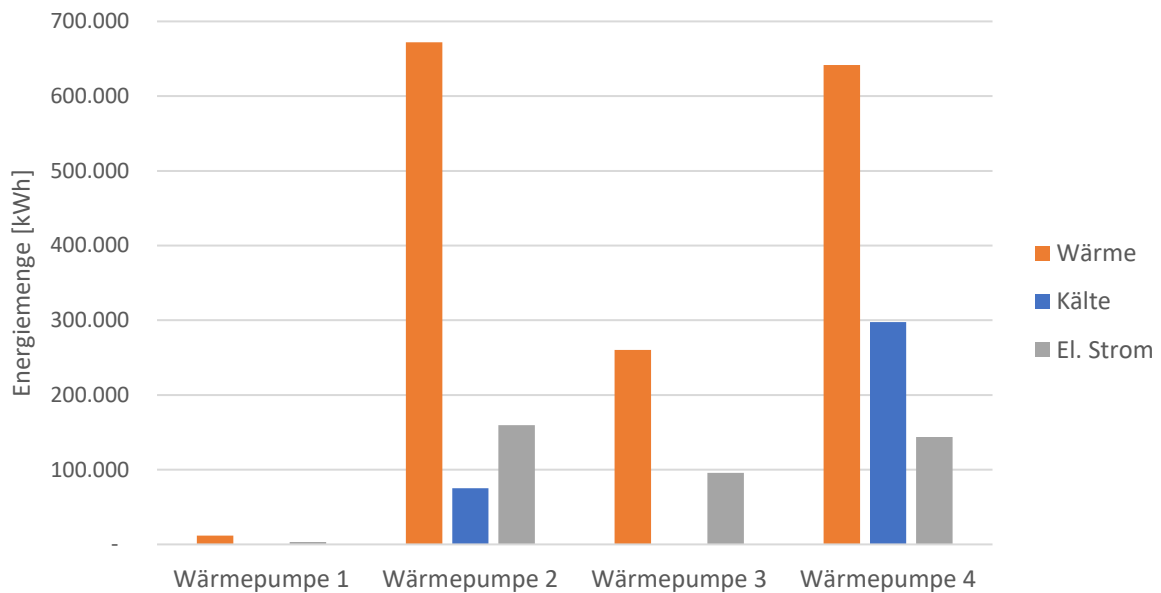


Abbildung 13: Energiebilanz pro Wärmepumpe

Wärmepumpe 1 ist der Spitzelasterzeuger für die Objektbeheizung und hatte im Betrachtungszeitraum nur wenige Einsatzstunden. Ca. 12.000 kWh Wärme wurden auf einem Temperaturniveau zwischen 40 und 50 °C für die Objektbeheizung in der Spitzenlast bereitgestellt. Dafür wurden rund 3.350 kWh Strom benötigt. Anhand dieser Werte lässt sich für den Betrachtungszeitraum eine Jahresarbeitszahl (JAZ) in Höhe von 3,6 herleiten.

Wärmepumpe 2 wird für die Beheizung des Schwimmbades und zur Kühlung der Hotelanlage eingesetzt. Die Wärmepumpe lieferte für die Schwimmbadbeheizung anfänglich eine Vorlauftemperatur in Bereich von 35 bis 40 °C. Im Dezember wurde auf Wunsch der Bauherrschaft die Vorlauftemperatur auf 40 bis 45 °C erhöht. Zur Kühlung wird eine Vorlauftemperatur von 13 bis maximal 16 °C bereitgestellt. Im Betrachtungszeitraum wurden ca. 672.000 kWh Wärme und ca. 75.000 kWh Kälte bei einem Stromeinsatz von rund 160.000 kWh bereitgestellt. Die kombinierte Anlageneffizienz (Heizen + Kühlen) ϵ_{WPA} ergibt sich zu 4,7. Anhand der Trends der Gebäudeleittechnik kann für den reinen Heizbetrieb ein durchschnittlicher Coefficient of Performance (COP) von 3,8 bis 4,4 beobachtet werden. Ein zeitgleiches Heizen und Kühlen (Systemkühlung) hat bisher nur sehr vereinzelt stattgefunden, sodass aufgrund der wenigen Messpunkte eine Auswertung des COP für diesen Betriebsmodus nicht sinnvoll erscheint.

