

Integriertes Quartierskonzept

für das „Quartier bei der Gießerei“ in 89551 Königsbronn

Materialsammelband

Februar 2019

mit jenen Berichten über Einzeluntersuchungen, die der Erstellung des Abschlussberichtes voraus gingen, dem Abschlussbericht aber nicht beigelegt wurden. Zum einen wegen der Vorläufigkeit und zum anderen wegen des Umfangs der Unterlagen. Die Berichte über die Ergebnisse von vorlaufenden Untersuchungen mit Handlungsempfehlungen auf der Basis von noch unvollständiger Erfassung der Gesamtzusammenhänge wurden im Nachhinein nicht mehr angepasst. Für die Beurteilung der Arbeitsergebnisse des Projektteams sind ausschließlich die im Abschlussbericht dokumentierten Untersuchungsergebnisse und Handlungsempfehlungen relevant.

Die Inhalte des Materialsammelbandes

Der Materialsammelband umfasst die folgenden Einzeldokumente:

- [Unterlage 1 \(im Band die Seiten 3 bis 13\)](#)

Lastenverzeichnis für die Erstellung des Quartierskonzeptes durch die von der Gemeinde Königsbronn beauftragten Projektpartner vom 25.10.2017.

- [Unterlagen 2, 3 und 4 \(im Band die Seiten 14 bis 16\)](#)

Presseberichte der Heidenheimer Zeitung vom ~~15.~~^{5.7.} und 2.12.2017 und 28.4.2018 über den Gemeinderatsbeschluss und die bisherigen Bürgerinformationsversammlungen

- [Unterlage 5 \(im Band die Seiten 17 bis 28\)](#)

Ergebniszusammenfassung der durchgeführten Gebäudeuntersuchungen vom 25.10.2019, verfasst von Dipl.-Ing. (FH) Gerhard Sattler, Energieberater
Donauschwabenstr. 12, 89555 Steinheim, Tel. 07329 92 06 31 Email: info@ib-sattler.de
Internet: www.ib-sattler.de

Die jeweils rund 50 Seiten starken Untersuchungsberichte zu den zehn detailliert untersuchten Gebäuden wurden auf der Basis der Zusicherung der vertraulichen Behandlung erstellt und werden deshalb nicht allgemein veröffentlicht.

- [Unterlage 6 \(im Band die Seiten 29 bis 93\)](#)

Bericht für die Gemeinde Königsbronn „Konzeption einer erneuerbaren Wärmeversorgung für das Quartier bei der Gießerei im Rahmen eines integrierten Quartierskonzeptes – Arbeitsteil Solites“
Version 1.0 (2018) Autoren Michael Klöck, Dirk Mangold, Oliver Miedaner und Julian Rolker.
Solites / Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme
Meitnerstr. 8, 70563 Stuttgart, Tel. 0711 673 2000 – 0 Telefax – 99
Email: info@solites.de, Internet: www.solites.de

- [Unterlage 7 \(im Band die Seiten 94 bis 200\)](#)

Bachelorarbeit von Katharina Anna Leichrich, erstellt zum Studienabschluss an der Hochschule Weihenstephan – Triesdorf im Studiengang Umweltsicherung an der Fakultät Umweltingenieurwesen (2018). Thema: Thermische Nutzung des Untergrundes im Wasserschutzgebiet am Beispiel von Königsbronn. Kontakt: leirich.katharina@gmx.de

Die Arbeit beinhaltet zum einen die Datenlieferungen des Landratsamtes Heidenheim zu den derzeit im Landkreis zu findenden Nutzungen von Wärmeenergie aus dem Untergrund und zum anderen eine systematische Information zu den Technologien der Nutzung dieser Wärmeenergiequellen und ist damit für viele weitere Projekte von hohem Wert.

- [Unterlage 8 \(im Band die Seiten 201 bis 224\)](#)

Das der im Abschlussbericht vorgeschlagenen Nahwärmeversorgung zugrunde liegende Zahlenwerk von Martin Lohrmann, Untere Flüh 1, 79713 Bad Säckingen, Tel. 07761 55 98 92
Email: service@wirtschaft-umwelt.de, Internet: www.wirtschaft-umwelt.de

Das Zahlenwerk umfasst die Berechnungen zu Energieeinsparung, künftigem Wärmebedarf, technisch-energetische Konzeption der künftigen Wärmeversorgung, Berechnung der Nahwärmegestehungskosten, Kosten und Nutzen aus der Sicht der Gebäudeeigentümer sowie Bilanzierung von Nutzwärme, Endenergiebedarf und THG-Emissionen für den Zielzustand „Jahr 2030“.

Zugang zu den Unterlagen

Der Materialsammelband ist hinterlegt bei:

Gemeindeverwaltung Königsbronn, Jörg Bielke, Ortsbaumeister
Rathaus, Herwartstr. 2, 89551 Königsbronn / www.koenigsbronn.de / Tel. 07328 9625 – 20

Arbeitskreis Bürger-Energie Königsbronn, Werner Glatzle, Sprecher des AK
www.buergerenergie-koenigsbronn.de / werner.glatzle@t-online.de / Tel. (07328) 4399

und bei den vorstehend genannten Verfassern der Unterlagen

**Integriertes Quartierskonzept (IQZ) Königsbronn
Möglichkeiten der treibhausgasneutralen Wärmeversorgung und
weitere Energieeinsparmöglichkeiten im „Quartier bei der Gießerei“**

Lastenheft: Beschreibung der Ziele und des Umfangs der Untersuchungen
als Grundlage für die Einholung der Leistungs- und Honorarangebote
bei den Wissenschaftlern und Fachplanern, die sich am 27.4.2017 in Königsbronn vorstellten
und zur gemeinschaftlichen Ausarbeitung des Quartierskonzeptes bereit sind

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung / Änderungshinweis 1

1) Ausgangssituation und Untersuchungsauftrag 2

2) Mitwirkende 5

3) Gliederung und Untersuchungsumfang des Quartierskonzeptes 6

4) Zeitliche Ablaufplanung..... 9

5) Das Quartier 11

Vorbemerkung / Änderungshinweis

Gegenüber der Version des Lastenheftes aus Mai 2017 ergeben sich keine Änderungen im Aufgabenumfang. Mit Schreiben vom 9.8.2017 hatte die KfW die Förderung für den darin skizzierten Untersuchungsumfang zugesagt. Aufgrund des Insolvenzantrags der SHW-Gießerei ebenfalls im August 2017 musste jedoch zunächst abgewartet werden, ob im Quartierskonzept die Abwärme der Gießerei noch mit berücksichtigt werden kann, oder ob von Anbeginn ausschließlich auf erneuerbare Energiequellen ohne industrielle Abwärme für die Hauswärmebereitstellung zurückgegriffen werden muss. Das Insolvenzverfahren nahm zwischenzeitlich einen positiven Verlauf; es gibt eine größere Anzahl an Bietern für eine Betriebsfortführung von SHW, so dass im Augenblick die lokalen Akteure davon ausgehen, dass die Gießerei auf finanziell geordneter Basis ihr Kerngeschäft wird fortführen können. Für diesen wahrscheinlichen Fall kann das Angebot einer Bürger-Energiegenossenschaft zur Verwertung von Abwärme dazu beitragen, dass auf Seiten von SHW die Energiekosten aufgrund von Einnahmen aus der Abwärmelieferung an die Genossenschaft sinken, und auf der anderen Seite können die Investitionen der Bürgerenergiegenossenschaft in die Wärmegewinnung zunächst niedriger ausfallen. Das zu erstellende Quartierskonzept muss aber auch für den aus heutiger Sicht eher unwahrscheinlichen Fall der Nichtweiterführung der Gießerei eine klare Analyse und Empfehlung für eine nachhaltige Wärmeversorgung der Gebäude im Quartier liefern.

Vor diesem Hintergrund hat die Gemeindeverwaltung nun beschlossen, dass jene Arbeiten gemäß Lastenheft, die ohnehin erledigt werden müssen, zügig gestartet werden sollen. Auf den Seiten 10 ff. sind die Termine für die Aufgabenerledigung neu festgelegt.

1) Ausgangssituation und Untersuchungsauftrag

Der weitere Anstieg der Treibhausgaskonzentration in der Erdatmosphäre und die damit einhergehende Erderwärmung müssen gestoppt werden, um relativ stabile Lebensbedingungen zu erhalten, wie sie für uns Menschen und für die Tiere und Pflanzen förderlich sind. Die Bundesregierung hat sich mit ihrer Zustimmung zum Klimaschutzabkommen von Paris und mit dem in Marrakesch vorgelegten Klimaschutzplan zu einer schnellen Reduzierung der Treibhausgasemissionen in Deutschland verpflichtet. Der private, gewerbliche und öffentliche Gebäudebestand trägt durch den Einsatz von Heizöl und Erdgas zur Erzeugung von Wärme mit 119 Millionen Tonnen zur Gesamtemission von über 900 Millionen Tonnen Treibhausgasen (CO₂-Äquivalente) in die Erdatmosphäre bei¹. Im Gebäudebestand sollen die Emissionen bereits bis zum Jahr 2030 auf < 72 Millionen Tonnen zurückgehen (- 39 %). Bis 2050 soll Treibhausgasneutralität im Gebäudesektor erreicht werden. Weil Investitionen in die Gebäudehülle und in neue Heizungsanlagen teuer und für eine lange Nutzung gedacht sind, warnt die Bundesregierung vor Fehlinvestitionen.

Durch Verschärfungen der EnEV und des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes und durch eine Vielzahl an Förder- und Beratungsprogrammen sollen die Gebäudeeigentümer zur Sanierung der Gebäude und zur Umstellung des Wärmebezugs auf erneuerbaren Energien und ggf. Abwärme bewegt werden. Der Erfolg hängt maßgeblich davon ab, dass die Kommunen den Ball aufgreifen und in intensiver Diskussion und Interaktion mit den lokalen Gebäudeeigentümern die Handlungsmöglichkeiten untersuchen und wirksame Maßnahmen anstoßen.

Das Landratsamt Heidenheim hat in Kooperation mit der Hochschule Aalen ein Klimaschutzkonzept [Endfassung vom 11.07.2016] erstellt, welches sämtliche Gemeinden des Landkreises mit ihrem heutigen Energieverbrauch erfasst und die Ziele aus dem Klimaschutzkonzept der Bundesregierung auf die Gemeindeebene herunterbricht. Bezüglich Königsbronn wird der Wärmeerzeugung im privaten und gewerblichen Gebäudebestand (ohne die Industriebetriebe) eine CO₂-Emission von >10.000 Tonnen/Jahr zugeschrieben. Die zentrale Handlungsmöglichkeit zur Senkung der Treibhausgasemissionen wird darin gesehen, dass der Wärmebedarf bis zum Jahr 2050 halbiert wird: Von aktuell 84.000 MWh/a auf dann 43.000 MWh/a. Dies setzt sehr hohe Ausgaben für die energetische Sanierung des Gebäudebestandes und für einen Ersatz von Altbauten durch Neubauten voraus.

Bei der Identifizierung von Energiequellen für die Deckung des Restwärmebedarfs verbleiben im Klimaschutzkonzept für den Landkreis große Lücken. Für Königsbronn wurde angenommen, dass die 9.000 MWh/a, mit denen die erneuerbaren Energien heute zur Wärmeversorgung beitragen, bis 2050 auf 12.000 MWh/a gesteigert werden können. Weil die Energieholzpotenziale begrenzt sind, wären dies vor allem Zuwächse bei der Solarwärme und Umweltwärme.

Vor diesem Hintergrund haben nicht nur die Gemeinde Königsbronn und ihre vielen Gebäudeeigentümer sondern auch das Landratsamt und die Hochschule Aalen großes Interesse an einer beispielhaften Klärung, wie z.B. unter den konkreten Bedingungen von Königsbronn die große Energieeinsparung im Gebäudebestand auf den Weg gebracht und wie die Lücke bei der Deckung des Restwärmebedarfs aus treibhausgasneutralen Quellen geschlossen werden kann.

Die Gemeinde Königsbronn konzentrierte sich bisher auf die Senkung des Energiebedarfs im gemeindeeigenen Gebäudebestand.² Mit wenigen Maßnahmen können hier größere Einsparungen

¹ Siehe die Grafik des BMUB zu den quantitativen THG-Senkungsbeiträgen der Sektoren

² Zur Kontrolle des Energieverbrauchs von 20 kommunalen Liegenschaften sowie Anregung von Einsparmaßnahmen wird jährlich ein Energiebericht erstellt.

beim Endenergieverbrauch und den Treibhausgasemissionen erreicht werden³. Die Energieeinsparung im privaten und gewerblichen Hausbestand kam und kommt demgegenüber nur langsam voran. Der Einsatz von Wärme aus erneuerbaren Energien ist im Gebäudebestand in der Tallage gering, weil Wärme aus Holz hier nur eine geringe und Wärme aus Biogas gar keine Rolle spielt. Auch solarthermische Anlagen⁴ und Luft-Wasser-Wärmepumpen⁵ sind nur wenige zu finden. Die Nutzung der industriellen Abwärme aus einer Gießerei in der Dorfmitte war bisher kein Diskussionsthema.

Damit ein Durchbruch bei der Energieeinsparung und Treibhausgasminderung auf den Weg kommt, muss die Gemeinde die Untersuchung der Handlungsmöglichkeiten der privaten und gewerblichen Gebäudeeigentümer voranbringen. Sie hat dies in einem ersten Schritt dadurch getan, dass im Rahmen der Zukunftsoffensive Königsbronn auch der Arbeitskreis Bürger-Energie gegründet wurde, dessen Arbeit mit Räumlichkeiten und Werbung sowie durch die Mitarbeit von Gemeinderäten unterstützt wird, und dessen Vorschläge im Gemeinderat behandelt werden. Dieser Arbeitskreis spielt mit seinen eigenen Ideen und mit seinen persönlichen Kontakten zu den vielen Hausbesitzern und lokalen Unternehmern eine zentrale Rolle für die Energiewende im privaten und gewerblichen Gebäudebestand. So kam auch die Initiative zur Erstellung eines Quartierskonzeptes aus diesem Arbeitskreis. Die Ausarbeitung des Quartierskonzeptes wird in enger Zusammenarbeit mit diesem Arbeitskreis und mit der Gemeindeverwaltung erfolgen.

Die Untersuchung der lokalen Energiepotenziale für die Gebäudeheizung und Warmwassererzeugung muss jetzt - also frühzeitig - erfolgen, weil es am Ort Energiequellen gibt, die für den einzelnen Gebäudeeigentümer gar nicht zugänglich sind. Viele anstehende Heizungserneuerungen würden sich in der Installation von Erdgas-Brennwertkesseln und Installation einer solarthermischen Anlage erschöpfen. Aktuelle Energieeffizienzplanungen in den Betrieben würden ohne Vernetzung mit der Energieversorgungsplanung in den umliegenden privaten Gebäuden erfolgen.

Bei den Wärmeenergiequellen, die nur gemeinschaftlich erschlossen werden können, geht es in Königsbronn zuallererst um die Nutzung der Abwärme aus den Schmelz- und Härtungsprozessen sowie aus einer eventuell noch dazu kommenden Eigenstromerzeugung von einer mitten im Dorf gelegenen Gießerei. Weiterhin geht es um die Einschätzung der Niedertemperatur-Wärmemengen, die mittels Wärmeaustauschsystem und Wärmepumpen aus Abwasserkanälen und Fließgewässern im Quartier bei der Gießerei gewonnen werden können.

Weil die Wärme aus den vorgenannten Wärmequellen über das ganze Jahr verteilt anfällt, die hohen Wärmelasten sich aber auf die Wintermonate konzentrieren, werden die Untersuchungen zur saisonalen Verschiebung von Wärmeüberschüssen aus den Sommer- in die Wintermonate mittels großem Wärmespeicher und modernem Speichermanagement eine zentrale Rolle spielen.

Die Gemeinde erwartet zudem, dass aufgezeigt wird, welche größeren alternativen Wärmequellen für den Betrieb eines Nahwärmenetzes genutzt werden können, falls die im internationalen Wettbewerb stehende Gießerei ihren Betrieb einstellen müsste und die industrielle Abwärmequelle wegbrechen würden. Für diese Situation kommen die lokalen Erdwärmepotenziale sowie die Möglichkeiten zur Aufstellung von größeren solarthermischen Anlagen und von weiteren Wärmespeichern ins Spiel; auch diese Wärmeenergiepotenziale sollen in den Untersuchungen realitätsnah technisch und wirtschaftlich eingeschätzt werden.

³ Z.B. aktuell energetische Sanierung der Realschule mit Halle und Bezug des Großteils der Wärme nicht mehr aus Erdgaskesseln sondern von einem Erdgas-BHKW.

⁴ Die das enge Tal säumenden steilen Hänge werfen Schatten, so dass die Jahreserträge der solarthermischen Anlagen geringer als andernorts ausfallen

⁵ Im Albhochtal kann es im Winter sehr kalt werden; das sind keine idealen Bedingungen für den energieeffizienten Betrieb von Luft-Wasser-Wärmepumpen

Weil die vorhandenen Abwärmemengen (Gießerei, Abwassersammler) und die leichter zugänglichen erneuerbaren Wärmeenergiequellen (Fließgewässer, solarthermische Anlagen) begrenzt sind, muss die Klärung der Nahwärmepotenziale zwingend mit einer Klärung der Wärmeeinsparmöglichkeiten im Gebäudebestand einher gehen, damit möglichst viele Gebäude in den Genuss von kostengünstiger Nahwärme kommen können. Für die verschiedenen Baualtersklassen im Quartier muss aufgezeigt werden, wie viel Energie durch eine bautypische Sanierungsmaßnahme eingespart werden kann. Die Bürger-Energie-Genossenschaft kann diese Vorschläge aufgreifen und Kostenvorteile durch gemeinschaftliches Sanieren und gemeinschaftliche Heizungserneuerung organisieren.

Der klassische Konflikt, wonach ein Nahwärmeversorger aus Gründen der Betriebsrentabilität Interesse am höheren Wärmeumsatz mit vorwiegend größeren Verbraucher hat, soll von vorne herein dadurch vermieden werden, dass für die Planung, Errichtung, Finanzierung und Betreibung ggf. eine Energiegenossenschaft gegründet wird. In ihr würden dann sämtliche Eigentümer von öffentlichen, gewerblichen und privaten Gebäuden mit Interesse an einer klimaverträglichen, sicheren und kostengünstigen Wärmeversorgung aus lokalen Energiequellen Mitglied werden. Die Netzanschlussbedingungen und der Wärmestartpreis würden so gesetzt und bei Bedarf durch Vorstandbeschluss angepasst, dass bei guter Betriebsführung Vollkostendeckung erreicht wird. Daseinsfürsorge, nicht Gewinnausschüttung wäre das Unternehmensziel. Mit dieser Herangehensweise soll eine hohe Netzanschlussquote als Voraussetzung für einen energie- und kosteneffizienten Nahwärmebetrieb erreicht werden. Hinzukommen muss ein Vorstand der Genossenschaft, dem die Bürgerschaft die sichere unternehmerische Leitung des Nahwärmebetriebes zutraut. Durch die Mitwirkung des AK Bürger-Energie an der Konzepterstellung werden jene Personen entdeckt und geschult, welche für Führungsaufgaben in der Energiegenossenschaft in Frage kommen.

Das von der Bundesregierung über die KfW angebotene Förderprogramm Nr. 432 für die Erstellung von integrierten Quartierskonzepten ist in idealer Weise dafür geeignet, die vorstehend skizzierten Untersuchungen in Königsbrunn zur Energiewende im Gebäudebestand voranzubringen. Angrenzend an die Gießerei mit bisher verlorener Abwärme wurde ein Quartier definiert werden, das sich aufgrund seiner Bebauungsdichte bei hoher Mitmachquote der Gebäudeeigentümer für eine Nahwärmeversorgung eignen würde (Grafik Seite 12, das „Quartier bei der Gießerei“). In einem großen Wärmespeicher nahe bei der Gießerei könnte die Abwärme mit niedrigem und höherem Temperaturniveau gesammelt und für den Betrieb eines Wärmenetzes bereitgestellt werden. Im großen Wärmespeicher und/oder über weitere Einspeisepunkte ins Wärmenetz könnten die anderen Energiequellen mobilisiert werden (Wärme aus Abwasserkanälen, von einer Karstquelle, von solarthermischen Anlagen und Erdwärme).

Weil nicht jede Straße im Quartier so dicht bebaut ist, dass sie sich für die Verlegung von Nahwärmeleitungen eignen würde, muss im Quartierskonzept den nicht am Wärmenetz liegenden Hausbesitzern aufgezeigt werden, was für sie die besten Alternativen für eine treibhausgasneutrale Hausheizung sind. Die Energiegenossenschaft soll und will auch diese Hauseigentümer durch Information und Beratung sowie Organisation von gemeinschaftlichem Sanieren unterstützen.

Aus der vorstehenden Aufgabenbeschreibung leitet sich das nachfolgende Inhaltsverzeichnis und Lastenheft für die im Rahmen des Quartierskonzeptes durchzuführenden Untersuchungen ab. Die Konzepterstellung erfolgt durch externe, zu bezahlende Wissensträger und Fachkräfte in intensiver Interaktion mit den zuständigen Stellen und Akteuren vor Ort.

2) Mitwirkende

(jeweils mit Kürzeln versehen, die in der Arbeitsplanung verwendet werden)

- GV** Gemeindeverwaltung von Königsbronn
geleitet durch Bürgermeister Michael Stütz.
Die GV ist Auftraggeber für die Erstellung des Quartierskonzeptes und in dieser Funktion zentrale Zuständigkeit für die Vorgabe und Konkretisierung von Konzeptinhalten und für die Abnahme und Bezahlung von Leistungen
- GR** Gemeinderat von Königsbronn
Er hat in seiner Sitzung vom 27.4.2017 die GV mit der Einholung eines Angebotes für die Erstellung des Quartierkonzeptes beauftragt
- AK-BE** Arbeitskreis Bürger-Energie, Königsbronn
Teil der Bürgerbeteiligungsplattform „Zukunftsoffensive Königsbronn“, zuständig für den Aufbau der Kommunikation mit allen Gebäudeeigentümern im Quartier und in diesem Zusammenhang Erfassung der für eine Energieversorgungsplanung erforderlichen Gebäude- und Verbrauchsdaten, hierbei angeleitet und unterstützt durch HS Aalen und ML
- WG** Werner Glatzle, Sprecher des AK Bürger-Energie und Gemeinderat, von Seiten der Gemeinde beauftragt, gemeinsam mit ML das Projekt zu leiten und die am Aufbau der Energiegenossenschaft interessierten Bürger und Unternehmer um sich zu scharen und einzubinden
- OBM** Jörg Bielke, Ortsbaumeister von Königsbronn
im Projekt zuständig für die Fragen der städtebaulichen Planung
- ML** Martin Lohrmann, Bad Säckingen
Projektentwicklung für Fernwärmeprojekte, konzeptionelle Arbeiten zur Energiewende und Coaching für den Aufbau von Energiegenossenschaften.
Kordinator der Fachgruppe, zusammen mit WG die Projektleitung bildend
- Solites** Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige Energiesysteme, Stuttgart
Im Projekt tätig mit Dirk Mangold (Institutsleiter) und Oliver Miedaner (F & E) zuständig für die Erfassung, technische Mobilisierung und Bewertung der für die Wärmeversorgung mobilisierbaren Energiequellen inklusive Energiespeicherung. Zuständig auch für die Bilanzierung des Verbrauchs an Energie und die Emission von Treibhausgasen im Ausgangs- und Zielzustand.
- PEG** PRODUR Engineering GmbH, Elstra
Fachplanungsbüro für Fernwärmenetze
Im Projekt vertreten durch den Geschäftsführer Ulf-Henning Palmer zuständig für die Fragen der Abnahme, Verteilung und Übergabe von Wärme aus den von Solites identifizierten Energiequellen und -speichern im Quartier (Wärmenetz)
- IBS** Ingenieurbüro Sattler, Steinheim
im Projekt vertreten durch Gerhard Sattler
Zuständig für die energetische Bewertung des Gebäudebestandes im Quartier und für Beispiele der bautypischen energetischen Sanierung inklusive Restwärmebedarfsdeckung aus einer Heizung ohne CO₂-Emissionen

- HS Aalen Hochschule Aalen
Das Land Baden-Württemberg gewährte der HS Aalen, Forschungs- und Lehrstelle von Frau Prof. Dr. Martina Hofmann, einen Zuschuss, damit sie bzw. von ihr beauftragte Mitarbeiter und Studenten eine Startberatung für Nahwärmeinitiativen in Ostwürttemberg anbieten können. Zwischen dem AK-BE und Frau Hofmann wird abgestimmt, in welchem Umfang die Hochschule aus dieser Funktion heraus das Projekt im nahe gelegenen Königsbronn unterstützen kann.
- LRA Landratsamt Heidenheim
Im Auftrag des LRA hatte die HS Aalen das Integrierte Klimakonzept für den Landkreis Heidenheim erstellt, welches nun u.a. durch das Quartierskonzept in Königsbronn eine lokale Konkretisierung und Umsetzung erfahren soll. Frau Dr. Katrin Ilg, im LRA zuständig für Klimaschutz und Gewässerschutz, und weitere Mitarbeiter aus der Gewerbeaufsicht, die an der Erstellung des Klimaschutzkonzeptes für den Landkreis beteiligt waren, wirken im Projekt beratend und unterstützend mit.
- KEA Neu eingerichtetes Kompetenzzentrum Wärmenetze der KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH, Karlsruhe.
Durch Einladung zu den Experten-Workshops und zu den Arbeitssitzungen des AK Bürger-Energie sowie zu Bürgerinformationsveranstaltungen wird das Wissen, das sich in diesem Kompetenzzentrum für die Planung von Nahwärmenetzen über viele Jahre aufgebaute, für die Wärmeversorgungsplanungen in Königsbronn fruchtbar gemacht.

3) Gliederung und Untersuchungsumfang des Quartierskonzeptes

mit Vorgaben zur Erledigung durch die an der Konzepterstellung Mitwirkenden

1. Beschreibung der Ausgangssituation

- a. Gebäudebestand: Art, Anzahl, sektorale Zuordnung, Baualtersklassen
- b. Bebauungs- und Wärmebedarfsdichte
- c. Zahl der Bewohner und der in den Gewerbebetrieben Beschäftigten
- d. Strombedarf und Nutzwärmebedarf im Gebäudebestand
- e. Endenergieeinsatz, Primärenergieeinsatz und CO₂-Emissionen im Gebäudebestand
- f. Heutiger Anteil der erneuerbaren Energien
- g. Straßenbeleuchtung
- h. Verkehrsintensität, ausgelöst durch die Nutzung von Gemeinschaftseinrichtungen und durch Beschaffungsvorgänge für den täglichen Bedarf.

Maßnahmen/Erledigung

Gemeinsame Straßenbegehung	AK-BE und OBM	mit IBS und ML
Hausbefragung	AK-BE	evtl. mit Studenten der HS Aalen
Fragebogenentwicklung (Sinn macht nur ein Abfrageumfang, den abzuarbeiten sich der AK-BE zutraut)	Entwurf ML	Prüfung Solites und IBS
Quartiersversammlung	GV und AK-BE	alle, bis auf PEG

2. Möglichkeiten zur Senkung der THG-Emissionen durch Wärmeeinsparung (Nutzerverhalten) und Steigerung der Energieeffizienz der Gebäude durch energetische Sanierung

- a. Zu beachtende denkmalpflegerische Begrenzungen, städtebauliche und wohnungswirtschaftliche Planungen, demografische und soziale Aspekte
- b. Energetische Beurteilung und Sanierungsbeispiele:
5 x EFH, 2 x MFH, 2 x gewerbliche Nichtwohngebäude
- c. Für die Kommunalgebäude Übernahme der Daten und Maßnahmenplanung aus dem fest etablierten Energiecontrolling der Gemeinde
- d. Empfehlungen zur Gebäudesanierung und Bebauungsentwicklung
Abschätzung der damit verbundenen Nutzwärmeeinsparung bis 2030 und 2050 und des verbleibenden Restwärmebedarfs. Zudem Benennung von Hemmnissen.

Erledigung

IBS, im Austausch mit OBM und AK-BE. Datenlieferung nach Datenprüfung durch ML an Solites für die Berechnung von Energieverbrauch und THG-Emissionen durch Solites.

