

Energiekonzept für den neuen Stadtteil Dietenbach

im Auftrag der Stadt Freiburg



Bildquelle: www.freiburg.de

Ergänzung 1 zum Abschlussbericht vom 28.10.2021

Projektleitung: M.Sc. Tobias Nusser

Bearbeitung: M.Sc. Matthias Stickel
M.Sc. Simone Idler

Stand: 29.10.2021

EGS-plan Ingenieurgesellschaft für Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH
Gropiusplatz 10 . D-70563 Stuttgart
Tel. +49 711 99 007 - 5 . Fax +49 711 99 007 - 99
info@egs-plan.de . www.egs-plan.de

NordLB Braunschweig . BLZ 250 500 00 . Kto.-Nr. 20 740 60
IBAN-Nr. DE48 2505 0000 0002 0740 60 . BIC-/SWIFT-Code: NOLADE 2HXXX
Ust.-IdNr. DE218431901 . Registergericht Stuttgart . HRB 22434

Geschäftsführer:
Dipl.-Ing. Jörg Baumgärtner
Dr.-Ing. Boris Mahler
Direktor:
Univ. Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch

211029 Abschlussbericht Ergänzung 01 - EK
Dietenbach E15331 final

Auftraggeber / Bauherr Stadt Freiburg
Fehrenbachallee 12
79106 Freiburg im Breisgau

Auftragnehmer EGS-plan Ingenieurgesellschaft für
Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH
Gropiusplatz 10
70563 Stuttgart

Tel. +49 711 99 007 - 5
Fax +49 711 99 007 - 99
www.egs-plan.de
info@egs-plan.de

Projektleitung M.Sc. Tobias Nusser

Bearbeitung M.Sc. Matthias Stickel
M.Sc. Simone Idler

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Ergänzungen zu den Grundlagen	4
3	Sachstand Energieversorgung für den Bauabschnitt 1	4
3.1	Grundwassernutzung	4
3.2	Energiezentrale	5
3.3	Rückfalloption Fernwärme Weingarten	5
4	Grundwassernutzung Variante 4 – Auswirkungen auf das Entwässerungskonzept	7
5	Lage Tiefengeothermie-Fernwärmeleitung Variante 3	8
6	Leistungsbedarf Variante 4 – Gesamter Stadtteil Dietenbach	9
6.1	Stromversorgung der Energiezentrale	10
6.2	Grundwasser-Galerieleitungen	10
7	Energiezentrale	12
7.1	Betriebsweise Elektrolyse	12
7.2	Modulare Ausschreibung	12
8	H₂-Verwertung – Standortbewertung für die Trailerabfüllstation	13
9	Ausgewählte Fragestellungen zur Wirtschaftlichkeitsberechnung	14
9.1	Zusammensetzung der Jahresgesamtkosten?	14
9.2	Wie sind die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu verstehen?	16
9.3	Warum sind in Variante 4 die Investitionskosten sehr hoch, aber dennoch die Wärmekosten je Wohneinheit sehr gering?	16
9.4	Wie wird sichergestellt, dass die Dietenbacher_innen über die Nebenkosten nicht für Elemente bezahlen, die der Gesamtstadt zugutekommen?	17
9.5	Wie wird die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems und seiner einzelnen Elemente, insbesondere der Wasserstoff-Elektrolyse sichergestellt?	18
9.6	Welche Möglichkeiten bestehen, über das Preissystem Anreize für sparsamen Verbrauch zu schaffen?	19
10	Weitere Fragestellungen	19
10.1	Können auch dezentrale Versorgungssysteme realisiert werden?	19
10.2	Wie wird die Kühlung der Gebäude in den Sommermonaten realisiert?	19
11	Anhang	21
11.1	Anhang 1 – Bewertungsmatrix H ₂ -Verwertung Standorte	21
	Abbildungsverzeichnis	22

1 Einleitung

Dieses Dokument beinhaltet ergänzende Informationen zum Abschlussbericht „Energiekonzept für den neuen Stadtteil Dietenbach“ Stand 28.10.2021. Es handelt sich sowohl um ergänzende Informationen und Erläuterungen als auch um aktualisierte Sachstände, die bei der Erstellung des Abschlussberichts noch nicht vorlagen.

In den folgenden Kapiteln wird bei Verweisen auf den Abschlussbericht die Abkürzung **AB** verwendet.

2 Ergänzungen zu den Grundlagen

Erschließung Bauabschnitte

Für die Erschließung der im AB Kapitel 3 beschriebenen Bauabschnitte wird jeweils 1,5 bis max. 2,5 Jahre benötigt.

Energiebedarf Quartiergaragen

Der Strombedarf der Quartiergaragen (Allgemeinstrom vorwiegend für Beleuchtung) wurde bei der Energiebedarfsermittlung berücksichtigt und ist bei allen Varianten entsprechend in der Energiesimulation enthalten. Siehe hierzu Angaben im AB Anhang 8.3.

3 Sachstand Energieversorgung für den Bauabschnitt 1

3.1 Grundwassernutzung

Gemäß der aktuellen Zielvariante 8 des *KIT-AGW-Gutachten 04/2021* werden zur Wärmeversorgung des gesamten Stadtteils (BA1-6) insgesamt 36 Schluckbrunnen und 28 Förderbrunnen benötigt (vgl. AB Abb.13). Die Brunnen haben einen Filterdurchmesser von 600 mm und entsprechend einen Bohrdurchmesser von 1.200 mm. Die maximalen Förder- bzw. Schluckmengen pro Brunnen variieren je nach Lokation der Brunnen von 30 bis 90 m³/h – abhängig von der lokalen Grundwasserergiebigkeit. Die Gesamtleistung beträgt rd. 2.000 m³/h.

Bei der Festlegung der Anzahl an notwendigen Förder- und Schluckbrunnen für die Wärmeversorgung von Bauabschnitt 1 (BA1) wurde die Elektrolyse-Abwärmenutzung bereits berücksichtigt. Die Elektrolyse bildet allerdings generell keine vollständige Grundlast-Wärmeversorgung, da sich der Betrieb der Elektrolyse nicht nach dem Wärmebedarf im Stadtteil, sondern nach dem notwendigen Angebot von erneuerbarem Strom zur Erzeugung von grünem Wasserstoff richtet. Die Elektrolyse-Abwärme stellt jedoch die priorisierte Wärmebereitstellung dar. Die Wärmequelle Abwasser ist für BA1 zunächst noch nicht mit eingeplant. Bei dieser Grundlage werden gemäß Auslegung und Energiesimulation 10 Förderbrunnen und 11 Schluckbrunnen zur Wärmeversorgung von BA1 benötigt.

Die gesamte Straße zum Tiergehege als auch die Straße von der Mundenhofer Straße über die Stadtteilmitte zur FuR-Brücke (über die B31) werden bereits im BA1 erschlossen. Aus diesem Grund müssen bereits im Rahmen des BA1 alle in diesen Straßen geplanten Brunnen vollständig errichtet werden. Das bedeutet die zusätzliche Errichtung von 13 Schluckbrunnen und 10 Förderbrunnen – siehe Abbildung 1.