Wärmepumpe 3 steht für die Brauchwarmwasserbereitung zur Verfügung und liefert Wärme mit einem Temperaturniveau von 55 bis 65 °C. Es wurden bisher rund 260.000 kWh Wärme bei einem Strombedarf von 96.000 kWh bereitgestellt. Die Jahresarbeitszahl (JAZ) ergibt sich zu 2,7.

Wärmepumpe 4 ist als Grundlasterzeuger für die Objektbeheizung sowie für die Kältebereitstellung zuständig. Die Wärmepumpe lieferte für die Objektbeheizung eine Vorlauftemperatur im Bereich von 40 bis 50 °C. Im Rahmen der Kältebereitstellung wird eine Vorlauftemperatur im Bereich von 7 bis maximal 15 °C erforderlich. Im Betrachtungszeitraum wurden ca. 642.000 kWh Wärme und ca. 297.000 kWh Kälte bei einem Stromeinsatz von rund 297.000 kWh bereitgestellt. Die kombinierte

Anlageneffizienz (Heizen + Kühlen) ϵ_{WPA} ergibt sich zu 6,5. Anhand der Trends der Gebäudeleittechnik kann für den reinen Heizbetrieb ein durchschnittlicher Coefficient of Performance (COP) von 3,5 bis 4,2 beobachtet werden. Durch das zeitgleiche Heizen und Kühlen (Systemkühlung) wird ein COP von bis zu 7,0 erreicht.

Addiert man sämtliche erzeugten Wärme- und Kältemengen und setzt diese ins Verhältnis zum Stromeinsatz der gesamten Technikzentrale, so erhält man eine kombinierte Anlageneffizienz $\epsilon_{WPA, \text{gesamt}}$ von 4,8.

Anhand der Auswertung des Anlagenbetriebs lässt sich folgendes zusammenfassen:

- Alle vier Wärmepumpen arbeiten nicht so effizient, wie ursprünglich auf den Datenblättern angegeben. Im Durchschnitt liegen die Effizienzwerte 5 bis 10 % unter den auf den Datenblättern angegebenen Werten.
Aufgrund der dynamischen Betriebsbedingungen (schwankende Wärmequellentemperaturen, schwankende Vor- und Rücklauftemperaturen, schwankende Pumpenleistung, etc.) ist es allerdings auch nicht ohne weiteres möglich, die realen Werten mit denen auf dem Datenblättern zu vergleichen, da letztere i.d.R. auf einem Teststand bei konstanten Betriebsbedingungen ermittelt wurden und in der Praxis somit nur schwer reproduzierbar sind.
- Die Systemkühlung, also zeitgleiches Heizen und Kühlen, kommt vor allem bei Wärmepumpe 2 bisher nicht so oft zum Einsatz, wie ursprünglich erhofft. Dies wirkt sich negativ auf die Anlageneffizienz und damit auf die Betriebskosten aus.
- Die im Vorfeld simulierten Wärme- und Kältebedarfe (vgl. Kapitel 2.2.1) wurden bereits im ersten Betriebsjahr deutlich übertroffen:
 - Wärme: 1.213.200 kWh statt 768.000 kWh (+ 58 %)
 - Kälte: 372.500 kWh statt 191.000 kWh (+ 95 %)

Da bei diesem Versorgungskonzept das Erdsondenfeld in Abhängigkeit vom prognostizierten Wärme- und Kältebedarf dimensioniert wurde, muss streng beobachtet werden, ob eine zu hohe Wärmeentnahme aus dem Erdsondenfeld langfristig nicht zu einer Auskühlung des Bodens führt. Gleichzeitig wurde das Erdsondenfeld mit rund 370.000 kWh Wärme aber auch regeneriert, was sich wiederum positiv auf die Langlebigkeit des Erdsondenfeldes auswirken sollte. Da sich das Gesundheitsresort im ersten Betriebsjahr noch in der Anlaufphase befunden hat und bisher von keiner Vollbesetzung auszugehen ist, ist zu erwarten, dass sich die Wärme- und Kältebedarfe zukünftig jedoch noch etwas erhöhen werden.