3. Möglichkeiten zur Deckung des Restwärmebedarfs aus treibhausgasneutralen oder zumindest treibhausgasarmen Quellen

- a. Einsparung von End- und Primärenergie durch klassische Heizungserneuerung:
Erdgas-Brennwertkessel plus Solarthermieanlage
- b. Möglichkeiten der vollständigen Wärmeerzeugung aus EE-Quellen im Einzelgebäude
 - i. Holzpelletkessel, ohne und mit Solaranlage
 - ii. Wärmepumpe auf Basis von Erdwärme
 - iii. Luft-Wasser-Wärmepumpe
 - iv. Sonstige Lösungen?

Maßnahmen

IBS, als Ergänzung der Sanierungsbeispiele gemäß Nummer 2.
Im Zusammenwirken mit AK-BE.

Datenlieferung nach Datenprüfung durch ML an Solites für die Emissionsberechnungen.

- c. Möglichkeiten der treibhausgasneutralen quartier- oder gemeindezentralen Wärmeversorgung
 - i. Nahwärmeversorgung primär aus Abwärmequellen im Quartier oder quartinah (i.e. Abwärme aus der Gießerei und aus Abwassersammler)
 - ii. Ergänzung / Streckung der Abwärme aus sonstigen Quellen (Fließgewässer, ...)
 - iii. Alternative Wärmeenergiequellen für die Fortführung Nahwärmeversorgung bei Wegfall der industriellen Abwärmequellen (Erdwärmebohrung, solarthermische Großanlagen, ...)

Erledigung

Solites, Unterstützung durch ML, Einbindung der Ideen des AK-BE

- d. Sonderbetrachtungen zur Nahwärmeversorgung
 - i. Konzeption für die Wärmespeicherung
(Größe, Aufstellungsort, Speichermanagement, Kosten, Energieverluste)

Erledigung

Solites

- ii. Konzeption für den Aufbau eines energieeffizienten Wärmenetzes
 Netzlageplan mit Grobdimensionierung der Leitungen unter Beachtung von Überlegungen zum weiteren Netzausbau.
 Darlegung, wie das Wärmenetz mit niedrigen Betriebstemperaturen und Netzverlusten betrieben werden kann.
 Darlegung zur hygienisch einwandfreien Warmwassererzeugung mit möglichst niedrigen Vor- und Rücklauftemperaturen.
 Spezifizierung der erforderlichen hydraulischen Maßnahmen zur Einbindung der von Solites identifizierten Wärmequellen und des Wärmespeichers (jedoch ohne die Maßnahmen innerhalb des Betriebes der Gießerei).
 Spezifizierung der in der Nahwärmezentrale erforderlichen Heizungstechnik und der baulichen Anforderungen an deren Unterbringung.
 Kostenschätzung zum wie vorstehend definierten Nahwärmenetz.

Erledigung

Entwurf für das Nahwärmenetz durch ML. Kostenschätzungen durch PEG nach Vorgaben zum Wärmenetz durch ML und zu den Wärmequellen durch Solites. Grafiken, um das hydraulische Prinzip der Nahwärme, des Hausanschlusses und der Warmwasserbereitung anschaulich darzustellen durch PEG und ML mit KEA. Textlieferung für den Abschlussbericht durch ML.

- e. Empfehlungen des Teams zur Deckung des Restwärmebedarfs und Abschätzung der damit verbundenen Einsparungen an Energie und Treibhausgasemissionen unter besonderer Berücksichtigung von Wärmegestehungskosten, Versorgungsrisiken und Hemmnissen

Erledigung

Ergebnis eines Team-Workshops zur gemeinsamen Auswertung der vorgenannten Einzelarbeiten. Moderation, Zusammenfassung / Formulierung der Ergebnisse durch ML, unterstützt von Solites.

4. Möglichkeiten zur Einsparung von Strom sowie von Energieträgern und THG-Emissionen bei der Strombedarfsdeckung

- a. Reduzierung des Strombedarfs durch Erneuerung der Straßenbeleuchtung
- b. Möglichkeiten zur Strombedarfsdeckung aus PV-Anlagen auf Dachflächen im Quartier
- c. Empfehlungen zur Umsetzung

Erledigung

Der AK-Bürger-Energie und der Ortsbaumeister bringen hierzu ihre Ideen und Planungen ein.

5. Möglichkeiten zur Reduzierung des verkehrsbedingten Energieverbräuche und THG-Emissionen

- a. Reduzierung der Autofahrten zu Schulen und Kindergärten durch für Jung und Alt interessante und sichere Rad- und Fußwege
- b. Emobil-Carsharing-Angebot für Fahrten in der Nahumgebung
- c. Empfehlungen zur Umsetzung

Erledigung

Der AK-Bürger-Energie und der Ortsbaumeister bringen hierzu ihre Ideen und Planungen ein.

6. Bilanzierung der Energie- und THG-Einsparungen durch Realisierung des Zielzustandes

- a. Im Wärmesektor, bei Umsetzung der Empfehlungen gemäß Nr. 2 und 3
- b. Im Stromsektor, bei Umsetzung der Empfehlungen gemäß Nr. 4
- c. Im Mobilitätssektor, bei Umsetzung der Empfehlungen gemäß Nr. 5

Erledigung

Solites, aufbauend auf die Datenlieferungen durch jene Teammitglieder, die für die jeweilige Einzelmaßnahme zuständig sind. Auf Wunsch von Solites Mitwirkung von ML.

7. Einbeziehung der im Quartier betroffenen Grundeigentümer und Bewohner

- a. In die Konzepterarbeitung
- b. In die Umsetzung

Erledigung

Dies wird dadurch erreicht und gewährleistet, dass der AK Bürgerenergie sich in alle Aspekte der Untersuchungen und Konzepterarbeitung einbringt, weitere Bürger zur Mitwirkung im AK sucht und als umfassende Kommunikationsbrücke zur Bürgerschaft wirkt. Die Information läuft über Informationsveranstaltungen, Hausbesuche, Gesprächsabende, Berichte im Gemeindeblatt und in der Lokalpresse. Zur Ausarbeitung von Einzelthemen sind Besuchsfahrten in andere Gemeinden bzw. zu Referenzprojekten vorgesehen.

8. Einbeziehung aller öffentlichen Stellen in die Konzepterstellung, um frühzeitig Genehmigungserfordernisse zu erkennen und Genehmigungsanforderungen zu klären

Erledigung

Hierauf wird die Projektleitung (ML/WG) achten. Soweit die Mitwirkung einzelner Teammitglieder z.B. bei Gesprächen mit Genehmigungsstellen erforderlich wird, werden sie von ML/WG angefordert.

9. Über das Quartier hinausreichende Wirkungen

- a. Übertragbarkeit auf weitere Quartiere in der Gemeinde
- b. Übertragbarkeit auf andere Gemeinden
- c. Öffentlichkeitsarbeit

Erläuterung

Der Aufwand für die Erstellung eines Quartierskonzeptes wird betrieben, weil sich die Gemeinde daraus Gewinne für sechs weitere Quartiere im Dorf erhofft. Die Konzeptausarbeitung wird vom Landratsamt und der HS Aalen und mit hoher Wahrscheinlichkeit auch von den Umlandgemeinden mit Interesse verfolgt, um daraus einen Nutzen für diese Gemeinden bzw. die Region zu ziehen.

4) Zeitliche Ablaufplanung

Die Untersuchungsaufgaben mit federführend Verantwortlichen und Mitwirkenden sind vorstehend beschrieben und benannt. Die zeitliche Umsetzung ist wie folgt vorgesehen:

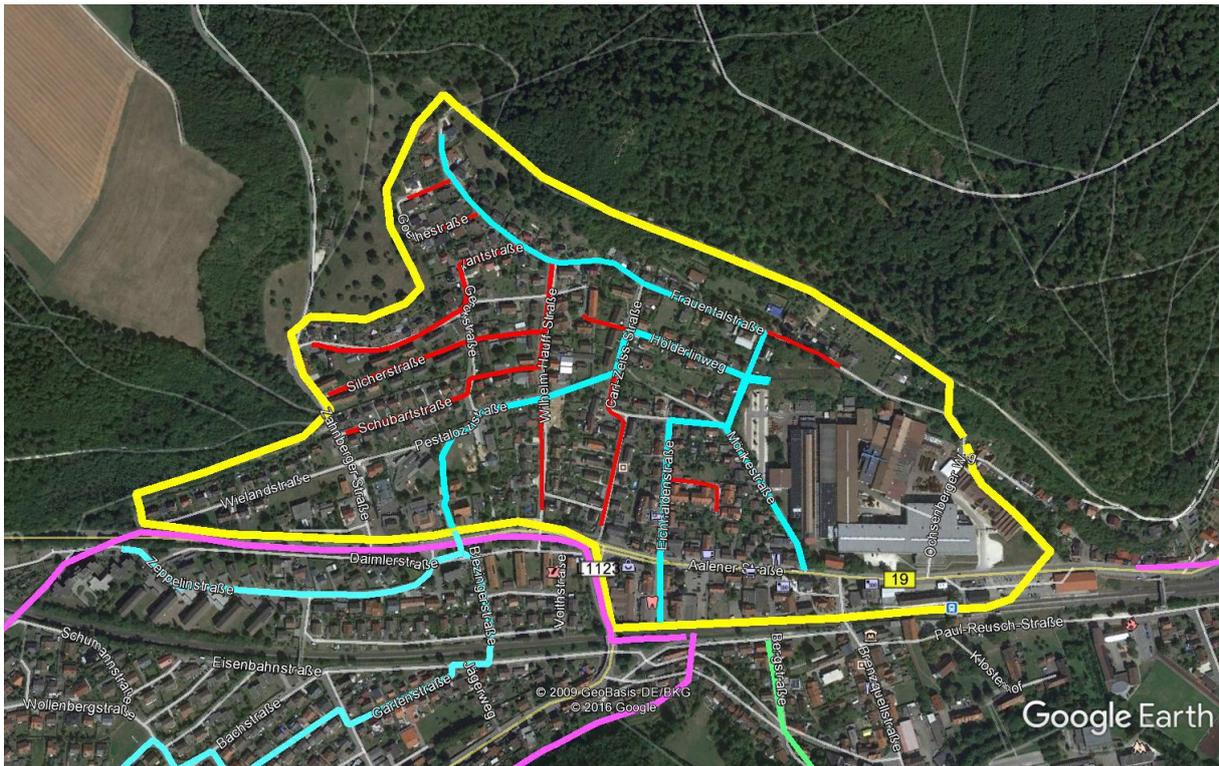
Ende 10/2017	Auftragserteilung zur Konzepterstellung
22.11.2017	Auftakt-Workshop: Jeder präsentiert seine Idee zur konkreten Umsetzung des Auftrags. Es werden detaillierte Arbeitsabsprachen getroffen. Die Beiträge zur Bürgerinformationsversammlung werden abgestimmt.
30.11.2017	Bürgerinformationsversammlung in der Hammerschmiede Vorstellung von Zielen, Team und Vorgehensweisen Werbung für die Mitwirkung im AK-BE und für die Lieferung aller hausbezogenen Daten, die für die Konzepterstellung erforderlich sind
Dez 17-28.2.18	Versendung der Fragebögen durch die GV, mit Flyer Hausgespräche, Erfassung der Gebäudeenergiedaten durch den AK-BE Ermittlung des Gesamtwärmebedarfs

Jan-Apr2018	Ausarbeitung der Mustersanierungsvorschläge inkl. hausindividueller EE-Heizung durch IBS Abschätzung der Dämmrate bzw. des mifri Bedarfsrückgangs
Dez17-März18	Ermittlung der Wärmequellen durch Solites, die für eine nachhaltige Wärmeversorgung im Quartier zur Verfügung stehen
Zu gg. Zeit	Gespräche mit der neuen SHW-Führung über die Lieferung von Abwärme in einen Wärmespeicher ggf. auf SHW-Gelände
März-Apr18	Vorschlag zum Wärmespeicherkonzept durch Solites im Hinblick auf die benannten Wärmeenergiequellen
April 2018	Zweiter Team-Workshop zur Bewertung der Zwischenergebnisse und Konkretisierung der weiteren Arbeitsabläufe Informationsversammlung für die Bürger zu den Zwischenergebnissen Auszahlung der ersten Raten an die Leistungserbringer (mit Sonderregelung für IBS).
Mai/Jun 2018	Aufbauend auf die Erfassung des Wärmebedarfs und der Wärmequellen und unter Beachtung des Wärmespeicherkonzeptes Erstellung des Entwurfs zum sinnvollen Umfang der Nahwärmeversorgung (mit Netzlageplan) und zum hydraulischen Betriebssystem durch ML und PEG mit Investitionskosten-schätzung
Jun 2018	Klärung der Fördermöglichkeiten durch Solites und ML Erstellung der Wirtschaftlichkeitsberechnungen durch ML mit Zuarbeit aus den Einzelgewerken
Juli 2018	Entwurf des Quartierkonzeptes als geschlossenes Ganzes durch ML. Mit welchem Betriebs- und Investitionskonzept könnte die Bürgerenergiegenossenschaft starten? Diskussion im dritten Team-Workshop. Feststellung von ggf. notwendigen Nacharbeiten. Danach Abgabe des Entwurfs bei der Gemeindeverwaltung
Sep 2018	Schlussredaktion durch Solites und ML Abgabe der Endfassung des Quartierskonzeptes bei der Gemeindeverwaltung
Okt 2018	Präsentation und Diskussion der Ergebnisse im Gemeinderat Danach: Auszahlung der 2. Rate an die Leistungserbringer und Abgabe des Quartierkonzeptes durch die GV bei der KfW Durchführung der 3. Bürgerinformationsversammlung
bis Dez 2018	Auszahlung der Schlussraten an die Leistungserbringer nach Gutbefund und Zuschussüberweisung durch die KfW an die Gemeinde

Die vorgenannten Arbeitsschritte werden von AK Bürgerenergie begleitet, indem dieser eigene Sitzungen anberaumt, Lernfahrten in andere Gemeinden durchführt, Berichte für das Gemeindeblatt und die Presse schreibt, den Gemeinderat auf Wunsch über den Stand der Projektbearbeitung unterrichtet usw.

Sämtliche Team-Workshops sind offen für Teilnehmer von Seiten des AK Bürger-Energie, der Gemeindeverwaltung und des Gemeinderates.

5) Das Quartier



Daten zum Quartier

Wärmeverbraucher:

ca. 300 Gebäude mit einem Wärmebedarf von geschätzt 7.000 MWh/a
überwiegend Wohnhäuser / EFH und ZFH, dazu ca. 40 kleine und mittelgroße MFH
Grundschule und Kindergarten
Ev. und kath. Gemeindehaus
Gewerbeflächen, Kleingeschäfte, Gaststätten
Die meisten Straßenzüge mit für Nahwärme geeigneter Wärmebedarfsdichte

Wärmequellen bei der Gießerei im Quartier:

die Gießerei SHW mit Abwärme aus Induktionsöfen und Nachhärterei
Evtl. dazu kommend Wärme aus der Eigenstromerzeugung
Fließwasser aus der Pfefferquelle (Nutzungsrecht bei SHW liegend)
Wärme aus Abwassersammler

Noch gesucht bzw. zu identifizieren sind die EE-Energiequellen,
welche ggfs. eine Fortführung der Nahwärmeversorgung unabhängig von SHW möglich machen:
(Dach-) Flächen für Solarthermie- und PV-Anlagen
Standort für Erdwärmebohrungen

Wärmequellenabhängig sind die Aufstellungsort für den Wärmespeicher und für die
Nahwärmezentrale zu benennen.

15 KREIS UND REGION

Brachliegendes Energiepotenzial

Industrielle Abwärme Um die Nutzung für Heizzwecke im Nahbereich zu ermöglichen, will Königsbronn mit einem „Quartierkonzept“ Neuland betreten und stellt auch Geld dafür bereit. *Von Gerhard Stock*

Während in privaten Haushalten das Energiesparen verantwortungsbewussten Bürgern längst eine Ehrensache ist und ambitionierten Energiesparern in der Praxis kaum eine Watzahl zu klein, um vielleicht nicht doch noch ein bisschen gedrückt zu werden, fristet ein sehr viel größeres und eventuell auch lohnenderes Sparpotenzial ein hartnäckiges Schattendasein: industrielle Abwärme. Die entsteht oft trotz optimierter Produktionsprozesse in gewaltigen Mengen und entweicht mangels rentabler Verwendungsmöglichkeit letztlich nutzlos in die Umwelt. Aus Gießereien zum Beispiel, von denen in Königsbronn gleich zwei im Ort angesiedelt sind: im Hüttenwerk und bei C. F. Maier.

Das spannende Thema Abwärmenutzung hat auch den neuen Arbeitskreis Bürger-Energie gepackt und nicht mehr losgelassen, allen voran Werner Glatzle, Initiator und Sprecher dieses Arbeitskreises, der sich am Donnerstagabend zu weiterer Besprechung auch in dieser Angelegenheit traf.

Ausgehend von der Idee, in Königsbronn ein Nahwärmenetz aufzubauen, das nicht mit Energie aus fossilen Brennstoffen, sondern mit erneuerbaren Energien gespeist wird, rückten bei der Betrachtung der Gegebenheiten schnell auch die beiden örtlichen Gießereien in den Fokus – neben anderen Möglichkeiten wie Blockheizkraftwerk oder Sammeln von Solarwärme in größeren Wärmespeicher.

Hohe Klimaschutzwirkung

Wie aber anstellen in der Praxis? Klar, Fachleute müssen ran, um Möglichkeiten einer gemeinschaftlichen zentralen Wärmeversorgung im Ort professionell zu erfassen, technisch abzuklären und die Wirtschaftlichkeit zu bewerten. Einfacher gesagt: Profis sollen herausfinden, ob die Abwärme-Idee in der Praxis überhaupt funktioniert. Fallen die Ergebnisse dieser fachlichen Begutachtung positiv aus, wird die Gründung einer Energiegenossenschaft angestrebt, damit die notwendigen Investitionen zum Aufbau eines Nahwärmenetzes getätigt werden können.

„Wir dürfen den Faden jetzt nicht reißen lassen oder gar ein ganzes Jahr Zeit verlieren.“

Margit Stumpff,
Gemeinderätin in Königsbronn

Dass es sich bei diesem Anliegen keineswegs nur um „heiße Luft“ handelt, wurde in der jüngsten Sitzung des Gemeinderates deutlich. Mit großer Mehrheit ent-



Walzenguss im Hüttenwerk Königsbronn: ein industrieller Produktionsvorgang, dessen Abwärme schon immer ungenutzt verpufft. Nun gibt es in Königsbronn ernsthaft Überlegungen, derlei Energiepotenzial künftig für Nahwärmezwecke zu erschließen. *Foto: Gerhard Stock*

schloss man sich nämlich, für die anstehende Pionierarbeit auch Geld der Gemeinde locker zu machen. Bei zwei Gegenstimmen und einer Enthaltung (alle aus der CDU-Fraktion) überwand das Gremium zügig plötzlich aufkommende Zögerlichkeit und gab die Ingenieurlösungen für ein „energetisches Quartierkonzept“ in Auftrag.

Im erhofften und erwarteten besten Fall würde von den mit 115 000 Euro errechneten Gesamtkosten mit 40 250 Euro nur gut ein Drittel an der Gemeinde hängen bleiben. Weil dem Königsbronner Vorhaben eine hohe „Klimaschutzwirkung“ zugetraut wird, stehen erckliche Fördergelder in Aussicht, in diesem Fall immerhin knapp 75 000 Euro. Ausgezahlt werden die von der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) – sofern die von dem vorgelegten Quartierkonzept überzeugt ist und den Förderantrag positiv bescheidet.

Die Bürger dafür gewinnen

Gleichwohl laut Ortsbaumeister Jörg Bielke „vernünftige Angebote“ zur Vergabe eingereicht worden waren, regte Bürgermeister Michael Stütz angesichts der noch unsicheren Förderzusage an, diese „große Kiste 2018 sauber zu finanzieren“. Schließlich brauche man auch noch Zeit, um die Bürger dafür zu gewinnen, sollen die erhofften „erheblichen Folgeinvestitionen“ tatsächlich erfolgen. Dr. Dietrich Kölsch sah zuviel Geld der Ge-

meinde auf dem Spiel stehen, „um das einfach so mal auszugeben“. Auch er plädierte dafür, jetzt noch nicht zu vergeben, sondern „2018 solide zu finanzieren“. Außerdem solle vorher abgeklärt werden, wie groß das Interesse der Bürgerschaft an diesem Nahwärmeprojekt überhaupt ist.

„Zum Zeitpunkt der Vergabe muss das Geld bereitstehen“, erinnerte der Bürgermeister an zu

beachtende kommunale Spielregel. Und weil im aktuellen Haushaltsplan nur 20 000 Euro eingestellt sind, bedeutete der Vergabeabschluss des Gemeinderates auch Zustimmung zu einer „außerplanmäßigen“ Ausgabe in Höhe von 95 000 Euro. Was die Ratsrunde aber zum größten Teil nicht wirklich erschreckte. Mit Blick auf aktuell gute, jedenfalls „nicht kritische“ Haushaltslage befand Wolf-

gang Lutz, das lasse sich auch heuer schon gut stemmen. Schließlich schicke sich Königsbronn an, Neuland zu betreten. „Das geht auch heuer schon“, pflichtete ihm Margit Stumpff bei. In dieser Angelegenheit dürfe man kein Jahr verlieren oder gar den Faden jetzt reißen lassen. Und Werner Glatzle bekräftigte: „Das Team steht in den Startlöchern und kann noch heuer mit der Arbeit beginnen.“

Energie-Experten prüfen die Machbarkeit – Wärmemanager als erste Anlaufstelle

115 000 Euro umfasst das Gesamtpaket an Aufträgen für das „energetische Quartierkonzept“ in Königsbronn. Und wer erledigt eigentlich genau was?

Für 12 145,50 Euro zeigt das Steinheimer Ingenieurbüro Sattler Energiesparpotenziale durch Gebäudesanierung und neue Heizung ohne CO₂-Emissionen auf.

Mit 58 000 Euro entfällt der größte Part auf Solites, Stuttgart: Erfassung und technische Mobilisierung der Abwärmequellen und erneuerbaren Energiepotenziale für die Wärmeversorgung sowie Energie-

und Emissionsbilanzierung.

Für 8330 Euro wird der Bereich Wärmeverteilung und -übergabe bzw. Nahwärmenetz von der Produzent Engineering GmbH Elstra bearbeitet.

Martin Lohrmann aus Bad Säckingen ist für Projektleitung, Arbeitsplanung und Schnittstellenkoordination zuständig, leistet für insgesamt 21 229,50 Euro außerdem die Zusammenfassung und wirtschaftliche Bewertung der Fachbeiträge.

Weitere 3000 Euro sind für Maßnahmen zur Einbindung von Gebäudeeigentü-

mern eingeplant, schließlich noch 12 295 Euro für Sonstiges und weitere Spezialbewertungen.

Ein Wärmenetzwerk Ostwürttemberg, das eine Lücke in den Kreisen Heidenheim und Ostalbschließen soll, wurde kürzlich an der Hochschule Aalen vorgestellt. Die Geschäftsstelle ist dort im Wirtschaftszentrum angesiedelt, dessen Angebot aufgrund öffentlicher Förderung kostenlos.

Der Fokus liegt auf der Abwärme von industriellen Produktionsmaschinen oder Blockheizkraftwerken mit großem Potenzial zur

Energieeinsparung. Damit Unternehmen, Kommunen und Experten sich besser austauschen, stellt die Hochschule Aalen nun einen Wärmemanager ein. Dessen Aufgabe ist die Schaffung des Wärmenetzwerkes als Austauschplattform.

Wärmemanager Fabian Zippel will erste Anlaufstelle sein und sich wie ein Projektleiter darum kümmern, „dass die richtigen Leute zusammenkommen und Energiekreisläufe energieeffizienter gestaltet werden“. Erreichbar ist er unter Tel. 07361.6339-582 oder per Mail an fabian.zip-pel@hs-aalen.de gst

17 KREIS UND REGION

Herausforderung Klimaschutz

Energetisches Quartierkonzept Königsbronn strebt eine Nahwärmeversorgung durch regenerative Energiequellen an und setzt dabei im ersten Schritt auf die Mitwirkung der Hausbesitzer an einer Umfrage. *Von Gerhard Stock*

Der Klimawandel ist nicht weit weg, sondern längst Realität und betrifft jeden. Gegensteuern lautet das Gebot der Stunde, so gut es geht und bezahlbar ist. Auf Basis dieser zentralen Botschaft ist in Königsbronn der Aufbau einer möglichst den ganzen Ort umfassenden Nahwärmeversorgung zur Beheizung von Wohnhäusern geplant. Diese soll aus lokal zu erschließenden regenerativen Energiequellen gespeist werden, wobei wohl insbesondere die Solarthermie eine Rolle spielen kann. Aber auch industrielle Abwärme wie zum Beispiel die aus der Gießerei der Hüttenwerke soll nicht außer acht gelassen werden. Kann derlei wirtschaftlich dargestellt werden, ist die Gründung einer Energiegenossenschaft vorgesehen. Die soll dann das Wärmenetz inklusive Energiezentrale bauen und die Nahwärme „zum Selbstkostenpreis“ an ihre Mitglieder abgeben.

Soweit die ehrgeizige Vision, die anderenorts bereits bewährte Realität ist, etwa im ländlichen Gussenstadt, wo man auf Biomasse setzt. Königsbronn steht bei dieser neuen Herausforderung noch am Anfang, arbeitet sich aber zielstrebig voran. Fachleute sind bereits mit dem „energetischen Quartierkonzept“ beauftragt, zu zwei Dritteln finanziert durch Fördergelder, aber auch durch erklecklichen Eigenanteil (etwa 40 000 Euro) der Gemeinde. Ebenso exemplarisch wie gründlich untersucht wird im Auftrag des Gemeinderates von einem Expertenteam der nördliche Bereich der Gemeinde mit insgesamt rund 320 Häusern plus Hüttenwerke.

Anonymität zugesichert

In einem ersten Schritt soll nun mittels Umfrage der gebäude- und heizungstechnische Zustand der hier stehenden Immobilien erfasst



Informierten am Donnerstagabend in der Hammerschmiede in Königsbronn über die geplante Nahwärmeversorgung durch lokal erschlossene regenerative Energiequellen (von links): Projektleiter Dipl.-Volkswirt Martin Lohrmann, Werner Glatzle (Sprecher des Arbeitskreises Bürger-Energie), Dipl.-Ing. Dirk Mangold vom Forschungsinstitut Solites und Bürgermeister Michael Stütz.

Foto: Hartmut Pflanz

werden. Die sich daraus ergebenden Daten werden dann wissenschaftlich ausgewertet, bei zugesicherter Anonymität und Datenschutz. Je mehr Hausbesitzer sich auf diese Umfrage einlassen und ehrliche Antworten geben, desto besser für den Erfolg des Projektes. Es fehlte deshalb am Donnerstagabend in der Hammerschmiede nicht an entsprechenden Appellen an die Eigentümer der Gebäude. Immerhin etwa fünf Dutzend Betroffene waren erschienen. Bürgermeister Michael Stütz und Werner Glatzle, Sprecher des Zukunftsoffensive-Arbeitskreises Bürger-Energie, hatten zum ersten Infoband in dieser Sache eingeladen. Wobei auch die mit dem energetischen Quartierkonzept befassten

Ingenieure die sachlichen Hintergründe beleuchteten und Rede und Antwort standen.

Weg von klimaschädlichen fossilen Brennstoffen und hin zu erneuerbaren Energien, und das nicht für jeden einzelnen Haushalt, sondern gemeinsam und möglichst den ganzen Ort umfassend - so lautet der Kern des Vorhabens Nahwärmeversorgung und Energiegenossenschaft. Der Weg dorthin ist zwar noch weit, aber vorgezeichnet. Wieviel geschafft wurde, soll der Öffentlichkeit bei der nächsten Bürgerinformation im April 2018 berichtet werden. Bis dahin wird auch klar sein, welche regenerative Energiequelle vor Ort dafür in Frage kommt: Wind, Solarthermie, Geothermie, Biomasse, Umwelt-

wärme, industrielle Abwärme. Wobei schon klar ist, dass für Holz als Brennstoff nicht genügend Baumbauflächen vorhanden sind. Und die Geothermie hat im Wasserschutzkreis Heidenheim eher wenig Chancen, weil der Untergrund tabu ist, zumindest auf 95 Prozent der Kreisfläche.