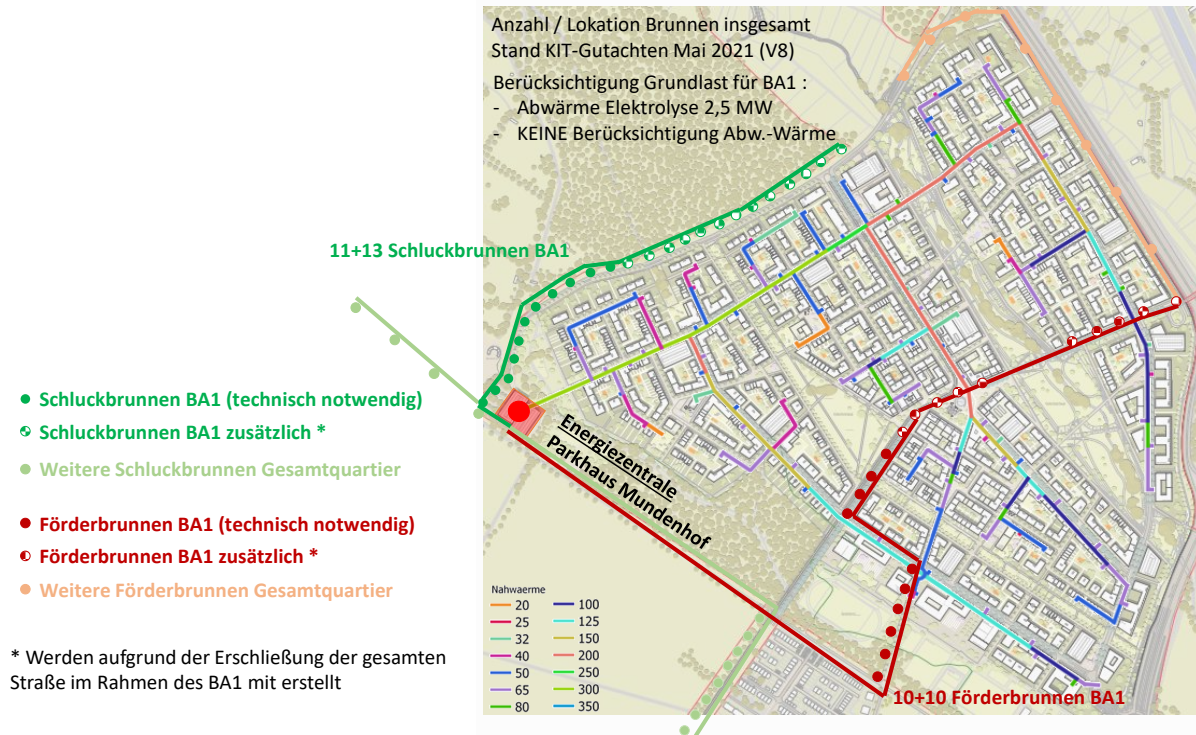


Abbildung 1 : Brunnen zur Wärmeversorgung von Bauabschnitt 1 und Gesamtquartier (Quelle: EGS-plan)

Aktuell wird eine Fortführung des hydrogeologischen Gutachtes erstellt, sodass sich vermutlich die Anordnung und Anzahl der Brunnen noch ändern wird. Ergebnisse sind zum Jahresende 2021 zu erwarten.

3.2 Energiezentrale

Zur Versorgung von Bauabschnitt 1 wird bereits die Energiezentrale, zur Versorgung der für BA1 notwendigen Abschnitte des Nahwärmenetzes, benötigt. Auch die Elektrolyseanlage mit 10 MW elektrischer Leistung und entsprechend rd. 2,5 MW thermisch nutzbarer Abwärme ist vorgesehen. Unter Berücksichtigung der Abwärmenutzung aus der Elektrolyse wird eine Wärmepumpenleistung von rd. 4,5 MW_{th} benötigt (vgl. 20 MW_{th} für den gesamten Stadtteil). Dies entspricht einer maximalen Fördermenge an Grundwasser von rd. 500 m³/h – die sich auf die im vorigen Kapitel 3.1 genannten Brunnen verteilt.

3.3 Rückfalloption Fernwärme Weingarten

Von der badenovaWÄRMEPLUS GmbH wurde als Rückfalloption die Machbarkeit einer Versorgung des Bauabschnitt 1 über das Fernwärmenetz Weingarten bestätigt. Hierzu würde ein Anschlusspunkt an der bestehenden Fernwärmetrasse in der Adelheid-Steinmann-Straße geschaffen werden (siehe Abbildung 3). Das Konzept für die technische Umsetzung sieht vor,

den Rücklauf der Fernwärmetrasse (55°C) auszukoppeln. Das notwendige Temperaturniveau für Dietenbach von 61°C wird über eine Beimischung des Vorlaufs (95°C), mit Hilfe eines Regelventils, erreicht. Siehe hierzu die folgende Abbildung.

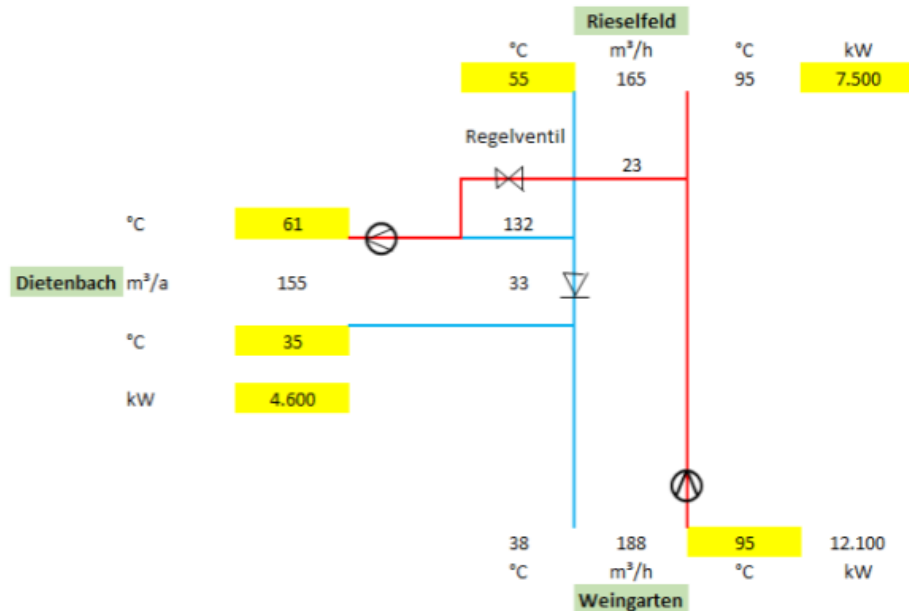


Abbildung 2 : Auskopplung Fernwärme für Dietenbach - hydraulisch technische Umsetzung (Quelle: badenovaWÄRMEPLUS)

Um diese hydraulische Anbindung und Regelung zu ermöglichen, würde laut badenovaWÄRMEPLUS in der Adelheid-Steinmann-Straße ein Bauwerk der Größe einer Fertiggarage errichtet werden (Abbildung 3). Von diesem Anschlusspunkt aus wäre die Versorgungsleitung für Dietenbach über die Mundenhofstraße bis zur Energiezentrale zu führen. Laut badenovaWÄRMEPLUS könnte hierfür ggf. übergangsweise die geplante Tiefengeothermie-Fernwärmeleitung genutzt werden – siehe Abbildung 4.

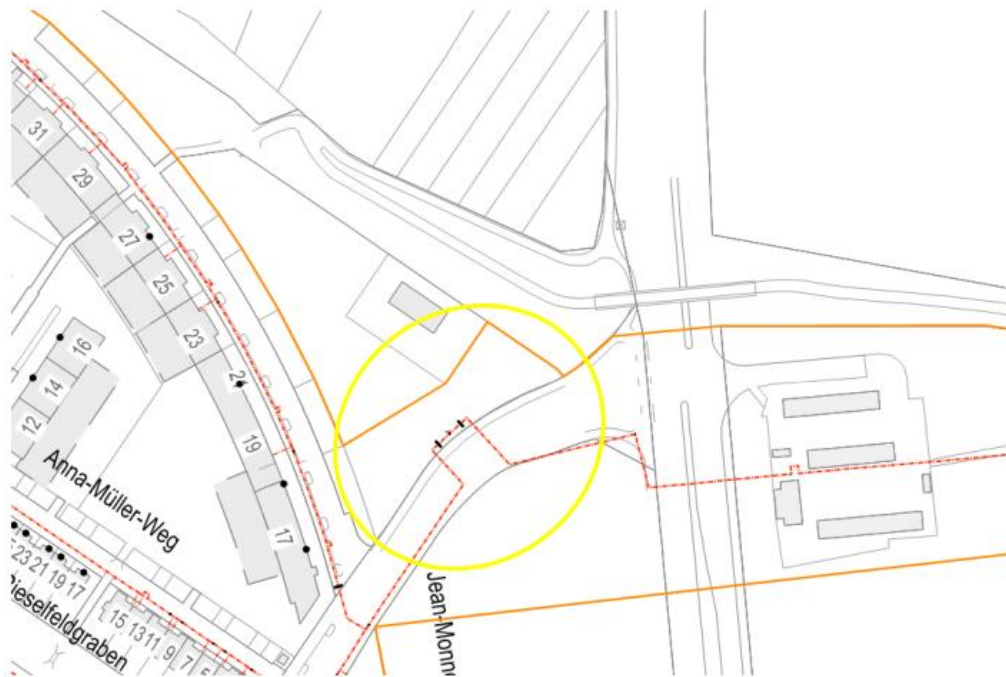


Abbildung 3 : Anschlusspunkt für eine mögliche Versorgung von Bauabschnitt 1 über die Fernwärme Weingarten (Quelle: badenovaWÄRMEPLUS)

4 Grundwassernutzung Variante 4 – Auswirkungen auf das Entwässerungskonzept

Gemäß den Simulationsergebnissen des KIT-AGW der aktuellen Zielvariante 8 des Folgegutachten II vom 12.05.21 ergeben sich im Bereich des Mundenhof maximale Aufhöhungen von bis zu 1 m. Im Bereich des Mundenhofer-Graben liegt die maximale Aufhöhung des Grundwassers bei 0,75 m. Dies hat Auswirkungen auf das Entwässerungskonzept (Oberflächenwasser) des Eigenbetrieb Stadtentwässerung ESE.