Exkurs:

Die Effizienz einer Wärmepumpe wird in Form der Kennzahl Coefficient of Performance (kurz: COP), dem Verhältnis aus bereitgestellter Wärmeleistung (kW) zu eingesetzter Stromleistung (kW), dargestellt. Bei der Bilanzierung von Energiemengen (kWh) über einen definierten Zeitraum spricht man von der Jahresarbeitszahl (kurz: JAZ):

$$COP = \frac{\dot{Q}_{th}}{P_{el}} \text{ bzw. } JAZ = \frac{Q_{th}}{W_{el}}$$

Wird mit einer Wärmepumpe Kälte erzeugt, lässt sich deren Effizienz durch das Verhältnis aus bereitgestellter Kühlleistung (kW) zu eingesetzter Stromleistung (kW) definieren. Dargestellt wird sie in Form der Kennzahl Energy Efficiency Ratio (kurz: EER). Analog zur Jahresarbeitszahl kann auch eine Bilanzierung von Energiemengen (kWh) über einen definierten Zeitraum erfolgen.

$$EER = \frac{\dot{Q}_K}{P_{el}} \text{ bzw. } EER_{\Delta} = \frac{Q_K}{W_{el}}$$

Bei gleichzeitigem Wärme- und Kältebedarf kann durch eine spezielle hydraulische Verschaltung dem Kältespeicher Wärme entzogen und mittels Wärmepumpe direkt in den Wärmespeicher transportiert werden. Durch Nutzung dieses Synergieeffekts lässt sich die Effizienz der Wärmepumpe nochmals deutlich erhöhen. Mathematisch ausgedrückt bedeutet dies die Addition der beiden Kennzahlen (Leistungszahl ε_{WP}):

$$\varepsilon_{WP} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = COP + EER = \frac{\dot{Q}_{th} + \dot{Q}_K}{P_{el}}$$
$$\varepsilon_{WP\Delta} = JAZ + EER_{\Delta} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{Q_{th} + Q_K}{W_{el}}$$

2.4.2 Aufgetretene Störungen und Lösungsansätze im Betrieb

Während des bisherigen Anlagenbetriebs sind nur vereinzelt Störungen aufgetreten:

- **Betrieb der Wärmepumpe 2 außerhalb der Einsatzgrenzen**

Die Wärmepumpen besitzen sowohl wärmequellen- als auch wärmesenkenseitig Einsatzgrenzen, die stets einzuhalten sind. Im Fall der Wärmepumpe 2, die für die Wärmeversorgung Heizkreis Wärmetauscher Schwimmbad (35/30 °C) zuständig ist, ist darauf zu achten, dass die Rücklauftemperatur den Grenzwert von 25 °C nicht unterschreitet. Da der Rücklauf im Auslegungsfall bereits nur 30 °C beträgt, kann es bei einer länger anliegenden Störung seitens der Schwimmbadtechnik oder der Wärmepumpe schnell zu einem Temperaturabfall kommen, der den Rücklauf auf unter 25 °C absinken lässt. Auch muss darauf geachtet werden, dass die Temperatur des Schwimmbeckens über die Steuerung der Schwimmbadtechnik nicht zu weit abgesenkt wird, um jederzeit eine Rücklauftemperatur von 25 °C für die Wärmepumpe zu gewährleisten.

Diese Art von Störung trat sowohl durch eine kundenseitige Fehlbedienung der Steuerung der Schwimmbadtechnik (Absenkung der Beckentemperatur auf 20 °C) sowie durch eine Störung einer Pumpe im Bereich der Schwimmbadtechnik und der daraus resultierenden natürliche Auskühlung des Beckens auf. In einem solchen Fall ist die Wärmeabnahme durch den Heizkreis Wärmetauscher Schwimmbad manuell über Absperrklappen einzudrosseln und die Wärmepumpe manuell so in Betrieb zu nehmen, dass diese schnell wieder die erforderliche Rücklauftemperatur erreicht.

Um Störungen dieser Art zukünftig zu vermeiden, wurde eine Schulung und Sensibilisierung der zuständigen Servicemonteur und Haustechniker des Gesundheitsresorts durchgeführt. Ferner wurden Arbeitsanweisungen ausgearbeitet und eine entsprechende Beschilderung mit Hinweisen vor Ort angebracht.