Was geht tatsächlich?

Vielleicht ist ja solare Fernwärme die Lösung, gestützt auf einen saisonalen Erdbecken-Wärmespeicher, wie etwa im dänischen Dorf Dronninglund. Was in Königsbronn tatsächlich geht und was das alles kosten wird, soll die nun erfolgende technisch-wirtschaftliche Analyse der Fachleute zeigen. Darauf dürfe man sehr gespannt sein,

so Bürgermeister Michael Stütz. Stolz sei er darauf, dass sich der Gemeinderat des Themas Klimaschutz sehr zielorientiert annehme und man auch die notwendigen Fachleute mit im Boot habe.

Einblick in die anstehenden Aufgaben und Ziele gaben ausführlich Projektleiter Martin Lohrmann, Dirk Mangold von Solites sowie Werner Glatzle. Letzterer lud zudem zum nächsten Treffen des Arbeitskreises Bürger-Energie ein, das am Mittwoch, 13. Dezember, in der Eichhalde-Schule stattfindet, also mitten im Untersuchungsgebiet. In angeregter Diskussion vertieften die Versammlungsteilnehmer noch viele Aspekte der komplexen Klimaschutz- und Heizenergie-Materie.

Brenz und Pfeffer als Wärmequellen?

Nahwärmeversorgung Beim Energetischen Quartierkonzept für Königsbrunn trauen die Experten den beiden Karstquellen einiges zu. Auch Solarthermie könnte einen großen Beitrag leisten. *Von Gerhard Stock*

Is zur angestrebten Gründung einer Energiegenossenschaft für die Nahwärmeversorgung aus lokalen Ressourcen ist es in Königsbrunn zwar noch ein weiter Weg, ein vielversprechender Anfang ist jedoch bereits gemacht. Für das ehrgeizige Projekt „Energetisches Quartierkonzept“ wurden am Donnerstagabend in der Mensa der Georg-Elser-Schule erste Ergebnisse und weitere Überlegungen präsentiert.

Im Mittelpunkt steht die Idee, Brenz und Pfeffer mittels Pumpen als Wärmequellen zu nutzen. Das mit acht Grad ohnehin schon recht kühle Quellwasser würde durch den Entzug von Wärme noch um ein Grad kälter. Darüber hinaus könnte großflächig angewandte Solarthermie in Form von Kollektoren auf der grünen Wiese als moderne Technik zur Gewinnung von Heizungswärme für die Nahversorgung eines ganzen Wohnquartiers interessant sein. Konkret geht es um über 300 Gebäude nördlich der SHW.

Bisher schwierigstes Thema

Der grüne Gemeinderat Werner Glatze als „treibende Kraft“ sowie kompetente Fachleute seien der Garant dafür, „dass anspruchsvolle Denkarbeit nach klaren und strukturierten Vorgaben“ geleistet werde. Das, so stellvertretender Bürgermeister Engelbert Frey weiter, sei auch notwendig. Noch nie habe sich die Gemeinde einem derart schwierigen und komplexen Thema gestellt. Auch wenn es wider Erwarten letztlich nichts werde mit der lokalen Nahwärmeversorgung wolle man mit einem konsequent durchdachten Konzept vorbereitet sein für alle Fälle und Rahmenbedingungen.

Genutzt wurde die Zeit über den Winter für die Befragung von insgesamt 307 Gebäudeeigentümern im Untersuchungsgebiet. Immerhin 147 Immobilienbesitzer mach-



Im Rahmen des Projekts „Energetisches Quartierkonzept“ gibt es die Überlegung, Brenz und Pfeffer (Foto) mittels Pumpen als Wärmequellen zu nutzen. *Foto: Reinhard A. Richardson/Archiv*

ten sich die Mühe, den Fragebogen auszufüllen und zurückzuschicken. So ergab sich „eine gute Rücklaufquote“ von 48 Prozent und damit eine breite Datenbasis zur Auswertung. Die meisten Heizungen und Gebäude, darunter auch für die Nahwärmeversorgung, besonders interessante Mehrfamilienhäuser,

sachgerechter Dämmung und moderner Heizung erhebliches Einsparpotenzial beim Wärmeverbrauch genutzt und so die Erzeugung klimaschädlichen Kohlendoxids vermieden werden kann. Was allerdings Investitionen bedingt und Kosten verursacht. Für eine typische Nahwärme-Übergabestation in einem Einfamilienhaus mit integrierter Warmwasserzeugung im Durchlaufprinzip bezifferte Projektleiter Martin Lohrmann den finanziellen Aufwand mit rund 10 000 Euro, zuzüglich Kosten der Anschlussleitung von der Straße her.

5,22 Millionen Kilowattstunden

Dirk Mangold vom Steinbeis-Forschungsinstitut Solites Stuttgart erläuterte, wie der errechnete Heizwärme-Gesamtbedarf von 5,22 Millionen Kilowattstunden pro Jahr durch lokale Ressourcen gedeckt werden könnte. Biomasse werde nicht gewünscht, Abwärme der Gießereien stehe nicht zur Verfügung und das Anzapfen des Grundwassers per Wärmepumpen sei im Wasserschutzkreis Heidenheim zwar nicht unmöglich, aber schwierig.

30 Prozent Bedarfsdeckung verspricht sich der Ingenieur jedoch von der Solarthermie, die dafür nötigen Hochtemperatur-Flachkollektoren könnten auf einem etwa 1,2 Hektar großen Grundstück oberhalb des Zahnbergs aufgestellt werden. Mit 70 Prozent den Löwenanteil bringen sollen Brenz und Pfeffer, denen man mittels Wärmepumpen Energie entziehen könnte. Die aber muss in der Übergangszeit in einem großen, oberirdischen Speicher gebunkert werden, Standort bisher unklar.

Der für die Pumpen notwendige Strom soll mittels Gas-Blockheizkraftwerk selbst erzeugt werden. Noch günstiger ginge das, könnte man sich mit den SHW zusammenschließen, die den Einstieg in die Eigen-

stromversorgung planen. Nicht zu vergessen: Um Spitzenlasten an besonders kalten Tagen zu meistern, bräuche es außerdem noch einen Erdgash Heizkessel. Ziel bleibe dennoch, irgendwann ohne fossile Brennstoffe, also auch ohne Gas auszukommen, so die Experten.

„Das kostet doch alles Millionen“, entfuhr es in der Diskussion einem skeptischen Versammlungsteilnehmer. Der erinnerte auch daran, dass in der ersten Hälfte der 1980er-Jahre am Brenztopf schon einmal teure und reparaturanfällige Wärmepumpentechnik gescheitert sei. Seitdem aber, so hielten die Sachverständigen entgegen, habe sich technisch sehr viel zum Besseren verändert. Man werde unbeirrt weiter nach wirtschaftlich vertretbaren und konstruktiv machbaren Lösungen für die Nahwärme in Königsbrunn suchen.

Das Quartierkonzept und die Bürgerenergie

Mitte 2017 hatte der Gemeinderat ein Team aus Ingenieuren und Wissenschaftlern damit beauftragt herauszufinden, wie der über 300 Gebäude zählende Wohnbereich nördlich der SHW klimafreundlich mit erneuerbarer Heizenergie versorgt werden könnte. In das Projekt mit eingebunden ist der Arbeitskreis Bürgerenergie der Zukunftsoffensive Königsbrunn.

Der Arbeitskreis „Bürgerenergie“

wurde im Februar 2017 gegründet. Ziel des Arbeitskreises ist es, Gebäude in Königsbrunn weitestgehend mit Energie aus lokalen und klimaverträglichen Quellen zu versorgen. Der Wandel hin zur Solarwirtschaft soll „rechtzeitig, aktiv und lokal“ mitgestaltet werden, heißt es in einer Veröffentlichung des Arbeitskreises. „Wir wollen, dass unsere Energie bezahlbar, langfristig sicher und unter der wirtschaftlichen Kontrolle der Bürger ist.“

Ergebniszusammenfassung der durchgeführten Gebäudeuntersuchungen

INHALTSVERZEICHNIS

	Vorbemerkungen.....	1
I.	Energetischer Ausgangszustand der untersuchten Gebäude.....	3
II.	Einstufungen nach energetischer Sanierung der untersuchten Einzelgebäude	6
III.	Verbesserungen nach energetischer Sanierung an allen untersuchten Gebäuden gemeinsam	8
IV.	Kostenbetrachtung	12

Vorbemerkungen

Im Zuge der Erstellung des Quartierskonzepts wurden an die Eigentümer der im Quartier liegenden Gebäude Fragebögen versandt, mit der Bitte in diesen die zur Abschätzung des Energieverbrauchs des Gebäudebestandes notwendigen Daten einzutragen. In den Fragebögen bestand für die Gebäudeeigentümer auch die Möglichkeit, ihr Interesse an einer detaillierten Untersuchung Ihres Gebäudes zu bekunden.

Aus den Gebäuden, bei welchen die Eigentümer ihr Interesse an einer detaillierten Untersuchung bekundet hatten, wurden acht Gebäude ausgewählt. Diese wurden ausgewählt, da bei ihnen, aufgrund ihres Alters, der Anzahl der Wohneinheiten und der Art der Wärmeerzeugung, exemplarische Aussagen, welche sich auf die übrigen Gebäude im Quartier übertragen lassen, erwartet wurden. Bei den untersuchten Gebäuden handelt es sich um:

- drei Einfamilienhäuser
- zwei Zweifamilienhäuser
- zwei Mehrfamilienhäuser und
- ein Nichtwohngebäude

Für diese Gebäude wurde jeweils eine detaillierte Energieberatung durchgeführt. Dabei wurde das Gebäude jeweils anhand der normierten Randbedingungen im Ausgangszustand berechnet und, um zutreffendere Ergebnisse zu erhalten, wurde der sich aus den normierten Randbedingungen ergebende Bedarf mit dem tatsächlichen Verbrauch abgeglichen.

Im Weiteren wurden dann die verschiedenen, sinnvoll möglich scheinenden Verbesserungen sowohl an der Gebäudehülle (z.B. Dach, Außenwände, Fenster, Kellerdecke) als auch an der Anlagentechnik (z.B. Gas-Brennwertkessel mit solarer Heizungsunterstützung, Holz-Pelletkessel, Fernwärmeanschluss) untersucht. Die dabei angesetzten Verbesserungsmöglichkeiten wurden anhand eines derzeit üblichen Standards (KfW-Förderung, bzw. KfW-Effizienzhaus) vorgenommen. Es wurden nur Maßnahmen untersucht, die wenigstens annähernd, wirtschaftlich sinnvoll umgesetzt werden können. Auf die Untersuchungen besonders ungewöhnlicher oder aufwändiger Maßnahmen, auch wenn diese im Einzelfall sinnvoll sein können, wurde verzichtet. Auch wurden nur derzeit übliche Dämmstärken bzw. Dämmstandards angesetzt, auch wenn hier teilweise z.B. beim Anstreben des Passivhausniveaus weitere sehr deutliche Verbesserungen möglich wären.

So kann es z.B. bei Gebäuden, bei denen der Kellerabgang oder einzelne Kellerräume zum beheizten Gebäudevolumen gehören aus technischer Sicht sinnvoll sein, in den betreffenden Räumen den Bodenbelag und den Estrich auszubrechen und dort eine Dämmung (z.B. Vakuumdämmung) einzubauen, um diese Wärmebrücken bei vollständig gedämmter Gebäudehülle zu vermindern. Dazu werden dann aber ein Anpassen der Kellertreppe und der Kellertüren, sowie der Wiedereinbau des Bodenaufbaus notwendig. Diese Maßnahme kann zwar aus technischer Sicht sinnvoll sein, wegen des extrem hohen Aufwandes im Vergleich zu den möglichen Energieeinsparungen macht sie wirtschaftlich in der Regel keinen Sinn.

Die Verbesserungsvorschläge an den Gebäuden erfolgten zunächst als Einzelmaßnahmen, so dass bei jeder Einzelmaßnahme die sich dadurch ergebenden Verbesserungen (Bedarfs- bzw. Kostenreduzierung) dargestellt wurden. Im Anschluss erfolgte dann eine Kombination der sinnvoll scheinenden Einzelmaßnahmen, um erkennen zu können auf welches Gesamtniveau sich das Gebäude verbessern lässt.

I. Energetischer Ausgangszustand der untersuchten Gebäude

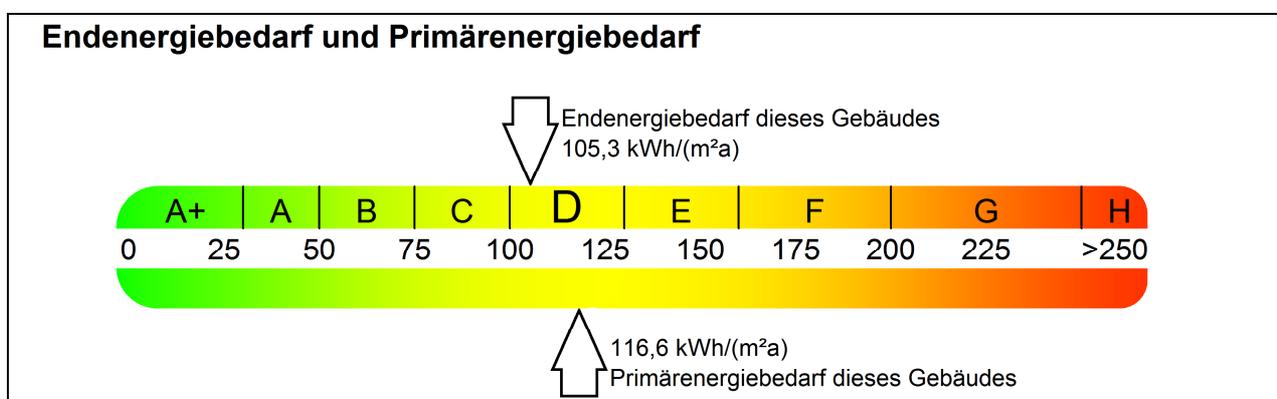
Der Ausgangszustand der einzelnen untersuchten Gebäude stellte sich folgendermaßen dar:

Gebäude	Nutzung ¹	Anzahl Wohneinheiten	Baujahr	Wohnfläche [m ²]	Energetische Einstufung ²
EFH Flachsbergstraße 8	EFH	1	1951	160	F
ZFH Schubartstraße 10	ZFH	2	1954	127	H
EFH Eichhaldestraße 15	EFH	1	1910	130	H
EFH Kantstraße 1	EFH	1	1956	118	G
MFH Silcherstraße 11/13	MFH	14	1953	750	F
ZFH Buchenweg 3	ZFH	2	1953	185	F
MFH An der Eichhalde 2/4	MFH	24	2000	1.870	D
Kath. Gemeindehaus	NWG	-	1976	-	-

1: EFH = Einfamilienhaus; ZFH = Zweifamilienhaus; MFH = Mehrfamilienhaus; NWG = Nichtwohngebäude

2: Energetische Einstufung (Energieeffizienzklasse) im Falle einer Ausstellung eines Energieausweises im derzeitigen Zustand

Dabei ist zu erkennen, dass die energetische Einstufung der Gebäude im Ausgangszustand, wegen der bisher meist nur wenigen durchgeführten energetischen Verbesserungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen, eher im „schlechten“, orange bis roten Bereich eines Energieausweises, bzw. der Energieeffizienzklasse F bis H zu finden ist. Lediglich ein Mehrfamilienhaus ist, wegen seines deutlich neueren Baujahres als die übrigen untersuchten Gebäude, in die Energieeffizienzklasse D einzustufen. Beim Nichtwohngebäude erfolgt keine Einstufung in Energieeffizienzklassen, hier erfolgt lediglich eine farbliche Einstufung. Auch das Berechnungsverfahren von Nichtwohngebäuden weicht deutlich von dem der Wohngebäude ab, daher ist kein direkter (sondern lediglich ein grober farblicher) Vergleich von Nichtwohngebäuden und Wohngebäuden möglich.



[Beispiel energetische Einstufung der Wohngebäude im Ausgangszustand]

Als Wärmeerzeuger waren in den Gebäuden überwiegend Geräte eingebaut, die Gas als Energieträger nutzen (Gas-Niedertemperatur- bzw. Gas-Brennwertkessel). Ein Gebäude wird noch vollständig über Kachelöfen (Holz bzw. Briketts) beheizt. Ein weiteres Gebäude über Elektro-Nachtspeicheröfen und einen Kachelofen. Eine solare Heizungsunterstützung war nur in einem Gebäude vorhanden.

Die Warmwassererwärmung erfolgt häufig über den Wärmeerzeuger (Gas). Zusätzlich sind in zwei Gebäuden Solaranlagen zur Warmwassererwärmung vorhanden. In drei Gebäuden erfolgt die Warmwassererwärmung über Elektrospeicher.

Der von den Gebäudeeigentümern genannte Energieverbrauch zur Beheizung und Warmwassererwärmung der Gebäude ist auf den Quadratmeter Wohnfläche bezogen stark unterschiedlich. Er reicht von ca. 78 kWh/m²a bis zu ca. 335 kWh/m²a. Dabei fällt auf, dass die Mehrfamilienhäuser, durch das günstigere Verhältnis von Gebäudehüllfläche zu Wohnfläche eher geringere Verbräuche pro Quadratmeter Wohnfläche aufweisen als die Ein- und Zweifamilienwohnhäuser. Auch hier ist das Nichtwohngebäude, wegen der deutlich abweichenden Nutzung, nicht direkt mit den Wohngebäuden vergleichbar.

Gebäude	Heizung	Warmwassererwärmung	Energieverbrauch	Verbrauch pro m ² Wohnfläche
	[Wärmeerzeuger]	[Wärmeerzeuger]	[kWh]	[kWh/m ²]
EFH1	Gas-Brennwert	Gas-Brennwert, Solar	31.400	196
ZFH1	Kachelofen	Elektrospeicher	42.500	335
EFH2	Gas-Niedertemperatur	Elektrospeicher	32.700	252
EFH3	Elektro-Nachtspeicherofen, Kachelofen	Elektrospeicher	17.800	151
MFH1	Gas-Niedertemperatur	Gas-Niedertemperatur	106.000	141
ZFH2	Gas-Niedertemperatur, Solar	Gas-Niedertemperatur, Solar	16.400	89
MFH2	Gas-Brennwert	Gas-Brennwert	146.300	78
NWG	Gas-Brennwert	Gas-Brennwert	108.055	79

Die Gebäude wurden bei der Untersuchung den aktuellen Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) für Altbauten gegenüber gestellt. Von der EnEV werden Anforderungen hinsichtlich des Primärenergiebedarfs (vereinfachend gesagt der Bedarf an nicht erneuerbaren Energieträgern zur Beheizung und Warmwassererwärmung) des Gebäudes und an die Transmissionswärmeverluste (vereinfachend gesagt der Widerstand den die Außenbauteile der Wärme entgegensetzen) der Gebäudehülle gestellt. Die gestellten EnEV-Anforderungen haben für die Gebäude, solange diese nicht modernisiert werden, keine rechtlichen Auswirkungen. Erst im Falle einer Modernisierung z.B. ein KfW-Darlehen zu erhalten, sind gewisse Anforderungen, die sich an den EnEV-Anforderungen orientieren, einzuhalten.

Beim Verhältnis des Primärenergiebedarfs der untersuchten Gebäude zum Referenzgebäude nach EnEV zeigen sich Überschreitungen um bis zu 345 %. Hier fallen die Überschreitungen, insbesondere bei den Gebäuden, welche mit Elektro-Nachtspeicherheizungen oder Gas-

Niedertemperaturkesseln beheizt werden, besonders deutlich aus. Bei Gebäuden, welche zumindest teilweise mit Holz oder Solar beheizt werden, bzw. bei welchen die Warmwassererwärmung durch Solar unterstützt wird, fallen die Überschreitungen deutlich geringer aus.

Beim Verhältnis der Transmissionswärmeverluste des untersuchten Gebäudes zum Referenzgebäude nach EnEV ist deutlich erkennbar, dass das neuere Gebäude (MFH2), durch die gestiegenen Anforderungen zum Bauzeitpunkt, eine deutlich geringere Überschreitung aufweisen als die „alten“ Gebäude.

Auch hier ist das Nichtwohngebäude wieder nicht direkt mit den Wohngebäuden vergleichbar. Die Anforderungen an Nichtwohngebäude sind „weniger streng“ als die Anforderungen an Wohngebäude, daher die geringeren Überschreitungen.

Gebäude	Energetische Einstufung	Verhältnis Primärenergiebedarf des untersuchten Gebäudes zum Referenzgebäude nach EnEV	Verhältnis Transmissionswärmeverlust des untersuchten Gebäudes zum Referenzgebäude nach EnEV
		[Überschreitung]	[Überschreitung]
EFH1	F	53%	131%
ZFH1	H	113%	237%
EFH2	H	264%	241%
EFH3	G	345%	184%
MFH1	F	230%	226%
ZFH2	F	178%	179%
MFH2	D	172%	68%
NWG	-	47%	70%

Die Energetische Einstufung ist umso höher, bzw. die Überschreitung der Anforderungen ist umso größer je „roter“ die einzelne Zelle hinterlegt ist.

II. Einstufungen nach energetischer Sanierung der untersuchten Einzelgebäude

Für die einzelnen untersuchten Gebäude wurden jeweils mögliche Dämm- bzw. Verbesserungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (Dach bzw. oberste Geschossdecke, Außenwände, Fenster, unterer Gebäudeabschluss) und an der Anlagentechnik (Erneuerung Wärmezeuger, Gas, Öl, Solar, Holz-Pellets, usw.) untersucht. Beim Nichtwohngebäude wurden zusätzlich auch Verbesserung an der Beleuchtung und den Lüftungsanlagen untersucht. Diese untersuchten Einzelmaßnahmen wurden im Anschluss zu einem Komplettpaket zusammen geführt. Nach der untersuchten Komplettanierung der Gebäude verbessert sich deren energetische Einstufung deutlich. Sie sind danach in die Effizienzklassen B bis D einzustufen.

Dadurch, dass bei den untersuchten Gebäuden bei der Gesamtmaßnahme jeweils die Wärmeversorgung mittels Fernwärme angesetzt wurde und deren Primärenergiefaktor, wegen der geplanten Nutzung von Solar und Wärmepumpen extrem niedrig liegt, fällt die Unterschreitung beim Verhältnis des Primärenergiebedarfs des untersuchten Gebäudes zum Referenzgebäude nach EnEV sehr deutlich aus. Beim Verhältnis der Transmissionswärmeverluste des untersuchten Gebäudes zum Referenzgebäude nach EnEV bewegen sich die untersuchten Gebäude überwiegend im Bereich der EnEV-Anforderungen.

Gebäude	Energetische Einstufung	Verhältnis Primärenergiebedarf des untersuchten Gebäudes zum Referenzgebäude nach EnEV	Verhältnis Transmissionswärmeverlust des untersuchten Gebäudes zum Referenzgebäude nach EnEV
		[Überschreitung]	[Überschreitung]
EFH1	C	-76%	7%
ZFH1	D	-81%	3%
EFH2	D	-83%	-30%
EFH3	D	-81%	-5%
MFH1	C	-84%	-5%
ZFH2	C	-82%	-4%
MFH2	B	-71%	-8%
NWG	-	-68%	-16%

Die Energetische Einstufung ist umso besser, bzw. die Unterschreitung der Anforderungen ist umso größer je „grüner“ die einzelne Zelle hinterlegt ist.

Bei allen untersuchten Wohngebäuden könnte nach der vorgeschlagenen Gesamtsanierung das Niveau eines KfW-Effizienzhauses (KfW 85 bis 115) erreicht werden. Dabei ist es, je nach erreichtem Effizienzhaus-Niveau möglich, einen Zuschuss von bis zu 30 % der förderfähigen Kosten einer Sanierung zu erhalten. Die derzeit maximal Förderfähigen Kosten betragen beim KfW-Effizienzhaus bis zu 100.000 € je Wohneinheit.

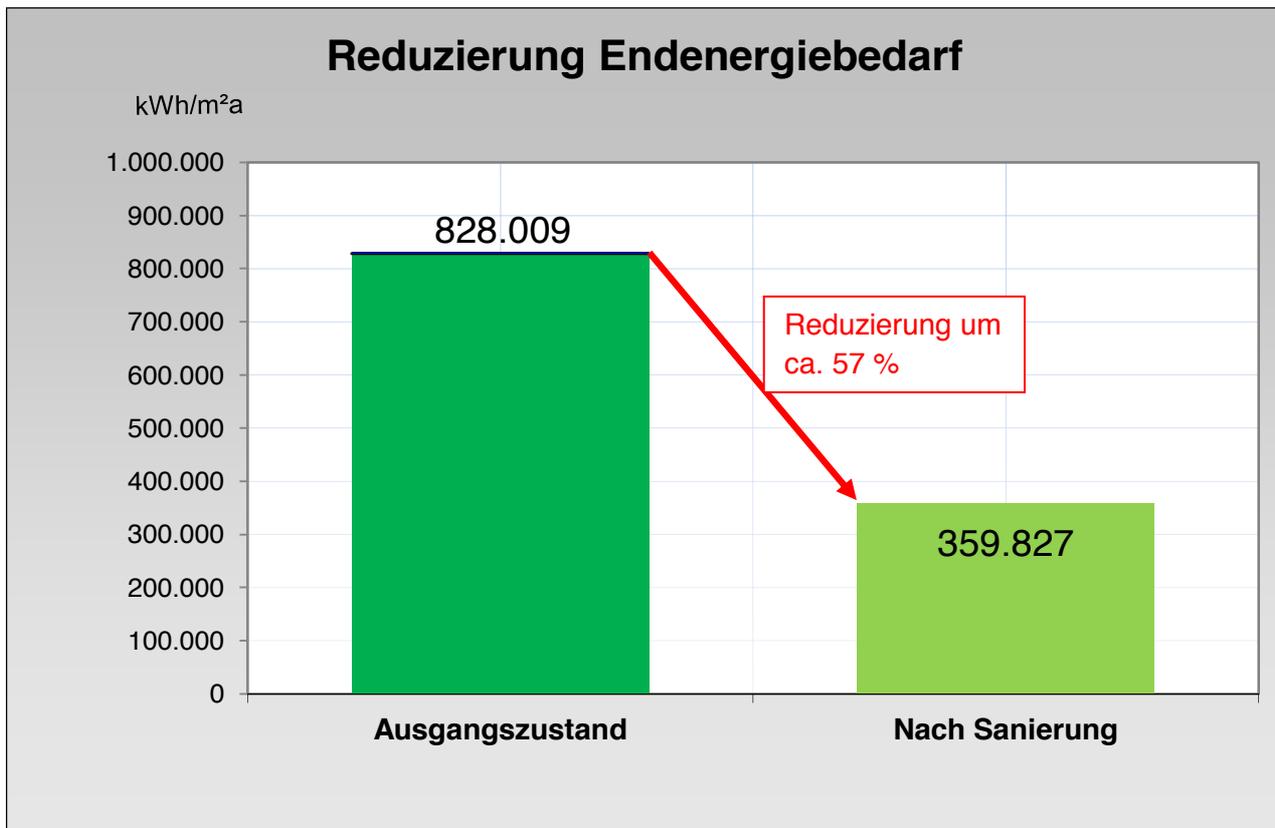
KfW-Effizienzhaus-Typ	Höhe des Zuschusses
KfW-Effizienzhaus 55	30,0 % Ihrer förderfähigen Kosten, bis zu 30.000 Euro für jede Wohneinheit
KfW-Effizienzhaus 70	25,0 % Ihrer förderfähigen Kosten, bis zu 25.000 Euro für jede Wohneinheit
KfW-Effizienzhaus 85	20,0 % Ihrer förderfähigen Kosten, bis zu 20.000 Euro für jede Wohneinheit
KfW-Effizienzhaus 100	17,5 % Ihrer förderfähigen Kosten, bis zu 17.500 Euro für jede Wohneinheit
KfW-Effizienzhaus 115	15,0 % Ihrer förderfähigen Kosten, bis zu 15.000 Euro für jede Wohneinheit
KfW-Effizienzhaus Denkmal	15,0 % Ihrer förderfähigen Kosten, bis zu 15.000 Euro für jede Wohneinheit
Heizungs-/Lüftungspaket	15,0 % Ihrer förderfähigen Kosten, bis zu 7.500 Euro für jede Wohneinheit
Einzelmaßnahmen	10,0 % Ihrer förderfähigen Kosten, bis zu 5.000 Euro für jede Wohneinheit

[Auszug aus der KfW-Webseite]

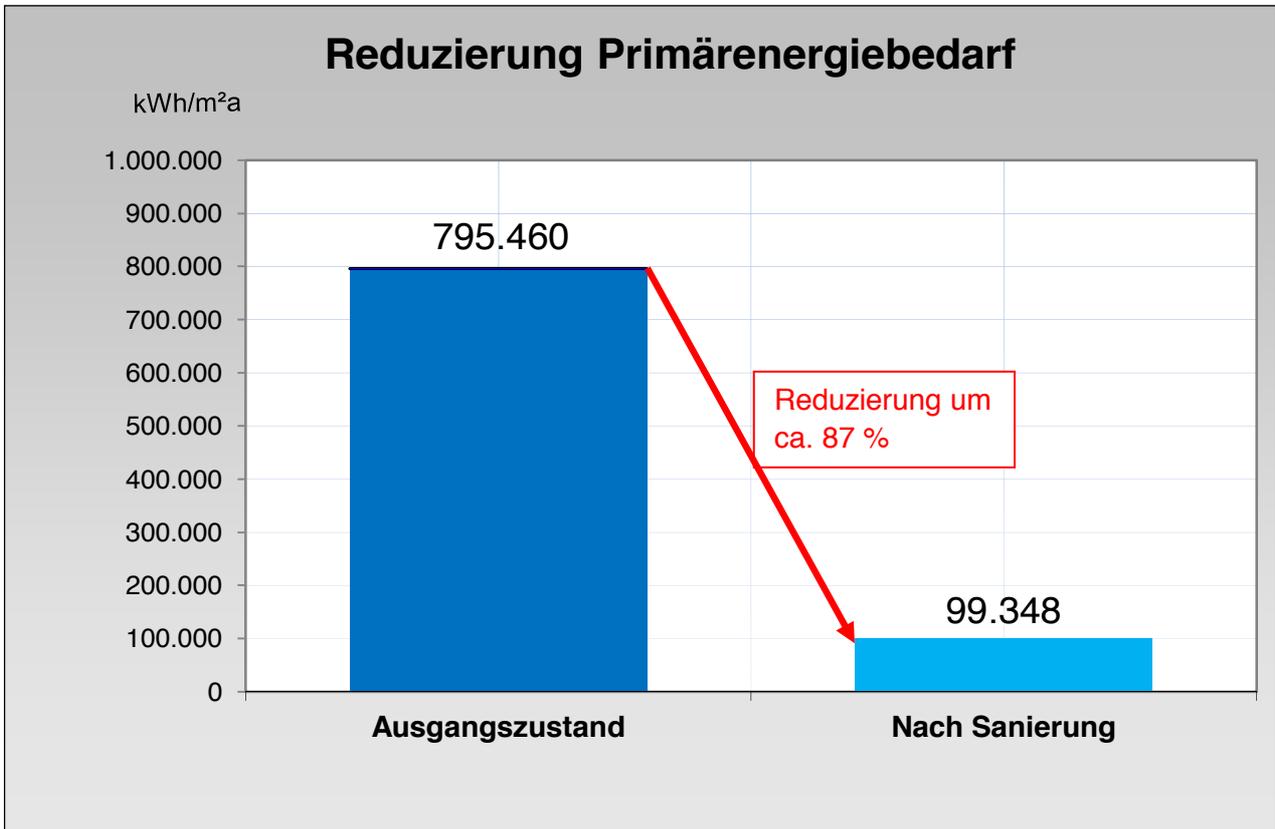
Bei den durchgeführten Untersuchungen wurden derzeit übliche Maßnahmen bzw. Dämmstärken und Materialien angesetzt. Mit zusätzlichen Maßnahmen könnte das in der Untersuchung erreichte Effizienzhaus-Niveau weiter, zum Teil sehr deutlich, verbessert werden. Allerdings ist dabei zu beachten, dass mit zunehmender Dämmstärke die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen sinkt.