Durch die Grundwasser-Aufhöhungen in Zeiten maximaler Förder- bzw. Schluckmengen bei vollständiger Realisierung aller Bauabschnitte werden in allen Simulationsvarianten des Folgegutachten II des KIT-AGW die Entwässerungsgräben am Mundenhof zeitweise grundwasserführend. Dadurch wird im Grunde ein Teil des durch die Schluckbrunnen in der Nähe des Mundenhof zurückgeführten Grundwassers nicht wieder dem Grundwasserleiter zugeführt, sondern wird in einen Oberflächenabfluss umgewandelt. Inwieweit dies Auswirkungen auf die Festlegung von Gewässern hat, muss wasserwirtschaftlich bewertet werden.

Es wird damit zeitweise eine hydraulische Grundlast in den Gräben geben, die bisher im Entwässerungskonzept des ESE nicht berücksichtigt ist. Da im Spitzenabfluss nicht mehr Wasser in den Mundenhofer Graben eingeleitet werden darf, als derzeit schon eingeleitet wird, ergibt sich der Bedarf an zusätzlicher Retention im Gebiet. Zusätzlich wird hierdurch Wasser in den Gräben entlang des Lehener Winkelwegs (im weiteren Verlauf: Saugraben) infiltriert. Dieser Graben führt offen durch die Tiergehege und ist von der hydraulischen Leistungsfähigkeit her stark limitiert. Der Graben dient zur teilweisen Ableitung des in der

Regenwasserbehandlungsanlage vorbehandelten Wassers. Somit entsteht auch hier ein zusätzlicher Speicherbedarf.

Regenwasserbehandlung

Bei den ersten konzeptionellen Überlegungen für die Regenwassereinleitung des 3. Entwässerungsabschnittes (westlicher Teil BA1, BA3 und BA4) wurde zwischen dem ESE und dem UwSA eine Regenwasserbehandlung im Landwassergraben oder im weiteren Verlauf im Polder 3 (westlich des Mundenhofs) angedacht. Aufgrund der Höhenlage der Einleitung sowie der räumlichen Nähe der Einleitungsstelle zum mehr oder weniger dauerhaft Grundwasser gespeisten Graben westlich der Straße zum Tiergehege ist eine Regenwasserbehandlung im Landwassergraben technisch praktisch nicht mehr möglich. Auch eine Regenwasserbehandlung in der Grünfläche nördlich der Energiezentrale scheidet durch die Erhöhung des Grundwasserstandes durch das Energiekonzept aus.

Für den westlichen Teilbereich des Stadtteiles Dietenbach, der mit einer gedrosselten Ableitung des anfallenden Niederschlagswassers in die Gräben konzipiert wurde, ist auf alle Fälle eine Regenwasserbehandlungsanlage erforderlich, da das Niederschlagswasser in diesem Falle vorbehandelt werden muss. Die derzeitige Planung des Eigenbetriebs Stadtentwässerung sieht ein zentrales Regenbecken (mit Regenwasserbehandlung) im Eingangsbereich des Mundenhofs vor. Hier soll das anfallende Niederschlagswasser zwischengespeichert, behandelt und teils in die Grabensysteme des Mundenhofs eingespeist und teils versickert werden. Die Behandlungsanlage liegt oberhalb des MHGW. Die saisonale Erhöhung des MHGW durch die angedachte Grundwassereinspeisung aus dem Energiekonzept beeinflusst die Regenwasserbehandlungsanlage voraussichtlich in starkem Maße. Daher werden derzeit Möglichkeiten gesucht, die Reinigungsleistung aufrechtzuerhalten und die Beeinflussung wesentlich zu reduzieren. Dies kann vor allem durch eine Optimierung der Lage der Infiltrationsbrunnen erfolgen, da diese derzeit unmittelbar neben der Regenwasserbehandlungsanlage eingeplant wurden. Zusätzlich wird derzeit die hydraulische Belastung der Gräben und der sich daraus ergebende Mehraufwand an Retention untersucht.

Weiterhin erwartet der ESE, dass auch der Graben parallel zum Bollerstaudenweg, der in Zukunft zur Beschickung des Retentionsbodenfilters genutzt werden soll, permanent eingestaut sein wird oder auch wiedereingespeistes Grundwasser zum Bodenfilter transportiert. Inwieweit dies Auswirkungen auf die Realisierbarkeit der flankierenden Baumaßnahme haben wird, muss ebenfalls noch geklärt werden.

5 Lage Tiefengeothermie-Fernwärmeleitung Variante 3

Seit der Erstellung des AB gibt es einen aktualisierten Sachstand zur Lage und Anbindung der Tiefengeothermie-Fernwärmeleitung von badenovaWÄRMEPLUS innerhalb der Versorgungs-Variante 3 des Energiekonzepts. Die folgende Abbildung beschreibt die Lage der Fernwärmeleitung und ersetzt damit die veraltete Abbildung AB Abb.11. Die Tiefengeothermie-Fernwärmeleitung erreicht Dietenbach bzw. die Energiezentrale am Mundenhof aus Richtung Nordwesten. Dort wird die Fernwärme in Variante 3 des Energiekonzepts an die Energiezentrale angekoppelt. Unabhängig der zukünftigen Nutzung für Dietenbach verläuft die

Fernwärmeleitung dann weiterhin über die Mundenhoferstraße und durchquert den neuen Stadtteil, um diesen an der B31 in Richtung Nordosten wieder zu verlassen. Des Weiteren wird die Leitung entlang der Mundenhoferstraße fortgeführt in Richtung Südosten.

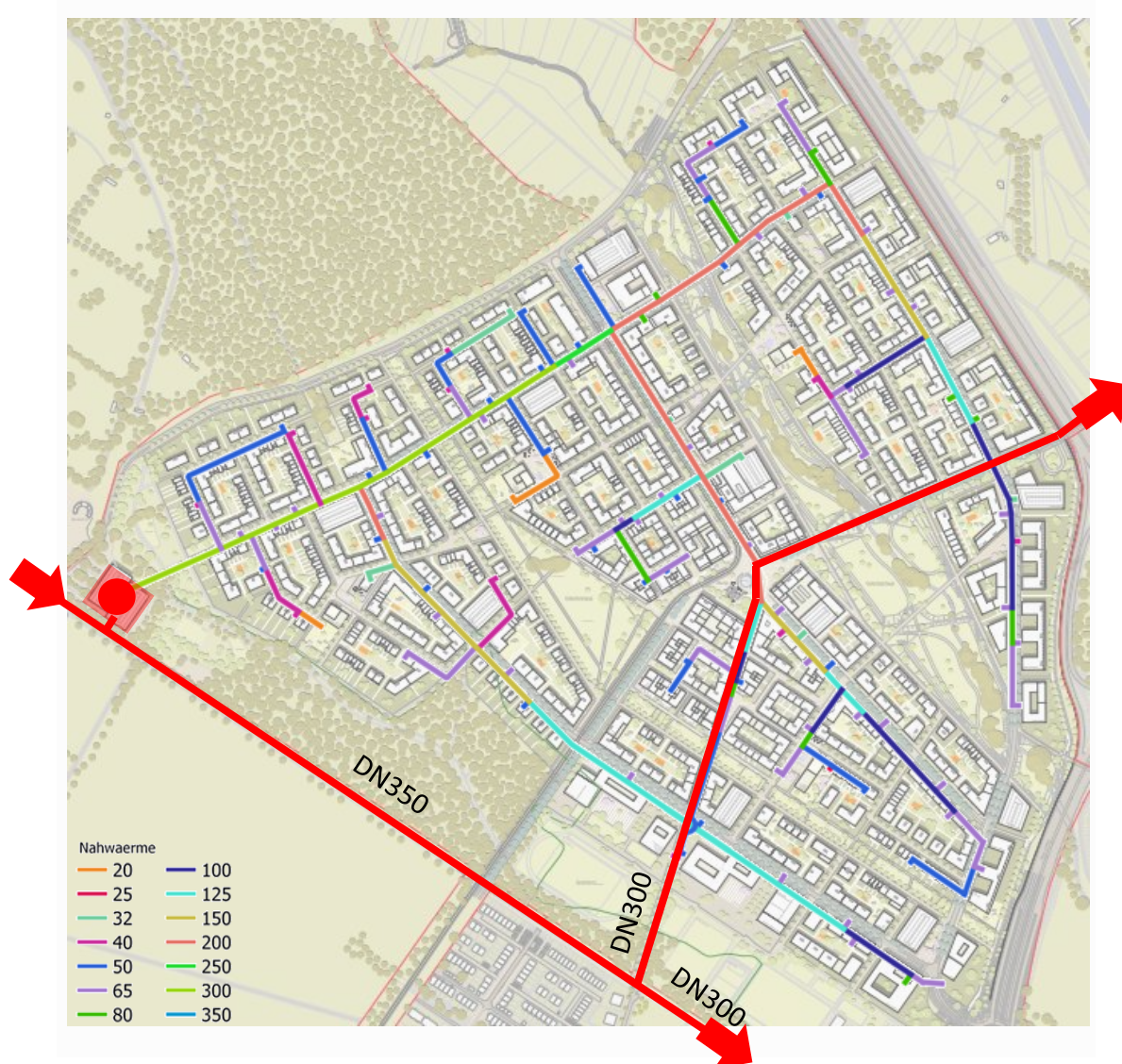


Abbildung 4 : Neuer Sachstand zur Lage und Anbindung d. Tiefengeothermie-Fernwärmeleitung an die Energiezentrale Mundenhof Variante 3 des Energiekonzepts (Quelle: EGS-plan)