Um manuelle Eingriffe zu vermeiden, wurde den Haustechnikern des Gesundheitsresorts empfohlen, eine automatisierte Rücklaufanhebung über ein 3-Wege-Ventil im Bereich der Schwimmbadtechnik zu installieren.

- **Druckabfälle in einzelnen Heiz- und Kühlkreisen**

Da das Hotel derzeit stückweise in Betrieb genommen wird, werden schrittweise einzelne Heiz- und Kühlkreise innerhalb des Gebäudes nach und nach zugeschalten. Durch gelegentliche Lufteinschlüsse in diesen Teilabschnitten kommt es durch die automatische Entlüftung daher immer wieder zu Druckabfällen in den entsprechenden Heiz- und/oder Kühlkreisen, die wiederum den Anlagenbetrieb stören.

Als Folge ist der erforderliche Anlagendruck durch eine gezielte Nachspeisung von aufbereitetem Wasser wieder aufzubauen. Dies erfolgt je nach betroffenem Heiz- oder Kühlkreis durch einen manuellen Eingriff, oder durch eine automatisierte, pumpengesteuerte Druckhaltung.

Da die einzelnen Heiz- und Kühlkreise in sich geschlossen sind, kann davon ausgegangen werden, dass nach dem ersten Betriebsjahr kaum noch Lufteinschlüsse vorhanden sind. Folglich sind Störungen dieser Art vorerst nicht mehr zu erwarten. Im Falle von zukünftigen Wartungs- oder Instandhaltungsarbeiten an den Verteilnetzen ist darauf zu achten, dass die Leitungen korrekt entlüftet und der Anlagendrucke korrekt eingestellt werden.

- **MSR-Technik**

Im laufenden Anlagenbetrieb wurde festgestellt, dass es noch vereinzelte Optimierungspotenziale an der übergeordneten Anlagensteuerung gibt. Bspw. wurde nachträglich eine Verzögerungszeit für die Abwahl der Wärmepumpe 2 einprogrammiert, um ein Ein- und Ausschalten der Wärmepumpe während der Rückspülung der Filteranlage der Schwimmbadtechnik zu überbrücken.

Grundsätzlich war eine umfangreiche Feinjustierung der zahlreichen Steuerungsparameter erforderlich, um die maximale Effizienz der Anlage zu erreichen. Häufig werden Anlagen vom Heizungsbauer einmalig in Betrieb genommen und im Anschluss steuerungstechnisch nicht weiter optimiert. Vor allem in den ersten Betriebsmonaten sollten die Anlage intensiv beobachtet und die Steuerungsparameter nachjustiert werden, um einen effizienten Anlagenbetrieb sicherzustellen. Eine Fernzugriffsmöglichkeit auf die Anlagensteuerung ist hierbei ein entscheidender Vorteil. Mit steigender Komplexität der Anlage bietet es sich an, Experten für die Optimierung hinzuzuziehen oder die Anlagenbetreuung wie in diesem Fall vollständig einem kompetenteren Fachfirma zu überlassen.

2.5 Ökologischer Nutzen

Im Förderantrag wurde auf die im Vorfeld durchgeführte Voruntersuchung zu den CO₂-Emissionen verschiedener Energieversorgungsvarianten, durchgeführt durch die Stahl+Weiß PartGmbH, verwiesen. Diese kam zu dem Ergebnis, dass bei einer Wärmeversorgung auf der Basis von Wärmepumpen in Kombination mit einer Kompressionskältemaschine CO₂-Emissionen in Höhe von 50 t/a zu erwarten sind. Das Anlagenkonzept wurde im Nachgang zu dieser Studie zwar weiter optimiert, sodass die Kältebereitstellung wie im Vortext beschrieben nun auch über die Wärmepumpen realisiert wird, trotz dieser Änderung kann aber grundsätzlich von vergleichbaren jährlichen CO₂-Emissionen ausgegangen werden.