III. Verbesserungen nach energetischer Sanierung an allen untersuchten Gebäuden gemeinsam

Die untersuchten Gebäude haben im Ausgangszustand einen rechnerischen Endenergiebedarf (Energie die im Gebäude verbraucht wird) von 828.009 kWh/m²a. Nach Umsetzung der untersuchten Maßnahmen reduziert sich dieser auf 359.827 kWh/m²a. Dies entspricht einer Reduzierung um ca. 57 %.

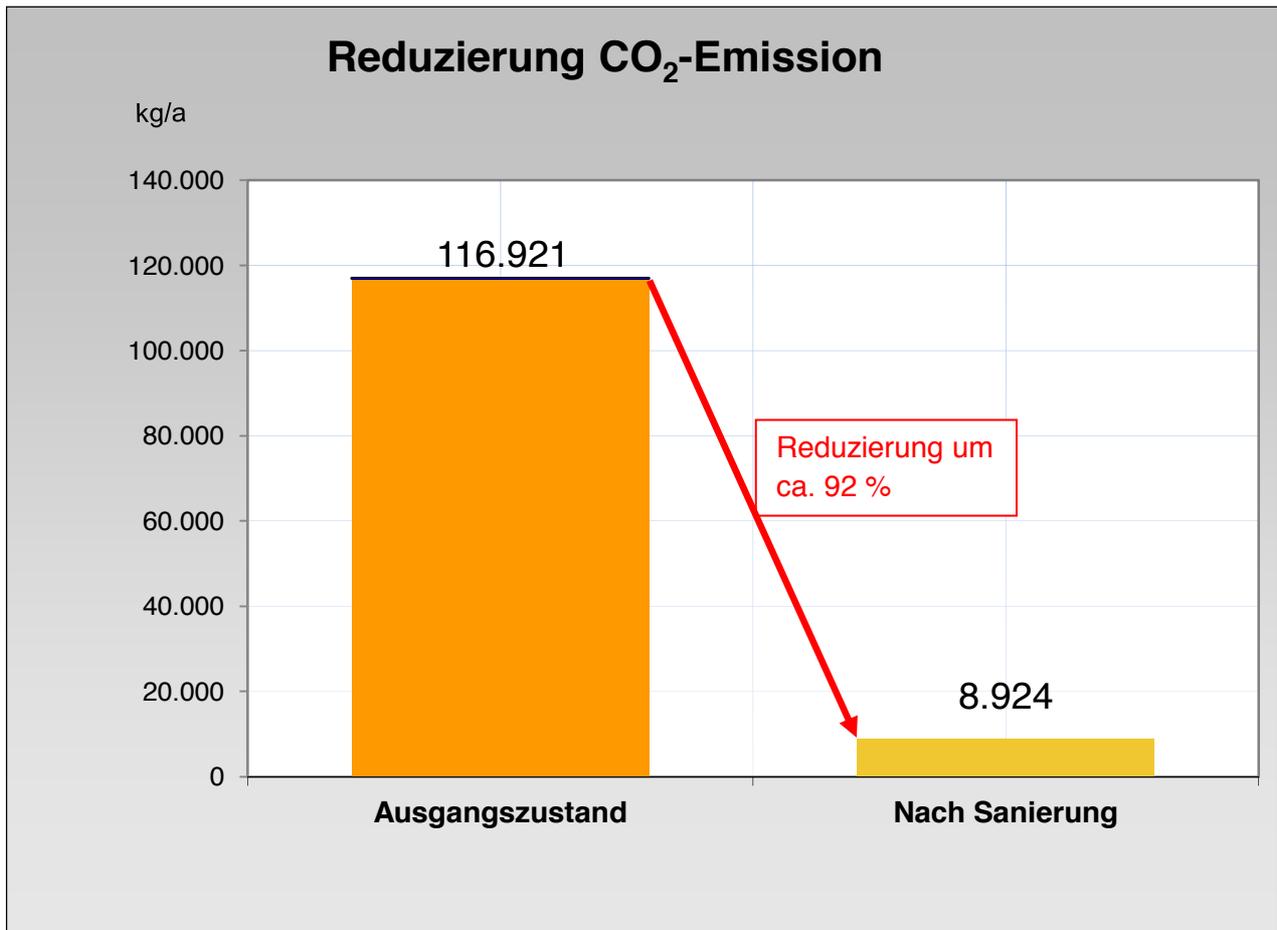


Die untersuchten Gebäude haben im Ausgangszustand einen rechnerischen Primärenergiebedarf (Endenergiebedarf innerhalb des Gebäudes und zusätzliche nicht erneuerbare Energie die für Gewinnung, Umwandlung und Verteilung benötigt wird) von 795.460 kWh/m²a. Nach Umsetzung der untersuchten Maßnahmen reduziert sich dieser auf 99.348 kWh/m²a. Dies entspricht einer Reduzierung um ca. 87 %.



Die untersuchten Gebäude haben im Ausgangszustand eine rechnerische CO₂-Emission von 116.921 kg/a. Nach Umsetzung der untersuchten Maßnahmen reduziert sich die CO₂-Emission auf 8.924 kg/a. Dies entspricht einer Reduzierung um ca. 92 %.

Dabei ist allerdings zu beachten, dass wegen fehlender genauer Planungsgrundlagen der Primärenergiefaktor des Wärmenetzes mit 0,1 angesetzt wurde. Dieser kann sich bis zur Ausführung noch ändern, sollte sich aber bei Ausführung wie derzeit geplant (Solarthermie und Wärmepumpe) ungefähr in diesem Bereich bewegen.



Das geplante Wärmenetz soll, um die Netzverluste möglichst gering zu halten und um der Solarthermie und der Wärmepumpe einen optimalen Arbeitsbereich zu ermöglichen, mit einer Vorlauftemperatur von 55°C betrieben werden. Diese relativ niedrige Temperatur ist zur Beheizung der untersuchten Gebäude im derzeitigen Zustand überwiegend nicht ausreichend. Lediglich beim MFH2 und bei den Gebäuden, welche bereits mittels Gas-Brennwertgeräten Wärme erzeugen wird vermutlich eine so niedrige Vorlauftemperatur auch im Winter bei extrem niedrigen Außentemperaturen ausreichend sein.

Die übrigen Gebäude müssen entweder durch zusätzliche Dämmung der Gebäudehüllen oder durch Vergrößerung/Änderung der Heizflächen modernisiert werden. Da sich die von den untersuchten Gebäuden derzeit benötigte Wärmemenge aus regenerativen Quellen nur schwer erzeugen lässt, ist die Dämmung der Gebäudehüllen und damit die Reduzierung des Energiebedarfs Voraussetzung für die Umsetzung des Wärmenetzes.

IV. Kostenbetrachtung

Für die einzelnen untersuchten Gebäude fallen für deren energetische Sanierung grob geschätzte Kosten in folgender Höhe an:

Gebäude	Anzahl Wohneinheiten	Sanierungskosten (nur energetisch bedingt) ¹	KfW-Zuschuss	Eigenanteil Sanierungskosten	Sanierungskosten pro Wohneinheit	Sanierungskosten pro m ² Wohnfläche
EFH1	1	60.000 €	16.000 €	46.000 €	46.000 €	290 €
ZFH1	2	78.000 €	19.400 €	58.600 €	29.300 €	460 €
EFH2	1	53.000 €	13.400 €	39.600 €	39.600 €	305 €
EFH3	1	80.000 €	29.500 €	50.500 €	50.500 €	430 €
MFH1	14	213.000 €	37.300 €	175.700 €	12.550 €	235 €
ZFH2	2	71.000 €	22.500 €	48.500 €	24.250 €	260 €
MFH2	24	540.000 €	94.500 €	445.000 €	18.540 €	240 €
NWG	-	600.000 €	-	600.000 €	-	440 €

1: Nur energetisch bedingte Sanierungskosten berücksichtigt. Zusätzliche, sich im Zuge der Maßnahme ergebende Kosten wurden nicht berücksichtigt (z.B. Erneuerung der Dacheindeckung im Zuge der Dachdämmung, Planungs- und Bauleitungskosten)

In vorstehender Tabelle ist zu berücksichtigen, dass bei den Sanierungskosten nur die energetisch bedingten Sanierungskosten berücksichtigt wurden. Zusätzliche, sich im Zuge der Maßnahme zwangsläufig ergebende Kosten wurden nicht berücksichtigt (z.B. Erneuerung der Dacheindeckung im Zuge der Dachdämmung, Planungs- und Bauleitungskosten). Dafür fallen zusätzliche Kosten in Höhe von (grob geschätzt) ca. 10-50 %, je nach Maßnahme, an.

Es fällt auf, dass die Sanierungskosten je Wohneinheit bzw. je m² Wohnfläche bei den beiden Mehrfamilienhäusern deutlich geringer sind als bei den mit untersuchten Ein- und Zweifamilienhäusern. Je Wohneinheit entstehen energetisch bedingte Sanierungskosten von durchschnittlich 16.725 € für alle untersuchten Wohngebäude. Je Quadratmeter Wohnfläche entstehen energetisch bedingte Sanierungskosten in Höhe von durchschnittlich 328 € für alle untersuchten Wohngebäude.

Auch hier ist das Nichtwohngebäude nicht direkt mit den Wohngebäuden vergleichbar.

BERICHT FÜR DIE GEMEINDE KÖNIGSBRONN

Konzeption einer erneuerbaren Wärmeversorgung für das Quartier „bei der Gießerei“ im Rahmen eines integrierten Quartierskonzeptes – Arbeitsteil Solites

IN KOOPERATION MIT DEM PROJEKTTEAM DES INTEGRIERTEN QUARTIERSKONZEPTES

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Dokumentinformation:

Titel: Konzeption einer erneuerbaren Wärmeversorgung für das Quartier „bei der Gießerei“ im Rahmen eines integrierten Quartierskonzeptes

Version: 1.0

Jahr: 2018

Autoren: **Solites:** M.Sc. Michael Klöck
Dipl.-Ing. Dirk Mangold
Dipl.-Ing. Oliver Miedaner
M.Sc. Julian Rolker



Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme
Meitnerstr. 8, 70563 Stuttgart, Tel: 0711 673 2000-0, Fax 0711 673 2000-99
Email: info@solites.de, Internet: www.solites.de

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wird durch die KfW-Bank als integriertes Quartierskonzept gefördert. Die Autoren danken für die Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Berichtes liegt bei den Autoren.

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

INHALT

1. Einleitung.....	1
2. Wärmebedarf des Nahwärmenetzes.....	2
3. Mögliche industrielle Abwärmequellen.....	3
3.1. Übersicht.....	3
3.1.1. Abwärmenutzung aus dem Kühlwasser der Schmelzofen-Induktionsspulen.....	3
3.1.2. Abwärmenutzung aus dem Abgasstrom der Glühöfen.....	6
3.1.3. Abwärmenutzung im Rahmen einer möglichen zukünftigen Eigenstromerzeugung der SHW mittels BHKW.....	7
4. Untersuchung der Nutzung lokaler erneuerbaren Energiequellen.....	8
4.1. Biomasse.....	8
4.2. Solarthermie.....	8
4.2.1. Flächenfindung.....	8
4.2.2. Flächenbewertung.....	11
4.2.3. Abschätzung Erzeugung.....	12
4.3. Flussquellwasser.....	13
4.4. Landeswasserversorgung.....	14
4.5. Abwasser als Wärmequelle.....	15
5. Analyse der geologischen Situation vor Ort.....	15
5.1. Hydrogeologische Bestandsaufnahme.....	15
5.2. Untersuchung zur thermischen Nutzung des Untergrunds.....	18
5.2.1. Relevante Vorschriften in einem Wasserschutzgebiet.....	19
5.2.2. Realisierte Anlagen im Landkreis Heidenheim im Wasserschutzgebiet.....	20
6. Dynamische Simulation von Varianten für die Wärmeversorgung des Quartiers.....	22
6.1. Variante 1a.....	23
6.2. Variante 1b.....	25
6.3. Variante 1c.....	25
6.4. Variante 1d.....	31
6.5. Variante 2a.....	33
6.6. Variante 3a.....	37
6.7. Variante 3b und 3c.....	41
6.8. Variante 4a.....	44
6.9. Variante 4b.....	45
7. Konzeption eines saisonalen Wärmespeichers.....	47

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

INHALTSVERZEICHNIS

II

7.1. Pufferspeicher und saisonaler Wärmespeicher.....	47
7.2. Mögliche Bauweisen saisonaler Wärmespeicher.....	48
8. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	51
8.1. Kostenannahmen.....	51
8.2. Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung	52
8.3. Technologievergleich anhand der Wärmekosten.....	55
8.4. Stromnetzbelastung der betrachteten Varianten.....	56
8.5. Fazit.....	57
Quellen	58
9. Anhang	61
9.1. Anhang 1 Annahmen der Varianten im Simulations-Modell.....	61
9.2. Anhang 2 Berechnung der CO ₂ Emissionen	61

1. EINLEITUNG

Zur Erreichung der Klimaschutzziele, die sich die Gemeinde gesetzt hat, müssen in Königsbronn zum einen die Gebäude energetisch saniert werden, zum anderen jedoch zusätzlich lokale Energiepotenziale für die Gebäudeheizung und Warmwassererzeugung erschlossen werden, die für einzelne GebäudeeigentümerInnen allein nicht zugänglich sind. Bei diesen Wärmeenergiequellen, die nur gemeinschaftlich erschlossen werden können, geht es in Königsbronn zuallererst um die Nutzung industrieller Abwärme aus örtlichen Gießereien sowie aus einer eventuell noch dazu kommenden Eigenstromerzeugung von einer am Ortsrand gelegenen Gießerei. Weitere gewünschte Wärmequellen sollen auf Wunsch der Gemeindeverwaltung, des Arbeitskreises Energie und der Bürger von Königsbronn regenerativ sein.

Zur Untersuchung möglicher technischer Optionen hat die Gemeindeverwaltung die Erstellung eines integrierten Quartierskonzepts beauftragt. Abbildung 1 zeigt das zu untersuchende Quartier „bei der Gießerei“.



Abbildung 1: Das zu untersuchende Quartier „bei der Gießerei“ (GoogleEarth, 2018)

Die Wünsche und Einschätzungen der Gemeindeverwaltung und der Bürger sehen keinen großen Einsatz von Holz für das Quartier, da die ggf. zur Verfügung stehenden Holzmengen für Ortsteile benötigt werden, die nicht an ein Wärmenetz angeschlossen werden können.

Die Gemeinde erwartet zudem, dass aufgezeigt wird, welche größeren alternativen Wärmequellen für den Betrieb eines Nahwärmenetzes genutzt werden können, falls die Abwärme aus der Gießerei nicht mehr zur Verfügung stehen würde. Konkret geht es in diesem Zusammenhang vor allem um die Bestimmung der lokalen Erdwärmepotenziale sowie um die Benennung von möglichen Standorten für größere solarthermische Anlagen und große Wärmespeicher.

2. WÄRMEBEDARF DES NAHWÄRMENETZES

Durch mehrere Projektpartner wurden vor-Ort-Analysen von Energieeinsparpotenzialen durch Gebäudesanierungen und die Erhebung des bestehenden Energiebedarfs der Gebäude im Quartier durchgeführt. Auf Basis dieser Analysen wurden durch diese Partner folgende Werte vorgegeben:

- Der zu erwartende jährliche Netz-Wärmebedarf des Quartiers beträgt 5,5 GWh/a, inklusive der Verluste des Wärmenetzes mit einem Anteil von 15 %.
- Das zu konzipierende Wärmenetz wird im Auslegungsfall eine Vorlauftemperatur von 85 °C benötigen, im Sommerbetrieb 75 °C. Die Rücklauftemperatur wird 55 °C betragen.

Hieraus wurde ein Wärmelastverlauf entwickelt, der in Stundenwerten über ein Jahr die Vor- und Rücklauftemperatur sowie die stündliche Wärmeleistung ab Heizzentrale beinhaltet. Dieser basiert auf Messdaten, Erfahrungswerten und Analysen anderer Nahwärmenetze und wurde durch Solites mit den Projektbeteiligten diskutiert und abgestimmt.

Abbildung 2 zeigt den Verlauf der Wärmelast sowie die Vor- und Rücklauftemperaturen des Wärmenetzes eines Jahres, auf Basis von Stundenwerten. Diese werden für die dynamischen Simulationen in Kapitel 6 verwendet. Die Rücklauftemperatur des Wärmenetzes wird mit einem konstanten Wert von 55 °C angenommen. Die Vorlauftemperatur des Wärmenetzes beträgt im Winter maximal 85 °C und fällt im Sommer auf eine minimale Temperatur von 75 °C ab.

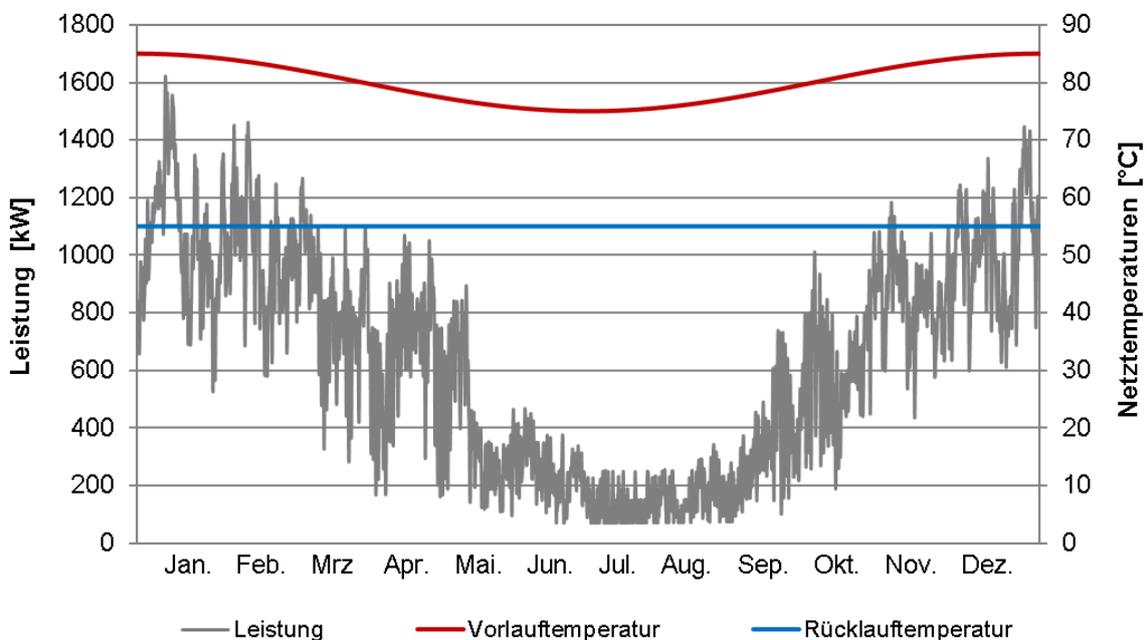


Abbildung 2: Wärmelastverlauf und Netztemperaturen des Nahwärmenetzes

3. MÖGLICHE INDUSTRIELLE ABWÄRMEQUELLEN

3.1. Übersicht

Zur Identifizierung möglicher industrieller Abwärmequellen wurden zu Beginn des Quartierskonzeptes die Industrieunternehmen vor Ort besichtigt, die Abwärme zur Verfügung stellen könnten. Hierbei standen jeweils die Eigentümer und die technisch Verantwortlichen zur Verfügung. Die Betriebe wurden eingehend besichtigt und mögliche Abwärmeentnahmen diskutiert. Die Bereitschaft hierzu war bei allen besichtigten Unternehmen sehr groß, die technischen Möglichkeiten jedoch nicht zwangsweise gegeben.

Die Gießerei C.F. Maier GmbH & Co. KG weist einen energetisch schon weit optimierten Fertigungsablauf auf, der Abwärme wenn möglich selbst nutzt. Ein größeres Abwärmepotenzial zur Nutzung für ein Wärmenetz steht nicht zur Verfügung. Eine gemeinsame Entwicklung einer erneuerbaren gekoppelten Strom- und Wärmeversorgung (Strom für die Gießerei, Wärme für das Wärmenetz) wurde andiskutiert, doch ist das Unternehmen hierfür zu weit weg vom Zielquartier.

Die Möglichkeit, Abwärme der SHW Casting Technologies GmbH (SHW) zu nutzen, wurde bei zwei Vor-Ort-Terminen sowie im Rahmen mehrerer Telefonate sowie Email-Korrespondenz erörtert und analysiert. Dabei wurden die nachfolgend in Kapitel 3.2 beschriebenen Möglichkeiten zur Abwärmenutzung geprüft.

Das Calzitwerk Waibertal wurde auch in einer Bürgerinformation als mögliche Abwärmequelle genannt. Der Betreiber steht einer Diskussion zu Abwärmegewinnungsmöglichkeiten offen gegenüber. Der Steinbruch liegt jedoch mit rund 5 km zu weit weg für eine Aktivierung einer Abwärmenutzung.

3.1.1. Abwärmenutzung aus dem Kühlwasser der Schmelzofen-Induktionsspulen

Die SHW verfügt über sechs Schmelzöfen unterschiedlicher Größe von bis zu 5 MW_{el.}. Diese arbeiten bei ca. 1.450 °C bis 1.550 °C. Die Induktionsspulen werden in einem getrennten Kreislauf mit Wasser, welches direkt an der Pfefferquelle entnommen wird, gekühlt. Abbildung 3 veranschaulicht den Verlauf der „Pfeffer“ auf dem Gelände der SHW.

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

3. MÖGLICHE INDUSTRIELLE ABWÄRMEQUELLEN

4



Abbildung 3: Verlauf Pfefferwasser auf dem Gel6nde der SHW (SHW, 2013, Plan nicht zur Ver6ffentlichung im Enderbericht freigegeben)

Hierzu darf die SHW eine Wassermenge von bis zu 16 l/s aus der Pfefferquelle entnehmen, dies entspricht ca. 500.000 m³/a, in 2016 wurden jedoch nur 22.470 m³ entnommen (ca. 4,5 %). Dieser Wert wurde vom Landratsamt Heidenheim als zust6ndige Wasserbeh6rde best6tigt. Das Wasser hat bei der Entnahme eine Temperatur von etwa 7 °C bis 8 °C und darf mit maximal 20 °C in den Pfeffer zur6ckgespeist werden. Dies erfolgt ca. 50 m unterhalb der Pfefferquelle. Abbildung 4 zeigt die W6rme6bertrager zur K6hlung der Induktionsspule eines Schmelzofens mit Pfefferwasser. Das erw6rmte Wasser hat nach dem K6hlprozess eine Temperatur am W6rme6bertrager von etwa 50 °C - 55 °C prim6rseitig und etwa 45 °C sekund6rseitig. Momentan wird das dem Pfeffer entnommene K6hlwasser vor der R6ckleitung in den Pfeffer 6ber einen K6hlturm abgek6hlt, dabei verdampft ca. 1/3 der Wassermenge. Laut Hr. Maier (SHW) verdampfen bei dem Betrieb der Schmelz6fen ca. 35 m³ bis 40 m³ Wasser pro Tag. Die Schmelz6fen sind je nach Auftragslage in Betrieb, jedoch i.d.R. von Montagnachmittag bis Freitagmittag.



Abbildung 4: Wärmeübertrager zur Kühlung der Induktionsspule eines Schmelzofens mit Pfefferwasser (Foto: Solites)

Eine grobe Abschätzung der möglichen nutzbaren Abwärme ergibt sich aus der entnommenen Wassermenge aus dem Pfeffer mit 22.470 m^3 und dessen Erwärmung durch die Kühlung der Schmelzöfen von 8 °C auf 45 °C . Hieraus ergeben sich 968 MWh/a an Wärmemenge, die über den in Abbildung 4 gezeigten Wärmeübertrager weggekühlt werden.

Hinweise:

Das Pfefferwasser wird mittels zwei Pumpen von der Pfeffer-Quelle in zwei Wasserspeicher mit einem Speicher-Volumen von je 3 m^3 gepumpt (druckbehaftet). Die Pumpen sind aktiv, sobald in den Wasserspeichern ein definierter Wasserspiegel unterschritten wird. Die Kenndaten der Pumpen lauten:

- Leistung Pumpe 1: $6 \text{ kW} - 9 \text{ kW}$, Leistung Pumpe 2: $6,5 \text{ kW}$.
- Maximaler Volumenstrom nach Typenschild: Pumpe 1: $10 \text{ m}^3/\text{h} - 49 \text{ m}^3/\text{h}$, Pumpe 2: $10 \text{ m}^3/\text{h}$.