6 Leitungsbedarf Variante 4 – Gesamter Stadtteil Dietenbach

Der Leitungsbedarf für das **Nahwärmenetz** im Stadtteil ist im AB bereits detailliert beschrieben. Siehe hierzu AB Abb.13. Die Leitungsführung der **Wasserstoffleitung**, ausgehend von der Energiezentrale, ist in Abhängigkeit der möglichen Standorte zur H₂-Verwertung im AB in Anlage 5 beschrieben.

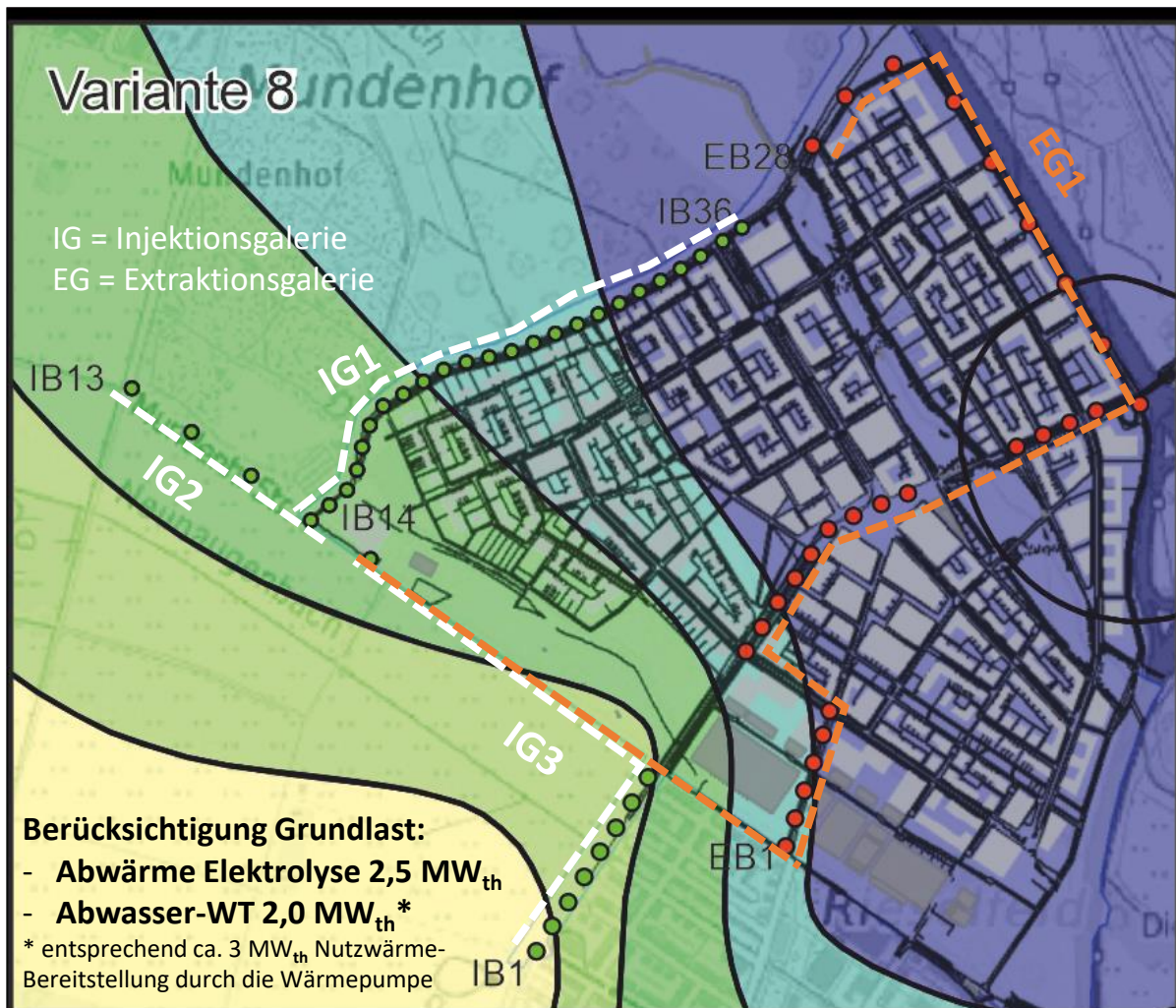
6.1 Stromversorgung der Energiezentrale

Der lokale Stromnetzbetreiber bnNETZE GmbH hat die Machbarkeit einer Stromversorgung der Energiezentrale mit einer Anschlussleistung von 18 MW_{el} bestätigt. Die Anschlussleistung setzt sich aus 10 MW_{el} Elektrolyseleistung, rd. 6,5 MW_{el} Wärmepumpenleistung und weiteren Stromlasten (z.B. Pumpen) zusammen. Die Versorgung erfolgt ausgehend vom Umspannwerk Brunnenmatten (siehe AB Anlage 5) über eine Stromtrasse entlang der Besanconalle und der Mundenhoferstraße bis hin zur Energiezentrale. Die Entfernung beträgt ca. 2 km.

Das Umspannwerk Brunnenmatten wird planmäßig um einen Trafo zur Versorgung von Dietenbach erweitert. Dieser Trafo wird zur Bereitstellung der zusätzlichen 18 MW_{el} entsprechend größer dimensioniert.

6.2 Grundwasser-Galerieleitungen

Die folgende Grafik zeigt die notwendigen Galerieleitungen zur Anbindung der Förder- und Schluckbrunnen an die Energiezentrale und deren Dimensionen (Außendurchmesser der Leitungen).



Galerie	Dimension
EG1	DN500 ... DN560
IG1	DN500 (73% Vol.-Strom)
IG2	DN225 (9% Vol.-Strom)
IG3	DN280 (18% Vol.-Strom)

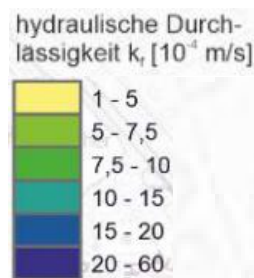


Abbildung 5 : Benötigte Brunnen-Galerieleitungen und deren Dimensionierung (Quelle: EGS-plan / KIT-AGW)

7 Energiezentrale

7.1 Betriebsweise Elektrolyse

Die Elektrolyse soll grundsätzlich mit erneuerbarem Strom aus dem öffentlichen Netz betrieben werden. Es können dabei auch Direktverträge mit ortsnahen Quellen erneuerbaren Stroms abgeschlossen werden (GIP Hochdorf u.ä.). Der zukünftige Betreiber wird vertraglich dazu verpflichtet, grünen Wasserstoff zu produzieren. Die Anforderungen an grünen Wasserstoff sind dabei gesetzlich in §12i der Erneuerbare-Energien-Verordnung in der Fassung vom 14.07.2021 (BGBl. I, S. 2860) geregelt. Der eingesetzte Strom muss dabei u.a. aus Anlagen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien stammen und über Herkunftsnachweise durch den Betreiber beschrieben werden. Der Stadt gegenüber ist ein entsprechender Nachweis zu führen. Dabei wird vorausgesetzt, dass die zur Erreichung, der von Bund und Land gesetzten Klimaschutzziele, erforderlichen Zubaumengen an erneuerbarem Strom im öffentlichen Stromnetz zur Verfügung stehen.

Das Energiekonzept hat als Grundlage, dass bei Inbetriebnahme der Elektrolyse im Jahr 2026 die Anlage auf eine jährliche Nutzungsdauer von rund 4.000 – 5.000 Vollbenutzungsstunden kommen soll, um Strom aus dem Netz energiewendedenlich beziehen zu können. Die Nutzungszeiten orientieren sich dabei an der Verfügbarkeit von erneuerbarem Strom im Netz. Ist viel erneuerbarer Strom im Netz verfügbar soll die Elektrolyse betrieben werden. Der Vorteil dabei ist, dass bei dem heutigen Strommarktdesign speziell zu den Stunden mit hohem Erneuerbaren-Anteil die Strompreise am niedrigsten sind. Die bei der Herstellung des grünen Wasserstoffs anfallende emissionsfreie Abwärme soll prioritär im Wärmeversorgungssystem von Dietenbach verwendet werden (vor Wärme aus Abwasser und Grundwasser). Damit kann eine signifikante Effizienzsteigerung bei der Wasserstoffherstellung erreicht werden.