Als Vergleichswert wurde der jährliche CO₂-Austoß einer Wärmeversorgung basierend auf einem Heizöl-BHKW in Kombination mit einem Heizölkessel und einer Kompressionskältemaschine ermittelt. Dieser Wert wurde mit 270 t/a beziffert. Auf eine erdgasbasierte Wärmeversorgung konnte nicht zurückgegriffen werden, da am Standort des Gesundheitsresorts keine Erdgasversorgung zur Verfügung steht.

Entscheidend für die CO₂-Emissionen einer Wärmepumpe sind die Effizienz der Wärmepumpe sowie die ökologische Bewertung des eingesetzten elektrischen Stroms. Wird der Strombedarf einer Wärmepumpe ausschließlich durch elektrischen Strom aus erneuerbaren Energiequellen gedeckt, so entstehen durch die Wärme- und Kältebereitstellung keine CO₂-Emissionen.

Beim Gesundheitsressort gibt es derzeit keine erneuerbaren Stromquellen wie z. B. Photovoltaikanlagen, allerdings wird für den Betrieb der Wärmepumpenanlage ausschließlich (bilanzieller) Ökostrom bezogen, durch den somit keine CO₂-Emissionen verursacht werden (vgl. Abbildung 14).

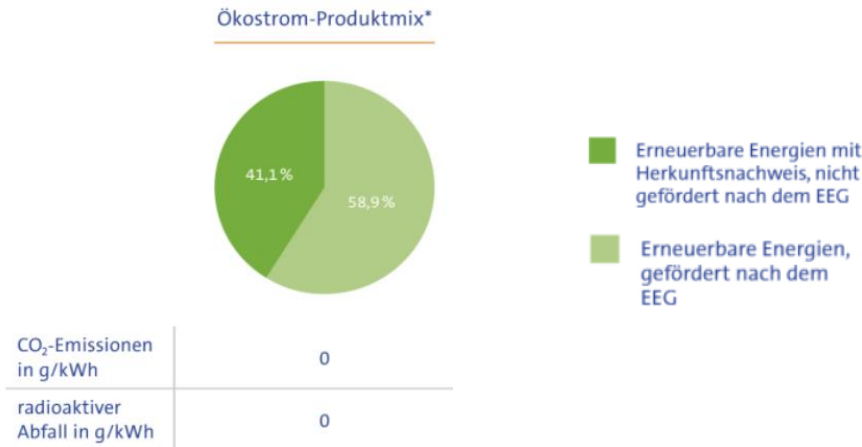


Abbildung 14: Ökostrom-Produktmix der badenova AG (Stromkennzeichnung 2022 gemäß § 42 Energiewirtschaftsgesetz)

2.6 Betrachtung der Wirtschaftlichkeit

2.6.1 Investitionskosten

In der nachfolgenden Tabelle sind Investitionskosten dargestellt.

Tabelle 3: Investitionskosten

Heizungstechnik	610.000 €
Elektrotechnik	62.000 €
MSR-Technik	90.000 €
Projektmanagement	100.000 €
Sonstiges	10.000 €
SUMME	872.000 €

Die Planung der Anlage wurde uns bei diesem Projekt von den Bauherren des Gesundheitsresorts kostenlos bereitgestellt.

Mit rund 70 % ist der Großteil der Kosten auf die Errichtung der Anlage durch den Heizungsbauer und die Beschaffung der Wärmepumpen zurückzuführen. Die Gewerke Elektrotechnik (Unterverteilung und Verkabelung) und MSR-Technik (übergeordneten Anlagensteuerung) veranschlagen in Summe ca. 17 % der Gesamtkosten. 11 % sind dem Projektmanagement zuzuordnen, 1 % verbleibt für sonstige Ausgaben. In Summe lagen die Kosten für die Errichtung der Anlage bei rund 872.000 €

2.6.2 Betriebskosten

Die verbrauchsabhängigen Betriebskosten bestehen im Wesentlichen aus den Stromkosten für den Betrieb der Wärmepumpen inkl. Peripherie sowie den beiden Freikühlern und werden auf rund 60.000 € pro Jahr geschätzt.