3.1.2. Abwärmenutzung aus dem Abgasstrom der Glühöfen

Auf dem Gelände der SHW werden drei Glühöfen mit einer thermischen Leistung von 1,2 MW bis etwa 4 MW betrieben (siehe Abbildung 5). Diese gasbetriebenen Glühöfen arbeiten bei Temperaturen von ca. 550 °C bis 590 °C. In der Regel erfolgt deren Nutzung über das Wochenende nach dem folgenden Schema:

- Ab Freitag ca. 20 h aufheizen,
- anschließend ca. 20 h Temperatur halten,
- abschließend ca. 20 h abkühlen.



Abbildung 5: Gasbetriebene Glühöfen auf dem Gelände der SHW (Foto: Solites)

Das Abgas entweicht dabei über drei Kamine mit einer Temperatur von ca. 450 °C bis 480 °C. Über eine mögliche nutzbare Abwärmemenge ist nichts bekannt. Zu deren Abschätzung wird angenommen, dass ein Großteil der zugeführten Wärmemenge für den eigentlichen Zweck der Werkstückwärmung dient und die Abgaswärmeverluste nur einen kleinen Teil des Gesamtprozesses umfassen. Nach Angaben der SHW betrug der Gasbedarf der Glühöfen im Jahr 2017 1,6 GWh (SHW, 2018). Wird ein Abgasverlust von 10 % angenommen, so ergeben sich Abgaswärmeverluste von 160 MWh/a. Diese könnten zumindest anteilig durch Abgas-Wärmeübertrager rückgewonnen werden.

3.1.3. Abwärmenutzung im Rahmen einer möglichen zukünftigen Eigenstromerzeugung der SHW mittels BHKW

Die SHW führt derzeit Überlegungen durch, den Fremdbezug von elektrischer Energie über das öffentliche Stromnetz zumindest teilweise auf eine Eigenstromerzeugung umzustellen. Der Jahrestrombedarf liegt aktuell bei ca. 11 bis 14 GWh/a.

Ein Teil des Stromverbrauchs wird in den Schmelzöfen in Wärmeenergie umgewandelt, die im flüssigen Stahl beinhaltet ist, mit dem die Produkte gegossen werden. Die beim Erstarren und Abkühlen freiwerdende Wärmemenge kann technisch-wirtschaftlich nicht rückgewonnen werden, da die Produkte in der Regel langsam abkühlen müssen und dabei die in ihnen gespeicherte Wärme an die Umgebungsluft abgeben.

Die Überlegungen zur Eigenstromerzeugung umfassen ein oder mehrere Gas-BHKW mit einer Gesamtleistung von ca. 2,4 MW_{el}. Hier besteht die Möglichkeit, eine (Ab)Wärmeauskopplung vorzusehen, die dann für das Wärmenetz zur Verfügung stünde. Aufgrund der Glühöfen ist auf dem Gelände ein Gasanschluss mit einer Anschlussleistung von etwa 4,8 MW vorhanden. Aktuell sind die Planungen für eine mögliche Eigenstromerzeugung durch die SHW auf das 1. Quartal 2019 verschoben worden. Daher kann zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Aussage über eine mögliche Abwärmenutzung des BHKWs der SHW getroffen werden. Seitens der SHW besteht der Wunsch, die mögliche Abwärmenutzung frühzeitig zusammen mit den Quartiersbeteiligten zu entwickeln.

4. UNTERSUCHUNG DER NUTZUNG LOKALER ERNEUERBAREN ENERGIEQUELLEN

Für eine mögliche Nutzung lokaler erneuerbarer Energien wurden die Energiequellen Biomasse, Solarthermie, Flussquellwasser sowie die Leitungen der Landeswasserversorgung untersucht. Die Betrachtung der thermischen Nutzung des Untergrunds erfolgt in Kapitel 5.

4.1. Biomasse

Biomasse ist lokal nur in geringem Umfang verfügbar. Aufgrund der beengten Tallage von Königsbronn ist eine umfangreiche Holzfeuerung für das Quartier seitens der Gemeinde Königsbronn nicht gewünscht und wurde daher nicht weiter betrachtet. Die zur Verfügung stehende Biomasse soll in weiteren Quartieren und Ortsteilen genutzt werden.

4.2. Solarthermie

Die in diesem Kapitel nachfolgend beschriebene Untersuchung der Solarthermie als Wärmequelle untergliedert sich in die drei Abschnitte: Flächenfindung, Flächenbewertung und Abschätzung der möglichen solarthermischen Wärmeerzeugung bzw. Einordnung des Flächenbedarfs.

4.2.1. Flächenfindung

Die Quartiersbegehung am 07.02.2018 ergab folgende Flächen, die zur Abklärung bzgl. einer möglichen Verfügbarkeit untersucht wurden (siehe Abbildung 6). Tabelle 1 zeigt die Details der einzelnen Flächen.

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

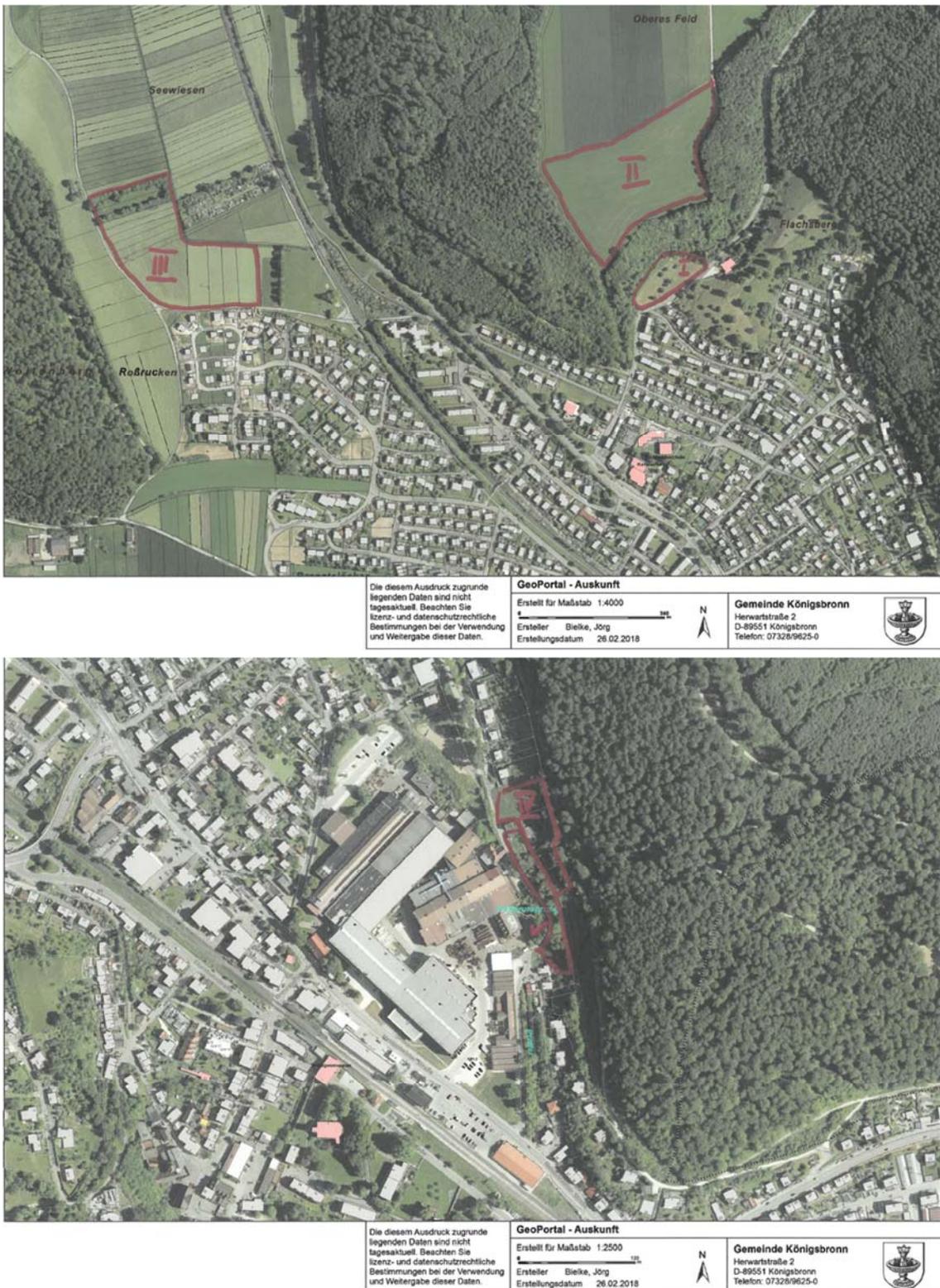
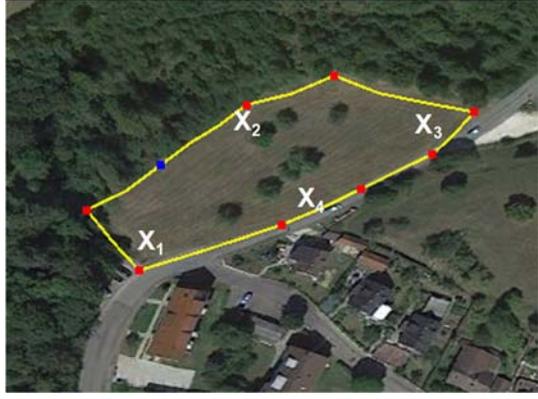
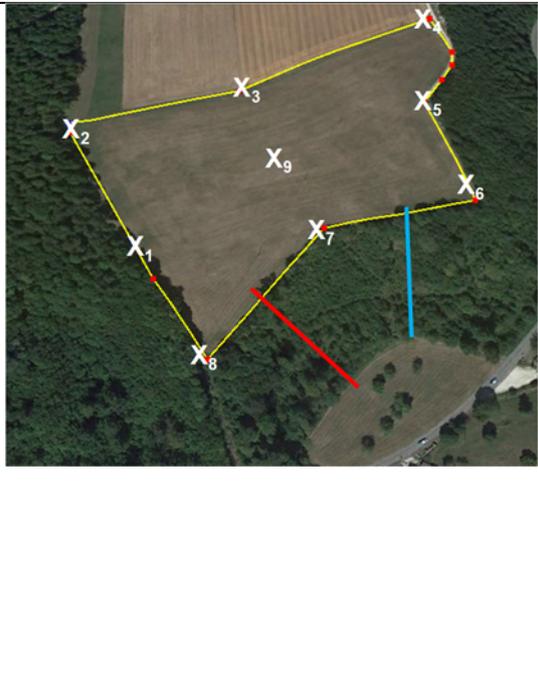
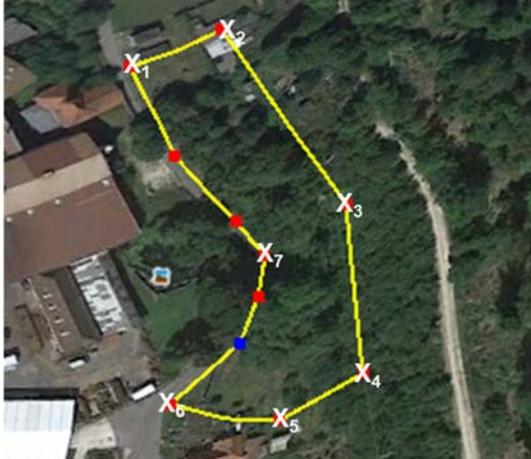


Abbildung 6: Übersicht möglicher Solarthermieflächen in Königsbronn auf Basis einer Ortsbegehung (Gemeinde Königsbronn, 2018, rot umrandete Flächen)

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

Tabelle 1: Details möglicher Flächen für eine solarthermische Nutzung (GoogleEarth, 2018)

<p>Fläche I Etwa 0,5 ha</p> <p><u>Höhe:</u> X₁: 515 m über NN X₂: 523 m über NN X₃: 522 m über NN X₄: 516 m über NN</p>	
<p>Fläche II Etwa 4,3 ha</p> <p><u>Höhe:</u> X₁: 564 m über NN X₂: 568 m über NN X₃: 575 m über NN X₄: 578 m über NN X₅: 572 m über NN X₆: 553 m über NN X₇: 561 m über NN X₈: 547 m über NN X₉: 568 m über NN</p> <p><u>Höhenunterschied rote Linie:</u> 33 m bei einer Länge von 94 m, durchschnittliche Steigung: 79 %.</p> <p><u>Höhenunterschied blaue Linie:</u> 37 m bei einer Entfernung von 116 m, durchschnittliche Steigung: 70 %.</p>	
<p>Fläche III Etwa 3,8 ha</p> <p><u>Höhe:</u> X₁: 505 m über NN</p>	

<p>Fläche IV Etwa 0,4 ha</p> <p><u>Höhe:</u> X₁: 514 m über NN X₂: 536 m über NN X₃: 531 m über NN X₄: 519 m über NN</p>	
<p>Fläche V Etwa 0,4 ha</p> <p><u>Höhe:</u> X₁: 513 m über NN X₂: 521 m über NN X₃: 524 m über NN X₄: 520 m über NN X₅: 509 m über NN X₆: 502 m über NN X₇: 512 m über NN</p>	

4.2.2. Flächenbewertung

- Fläche I: Private/r EigentümerIn, Gewässerzone III
- Fläche II: Private/r EigentümerIn, Gewässerzone III
- Fläche III: Drei Private EigentümerInnen, Gewässerzone III, Landschaftsschutzgebiet
- Fläche IV: Private/r EigentümerIn und 1 Verein, Gewässerzone III
- Fläche V: Gewerbliche/r EigentümerIn, Gewässerzone III

Die Flächen IV und V sollen laut der Gemeinde Königsbronn aufgrund der Eigentumsstruktur nicht weiterverfolgt werden. Erste Vorgespräche der Gemeinde Königsbronn zu Fläche I und II zeigen eine Bereitschaft des jeweiligen Eigentümers, die Fläche für eine energetische Nutzung gegen Entgelt abzugeben. Bei Fläche II besteht eine Nutzungskonkurrenz mit der landwirtschaftlichen Nutzung durch den Grundstückeigentümer selbst.

4.2.3. Abschätzung Erzeugung

Eine Grobabschätzung der solarthermischen Wärmeerzeugung erfolgt mittels möglicher Solarthermienutzungs-Szenarien. Eine Simulation auf Grundlage der Solarthermienutzungs-Szenarien folgt in Kapitel 6. Abbildung 7 zeigt Beispiele realisierter Kollektorfelder in Dänemark.

Szenario 1: Solarer Deckungsanteil von etwa 15 %

- Entspricht etwa 825 MWh/a
- HTFK* mit 400 kWh/(m²*a) ergibt etwa 2.000 m² (Aperturfläche)
- Bei Flächenfaktor 2,3 ergibt sich ein Bedarf von etwa 4.600 m² „Wiese“

Szenario 2: Solarer Deckungsanteil von etwa 50 %

- Entspricht etwa 2.750 MWh/a
- HTFK* mit 300 kWh/(m²*a) (ohne Wärmepumpe) etwa 9.200 m² (Aperturfläche)
(Hinweis: mit Wärmepumpe etwa 380 kWh/(m²*a))
- Bei Flächenfaktor 2,3 ergibt sich ein Bedarf von etwa 21.200 m² „Wiese“

Szenario 3: Maximaler solarer Deckungsanteil auf Fläche III

- Verfügbare Fläche von 3,8 ha abzgl. 0,5 ha für den Wärmespeicher ergibt 3,3 ha „Wiese“
- Bei Flächenfaktor 2,3 ergeben sich etwa 14.000 m² (Aperturfläche)
- HTFK* mit 280 kWh/(m²*a) ergibt etwa 3,9 GWh/a
- Bei etwa 5,5 GWh/a Wärmebedarf ergibt sich ein solarer Deckungsanteil von etwa 71 %

* HTFK: Hochtemperatur-Flachkollektor



Abbildung 7: Realisierte Kollektorfelder in Dänemark; Linke Abbildung in Dronninglund; Rechte Abbildung in Braedstrup, (Fotos: Solites)

4.3. Flussquellwasser

Die Wärme von Flussquellwasser kann prinzipiell mittels einer Wärmepumpe auf ein für die Einspeisung in das geplante Wärmenetz ausreichendes Temperaturniveau angehoben werden. Die nachfolgenden Informationen zur Nutzung der Flussquellen konnten beim zuständigen Landratsamt in Heidenheim eingeholt werden (Landratsamt Heidenheim, 2018):

In Königsbronn entspringen die Flüsse Brenz, Pfeffer und Leerausbach. Alle haben eine relativ konstante Quellwasser-Temperatur von 8 °C. Aufgrund der geringen Schüttmenge wird der Leerausbach nicht weiter betrachtet, sondern nur die Brenz- und die Pfefferquelle.

Brenzquelle:

- Schüttung 43 Mio. m³/a (mindestens mit 0,53 m³/s)
- Nicht direkt am Quartier gelegen

Pfefferquelle:

- Schüttung 10 Mio. m³/a (mindestens mit 0,19 m³/s)
- Wird bereits teilweise durch die SHW genutzt (siehe Abbildung 8)
- Liegt direkt am Quartier und wird daher detaillierter betrachtet (siehe Simulationen in Kapitel 6)



Abbildung 8: Pfefferquelle angrenzend an das Gelände der SHW (Foto: Solites)

Fazit:

Aufgrund der Vorgabe des Landratsamtes Heidenheim ist bei der Nutzung einer Wärmepumpe vorerst von einer möglichen Temperaturabsenkung des Quellwassers von 1 K auszugehen. Dadurch ergibt sich eine theoretische Abschätzung der verfügbaren Wärmemenge von:

- Rund 11,5 GWh/a für die Pfefferquelle.
- Rund 50 GWh/a für die Brenzquelle.

Aber: Die tatsächliche Wärmenutzung ist nur mit einer entsprechenden Wärmepumpe möglich (siehe Simulationen in Kapitel 6).

4.4. Landeswasserversorgung

Zwei Leitungen der Landeswasserversorgung queren nördlich des Geländes der SHW die Gemeinde Königsbronn und liegen somit im betrachteten Quartier „bei der Gießerei“.

Die Abklärung mit Prof. Haakh, techn. Geschäftsführer Zweckverband LWV, bezüglich einer möglichen energetischen Nutzung ergab das folgende Ergebnis (Haakh, 2018):

- Ein Wärmeentzug aus den Trinkwasserleitungen ist möglich, sofern das Wasser hierzu nicht ausgeleitet wird. Hierzu müssten Wärmeübertrager von außen an die Rohre angebracht werden.
- Zustand der Rohre in Königsbronn:
DN 600 gemuffte Graugussleitung, rund 100 Jahre alt, wird in den nächsten Jahren erneuert. DN 800 gemuffte Stahlleitung, rund 80 Jahre alt. Gesamtdurchfluss rund 1.000 l/s bis 1.500 l/s, Wassertemperatur liegt zwischen etwa 9 °C bis 12 °C.
- Resultat der technischen Erörterung:
Durch die Muffen ist das Anbringen von langen außenliegenden Wärmeübertragern sehr aufwändig und durch das Alter der Rohrleitungen zudem sehr risikobehaftet.
- Ggf. ist bei der sowieso anstehenden Erneuerung der Graugussleitung der Einbau eines Wärmeübertragers möglich.
-

Für das anstehende Quartierskonzept in Königsbronn kommt eine energetische Nutzung dieser Wärmequelle, ab Inbetriebnahme der Wärmeversorgungsanlage, aus zeitlichen Gründen nicht in Frage. Eventuell wäre dies im Zuge einer Erweiterungs-Maßnahme der Quartiersversorgung möglich.

4.5. Abwasser als Wärmequelle

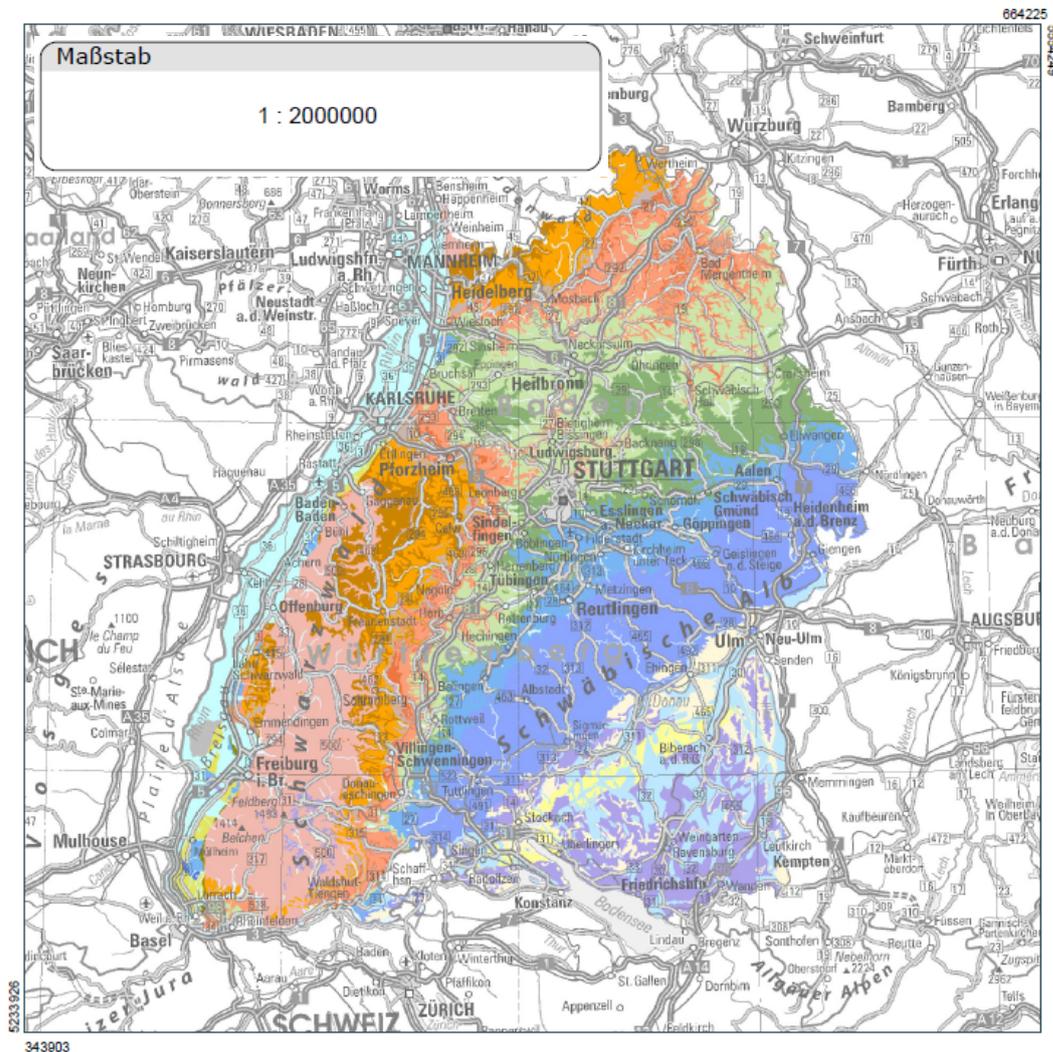
Abwasser ist im Vergleich zum Frischwasser wärmer, da es durch die Nutzung im Gebäude erwärmt und dann abgeleitet wird. Im Abwasserkanal kühlt es wiederum auf Umgebungstemperatur ab. Eine Nutzung des Abwassers als Wärmequelle für eine Wärmepumpe erfordert aus technisch-wirtschaftlichen Gründen einen Mindestvolumenstrom des Abwassers, der nur in größeren Abwassersammlern vorhanden ist. Nach Rücksprache mit und Abklärung durch den Ortsbaumeister Herrn Bielke steht im betrachteten Quartier kein geeigneter Abwassersammler zur Verfügung. Daher ist diese mögliche Wärmequelle für das Quartier auszuschließen.

5. ANALYSE DER GEOLOGISCHEN SITUATION VOR ORT

5.1. Hydrogeologische Bestandsaufnahme

Wie in Abbildung 9 zu erkennen, befindet sich das Untersuchungsgebiet um Heidenheim an der Brenz im Bereich des Oberjuras, der größtenteils aus Carbonatgestein besteht. Für Gewöhnlich hat die hohe Wasserlöslichkeit dieses Gesteins eine ausgeprägte Verkarstung („Gesteinskorrosion“) zur Folge (Sass et al., 2015).

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“



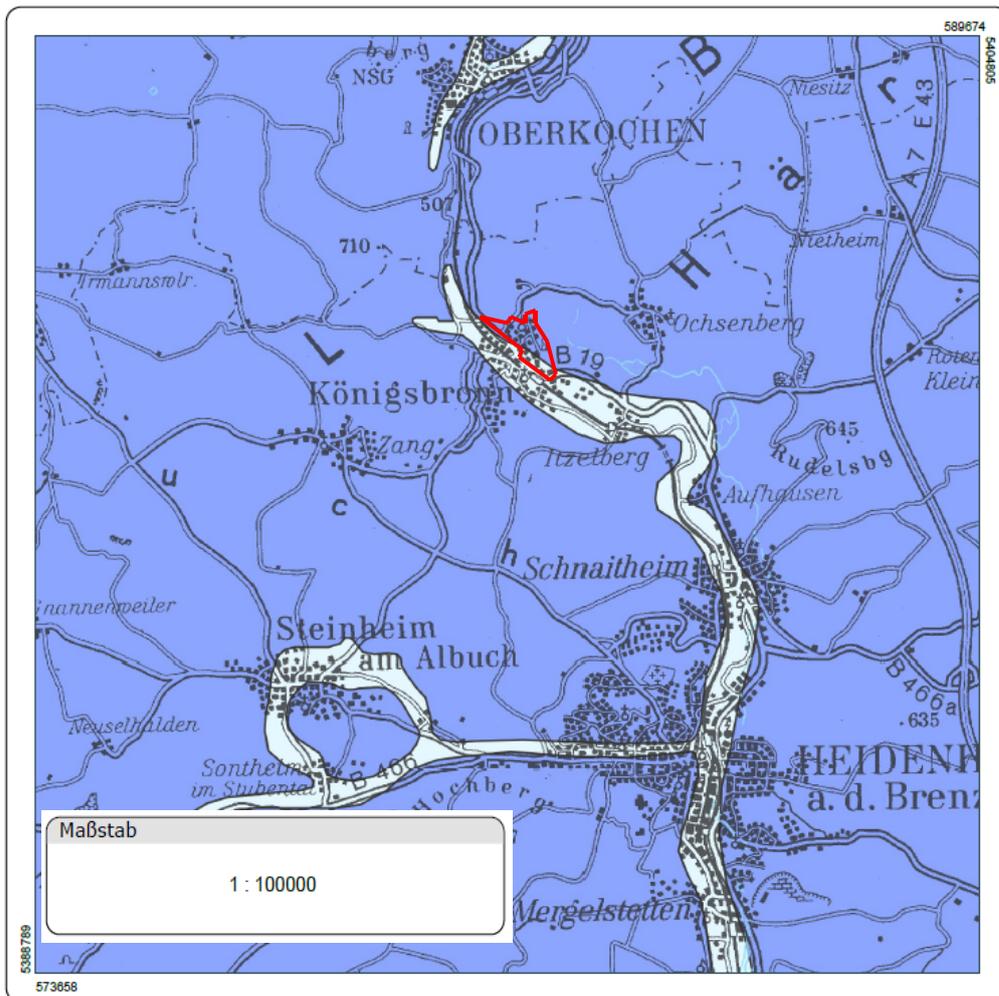
- HÜK350: Hydrogeologische Einheiten**
- Grundwasserleiter (GWL), Grundwassergeringleiter (GWG)
 - Quartäre Becken- und Moränensedimente (GWG)
 - Quartäre/Pliozäne Kiese und Sande (GWL)
 - Fluvioglaziale Kiese und Sande des Alpenvorlands (GWL)
 - Jungquartäre Flusskiese und -sande (GWL)
 - Junge Magmatite (GWG)
 - Tertiär im Oberrheingraben (GWG)
 - Obere Meeresmolasse (GWL/GWG)
 - übrige Molasse (GWG)
 - Oberjura, schwäbische Fazies (GWL)
 - Oberjura, rauracische Fazies (GWL)
 - Mittel- und Unterjura (GWG)
 - Oberkeuper und Oberer Mittelkeuper (GWL/GWG)
 - Gipskeuper und Unterkeuper (GWL/GWG)
 - Oberer Muschelkalk (GWL)
 - Mittlerer Muschelkalk (GWG)
 - Unterer Muschelkalk (GWL)
 - Oberer Buntsandstein (GWL/GWG)
 - Mittlerer und Unterer Buntsandstein (GWL)
 - Paläozoikum, Kristallin (GWG)
 - Trias, ungegliedert (GWL/GWG)

Abbildung 9: Hydrogeologische Karte von Baden- Württemberg (Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, ISONG, 2017)

Abbildung 10 zeigt eine detaillierte Ansicht der hydrogeologischen Einheiten um Königsbronn, mit dem rot umrandeten Quartiersgebiet. Es ist zu erkennen, dass der Großteil des Gebiets

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

hydrogeologisch betrachtet im Bereich des Oberjuras liegt und der Untergrund des südlichen Teils durch quartäre Flussablagerungen der Brenz bzw. des Ziegelbachs aufgebaut ist. Über die Mächtigkeit dieser, vor allem aus Kiesen und Sanden bestehenden Sedimentlage, liegen keine Informationen vor. Bezogen auf die Quartiersfläche befindet sich ca. 1/3 davon im Bereich dieser quartären Flussablagerungen, die einen hydraulisch gut durchlässigen Grundwasserleiter bilden.