Die beschriebenen Rahmenbedingungen sind bei der Berechnung der CO₂-Bilanz bis 2050 berücksichtigt. Mit Elektrolyse ist die bilanzielle Klimaneutralität für Dietenbach erreichbar (AB Abb.17/18) und es kann grüner Wasserstoff (H₂) über die Quartiersgrenzen hinweg für Freiburg zur Verfügung gestellt werden.

7.2 Modulare Ausschreibung

Mitte 2022 soll nach erfolgter Ausschreibung der Betreiber der zentralen Energieinfrastruktur feststehen. Die zentrale Infrastruktur setzt sich aus den Komponenten Energiezentrale (am Mundenhof) inkl. Elektrolyseanlage, dem Gesamtsystem zur Nutzung von Grundwasserwärme sowie Abwasserwärme und dem Nahwärmenetz zusammen. Sobald der Betreiber feststeht, wird dieser das Planungsteam zusammenstellen. Dies kann rund 6 Monate bis Ende 2022 dauern.

Ab dem Jahr 2023 beginnt dann der eigentliche Planungsprozess des Konzessionärs für die Energieinfrastruktur. Die Vorplanung sowie Genehmigungsverfahren der Energiezentrale nehmen rund 1 Jahr in Anspruch. Der Bebauungsplan hat Ende 2022 Planreife und wird im 2. Quartal 2023 zur Satzung beschlossen. Der Konzessionär kann Anfang 2024 den Bauantrag für die Energiezentrale (noch ohne Elektrolyse, die in einem separaten immissionsschutzrechtlichen Verfahren später zu genehmigen sein wird) stellen. Die Bewilligung des Bauantrags kann zwischen 6-8 Monate in Anspruch nehmen und im 3. Quartal

2024 erteilt sein. Nach Ausführungsplanung und Ausschreibung der Bauarbeiten kann Anfang 2025 der Bau der Energiezentrale beginnen, damit sie Ende 2025/Anfang 2026 zur Verfügung steht.

Der Bau des Nahwärmenetzes sowie die Erstellung von Brunnen und Galerieleitungen für den ersten Bauabschnitt sind zeitlich an den allgemeinen Erschließungsplan gekoppelt. Die Erschließung der Abwasserwärme ist für den ersten Bauabschnitt noch nicht eingeplant.

8 H₂-Verwertung – Standortbewertung für die Trailerabfüllstation

Das *Umweltschutzamt Freiburg* hat in Abstimmung mit der *Projektgruppe Dietenbach* und *EGS-plan* eine Bewertungsmatrix erstellt, um die möglichen Standorte einer Wasserstoff-Trailerabfüllstation und ggf. weiterer H₂-Verwertung gegenüberzustellen und zu bewerten. Die Bewertungsmatrix befindet sich im Anhang 1.

In der aktuellen koordinierten Leitungsplanung von *BIT Ingenieure* findet die Wasserstoffleitung ausgehend von der Energiezentrale entsprechend Berücksichtigung.

9 Ausgewählte Fragestellungen zur Wirtschaftlichkeitsberechnung

Ausgewählte Fragestellungen und Erläuterungen zur Wirtschaftlichkeitsberechnung sind in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

9.1 Zusammensetzung der Jahresgesamtkosten?

Die Jahresgesamtkosten setzen sich aus zwei grundlegenden Teilen zusammen. Der erste Teil sind die kapitalgebundenen Kosten, die die erstmaligen Investitionskosten, Investitionen in Ersatzmaßnahmen und Restwerte der Investitionen berücksichtigen. Der zweite Teil beinhaltet die betriebsgebundenen Kosten – dies sind alle Kosten, die im laufenden Betrieb anfallen.

Die kapitalgebundenen Kosten beinhalten alle Investitionen für notwendige technische Anlagen und Bauwerke zur Versorgung der Gebäude. Diese betreffen die Bereiche Wasser und Abwasser, Wärmeversorgung, Lüftung, Stromversorgung, informationstechnische Anlagen z.B. Telekommunikation, Förderanlagen z.B. Aufzüge, Gebäudeautomation und Weiteres. Neben den notwendigen Erstinvestitionen werden auch Ersatzinvestitionen für Anlagen berücksichtigt, deren zu erwartende Lebenszeit kürzer ist als der Betrachtungszeitraum der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bis ins Jahr 2050. Darüber hinaus werden auch anteilige Restwerte am Ende des Betrachtungszeitraums berücksichtigt.

Die betriebsgebundenen Kosten setzen sich aus Energiekosten und Kosten für Instandsetzung, Wartung und Betrieb der technischen Anlagen zusammen. Darüber hinaus werden bei den Betriebskosten auch Energieerlöse berücksichtigt, die durch die Vermarktung von lokal erzeugter Energie über die Quartiersgrenzen hinaus anfallen. Unter anderem ist dies bei der Variante 4 Dietenbach KliEn die Vermarktung des grünen Wasserstoffs durch den Betreiber der Elektrolyse-Anlagen. Weitere Energieerlöse treten in den Varianten 1-4 des Energiekonzepts durch die Einspeisung von Strom aus Photovoltaikanlagen in das öffentliche Stromnetz auf.

Um nun aus diesen beiden Teilen die mittleren jährlichen Jahresgesamtkosten zu ermitteln, werden die kapitalgebundenen Kosten mit Hilfe der Annuitätenmethode nach VDI 2067 berechnet. Einfach ausgedrückt werden die Investitionskosten und Restwerte aus dem Betrachtungszeitraum von 2026 bis 2050 unter Berücksichtigung des Zinseffektes auf mittlere jährliche Kosten umgerechnet. Diese resultierenden Jahresgesamtkosten erlauben eine vergleichende Bewertung der Wirtschaftlichkeit der erarbeiteten Varianten. Dabei sind die entsprechenden Rahmenbedingungen bezüglich der Erschließung des Stadtteils in Bauabschnitten als auch die Effekte von Preissteigerungen enthalten.

Im AB sind die Jahresgesamtkosten der einzelnen Varianten angegeben, wobei in Abbildung 6 innerhalb der kapitalgebundenen Kosten nur Anlagen zur Wärmeversorgung, die Photovoltaik sowie die zentrale Energieinfrastruktur berücksichtigt wurden. Die Darstellung in Abbildung 6 zeigt, dass die resultierenden Gesamtkosten der Variante 4 „Dietenbach KliEn“ mit 12.190 T€/a leicht unter dem Kostenniveau von V3 und V5 bleiben.

In Abbildung 7 sind sämtliche Kosten für technische Anlagen und Bauwerke berücksichtigt und darüber hinaus auch die Kosten für Bauwerk und Baukonstruktion sämtlicher Gebäude.

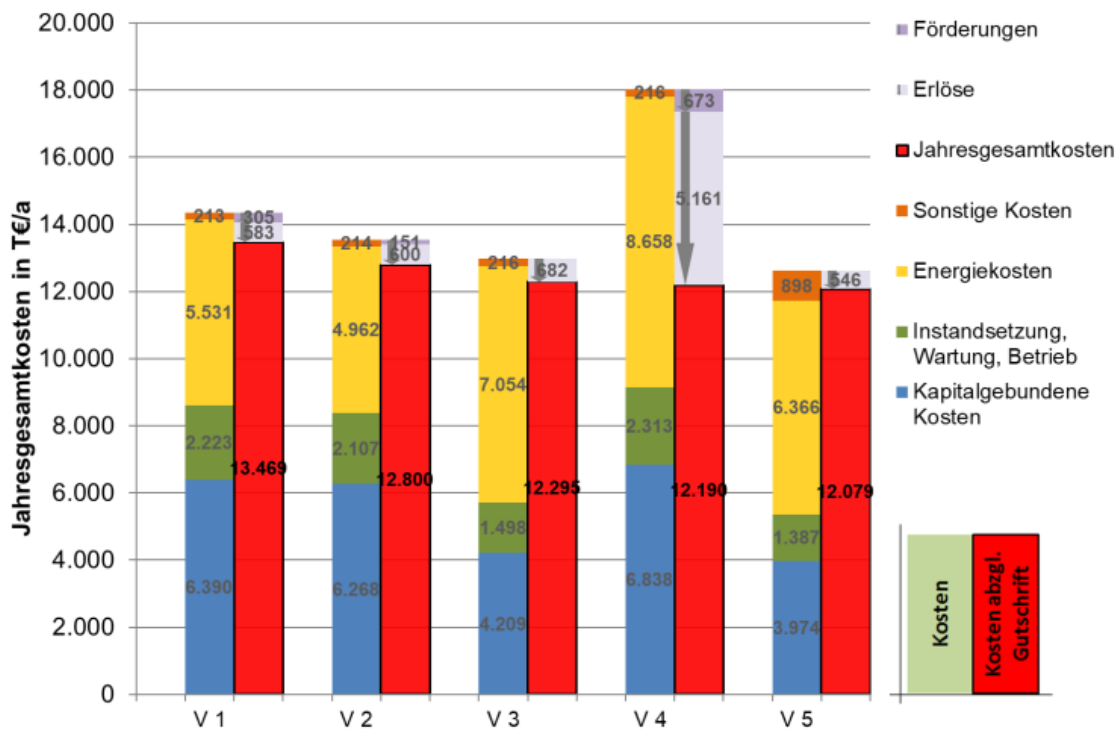


Abbildung 6 Jahresgesamtkosten (KG 420 + PV + Energieinfrastruktur)