Hinzu kommen die verbrauchsunabhängigen Betriebskosten wie Wartung und Instandsetzung, Wartungsverträge mit externen Dienstleistern und Versicherungen. Diese Kosten wurden in Summe

mit 21.000 €/a beziffert. Zusätzlich fallen für den Betrieb der Anlage Personalkosten an. Es wurden für die Betreuung der Anlage 100 h/a für Servicemonteure und 20 h/a für Ingenieure kalkuliert, was zu Personalkosten in Höhe von ca. 10.000 €/a führt.

Die prognostizierten Betriebskosten belaufen sich in Summe demnach auf ca. 91.000 € pro Jahr.

2.6.3 Verbesserung der Wirtschaftlichkeit

Die Kosten für die Errichtung der Anlage hätten reduziert werden können, wenn die Räumlichkeiten dem Verwendungszweck entsprechend dimensioniert worden wären. Die Technikzentrale ist für eine derart komplexe Anlage viel zu klein, was die Montage erheblich erschwert hat und auch die spätere Wartung und Instandhaltung erschweren wird. Auch die Ausführungsplanung der Anlage hätte detaillierter durchgeführt und durch 3D-Aufstellpläne ergänzend werden können. Beides hätten den Montageaufwand des Heizungsbauers deutlich reduziert.

Im laufenden Betrieb kann eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit im Wesentlichen durch folgende Punkte erzielt werden:

- **Optimierung der Anlagenparameter für eine maximale Anlageneffizienz:**
Eine höhere Anlageneffizienz reduziert den Strombedarf und dadurch die jährlichen Stromkosten. Die Optimierung ist jedoch nur bis zu einem bestimmten Grad möglich.
- **Optimierung des Anlagenbetriebs:**
Durch einen optimierten Anlagenbetrieb können auftretende Störungen und damit der Personalaufwand für die Betreuung der Anlage reduziert werden. Ferner kann dadurch der Verschleiß einzelner Anlagenkomponenten reduziert und der Wartungs- und Instandhaltungsaufwand minimiert werden. Allerdings ist auch diese Optimierung nur bis zu einem bestimmten Grad möglich.
- Auch eine Reduzierung des spezifischen Strompreises würde die betriebsgebundenen Kosten und damit die Wirtschaftlichkeit der Anlage schlagartig verbessern. Dies würde sich bspw. durch die Errichtung einer Photovoltaikanlage zur Versorgung der Wärmepumpen unter Anwendung eines entsprechenden Messkonzeptes realisieren lassen. Derzeit befindet sich noch keine Photovoltaikanlage auf dem Dach des Gesundheitsresorts. Ob der Eigentümer bereits perspektivisch eine Photovoltaikanlage plant, ob diese nur zur Versorgung des Gebäudes oder auch zur Versorgung der Wärmepumpen verwendet werden soll, ob die vorhandenen Flächen überhaupt ausreichen, um den Strombedarf der Wärmepumpen und den des Gebäudes zu decken, etc. müsste jedoch gesondert im Detail untersucht werden.
- Ferner könnte eine strommarktdienliche Fahrweise der Wärmepumpen die Betriebskosten senken. Die Wärmepumpen könnten dann Wärme und Kälte erzeugen, wenn die Strompreise besonders niedrig sind. Dies setzt allerdings eine zeitliche Entkopplung von Wärme- bzw. Kälteerzeugung und Wärme- bzw. Kälteverbrauch durch thermische Pufferspeicher voraus. Die vorhandenen thermischen Pufferspeicher sind hierfür jedoch zu klein dimensioniert, sodass bei diesem Szenario deutlich größere thermische Pufferspeicher zur Überbrückung von Zeiten mit hohen Strompreisen erforderlich werden.

3 Wirkung der Umsetzung

3.1 Zukünftiger Betrieb

Bei der Anlage handelt es sich um die erste Anlage dieser Art bei badenovaWÄRMEPLUS, somit hat sie keine direkten Auswirkungen auf den Betrieb anderer Anlagen. Da es sich um ein neuartiges Anlagenkonzept handelt, werden sich die zuständigen Servicetechniker zunächst langsam mit der Anlagentechnik und deren Bedienung vertraut machen müssen. Aufgrund des innovativen Anlagenkonzeptes gibt es diverse Besonderheiten, auf die im täglichen Betrieb speziell geachtet werden muss und die für die Servicetechniker eine gewisse Herausforderung darstellen.