■ Oberjura, schwäbische Fazies (GWL) ■ Quartäre/Pliozäne Kiese und Sande (GWL)

Abbildung 10: Hydrogeologische Karte im Landkreis Heidenheim mit Königsbronn und dem relevanten Quartier (rotumrandet) (Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, ISONG, 2017)

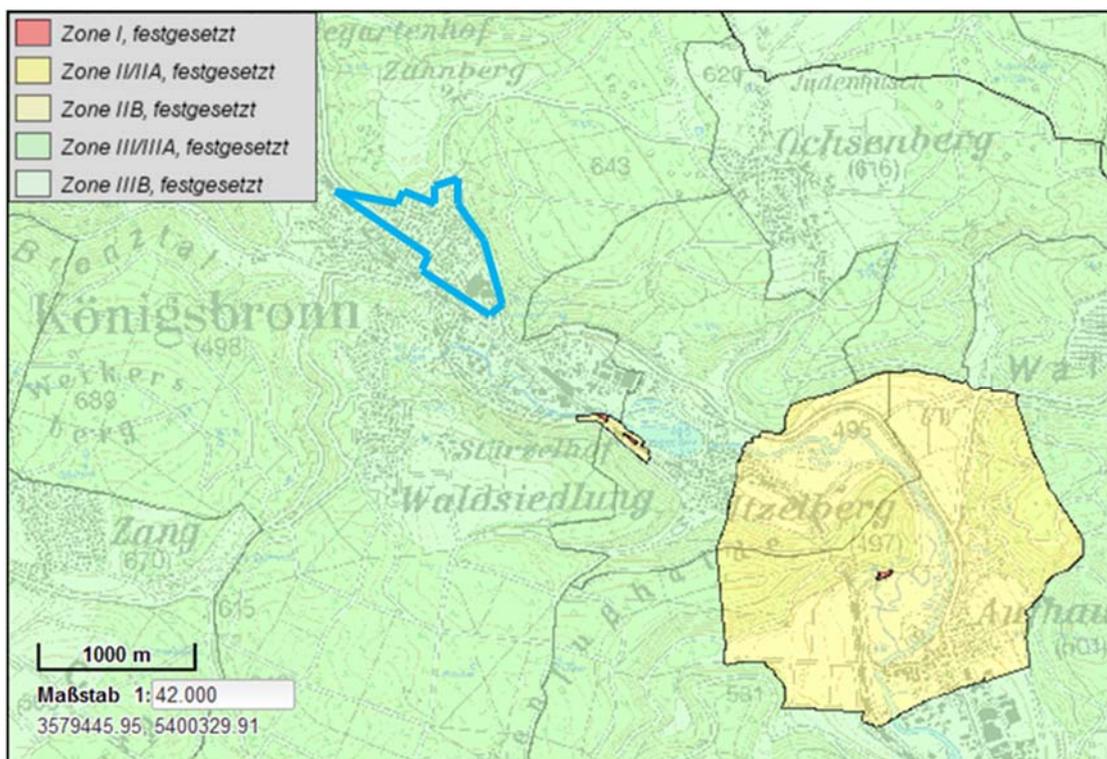


Abbildung 11: Wasserschutzzonekarte der Gemeinde Königsbronn mit blau umrandetem Quartier (Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, ISONG, 2017)

Aufgrund der hohen Vulnerabilität gegenüber Schadstoffeintrag sind Karstgebiete als Wasserschutzgebiete ausgewiesen. Wie in Abbildung 11 zu sehen, liegt der für das Quartiersprojekt in Königsbronn relevante Bereich in der Wasserschutzzone III und unterliegt daher deren Bestimmungen. Die Wasserschutzzone III umfasst das Gesamteinzugsgebiet der genutzten Trinkwasserfördereinrichtung. Die am Quartier nächstgelegenen Trinkwasserfördereinrichtungen (Wasserschutzzone I) sind in Abbildung 11 rot markiert. Diese sind nach Auskunft der unteren Wasserbehörde die Iztelberger Brunnen, die dem Zweckverband Härtsfeld-Albuch Wasserversorger unterliegen.

5.2. Untersuchung zur thermischen Nutzung des Untergrunds

Königsbronn liegt im Wasserschutzgebiet, daher ist eine thermische Nutzung des Untergrunds nur nach Genehmigung durch die zuständigen Wasserbehörden möglich. Eine grundlegende Prüfung der Möglichkeiten erfolgte im Rahmen der Bachelorarbeit von Frau Leirich „Thermische Nutzung des Untergrundes im Wasserschutzgebiet am Beispiel von Königsbronn“ im Studiengang Umweltsicherung an der Hochschule Weihenstephan – Triesdorf (Leirich, 2018). Diese wurde von Solites betreut und in Kooperation mit der Genehmigungsbehörde des Landratsam-

tes Heidenheim, in Person Herrn Awizus aus dem Bereich „Wasser- und Bodenschutz“ durchgeführt. Die folgenden Kapitel führen die für die eine mögliche Wärmenutzung im Quartier relevantesten Kapitel der Bachelorarbeit auf:

5.2.1. Relevante Vorschriften in einem Wasserschutzgebiet

Die bundesweit geltenden Gesetze und Bedingungen für Wasserschutzgebiete sind in der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) beschrieben. Für Baden-Württemberg gilt zusätzlich das Wassergesetz (WG), und explizit für den Landkreis Heidenheim im Brenztal die Rechtsverordnung des Wasserschutzgebietes Brenztal. Neben der WRRL und dem WHG kann für die Nutzung der Geothermie das Berggesetz relevant werden. Dieses tritt in Kraft, sobald eine Bohrung tiefer als 100 Meter oder die Anlage grundstücksübergreifend ist. Die einzelnen relevanten Abschnitte der jeweiligen Gesetze und Bestimmungen werden folgend behandelt.

Der § 13a Abs. (1) Satz 2 des WHGs besagt, dass in einem Wasserschutzgebiet die Erlaubnis für bestimmte Gewässerbenutzungen nicht gegeben ist.

Im WHG §52 Abs. (1) ist dokumentiert, dass eine regionale Rechtsverordnung ein Wasserschutzgebiet festlegt und darin Verbote und Einschränkungen beschreibt. Daher ist die Rechtsverordnung des Brenztals die entscheidende Rechtsgrundlage, die sämtliche Maßnahmen vor Ort regelt (Umweltministerium Baden-Württemberg, Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Grundwasserwärmepumpen, 2008).

Diese Rechtsverordnung des Regierungspräsidiums Stuttgart vom 14. Dezember 1977 für das Brenztal gibt zunächst im §3 Abs. (2) an, dass die Untere Wasserbehörde des Landratsamtes Heidenheim die zuständige Behörde ist, welche die Bedingungen, Verbote und Entscheidungen vorgibt. Außerdem ist dokumentiert, dass prinzipiell alle Anlagen verboten sind, die den Wasserkörper nachteilig beeinflussen. Daher sind sämtliche Bohrungen und Eingriffe in den Untergrund prinzipiell verboten (Landratsamt Heidenheim, 2018b).

Allerdings ist in der Rechtsverordnung des Brenztals zusätzlich beschrieben, dass die zuständige Untere Wasserbehörde die jeweilige Anzeige prüft und Ausnahmen des Verbotes genehmigen kann. Diese unterliegen allerdings ebenfalls §3 Abs. (2) der Rechtsverordnung des Brenztals, sodass Ausnahmen nur zu begünstigen sind, wenn keine nachteiligen Veränderungen der Wasserkörper zu befürchten sind (Landratsamt Heidenheim, 2018b). Um eine solche Ausnahmegenehmigung zu erhalten, müssen für jede zu bauende Technik bestimmte Bestimmungen eingehalten werden.

5.2.2. Realisierte Anlagen im Landkreis Heidenheim im Wasserschutzgebiet

Im Landkreis Heidenheim befinden sich trotz des Wasserschutzgebietwa einige geothermische Anlagen sowie grundwassernutzende Anlagen, die in Abbildung 12 und Abbildung 13 dargestellt sind.

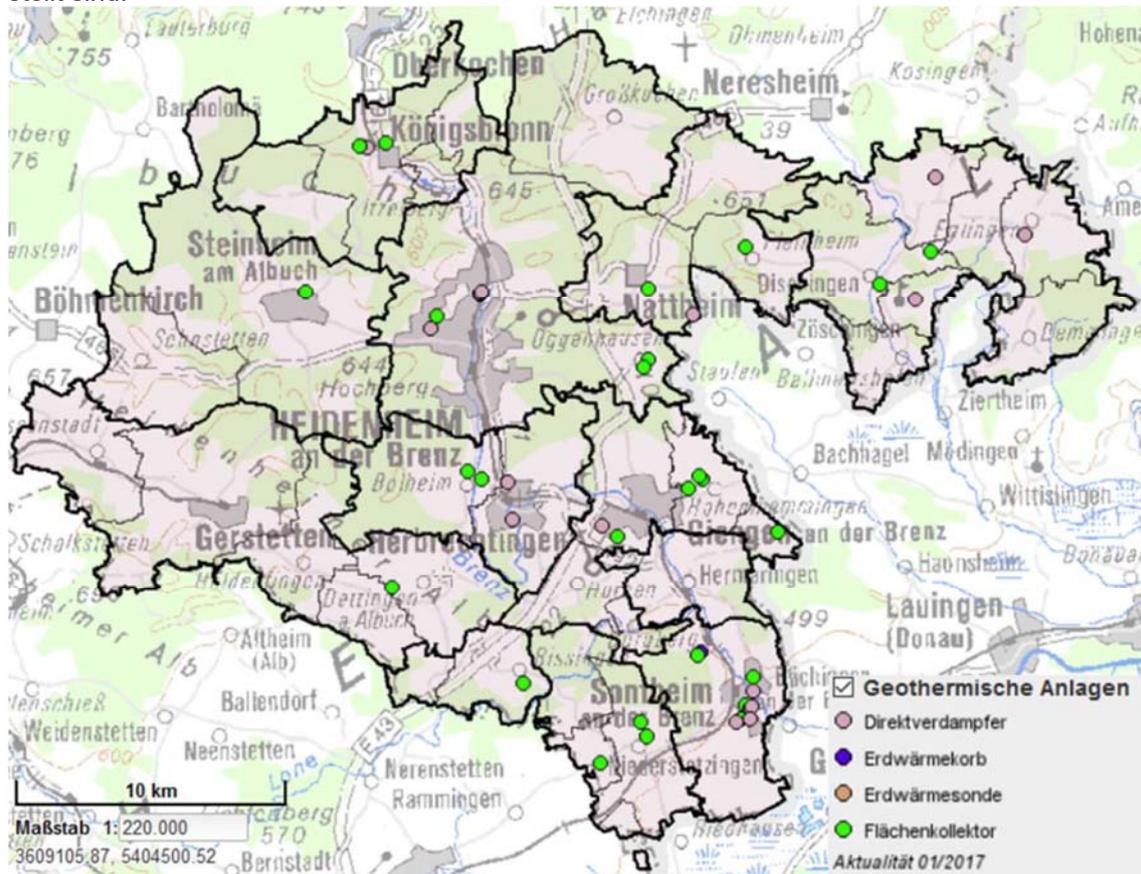


Abbildung 12: Geothermische Anlagen im Landkreis Heidenheim (Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, ISONG, 2017)

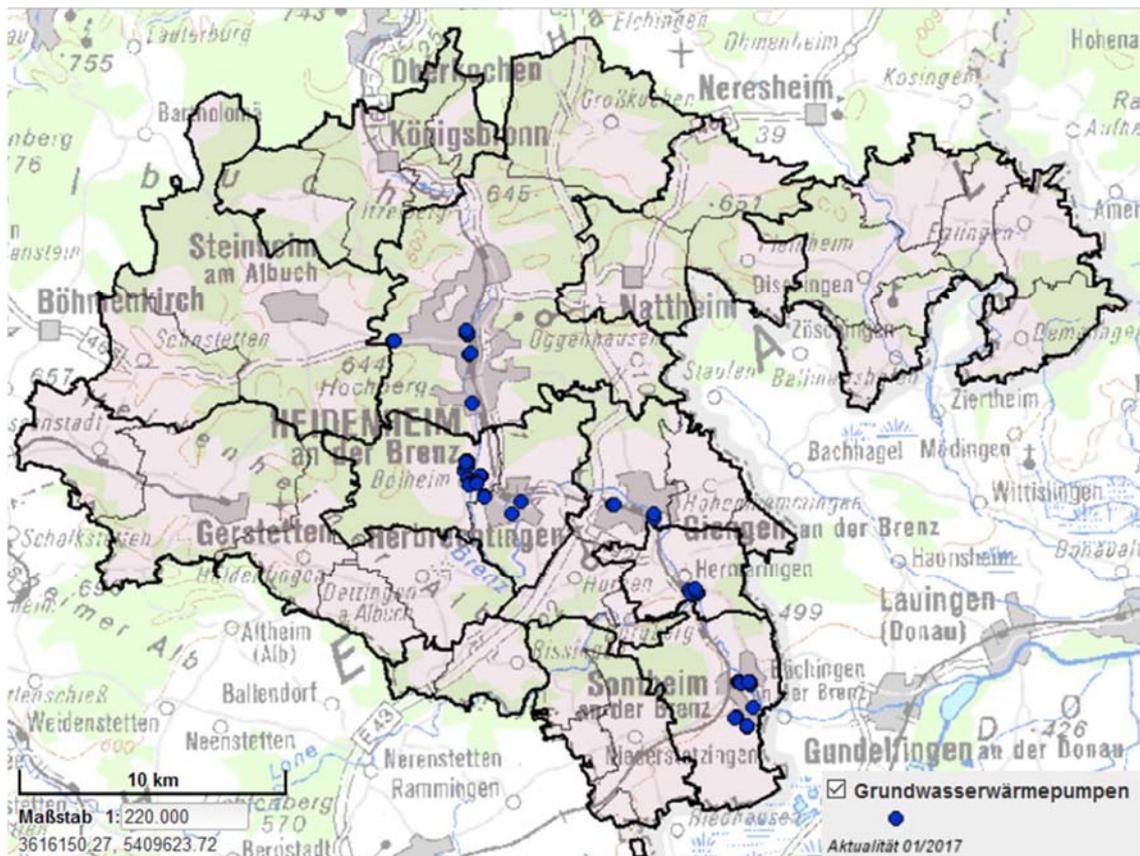


Abbildung 13: Landkreis Heidenheim mit eingezeichneten Grundwasserwärmepumpen (Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, ISONG, 2017)

Abbildung 13 zeigt, dass die meisten Grundwasserwärmepumpen im Verlauf der Brenz gebaut wurden. Außerdem wurden einige Flächenkollektoren sowie Direktverdampferkollektoren umgesetzt, wie in Abbildung 12 zu erkennen ist. Erdwärmesonden sind in dieser Grafik allerdings nicht vorhanden, obwohl die untere Wasserbehörde die Existenz einer Erdwärmesonde in Niederstotzingen bestätigte (Landratsamt Heidenheim, 2018b).

In Tabelle 2 wurde die Anzahl vorhandener Anlagen dokumentiert. Diese Werte wurden dem Geoportal des Landratsamtes Heidenheim sowie den Aussagen der Unteren Wasserbehörde entnommen.

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

Tabelle 2: Zusammenstellung der vorhandenen geothermischen Anlagen im Landkreis Heidenheim

Anlage	Anzahl im Landkreis Heidenheim (laut Geoportal sowie unterer Wasserbehörde, (Landratsamt Heidenheim, 2017) (Awiszus, Udo, 2018))
Grundwasserwärmepumpe	78
Direktverdampfer	14
Erdwärmekorb	1
Erdwärmesonde	1
Flächenkollektor	28

Da eigentlich Eingriffe in den Untergrund in einem Wasserschutzgebiet verboten sind, weil diese eine negative Auswirkung auf das Grundwasser haben können, wurden demnach die in Tabelle 2 genannten Anlagen mit einer Ausnahmeregelung bewilligt. Für diese werden vor allem hydrogeologische Bedingungen gefordert.

6. DYNAMISCHE SIMULATION VON VARIANTEN FÜR DIE WÄRMEVERSORGUNG DES QUARTIERS

Auf Basis der Ergebnisse aus den vorhergehenden Kapiteln wurde ein Standard-Simulationsmodell in der Simulationsumgebung TRNSYS (TESS, 2012) auf die Bedingungen im Quartier „bei der Gießerei“ in Königsbronn parametrisiert. Mit diesem Modell wurden die unterschiedlichen entwickelten Gesamtkonzepte für Wärmeversorgung des Quartiers dynamisch simuliert. Ziel der Simulationen war die thermische Grobdimensionierung der Wärmeerzeuger und des Wärmespeichers sowie die Ermittlung der relevanten Energieströme und die anschließende Bewertung der Varianten.

Bei allen Varianten gehen folgende Daten in die Simulation ein:

- Wetterdaten: Wetterdaten eines Test-Referenz-Jahres für den Standort Stuttgart in stündlicher Auflösung (Meteonorm, 2018).
- Wärmelast: Wärmelastprofil in stündlicher Auflösung wie in Kapitel 2 beschrieben.

Eine Verringerung des Solar-Ertrags durch Verschattungen der Kollektoren wurde in den Simulationen nicht berücksichtigt.

Auf Grundlage der Untersuchungen in Kapitel 2 erfolgte keine Berücksichtigung der Abwärmquellen der SHW.

6.1. Variante 1a

Wie in Kapitel 4.2.3 beschrieben, werden drei Solarthermie-Nutzungsszenarien betrachtet. Dem Szenario 1 liegt in Variante 1a folgende Wahl und Dimensionierung der Wärmeerzeuger zugrunde:

- Solarthermie-Anlage mit einer Kollektor-Aperturfläche von 2.000 m².
- Einbindung einer Hochtemperatur-Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 450 KW zur Nutzung des Flusses „Pfeffer“ als Wärmequelle. Die Ziel-Vorlauftemperatur beträgt 75 °C.
- Erzeugung der von der Wärmepumpe benötigten elektrischen Energie durch ein Gas-BHKW (gasbetriebenes Motor-BHKW) mit 175 KW_{el.} und 244 KW_{th.}. Nutzung der von dem Gas-BHKW umgewandelten Wärme zur Deckung des Netz-Wärmebedarfs. Die Ziel-Vorlauftemperatur beträgt 95 °C.
- Die Solarthermie-Anlage, die Wärmepumpe und das Gas-BHKW sind in den Wärmespeicher mit einem Speicher-Volumen von 600 m³ eingebunden. Es wird ein oberirdischer Heißwasser-Wärmespeicher verwendet.
- Reicht die Temperatur im oberen Bereich des Wärmespeichers nicht aus, um die Soll-Vorlauftemperatur im Wärmenetz zu erreichen, erfolgt eine Zuheizung durch einen Gas-Kessel mit einer Leistung von 1.000 KW.

Die Projektleitung sprach die Empfehlung aus, sich an den Wärmepumpen-Hersteller „Hafner-Muschler“ zu wenden. Parallel dazu wurden die Leistungs-Kennlinien der gewählten Wärmepumpen mit dem aktuellen Stand der Technik abgeglichen, um die Repräsentativität zu überprüfen (Hafner-Muschler, 2018), (Ochsner, 2018b), (Viessmann, 2018), (Combitherm, 2018), (WSK, 2018).

Es wird darauf hingewiesen, dass im Jahr 2014 eine „F-Gas Verordnung“ erlassen wurde. Diese regelt die Benutzung von Kältemitteln in Wärmepumpen.

„Hafner-Muschler“ bietet Hochtemperatur-Wärmepumpen mit dem Kältemittel CO₂ an. Wichtig bei der Einbindung und dem Betrieb einer Wärmepumpe in einem Wärmenetz sind unter anderem die entsprechenden Temperatur-Niveaus. Die für diesen Anwendungsfall passenden 1-stufigen Wärmepumpen „HHR360“ und „HHR520“ benötigen nach Absprache mit „Hafner-Muschler“ eine Gaskühler-Eintrittstemperatur von unter 47 °C. Die Temperaturen im unteren Bereich des Wärmespeichers sind bei dieser Art der Einbindung der unter Variante 1a aufgelisteten Wärmeerzeuger stark von der Rücklauftemperatur des Wärmenetzes von 55 °C beeinflusst. Eine grundsätzliche Möglichkeit unter diesen Bedingungen eine Wärmepumpe des Typs „HHR360“ oder eine „HHR520“ zu betreiben, ist es, Fluid aus dem unteren Bereich des Wärmespeichers zu entnehmen und durch Flusswasser zu kühlen. Das sich dabei erwärmende Flusswasser wird als Wärmequelle dem Verdampfer der Wärmepumpe zugeführt. Das abgekühlte Fluid aus dem Wärmespeicher wird dem Kondensator der Wärmepumpe zugeführt (siehe Abbildung 14). Die rot gefärbten Linien stellen Vorlauf- und die blau gefärbten Linien Rücklaufleitungen dar.

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

Im Folgenden eine Auflistung der Ein- und Austrittstemperaturen der Wärmepumpe für den beschriebenen Fall:

- Gaskühler-Eintrittstemperatur: 45 °C
- Gaskühler-Austrittstemperatur: 75 °C (um hohe Deckungsanteile der Wärmepumpe am Netz-Wärmebedarf zu erreichen)
- Verdampfer-Eintrittstemperatur: 8 °C – 21 °C
- Verdampfer-Austrittstemperatur: 7 °C

Die Effizienz des thermodynamischen Prozesses auf der Verdampfer-Seite ist maßgeblich von der Verdampfer-Austrittstemperatur abhängig. Eine Erhöhung der Verdampfer-Eintrittstemperatur bewirkt keine wesentliche Verbesserung der Effizienz. Da das in den Gaskühler eintretende Fluid von 55 °C auf 45 °C heruntergekühlt werden muss und die Wärmepumpe einen Temperaturhub von 45 °C auf 75 °C bewältigt, verschlechtert sich die Jahresarbeitszahl des Gesamtsystems in Abbildung 14 (Im Vergleich zur Wärmepumpe selbst, mit der Systemgrenze direkt an den Anschlusspunkten der Wärmepumpe). Abbildung 14 zeigt die Jahres-Energiemengen des Wärmepumpen-Systems aus der dynamischen Simulation mit beispielhaften Temperaturen. Die Jahresarbeitszahl des Wärmepumpen-Systems beträgt **1,7**. Sie berechnet sich aus der in den Wärmespeicher eingespeisten Energiemenge von 1.657 MWh und dem Strombedarf der Wärmepumpe von 955 MWh. Aufgrund der niedrigen Jahresarbeitszahl wird diese Variante nicht weiterverfolgt.

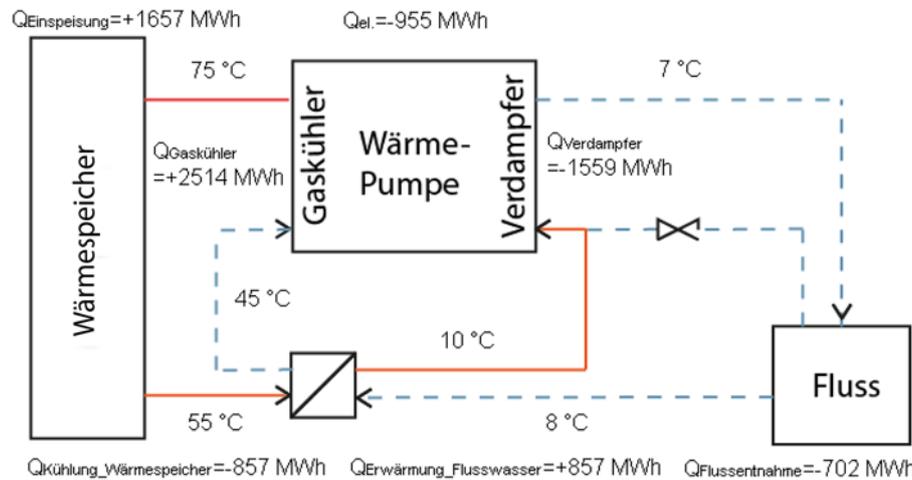


Abbildung 14: Hydraulische Einbindung der Wärmepumpe in den Wärmespeicher der Variante 1a

$Q_{\text{Einspeisung}}$:	Energiemenge die in den Wärmespeicher eingespeist wird
$Q_{\text{el.}}$:	Strombedarf der Wärmepumpe
$Q_{\text{Gaskühler}}$:	Energiemenge die an der Gaskühler-Seite der Wärmepumpe an die Wärmesenke abgegeben wird
$Q_{\text{Verdampfer}}$:	Energiemenge die der Wärmequelle durch die Wärmepumpe entnommen wird
$Q_{\text{Kühlung_Wärmespeicher}}$:	Energiemenge zur Kühlung des aus dem Wärmespeicher austretenden Fluids auf eine Temperatur von 45 °C

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

$Q_{\text{Erwärmung_Flusswasser}}$: Energiemenge die an dem Wärmeübertrager an das Flusswasser abgegeben wird

$Q_{\text{Flussentnahme}}$: Energiemenge die dem Flusswasser entzogen wird

6.2. Variante 1b

Eine Möglichkeit, die niedrige Jahresarbeitszahl aus Variante 1a zu verbessern ist es, den Wärmeübertrager aus Abbildung 14 durch eine zusätzliche Wärmepumpe zu ersetzen. Abbildung 15 veranschaulicht die hydraulische Einbindung der Variante 1b. Diese Variante wird aufgrund der Alternativ-Variante 1c nicht weiterverfolgt.

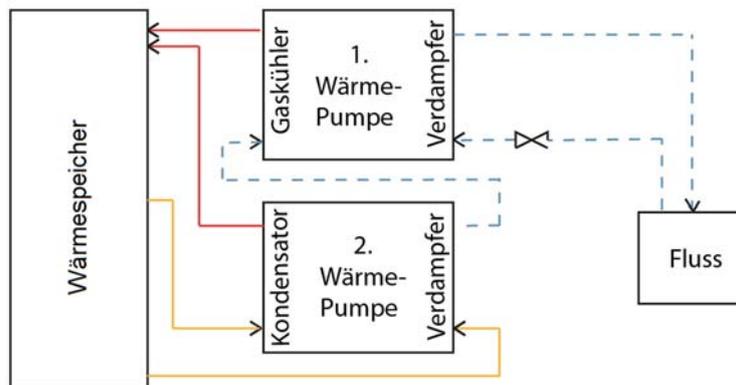


Abbildung 15: Hydraulische Einbindung der Wärmepumpe in den Wärmespeicher der Variante 1b

6.3. Variante 1c

Zur Verbesserung der niedrigen Jahresarbeitszahl von 1,7 aus Variante 1a bietet der Hersteller „Hafner-Muschler“ ein individuell an den Anwendungsfall in Königsbronn angepasstes 1½-stufiges Wärmepumpen-System an. Dieses Wärmepumpen-System besitzt gegenüber einer 1-stufigen Wärmepumpe zwei Gaskühler anstelle von einem. An den zweiten Gaskühler ist eine zusätzliche Sekundär-Wärmepumpe angeschlossen, die das Kältemittel der Primär-Wärmepumpe auf Temperaturen von unter 47 °C abkühlt. Die hydraulische Einbindung des 1½-stufigen Wärmepumpen-Systems in den Wärmespeicher ist in Abbildung 22 veranschaulicht.