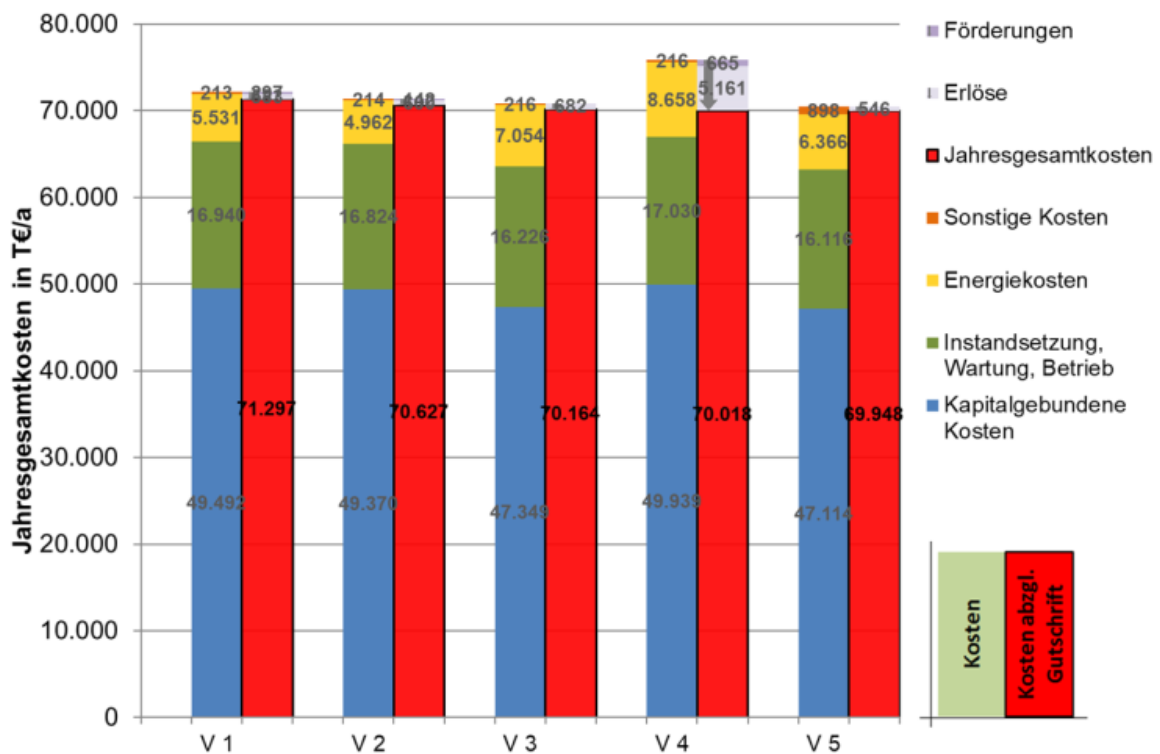


Abbildung 7 Jahresgesamtkosten (KG 300 + 400 + Energieinfrastruktur)

9.2 Wie sind die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu verstehen?

In der Sensitivitätsanalyse (AB Kapitel 8.15) wird aufgezeigt, wie sich ändernde Randbedingungen auf die Ergebnisse der einzelnen Varianten auswirken. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse sind in tabellarischer Form in Kapitel 8.15 des AB dargestellt. In Spalten sind dabei die 4 Varianten sowie die Referenzvariante angegeben. Die in den insgesamt sechs Zeilen der Tabellen angegebenen Bewertungsgrößen sollen an dieser Stelle noch einmal genauer erläutert werden:

1. Investitionskosten KG 400 + Energieinfrastruktur: bei diesen Investitionskosten sind auf Gebäudeebene die Kosten für die technischen Anlagen (KG 400, also ohne Bauwerkskosten) sowie Photovoltaik und die zentrale Energieinfrastruktur enthalten (siehe auch letzter Absatz Kapitel 9.1)
2. Investitionskosten KG400 (nur Gebäude): hier sind nur die Kosten für technische Anlagen innerhalb der Gebäude im Stadtteil angegeben.
3. Jahresgesamtkosten: siehe hierzu die Erläuterungen zu den Jahresgesamtkosten im vorherigen Kapitel 9.1
4. Instandhaltungskosten Wärme: Hier sind die Kosten für die Instandsetzung, Wartung und Inspektion der Anlagen zur Wärmeversorgung angegeben
5. Wärmepreis: siehe Kapitel 9.4
6. Kosten Wärme je WE: Beispielhafte Wärmekosten einer Wohnung mit 75 m²

9.3 Warum sind in Variante 4 die Investitionskosten sehr hoch, aber dennoch die Wärmekosten je Wohneinheit sehr gering?

Die Investitionskosten beinhalten in den Varianten alle energierelevanten Komponenten auf Ebene der Gebäude und der Infrastruktur. Bei Variante 4 sind auch die Investitionskosten in die Anlagen der Wasserstoffherzeugung enthalten. Diese entsprechen rund 20 % der Kosten für die Energieinfrastruktur. Daher resultieren bei dieser Variante relativ hohe Investitionskosten.

Die auf die Wasserstoffherzeugung zurückzuführenden Investitions- und Betriebskosten werden dabei auf die Kosten des grünen Wasserstoffs umgelegt (H₂-Gestehungskosten ~ 6 €/kg). Die emissionsfreie Abwärme aus dem Prozess wird mit 80 €/MWh (analog zu V3) vermarktet (Anteil von rund einem Fünftel der Gesamtwärmemenge).

Die restliche Wärme, die neben der Abwärme aus der Elektrolyse benötigt wird, wird über Wärmepumpen aus der Energiezentrale bereitgestellt. Die hierfür erforderliche zentrale Erschließung der Umweltwärmequellen (Abwasserwärme, Grundwasser) ist deutlich kosteneffizienter als die dezentrale Erschließung und Wärmeerzeugung auf Gebäudeebene. Dieser Effekt führt im Wesentlichen zu niedrigeren, mittleren Wärmepreisen bei V4 im Vergleich zu den anderen Varianten.

9.4 Wie wird sichergestellt, dass die Dietenbacher_innen über die Nebenkosten nicht für Elemente bezahlen, die der Gesamtstadt zugutekommen?

Der in der Sensitivitätsanalyse angegebene Mischpreis setzt sich aus einem Arbeitspreis und einem Grundpreis zusammen. Dabei besteht der Arbeitspreis aus den laufenden Kosten für Energie (z.B. für Wärmepumpenstrom oder Fernwärme je nach Variante) sowie den Kosten für Instandsetzung, Wartung und Betrieb. Indem diese jährlichen Gesamtkosten durch die jährliche Gesamtmenge an vermarkteter Wärme dividiert werden, resultiert die Komponente „Arbeitspreis“.

Die Komponente „Grundpreis“ enthält die anteiligen kapitalgebundenen Kosten und wird aus den Investitionskosten der technischen Anlagen zur Wärmeversorgung (inkl. Ersatzinvestitionen, Restwerte usw.) berechnet. Der Grundpreis eines zu versorgenden Objekts hängt stark von der benötigten Leistung der Wärme-Übergabestationen und den Aufwendungen für die Anschlussleitungen ab. Je nach Größe und Nutzungsform eines Gebäudes können die Leistung und das Wärmebedarfsprofil stark variieren. Beispielsweise variieren die angenommenen Leistungsbedarfe der einzelnen Baufelder im 1. Bauabschnitt von 20 kW bis knapp 600 kW.

Aus diesem Grund ist für die allgemeine Wärmepreisindikation für den Stadtteil Dietenbach ein Mischpreis kalkuliert. Der Mischpreis ist die Summe aus dem Arbeitspreis (Preiskomponente A) und der Preiskomponente B, bei der vereinfacht die Kostenkomponenten des Grundpreises auf die vermarktete Wärmemenge umgelegt wurden.