Da es sich beim Gesundheitsresort Schwarzwald Luisenhöhe um einen sehr sensiblen Kunden handelt, der nur kurzzeitige Unterbrechungszeiten im Falle einer Anlagenstörung in Kauf nehmen kann, ist das Betriebspersonal gut zu schulen und auf diverse Störungsszenarien vorzubereiten.

Auch ist eine gute Kommunikation zwischen den Haustechnikern des Gesundheitsresorts und den Servicetechnikern der badenovaWÄRMEPLUS essenziell, um langfristig einen reibungslosen Betrieb der Anlage zu ermöglichen.

3.2 Übertragbarkeit der Projektergebnisse

Das umgesetzte Anlagenkonzept ist ein innovatives Versorgungskonzept für Objekte mit erhöhtem Wärme- und Kältebedarf und kann sicherlich zukünftig bei vergleichbaren Bauvorhaben erneut Anwendung finden. Aufgrund der Tatsache, dass größere Wärme- und Kältebedarfe zunächst ohne den örtlichen Einsatz von fossilen Energieträgern bedient werden können, ist das Konzept zukunftsweisend. Besonders der Kältebedarf wird aufgrund des Klimawandels künftig ansteigen.

Optimierungspotenzial hat das Konzept hinsichtlich der zusätzlichen Einbindung von regenerativen Stromerzeugungsanlagen, die den örtlichen Strombedarf für den Betrieb der Wärmepumpen zumindest anteilig decken können.

Der Bau von Wärmepumpenanlagen wird zukünftig vermutlich stark zunehmen, besonders weil dies aktuell auch von der Politik stark befürwortet und vorangetrieben wird. Daher konnten bei diesem Projekt wichtige und hilfreiche Erkenntnisse für zukünftige Projekte gesammelt werden.

4 Öffentlichkeitsarbeit

4.1 Vorträge

Im Rahmen des 8. IDM Planerforum für Großwärmepumpen (25.04.2024, Alpbach Österreich) wurde das innovative Anlagenkonzept in Form eines Vortrags den Teilnehmern des Planerforum vorgestellt.

Link: https://www.idm-energie.at/planerforum_grosswaermepumpen/

4.2 Flyer, Presse, Veröffentlichungen

Kurzartikel im Magazin „*meine ENERGIE*“ (Herausgeber: badenova AG & Co. KG) in der Ausgabe vom Herbst 2020 (Ausgabe 03/2020):



5 Zusammenfassung/Fazit

Das Projekt konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Es gab aufgrund von einigen Hindernissen beim Bau der Technikzentrale teilweise Kostensteigerungen und Verzögerungen im Bauablauf, die aber bei solchen Projekten mit vielen Schnittstellen und Beteiligten nicht unüblich sind und alle gut gelöst werden konnten. Im Betrieb konnten viele wichtige Erkenntnisse gesammelt werden, besonders hinsichtlich der Betriebsweisen von Wärmepumpen in Zusammenspiel mit unterschiedlichen Wärmequellen. Die bisher im Betrieb aufgetretenen Probleme konnten weitestgehend gelöst werden. Das Anlagenkonzept kann somit als Blaupause für zukünftige Vorhaben dienen und zeigt auf, wie die Dekarbonisierung der Wärme- und Kälteversorgung von energieintensiven Objekten gelingen kann.

6 Anlage: Projekterkenntnisse

Darstellung drei wesentlicher Erkenntnisse aus dem Projekt.

(Je Punkt maximal 300 Zeichen.)

1.	Eine CO ₂ -arme Wärme- und Kältebereitstellung für energieintensive Objekte ist durch den Einsatz von Wärmepumpen wirtschaftlich realisierbar.
2.	Anlagenkonzepte basierend auf Wärmepumpen sind sowohl in der Planungsphase als auch im Bau und späteren Betrieb deutlich komplexer und anspruchsvoller als Anlagenkonzepte basieren auf Kesselanlagen oder BHKWs in vergleichbaren Leistungsklassen.
3.	Der Aufwand für die Abstimmung und Koordination von Schnittstellen bei einem Anlagenkonzept mit direkter Objektversorgung darf bei größeren Bauprojekten nicht unterschätzt werden.