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

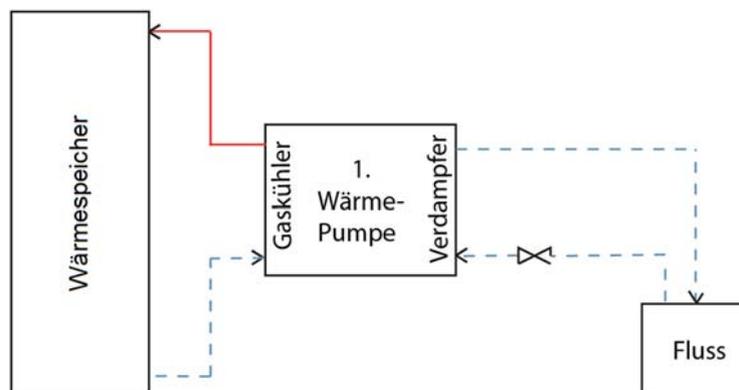


Abbildung 16: Hydraulische Einbindung der Wärmepumpe in den Wärmespeicher der Variante 1c

Der Variante 1c liegt folgende Grobdimensionierung der Wärmeerzeuger zu Grunde:

- Solarthermie-Anlage mit einer Kollektor-Aperturfläche von 2.000 m²
- Einbindung einer 1½-stufigen Hochtemperatur-Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 363 KW zur Nutzung des Flusses „Pfeffer“ als Wärmequelle. Die Ziel-Vorlauftemperatur beträgt 75 °C.
- Erzeugung der von der Wärmepumpe benötigten elektrischen Energie durch ein Gas-BHKW (gasbetriebenes Motor-BHKW) mit 150 KW_{el.} und 217 KW_{th.}. Die von dem Gas-BHKW umgewandelte Wärme wird zur Deckung des Netz-Wärmebedarfs verwendet. Die Ziel-Vorlauftemperatur beträgt 95 °C.
- Die Solarthermie-Anlage, die Wärmepumpe und das Gas-BHKW sind in den Wärmespeicher mit einem Speicher-Volumen von 600 m³ eingebunden. Es wird ein oberirdischer Heißwasser-Wärmespeicher verwendet.
- Reicht die Temperatur im oberen Bereich des Wärmespeichers nicht aus, um die Soll-Vorlauftemperatur im Wärmenetz zu erreichen, erfolgt eine Zuheizung durch einen Gas-Kessel mit einer Leistung von 1.000 KW.

Anhang 1 dokumentiert weitere Annahmen, die für die Simulation der Varianten definiert wurden.

Es gilt zu prüfen, ob die Schüttung des Flusses „Pfeffer“ ausreichend für den Betrieb der Wärmepumpe ist. In Abbildung 17 ist der in die Wärmepumpe eintretende Volumenstrom in rot und die Mindest-Schüttung des Flusses „Pfeffer“ in blau, über den Zeitraum eines Jahres dargestellt. Abbildung 17 basiert auf Tageswerten und gilt für die hier beschriebene Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 363 KW. Wird das aus der Wärmepumpe austretende Fluid mittels Flusswasser auf eine Temperatur von 7 °C gemischt, erhöht sich der Wasserbedarf (in Abbildung 17 braun dargestellt). Demnach ist die Schüttung des Flusses „Pfeffer“ ausreichend für den Betrieb einer Wärmepumpe in dieser Leistungsklasse (Landratsamt Heidenheim, 2018).

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

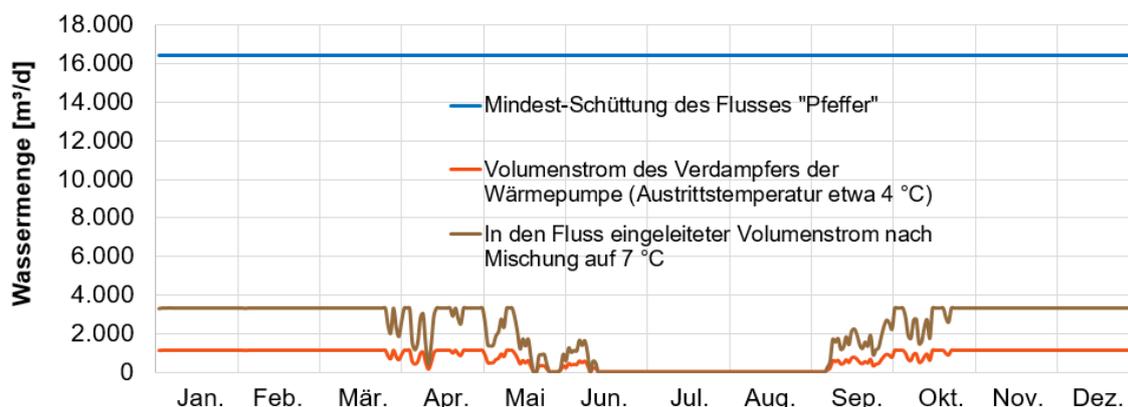


Abbildung 17: Von der Wärmepumpe benötigte Wassermenge in Variante 1c

Abbildung 18 zeigt die Jahres-Energiebilanz der dynamischen Simulation von Variante 1c. Die Solarthermie-Anlage deckt, mit einem flächenbezogenen Solarertrag von 493 kWh/(m²*a), einen Anteil von 16,9 % des jährlichen Netz-Wärmebedarfs. Die Wärmepumpe, die den Fluss „Pfeffer“ als Wärmequelle nutzt, weist einen Deckungsanteil von 36,6 % auf. Die Erzeugung der von der Wärmepumpe benötigten elektrischen Energie erfolgt durch ein Gas-BHKW in Echtzeit. Die dabei von dem Gas-BHKW erzeugte Wärme wird in den Wärmespeicher eingespeist und bestreitet einen Deckungsanteil von 21,9 %. Sind die Temperaturen im oberen Bereich des Wärmespeichers nicht hoch genug um die Soll-Vorlauftemperatur im Wärmenetz zu erreichen, erfolgt eine Nachheizung durch den Gas-Kessel mit einem Deckungsanteil von 24,5 %.

Der Wärmespeicher wird multifunktional genutzt. Primär dient er der Erhöhung des solaren Deckungsanteils. Ferner ermöglicht er einen kontinuierlichen Betrieb der Wärmepumpe und des Gas-BHKWs. Ein kontinuierlicher Betrieb dieser beiden Komponenten kann deren Effizienz verbessern und die mechanische Beanspruchung in Relation zur erzeugten Energiemenge verringern. Um mit der Wärmepumpe in diesem System einen Deckungsanteil zu erreichen, der in der hier genannten Größenordnung aus Abbildung 18 liegt, ist eine entsprechend hohe Ziel-Vorlauftemperatur nötig. Aufgrund eines hohen Temperaturhubs von einer Quelltemperatur mit 8 °C auf eine Ziel-Vorlauftemperatur von 75 °C, ergibt sich bei der hier verwendeten Wärmepumpe, eine niedrige Jahres-Arbeitszahl von 2,4. Die CO₂ Emissionen des Betriebs dieser Wärmeerzeugungsanlage betragen in einem Betriebsjahr 942 t/a (siehe Anhang 2).

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

6. DYNAMISCHE SIMULATION VON VARIANTEN FÜR DIE WÄRMEVERSORGUNG DES QUARTIERS

28

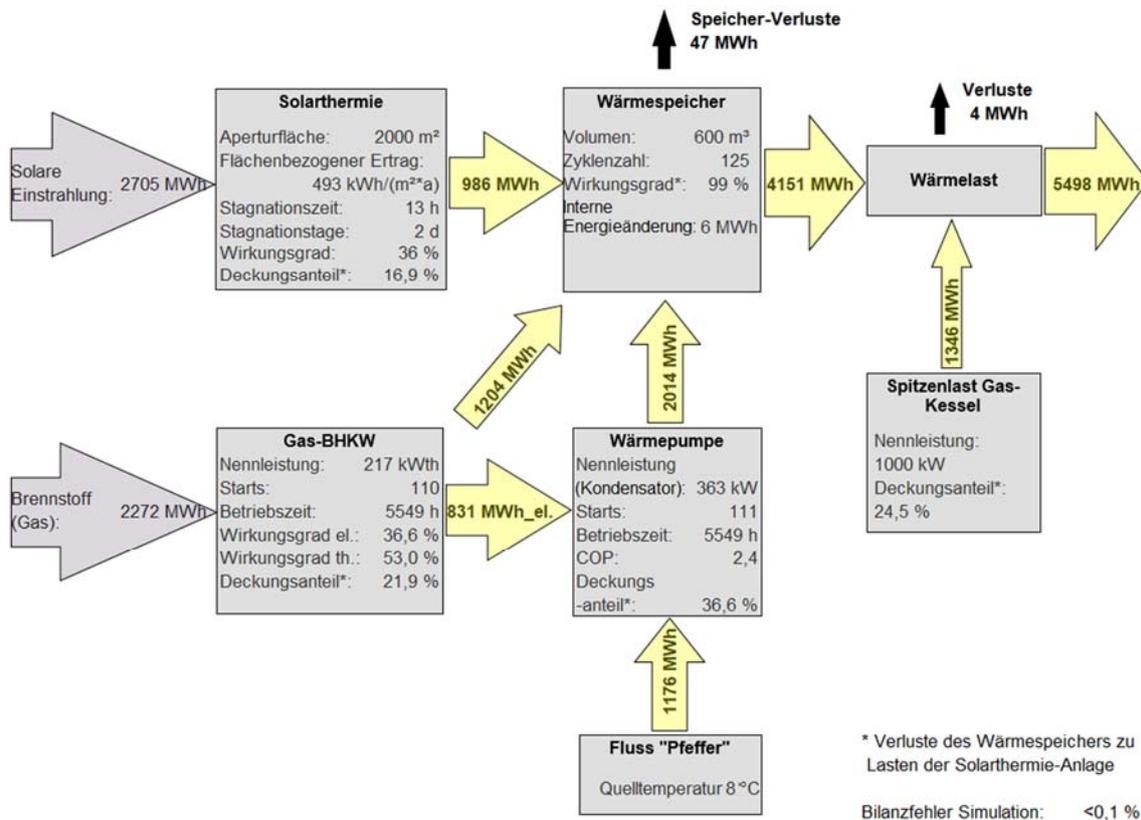


Abbildung 18: Jahres-Energiebilanz der Variante 1c

Abbildung 19 zeigt die Monats-Energiebilanz der Variante 1c. Grau dargestellt ist der zu deckende Netz-Wärmebedarf. Die dünneren Balken veranschaulichen, mit welchen Anteilen die Wärmeerzeuger den Netz-Wärmebedarf in jedem Monat decken. In den Monaten Mai bis September bedarf es keiner Zuheizung durch den Gas-Kessel. Von Mai bis August wird der überwiegende Anteil des Netz-Wärmebedarfs durch die Solarthermie-Anlage gedeckt.

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

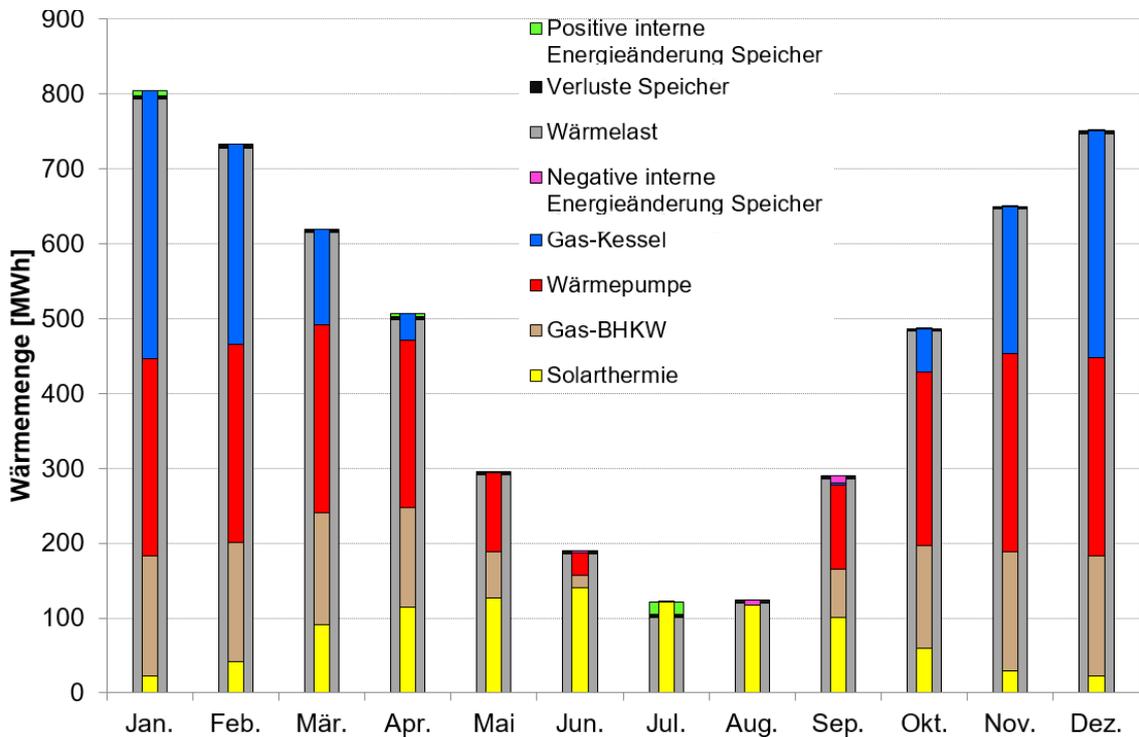


Abbildung 19 Monatsenergiebilanz der Variante 1c

Die von der Wärmepumpe benötigte elektrische Energie wird vom Gas-BHKW erzeugt. Demnach ist die Dimensionierung der Wärmepumpe an die Dimensionierung des Gas-BHKWs gekoppelt. Durch eine größere Dimensionierung des Gas-BHKWs und der Wärmepumpe kann der Deckungsanteil des Gas-Kessels am Netz-Wärmebedarf verringert werden. Abbildung 20 zeigt, wie sich der Deckungsanteil des Gas-Kessels bei einer Erhöhung der Leistung der Wärmepumpe und des Gas-BHKWs verringert. Variante 1c stellt in dieser Betrachtung die Referenz mit einem Dimensionierungsfaktor von 1,0 dar. Die Leistungen der Wärmepumpe und des Gas-BHKWs aus Variante 1c werden mit dem Dimensionierungsfaktor multipliziert.

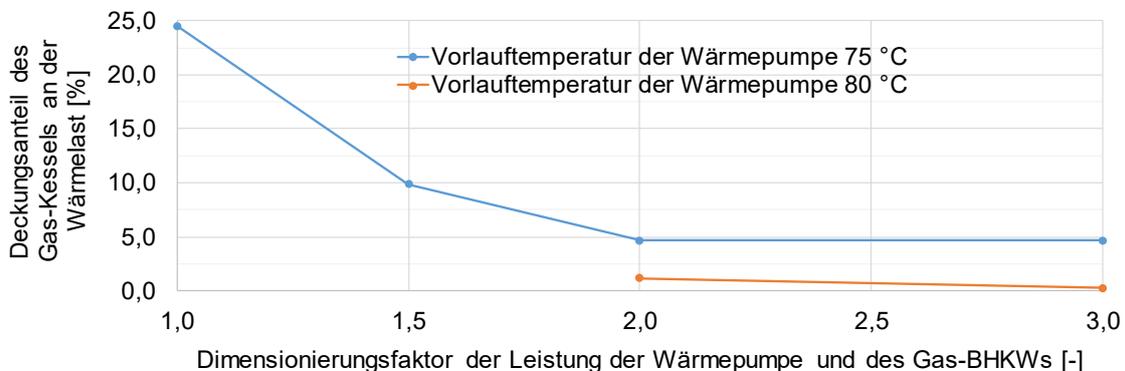


Abbildung 20: Minimierung des Deckungsanteils des Gas-Kessels am Netz-Wärmebedarf in Variante 1

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

Der kleinstmögliche Deckungsanteil des Gas-Kessels, der in Folge einer Leistungserhöhung der Wärmepumpe und des Gas-BHKWs erreicht werden kann, liegt bei etwa 5 % (bei einer unveränderten Soll-Vorlauftemperatur der Wärmepumpe von 75 °C). Um noch geringere Deckungsanteile des Gas-Kessels zu erreichen, bedarf es einer Erhöhung der Soll-Vorlauftemperatur der Wärmepumpe auf 80 °C. Die Jahresarbeitszahl verändert sich aufgrund von internen Prozessen des 1½-stufigen Wärmepumpen-Systems von Hafner-Muschler nicht wesentlich (Hafner-Muschler, 2018).

Wie sich dies auf die Kennzahlen des Gesamtsystems auswirkt, ist in Tabelle 3 dargestellt. Ab einem Dimensionierungsfaktor von 2,0 ist ein Wärmespeicher mit einem größeren Speicher-Volumen nötig, um ein zu hohes Takten der Wärmepumpe und des Gas-BHKWs zu vermeiden. Höhere Dimensionierungsfaktoren verringern die Betriebsstunden der beiden gekoppelten Wärmeerzeuger. Ferner steigen die Investitionskosten und die energiemengenbezogenen Kosten.

Tabelle 3 Auswirkungen einer Erhöhung der Leistung der Wärmepumpe und des Gas-BHKWs auf das Gesamtsystem der Variante 1c

Komponente	Kennzahl	Einheit	Dimensionierungsfaktor der Wärmepumpe und des Gas-BHKWs					
			1,0	1,5	2,0	3,0	2,0	3,0
Wärmepumpe	Heizleistung	[kW]	363	545	726	1089	726	1089
	Heizarbeit	[MWh]	2.014	2.617	2.823	2.874	2.939	3.032
	Ziel-Vorlauftemperatur	[°C]	75	75	75	75	80	80
	Betriebsstunden	[h]	5.549	4.801	3.879	2.632	4.034	2.780
	Starts	[-/a]	111	161	213	402	177	403
	Jahres-Arbeitszahl	[-]	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
	Deckungsanteil*	[%]	36,7	47,6	51,4	52,3	53,5	55,2
Solarthermie	Kollektor-Aperturfläche	[m ²]	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
	Solarer Nutzwärmeertrag	[MWh]	986	977	989	991	990	990
	Flächenbezogener Solarertrag	[kWh/(m ² *a)]	493	489	495	496	495	495
	Solarer Deckungsanteil*	[%]	16,9	16,6	16,3	16,4	16,3	16,3
Gas-BHKW	Leistung (th.)	[kW]	217	309	410	561	396	561
	Leistung (el.)	[kW]	150	227	302	453	302	453
	Wärmeerzeugung	[MWh]	1.204	1.477	1.518	1.466	1.594	1.555
	Stromerzeugung	[MWh]	831	1.087	1.166	1.181	1.216	1.248
	Betriebsstunden	[h]	5.549	4.761	3.823	2.608	4.029	2.756
	Starts	[-/a]	110	160	213	401	176	402
	Deckungsanteil*	[%]	21,9	26,9	27,6	26,7	29,0	28,3
Gas-Kessel	Wärmeerzeugung	[MWh]	1346	485	257	256	66	14
	Deckungsanteil*	[%]	24,5	8,8	4,7	4,7	1,2	0,3
Wärmespeicher	Speicher-Volumen	[m ³]	600	600	1.000	1.000	1.000	1.000

* Verluste des Wärmespeichers werden zu Lasten der Solarthermie-Anlage berechnet

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

6.4. Variante 1d

In Variante 3a wird eine Wärmebereitstellung mit einem hohen solaren Deckungsanteil von über 40 % ohne ein gasbetriebenes Motor-BHKW betrachtet. Variante 1d mit einer Solarthermie-Anlage zur sommerlichen Wärmedeckung stellt den Vergleich zu Variante 3a dar.

Basierend auf Variante 1c mit einem Dimensionierungsfaktor von 1,5 (siehe Tabelle 3) ergibt sich in Variante 1d folgende Wahl und Dimensionierung der Wärmeerzeuger:

- Solarthermie-Anlage mit einer Kollektor-Aperturfläche von 2.000 m².
- Einbindung einer 1½-stufigen Hochtemperatur-Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 545 KW zur Nutzung des Flusses „Pfeffer“ als Wärmequelle. Die Ziel-Vorlauftemperatur der Wärmepumpe beträgt 80 °C.
- Die Solarthermie-Anlage, die Wärmepumpe und das Gas-BHKW sind in den Wärmespeicher mit einem Speicher-Volumen von 250 m³ eingebunden. Es wird ein oberirdischer Heißwasser-Wärmespeicher verwendet.
- Reicht die Temperatur im oberen Bereich des Wärmespeichers nicht aus um die Soll-Vorlauftemperatur im Wärmenetz zu erreichen, erfolgt eine Zuheizung durch einen Gas-Kessel mit einer Leistung von 1.000 KW.

Der Strom für den Betrieb der Wärmepumpe wird über das öffentliche Stromnetz aus erneuerbaren Energiequellen bezogen.

Tabelle 4 zeigt die Jahresergebnisse der Variante 1d. Die Solarthermie-Anlage deckt den Netz-Wärmebedarf zu einem Anteil von 16,5 %. Mit einer Wärmeerzeugung von 3.049 MWh beträgt der Deckungsanteil der Wärmepumpe 55,5 %.

Tabelle 4 Jahresergebnisse der Varianten 1d

Komponente	Kennzahl	Einheit	Variante 1d
Wärmespeicher	Speicher-Volumen	[m ³]	250
Solarthermie	Kollektor-Aperturfläche	[m ²]	2.000
	Solarer Nutzwärmeertrag	[MWh]	940
	Solarer Deckungsanteil*	[%]	16,5
Wärmepumpe Energiequelle: "Pfeffer"	Heizleistung	[kW]	545
	Wärmeerzeugung	[MWh]	3.049
	Ziel-Vorlauftemperatur	[°C]	80
	Jahres-Arbeitszahl	[-]	2,4
	Deckungsanteil*	[%]	55,5
Gas-Kessel	Wärmeerzeugung	[MWh]	1.541
	Deckungsanteil*	[%]	28,0
Summe Strombedarf (Wärmepumpe)		[MWh]	1.272
Summe Gasbedarf (Gas-Kessel)		[MWh]	1.712

*Verluste des Wärmespeichers zu Lasten der Solarthermie-Anlage

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

Abbildung 21 visualisiert die Energiebilanz der Variante 1d auf Monatsbasis. Im Vergleich zu Variante 1c (siehe Abbildung 19) ist eine deutlich höhere Deckung des Netz-Wärmebedarfs durch die Wärmepumpe ersichtlich. In den Monaten Oktober bis April speist der Gas-Kessel zusätzlich zur Wärmepumpe und der Solarthermie-Anlage Wärme in das System ein. Die CO₂ Emissionen des Betriebs dieser Wärmeerzeugungsanlage betragen in einem Betriebsjahr 1.147 t/a (siehe Anhang 2).

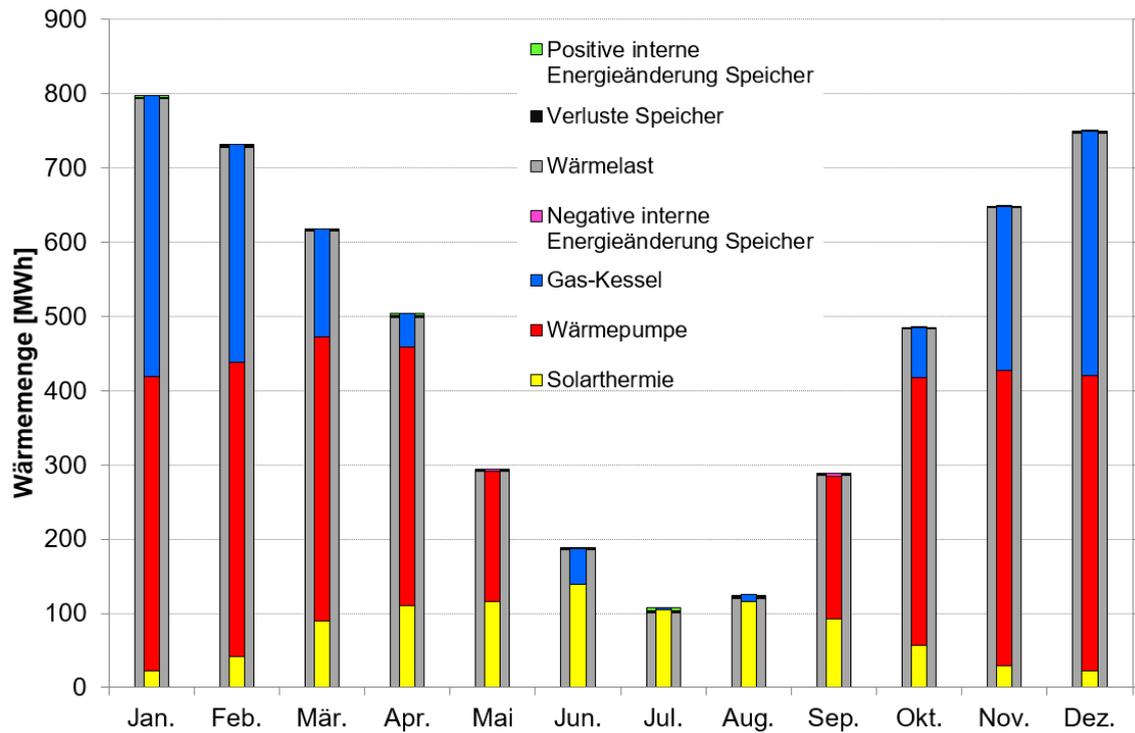


Abbildung 21 Monatsenergiebilanz der Variante 1d

6.5. Variante 2a

Variante 2 setzt sich das Szenario 2 mit einem solaren Deckungsanteil von 40 % bis 50 % zum Ziel. Für Variante 2a ergibt sich folgende Wahl der Wärmeerzeuger und deren Grobdimensionierung:

- Solarthermie-Anlage mit einer Kollektor-Aperturfläche von 8.000 m².
- Einbindung einer Hochtemperatur-Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 500 KW, die den Wärmespeicher als Wärmequelle nutzt. Die Ziel-Vorlauftemperatur beträgt 75 °C.
- Erzeugung des erforderlichen Strombedarfs der Wärmepumpe durch ein Gas-BHKW (gasbetriebenes Motor-BHKW) mit 151 KW_{el.} und 225 KW_{th.}. Die erzeugte Wärme wird zur Deckung des Netz-Wärmebedarfs verwendet. Die Ziel-Vorlauftemperatur der Wärmepumpe beträgt 96 °C.
- Die Solarthermie-Anlage, die Wärmepumpe und das Gas-BHKW sind in einen Wärmespeicher mit einem Speicher-Volumen von 15.000 m³ eingebunden.
- Reicht die Temperatur im Wärmespeicher nicht aus um die Soll-Vorlauftemperatur im Wärmenetz zu erreichen, erfolgt eine Zuheizung durch einen Gas-Kessel mit einer Leistung von 1.000 KW.

Abbildung 22 zeigt die hydraulische Einbindung der Wärmeerzeuger aus Variante 2a in den Wärmespeicher. Die unterschiedlich gefärbten Leitungen stehen für die einzelnen Kreisläufe der Komponenten.

Es bestehen zwei grundlegende Unterschiede zu Variante 1c:

- Es wird ein Saisonal-Wärmespeicher anstelle eines Kurzzeit-Wärmespeichers verwendet.
- Die Wärmepumpe nutzt den Wärmespeicher anstelle des Flusses als Wärmequelle.

Die Wärmepumpe kann im Wärmespeicher eingespeicherte Energiemengen mit einem niedrigen Temperatur-Niveau für die Wärmelast nutzbar machen, indem das Temperatur-Niveau erhöht wird. Ferner ergibt sich ein Effizienz-Gewinn des Betriebs der Solarthermie-Kollektoren: Die Effizienz eines Solarthermie-Kollektors ist maßgeblich von den Betriebstemperaturen abhängig. Durch niedrigere Temperaturen im Wärmespeicher kann die mittlere Kollektortemperatur gesenkt und somit die Effizienz gesteigert werden.