Kapitalgebundene Kosten, die nicht in Verbindung mit dem Wärmeversorgungssystem stehen, wie zum Beispiel Photovoltaikanlagen oder Lüftungsanlagen oder auch in Variante 4 die Elektrolyseanlage, werden hier nicht mit einbezogen. Unter anderem wird im Hinblick auf die Realisierung daher eine getrennte Ausschreibung der Bereiche Wärmeversorgung und H₂-Erzeugung durchgeführt. Die resultierenden Wärmetarife enthalten mit diesem Konstrukt keine Kostenbestandteile, die nicht mit der Wärmeversorgung direkt zusammenhängen.

In der folgenden Tabelle sind die Wärmepreise der Varianten im Basis-Szenario aufgeschlüsselt in Arbeits- und Grundpreise dargestellt (netto, ohne Betreiberzuschlag):

Basis	V 1	V 2	V 3	V 4	V 5
Wärmepreis in €/MWh	170	153	145	141	138
Arbeitspreis in €/MWh	78	62	97	74	87
Grundpreis in €/MWh	92	91	47	67	51

In der Ausschreibung der Wärmekonzeption, die sich nur auf die Bauabschnitte 1-4 und nicht auf die Erzeugung von Solarstrom oder die Elektrolyse bezieht, wird Preissicherheit über in der Ausschreibung fixierte Preisgrenzen erreicht. Diese orientieren sich am Energiekonzept und an bestehenden Freiburger Fernwärmegebieten (Vauban und Rieselfeld).

9.5 Wie wird die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems und seiner einzelnen Elemente, insbesondere der Wasserstoff-Elektrolyse sichergestellt?

Das Ziel der Klimaneutralität erfordert den Einsatz und das Zusammenspiel verschiedener innovativer Technologien. Photovoltaik auf den Gebäuden, Umweltwärmenutzung für die Wärmebereitstellung und die effiziente H₂-Erzeugung mit Abwärmenutzung für die Bereitstellung von grünem H₂ für die Mobilität und Industrie in Freiburg.

Im Bereich Wärme erfolgt die Wärmeversorgung über ein Nahwärmenetz, das aus einer Energiezentrale mit Wärmepumpen versorgt wird. Die Wärmepumpen nutzen dabei die Wärme aus dem zentral erschlossenen Grundwasser und aus dem Abwassersammler in der Mundenhofer Straße. Eine zentrale Erschließung und Wärmebereitstellung sind dabei mit niedrigeren Investitionskosten verbunden als der Aufbau von dezentralen Wärmepumpen-Systemen in allen Gebäuden im Stadtteil. Darüber hinaus sind für die Abnahme der großen Strombezugsmengen in der Energiezentrale bessere Preiskonditionen zu erwarten, als dies bei den kleinen Abnahmemengen von Wärmepumpen auf Baufeldebene der Fall ist. Mit Blick auf die Preisstabilität im Bereich Wärme hat das System den Vorzug, dass eine hohe Planungssicherheit der Kostenentwicklung gegenüber anderen Systemen besteht. Der Wärmepreis ist zu einem Großteil durch die anfänglichen Investitionen in die Erschließung der Umweltwärme bestimmt und profitiert von den niedrigen Kosten für die Nutzung von Grundwasserwärme und Abwasserwärme im Betrieb. Zudem ermöglicht die zentrale und modular ausbaubare Wärmeerzeugung auf zukünftige Entwicklungen flexibler und einfacher reagieren zu können, als dies bei dann gegebenenfalls bereits errichteten dezentralen Versorgungsanlagen der Fall ist.

Der Bereich Wärmeversorgung und H₂-Erzeugung wird getrennt ausgeschrieben. In der Ausschreibung im Bereich Wärme wird eine Abnahmepflicht für die Elektrolyse-Abwärme integriert. Der Wärmepreis für die Abwärme wird dabei gedeckelt auf die Wärmegestehungskosten aus den Wärmepumpen abzüglich 10 %. Damit wird sichergestellt, dass die Systemkopplung nicht zu einer Verteuerung der Wärmeversorgung in Dietenbach führt.

Die Infrastruktur zur Wasserstofferzeugung erfordert Investitionen, die sich durch die Vermarktung des grünen Wasserstoffs im kommunalen und regionalen Kontext amortisieren sollen. Die zusätzlichen Erlöse durch den Vertrieb der Abwärme erhöhen die Wirtschaftlichkeit des Geschäftsmodells. Die im Projekt angesetzten Strombezugskonditionen für die Elektrolyse bilden die aktuelle Marktsituation ab, bei der geltende Befreiungen von Abgaben und Umlagen für den Elektrolysestrom berücksichtigt sind. Der lokal erzeugte Wasserstoff soll zu einem Teil über eine Leitung direkt zu Verbrauchern im Bereich Mobilität geführt werden. Durch den Wegfall des Transports über LKW's können marktübliche Preise angeboten werden. Restmengen werden vom Betreiber über eine Abfüllstation für Kunden im Bereich Mobilität (Tankstellen, Speditionen) oder in die Industrie vermarktet. Entsprechende Prognosen aus der

Marktanalyse für die Region Südlicher Oberrhein¹ bestätigen den Bedarf im Umfeld von Freiburg.

9.6 Welche Möglichkeiten bestehen, über das Preissystem Anreize für sparsamen Verbrauch zu schaffen?

Ein Anreiz hierfür kann über das Preismodell für die Wärmekunden geschaffen werden, indem tendenziell eine höhere Gewichtung des Arbeitspreises in Relation zum Grundpreis erfolgt. Hierbei hat der Betreiber bei gegebenem Rechtsrahmen grundsätzlich die Entscheidungsfreiheit, den Tarif so zu kalkulieren, dass ein geringer Verbrauch attraktiv für den Kunden ist. Ergänzend können innovative Tarifmodelle wie Wärme-Flatrates mit einer Verbrauchsobergrenze die Nutzer motivieren sparsamer mit der Wärme im Alltag umzugehen. Hierzu bedarf es entsprechender Kooperationen zwischen dem Wärmeversorger und den Betreibern der Immobilien, die solche Konzepte ggf. in Ihren Mietmodellen umsetzen müssen.

10 Weitere Fragestellungen

10.1 Können auch dezentrale Versorgungssysteme realisiert werden?

Es besteht die Möglichkeit auf rd. 5% der Baufeldflächen dezentrale Versorgungssysteme zu realisieren - freiwillig falls hierfür Interesse von Investoren/Betreibern besteht. Hierfür wurden bereits mögliche Standorte identifiziert, die sich im Bereich des zweiten und des vierten Bauabschnittes befinden. Eine finale Festlegung der Standorte ist in Bearbeitung. Baufelder mit öffentlichen Gebäuden wie Schulen oder Kitas sind davon ausgenommen. Im Fokus hierfür stehen Baugruppen mit privater Wohn- und Gewerbenutzung.

95 % der Baufeldflächen werden für die Versorgung über das Wärmenetz konzipiert. Die Umsetzung des klimaneutralen Wärmekonzepts erfordert erhebliche Investitionen des künftigen Konzessionärs. Gleichzeitig sollen im Interesse bezahlbaren Wohnraums die Wärmepreise begrenzt und nach der Ausschreibung in den üblichen Grenzen der Preisgleitung festgeschrieben. Dies lässt sich nach Aussagen des externen Energieberatungsbüros nur sicherstellen, wenn die Wärmekonzeption entsprechende Planungssicherheit bezüglich des hierfür erforderlichen hohen Anschlussgrad hat.

10.2 Wie wird die Kühlung der Gebäude in den Sommermonaten realisiert?

Im Zusammenhang mit den Beratungen in den gemeinderätlichen Gremien wurde die Frage nach der Kühlung der Gebäude gestellt. Die nachfolgenden Ausführungen beantworten diese Fragestellung, es wird hier darauf hingewiesen, dass dies nicht in die Wärmeausschreibung einfließt.

Grundsätzlich gilt die Prämisse zur Vermeidung einer sommerlichen Überhitzung und dem daraus resultierenden Bedarf aktiver Kühlung der Gebäude. Die Voraussetzungen dafür werden geschaffen durch:

¹ https://www.klimaschutz-oberrhein.de/de-de/projekte/wasserstofftechnologien_am_suedlichen_oberrhein-h2-so (30.09.2021).

1. Sommerlicher Wärmeschutz durch Umsetzung entsprechender baulicher Maßnahmen (Fensterflächenanteile, baulicher Sonnenschutz, Wärmeschutz gemäß EH55 oder besser) und Möglichkeiten zur Minimierung der Wärmebelastung (z.B. Nachtlüftung) in Gebäuden
2. Klimawandelangepasste Außenraumgestaltung (Grünflächen, Wasserflächen, Baumpflanzungen vor Gebäuden)

Im geplanten Gestaltungshandbuch Dietenbach sollen Hinweise in Bezug auf die Vermeidung sommerlicher Überhitzung gegeben werden.

Im Energiekonzept ist bei den Varianten ein Kältebedarf in der Kategorie „Wohnen“ bei 33% der Gebäude angerechnet. Für den Wunsch zur Umsetzung einer Gebäudekühlung stehen verschiedene dezentrale Lösungsansätze zur Verfügung.

Die Kältebereitstellung auf Baufeldebene kann zum Beispiel mit Hilfe dezentraler Kompressionskältemaschinen realisiert werden. Diese bestehen aus der eigentlichen Kältemaschine sowie aus einer Außeneinheit über die Wärme an die Umgebung abgegeben wird. Es ergeben sich Synergien mit der Photovoltaikanlage auf dem Dach und der Fassade, da in den Sommermonaten in Zeiten mit hohem Kältebedarf gleichzeitig entsprechend hohe solare Stromerträge anfallen. Der Strombedarf der Kältemaschinen kann somit zu großen Teilen mit „gebäudeeigenem“ erneuerbarem Strom versorgt werden. Durch diesen erhöhten Eigennutzungsanteil von Photovoltaikstrom wird die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems gesteigert, da grundsätzlich der Strom aus der gebäudeintegrierten Photovoltaik günstiger ist als ein Strombezug aus dem öffentlichen Stromnetz. Der entstehende Kostenvorteil kann vom jeweiligen Mieterstromversorger an die Bewohner weitergegeben werden. Die Wärmeübergabe kann über die Fußbodenheizung erfolgen. Somit wären keine zusätzlichen Einbauten zur Kühlung im Gebäude notwendig.

Eine mögliche Alternative hierzu ist unter anderem die „freie Kühlung“ mit Hilfe von Grundwasser. Es ist grundsätzlich technisch möglich, auf Baufeldebene eine Grundwasserdublette (Brunnenpaar zur Entnahme und Rückleitung) zu errichten und direkt (ohne Kältemaschine) damit das Gebäude äußerst effizient zu kühlen. Da bereits für die Wärmeversorgung ein umfangreiches zentrales Brunnensystem in Dietenbach realisiert wird, ist hierfür jedoch eine Einzelfallprüfung notwendig.

Da in der Kühlperiode (Sommer) von der zentralen Brunneninfrastruktur lediglich zur Bereitstellung von Trinkwarmwasser reduzierte Mengen an Grundwasser gefördert werden, liegt noch Potential an Grundwasser vor für diese dezentrale Kühlung. Eine Nutzung der zentralen Brunneninfrastruktur zur dezentralen Kühlung auf Baufeldebene ist nicht möglich.

11 Anhang

11.1 Anhang 1 – Bewertungsmatrix H2-Verwertung Standorte

Quelle: Umweltschutzamt Freiburg 12.07.2021

Standortvergleich H2-Abfüllung – Energiekonzept Dietenbach BEWERTUNG NOCH OFFEN

Kriterien/ Standorte	1. Abfahrt Besanconallee	2. Gaskugel	3. VAG Betriebsshof	4. Extrol Tankstelle	5. Umspannwerk
1. Lage / Anbindung an Energiezentrale	Abfüllstation in westlicher Zufahrts-Schleife zur B31a	Areal um ausgediente Gaskugel östlich Dietenbach.	Im Gewerbegebiet südlich von Dietenbach	Im Gewerbegebiet südlich von Dietenbach	wesentliche Zufahrts-Schleife zur B31a, vergleichbar lange H2-Verbindungsleitung wie Abfahrt Besanconallee
	Entfernung: ca. 1,4km H2-Leitungslänge: ca. 2,5km	Entfernung: ca. 1,8km Luftlinie zur EZ: ca. 1,9km H2-Leitungslänge: ca. 2,8km	Entfernung: ca. 1,8km Luftlinie zur EZ: ca. 1,9km H2-Leitungslänge: ca. 2,8km	Entfernung: ca. 1,8km Luftlinie zur EZ: ca. 1,9km H2-Leitungslänge: ca. 2,8km	Entfernung: ca. 1,4km Luftlinie zur EZ: ca. 1,9km H2-Leitungslänge: ca. 2,8km
BEWERTUNG					
2. Anfahbarkeit	unmittelbare Nähe zur Bundesstraße	Schlechte Anfahbarkeit – nur Möglichkeit der Gasnetzspeisung an vorhandener Gasdruckregelstation	Nur für VAG	Tank- und Waschanlage im Gewerbegebiet	Nähe zur Bundesstraße, Abzweig ist noch zu prüfen, Bestandsanfahrt vorhanden Falls Anfahrt über Bundesstr – Bewertung +, sonst -
BEWERTUNG					
3. Bewertung Grundstückswert/Flächenpotential	Nähe zu zukünftig bewohntem Gebiet von „Dietenbach“, umgeben von mehrspurigen Straßen	Nur Einspeisung	VAG Grundstück, Fläche begrenzt, H2-Tankstelle ggf. prioritär für Fläche auf Betriebsshof	Bereits LKW-Waschanlage und gute Zufahrt vorhanden Grundstückswert vermutlich nicht niedrig	Badenova – Grundstück Auf dem jetzigen Gelände des UW kann keine Abfüllstation untergebracht werden -> der Platz reicht nicht aus. D.h. es müssten angrenzende Bereiche nutzbar gemacht werden (Kleingartensiedlung)
BEWERTUNG					
4. mögliche Störung der Umgebung	gering	Unmittelbare Nähe zur B31a, Tennisplätzen, Kleingärten, Wohnhäusern und der Dreisam, gering	Gering, bzw. Trailenverkehr könnte Abläufe auf Betriebsshof beeinflussen	gering	Sehr gering
BEWERTUNG					
5. Erschließungsaufwand	- vertretbar - gut - gut	- keine Anfahbarkeit, nur Gaseinspeisung - lange Verbindung - keine Angabe	- gut - mittel - gut	- mittel - mittel - gut	- mittel - lange Verbindungsleitung - gut bis mittel
Länge der H2-Leitung inkl. ggf. Querung	- Querung der Straße aufwändig.	- Querung aufwändig	- mittel	- lange Verbindungsleitung	- Querung aufwändig
BEWERTUNG					
6. Sonstiges	Weitere Abstimmung notwendig bez. Vereinbarkeit mit Bestandsnutzung (Aufüllfläche GuT) und Planung PG D (Hochspannungsleitungen - neuer Leitungsmast / Abbau alter Leitungen voraussichtlich in den Jahren 2025/26)	Badenova wäre grundsätzlich an H2-Einspeisung ins Gasnetz interessiert. Ggf. nochmal eine Einschätzung von badenova abfragen	Umsetzung hängt von VAG ab, weitere Abklärungen nötig hierzu sollten weiterführende Gespräche angeboten werden. EGS-plan ist einzubinden. Die Betreibermodelle werden hier relevant. Ggf. Betrieb teilen - Abfüllstation und Logistik Trailer (dies z.B. bei Linde oder AirLiquide)	Betreiber ist derzeit zurückhaltend – H2-Abfüllung wäre eher für große Firmen von Interesse.	Ggf. nochmal eine Einschätzung von badenova abfragen und mit aufnehmen
GESAMTBEWERTUNG					

Bewertungsskala

sehr gut (+++) gut (+) mittel (+/- oder 0) schlecht (-) sehr schlecht (--)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 : Brunnen zur Wärmeversorgung von Bauabschnitt 1 und Gesamtquartier (Quelle: EGS-plan).....	5
Abbildung 2 : Auskopplung Fernwärme für Dietenbach - hydraulisch technische Umsetzung (Quelle: badenovaWÄRMEPLUS).....	6
Abbildung 3 : Anschlusspunkt für eine mögliche Versorgung von Bauabschnitt 1 über die Fernwärme Weingarten (Quelle: badenovaWÄRMEPLUS)	7
Abbildung 4 : Neuer Sachstand zur Lage und Anbindung d. Tiefengeothermie-Fernwärmeleitung an die Energiezentrale Mundenhof Variante 3 des Energiekonzepts (Quelle: EGS-plan).....	9
Abbildung 5 : Benötigte Brunnen-Galerieleitungen und deren Dimensionierung (Quelle: EGS-plan / KIT-AGW)	11
Abbildung 6 Jahresgesamtkosten (KG 420 + PV + Energieinfrastruktur)	15
Abbildung 7 Jahresgesamtkosten (KG 300 + 400 + Energieinfrastruktur)	15