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

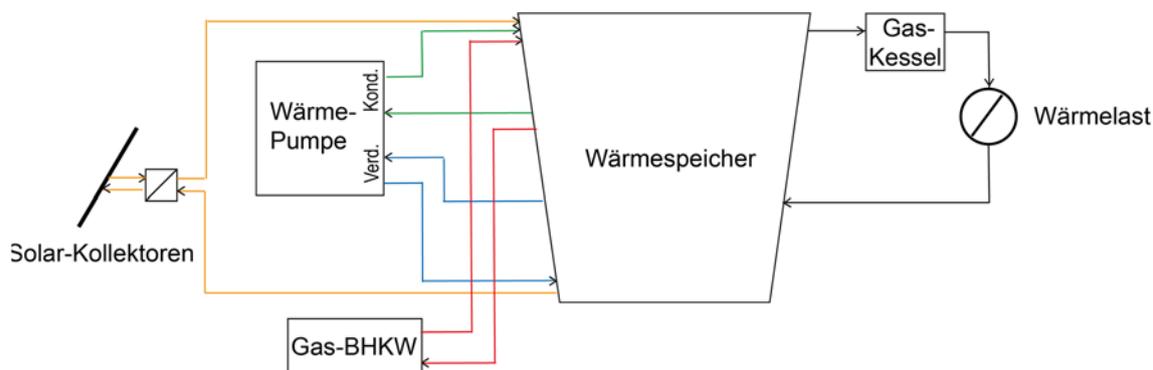


Abbildung 22: Hydraulische Einbindung der Wärmeerzeuger in den Wärmespeicher von Variante 2a

Für die Betrachtung wird eine für diesen Fall passende Wärmepumpe mit Standard-Leistungskennwerten verwendet. Die Betriebstemperaturen dieser Wärmepumpe liegen auf der Verdampfer-Seite unter der Rücklauftemperatur des Wärmenetzes von 55 °C. Daher erfolgt die Einbindung des kälteren Verdampfer-Rücklaufs der Wärmepumpe in den Wärmespeicher unterhalb des Rücklaufs des Wärmenetzes.

Abbildung 23 zeigt die Jahres-Energiebilanz der Variante 2a. Der solare Deckungsanteil bei einer Kollektor-Aperturfläche von 8.000 m² und einem Wärmespeicher mit einem Speicher-Volumen von 15.000 m³ beträgt 42,2 %. 2.878 MWh des solaren Nutzwärmeertrags von 3.269 MWh werden in den Wärmespeicher eingespeichert. Die verbleibenden 391 MWh dienen der direkten Deckung des jährlichen Netz-Wärmebedarfs. In der Simulation wird eine erdvergrabene Anbindungsleitung der Solarthermie-Anlage zum Wärmespeicher, mit einer Länge von 1.000 m, berücksichtigt. In Folge der saisonalen Beladephase des Wärmespeichers durch die Solarthermie-Anlage steigen die Betriebstemperaturen der Wärmepumpe, bis diese außerhalb ihres Betriebsbereichs ist. Dies erklärt geringere Betriebszeiten der Wärmepumpe im Vergleich zu dem Gas-BHKW. Der Deckungsanteil des Gas-BHKWs und der Wärmepumpe beträgt in Summe 29,1 %. Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe in diesem System liegt bei 3,3. Reicht die Wärmeerzeugung der Solarthermie-Anlage, der Wärmepumpe und des Gas-BHKWs nicht aus, um den Netz-Wärmebedarf zu decken, erfolgt eine Zuheizung durch den Gas-Kessel mit einem Deckungsanteil von 28,7 %. Durch den Betrieb der Wärmeversorgungsanlage entstehen in einem Jahr CO₂-Emissionen in Höhe von 892 t/a (KEA, 2015), (KEA, 2018) (siehe Anhang 2).

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

6. DYNAMISCHE SIMULATION VON VARIANTEN FÜR DIE WÄRMEVERSORGUNG DES QUARTIERS

35

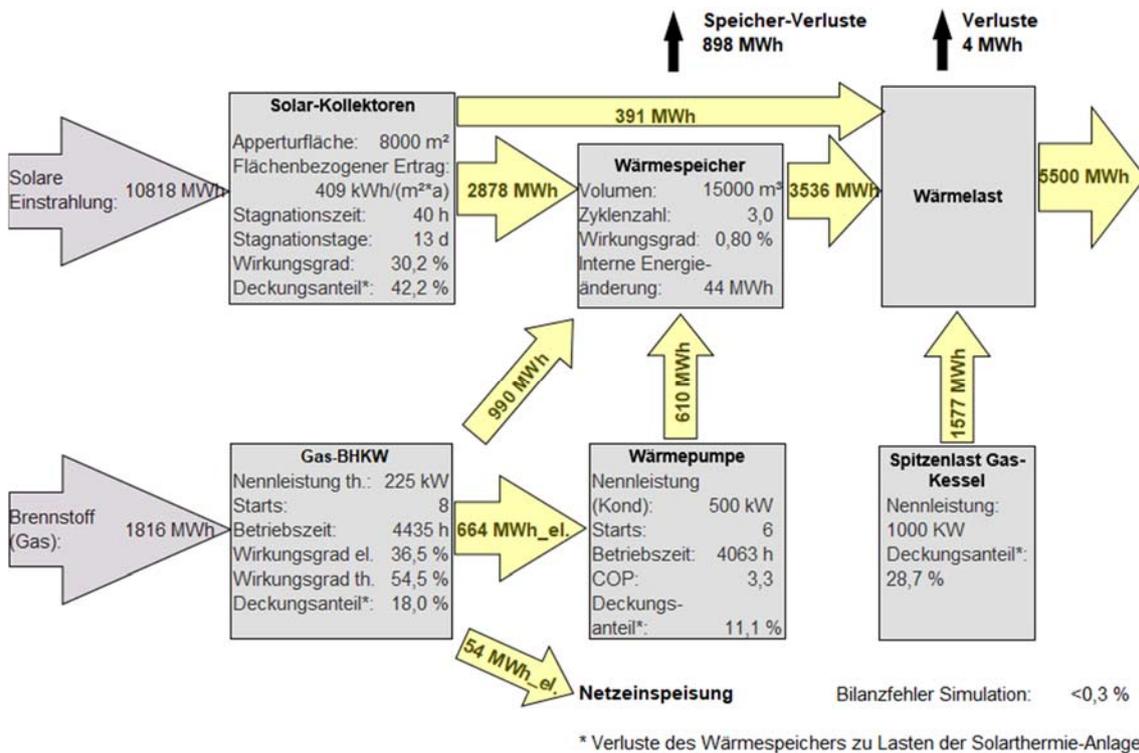


Abbildung 23: Jahresenergiebilanz der Variante 2a

Abbildung 24 veranschaulicht die Monats-Energiebilanz der Variante 2a. In den Monaten März bis September zeigt sich ein dominierender Deckungsanteil der Solarthermie-Anlage. Solare Wärme, die während der saisonalen Beladephase zwischengespeichert wird (in Grafik grün markiert), kann während der Monate September bis Dezember wieder aus dem Speicher entladen werden (in Grafik pink markiert).

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

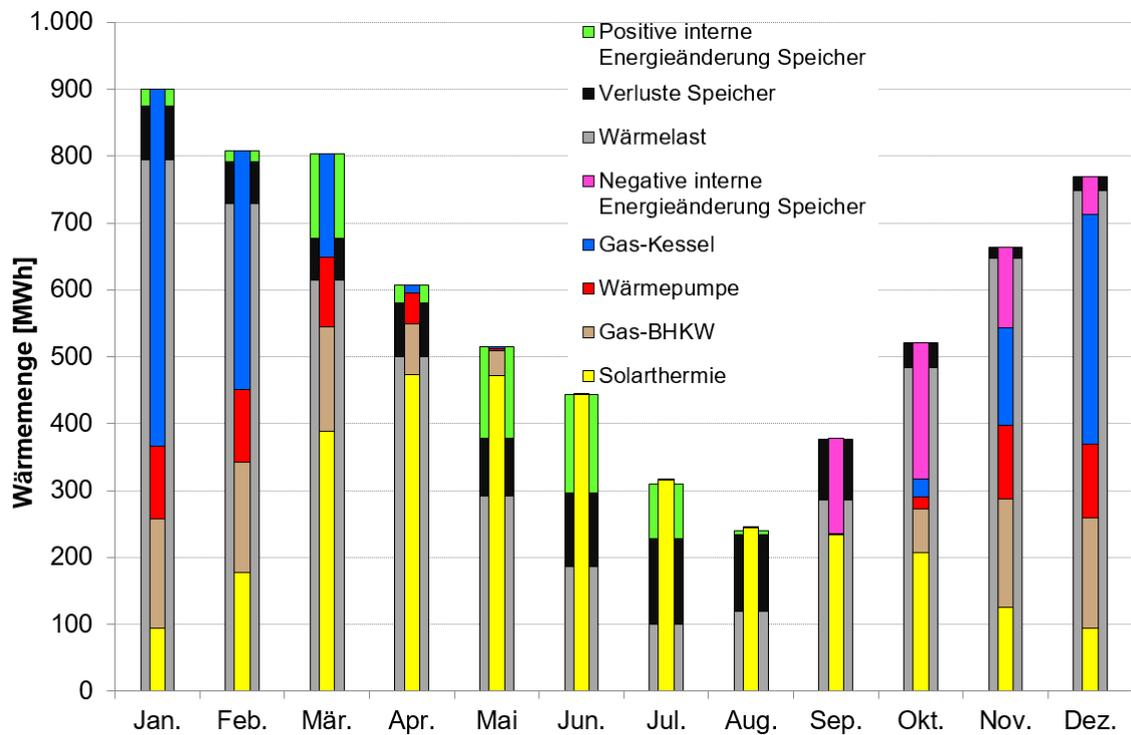


Abbildung 24: Monatsenergiebilanz der Variante 2a

In Abbildung 25 ist die Monats-Energiebilanz des Wärmespeichers veranschaulicht. Die Beladeenergiemengen sind grün und die Entladeenergiemengen blau dargestellt. Die dünneren Balken zeigen, durch welche Komponenten die Be- oder Entladung erfolgt. Der Wärmespeicher wird überwiegend durch die Solarthermie-Anlage beladen. In den Monaten mit einer geringeren solaren Einstrahlung erhöht sich der Anteil der Beladung durch die Wärmepumpe und das Gas-BHKW.

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

6. DYNAMISCHE SIMULATION VON VARIANTEN FÜR DIE WÄRMEVERSORGUNG DES QUARTIERS

37

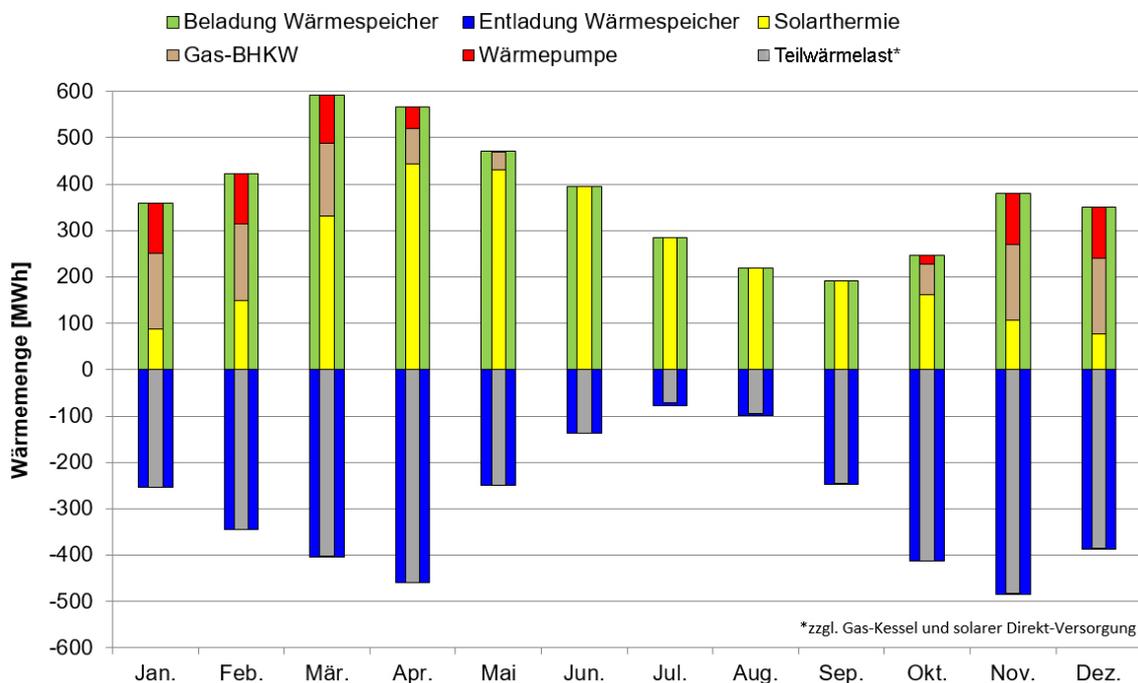


Abbildung 25: Monatsenergiebilanz des Wärmespeichers aus Variante 2a

6.6. Variante 3a

Variante 3 setzt sich das Szenario 2 mit einem solaren Deckungsanteil von 40 % bis 50 % zum Ziel. Um den Anteil an fossilen Energieträgern zu minimieren, wird das Gas-BHKW aus Variante 2a durch eine Wärmepumpe, die den Fluss „Pfeffer“ als Energiequelle nutzt, ersetzt. Der Strombedarf der Wärmepumpen soll durch erneuerbaren Strom aus dem öffentlichen Stromnetz gedeckt werden. Der Variante 3a liegt folgende Wahl der Wärmeerzeuger und Grobdimensionierung dieser zugrunde:

- Solarthermie-Anlage mit einer Kollektor-Aperturfläche von 7.000 m²
- Einbindung einer Hochtemperatur-Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 1.300 KW, die den Wärmespeicher als Wärmequelle nutzt. Die Ziel-Vorlauftemperatur der Wärmepumpe beträgt 80 °C.
- Einbindung einer Niedertemperatur-Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 950 KW, die den Fluss „Pfeffer“ als Wärmequelle nutzt. Die Ziel-Vorlauftemperatur beträgt 40 °C.
- Die Solarthermie-Anlage und die beiden Wärmepumpen sind in einen Wärmespeicher mit einem Speicher-Volumen von 13.600 m³ eingebunden.
- Reicht die Temperatur im Wärmespeicher nicht aus um die Soll-Vorlauftemperatur im Wärmenetz zu erreichen, erfolgt eine Zuheizung durch einen Gas-Kessel mit einer Leistung von 1.000 KW.

Abbildung 26 zeigt die hydraulische Einbindung der Wärmeerzeuger aus Variante 2a in den Wärmespeicher. Die unterschiedlich gefärbten Leitungen stehen für die einzelnen Kreisläufe

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

der Komponenten. Das Schema zeigt qualitativ in welchen Höhen sich die Anschlüsse am Wärmespeicher befinden.

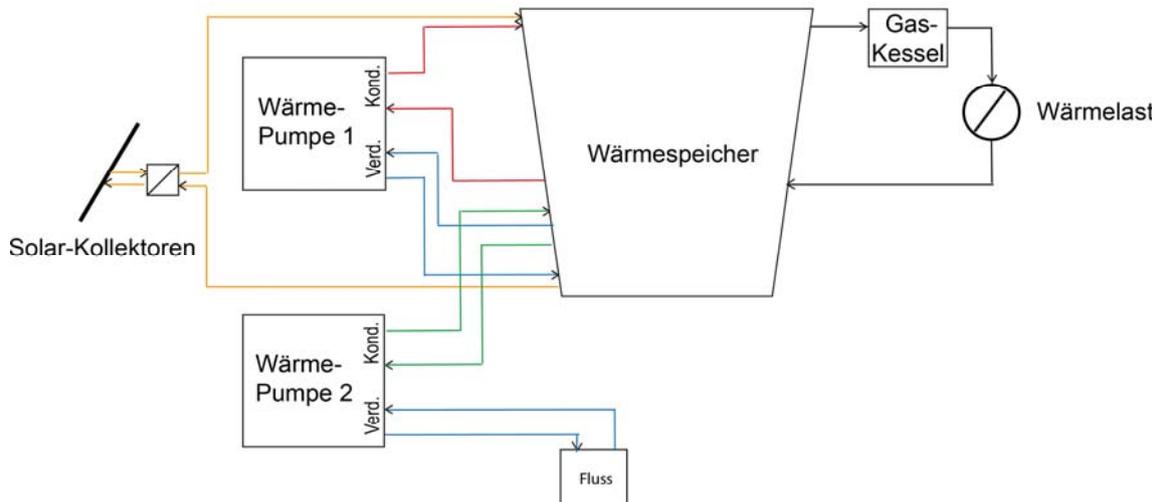


Abbildung 26: Hydraulische Einbindung der Wärmeerzeuger in den Wärmespeicher von Variante 3a

Die Wärmepumpen und der Wärmespeicher werden im Simulationsmodell optimiert betrieben:

- Die Eintrittshöhe des Netz-Rücklaufs in den Wärmespeicher wird variabel über den Simulations-Zeitraum, in Abhängigkeit der Temperaturschichtung des Wärmespeichers gewählt. Das Wärmeträgermedium aus dem Netz-Rücklauf wird in eine Temperaturschicht mit ähnlichem Temperaturniveau eingeleitet.
- Der Betrieb der Hochtemperatur-Wärmepumpe erfordert konstante Verdampfer- und Kondensator-Eintrittstemperaturen (innerhalb bestimmter Regelbereiche). Um die Ziel-Vorlauftemperatur der Hochtemperatur-Wärmepumpe während eines hohen Anteils der Betriebszeit zu erreichen, wird der Massenstrom am Kondensatoreintritt aus dem mittleren und dem oberen Bereich des Wärmespeichers gemischt.

Die Deckung des Netz-Wärmebedarfs im Sommer erfolgt durch die Solarthermie-Anlage. Übersteigt der solare Nutzwärmeertrag die Wärmeanforderung des Wärmenetzes, erfolgt eine Beladung des Wärmespeichers mit Solarenergie. Sind die Temperaturen im oberen Bereich des Wärmespeichers nicht ausreichend hoch um den Netz-Wärmebedarf zu decken, entlädt die Hochtemperatur-Wärmepumpe den Wärmespeicher im mittleren Bereich und speist mit einer Ziel-Vorlauftemperatur von 80 °C in den oberen Bereich des Wärmespeichers ein. Bevor die Quelltemperatur der Hochtemperatur-Wärmepumpe durch die Entladung des Wärmespeichers unterhalb ihres Betriebsbereichs fällt, speist die Niedertemperatur-Wärmepumpe, die den Fluss „Pfeffer“ als Wärmequelle nutzt, mit einer Ziel-Vorlauftemperatur von 40 °C in den Wärmespeicher ein. Kann der Netz-Wärmebedarf nicht durch eine direkte Nutzung von Solarenergie oder durch eine Entladung des Wärmespeichers gedeckt werden, fungiert ein Gas-Kessel als Nacherhitzer.

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

Abbildung 27 zeigt die Jahresenergiebilanz der Variante 3a mit einem solaren Deckungsanteil von 44,6 %. 181 MWh des solaren Nutzwärmertrags von 3.101 MWh können direkt, ohne eine Einspeicherung im Wärmespeicher, in das Wärmenetz eingespeist werden. Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe 1, die den Wärmespeicher als Wärmequelle nutzt, beträgt 4,6. Wärmepumpe 2, die dem Flusswasser Umweltwärme entzieht, weist eine Jahresarbeitszahl von 3,6 auf. In Summe decken die beiden Wärmepumpen durch eine ausreichend große Dimensionierung einen Anteil von 40,9 % am Netz-Wärmebedarf. Der Gas-Kessel speist 14,5 % des Netz-Wärmebedarfs in das System ein.

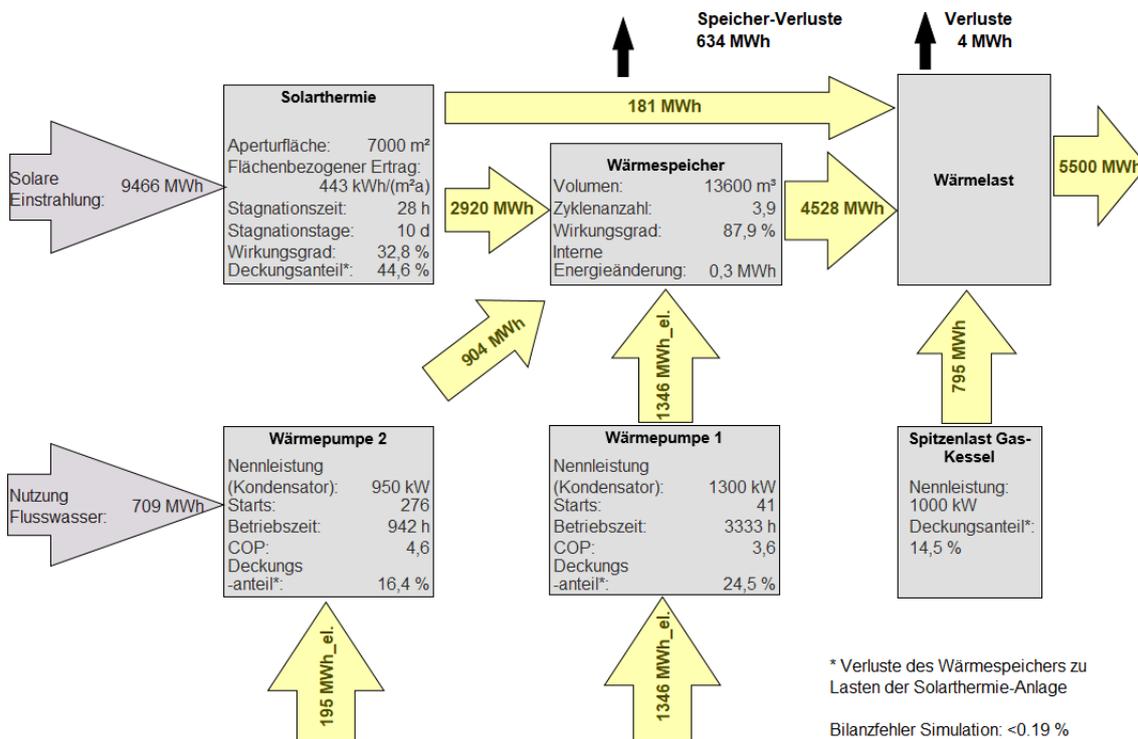


Abbildung 27 Jahresenergiebilanz der Variante 3a

Abbildung 28 veranschaulicht die Energiebilanz der Variante 3a auf Monatsbasis. In den Monaten Mai bis August übersteigt der solare Nutzwärmeertrag den Netz-Wärmebedarf und solare Wärme wird in den Wärmespeicher eingespeichert. In Folge steigender Temperaturen im Speichervolumen steigen die Wärmeverluste des Wärmespeichers an die Umgebung. Ab dem Monat September reicht die gelieferte Energiemenge der Solarthermie-Anlage nicht mehr aus, um den Netz-Wärmebedarf zu decken und der Wärmespeicher wird entladen. Mit sinkenden Temperaturen im oberen Bereich des Wärmespeichers beginnt die Betriebsphase der Wärmepumpe 1 ab Oktober. Von November bis März speißt die Wärmepumpe 2 Umweltwärme in den Wärmespeicher ein.

Durch dem Betrieb der Wärmeversorgungsanlage entstehen in einem Jahr CO₂-Emissionen in Höhe von 221 t/a (KEA, 2015), (KEA, 2018) (siehe Anhang 2).

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

6. DYNAMISCHE SIMULATION VON VARIANTEN FÜR DIE WÄRMEVERSORGUNG DES QUARTIERS

40

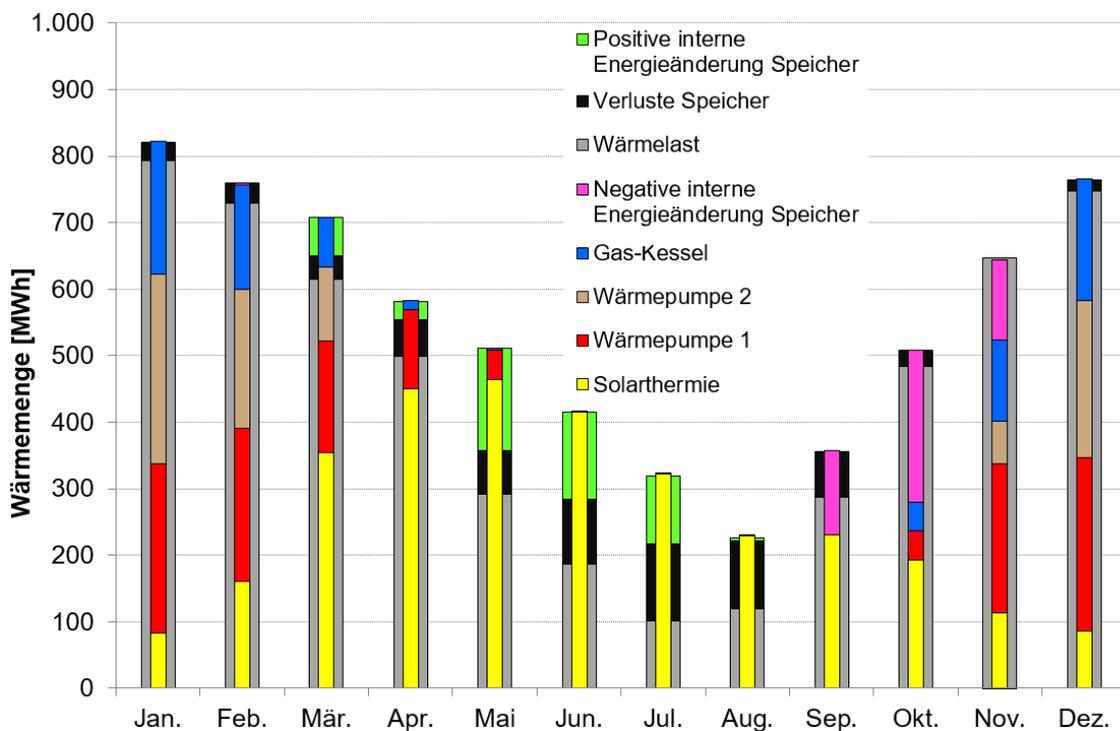


Abbildung 28 Monatsenergiebilanz der Variante 3a

Tabelle 5 zeigt den Einfluss des Wetters unterschiedlicher Standorte auf den Betrieb der Solarthermie-Anlage. In Variante 3a wurde hierbei lediglich der Wetterdatensatz verändert. Die Auswirkungen der veränderten Umweltbedingungen auf den Netz-Wärmebedarf sind dabei nicht berücksichtigt. Hohenpeissenberg weist ein um 4,5 % höhere Globalstrahlung in der Ebene auf. In Folge dessen steigt der solare Nutzwärmeertrag um 6,0 %. Der nicht lineare Zusammenhang der Globalstrahlung und des solaren Nutzwärmeertrags kann mit einer höheren Globalstrahlung überwiegend im Frühling und Herbst begründet werden. Der zusätzliche solare Nutzwärmeertrag kann überwiegend in der Übergangszeit zur Deckung des Netz-Wärmebedarfs dienen. Die Globalstrahlung in Salzburg liegt 8,9 % unter dem Wert des Standorts Stuttgart. Die veränderten Umweltbedingungen haben einen Rückgang des solaren Nutzwärmeertrags um 11,8 % zur Folge.

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

Tabelle 5: Einfluss des Wetters auf den Betrieb der Solarthermie-Anlage

Wetterdaten Standort	[-]	Hohenpeissenberg	Stuttgart	Salzburg
Globalstrahlung in der Ebene	[kWh/(m ² *a)]	1224	1168	1064
Abweichung Globalstrahlung zu Stuttgart	[%]	4,5	0,0	-8,9
Außentemperatur	[°C]	7,7	10,1	9,6
Solare Nutzwärme	[MWh]	3298	3101	2735
Abweichung solare Nutzwärme zu Stuttgart	[%]	6,0	0	-11,8
Solarer Deckungsanteil	[%]	48,3	44,6	39,2
Stagnationstage	[d]	8	10	0

Tabelle 6 zeigt den Einfluss des Netz-Wärmebedarfs bei einem sonst unveränderten Simulationsmodell der Variante 3a. Ein geringerer Netz-Wärmebedarf führt in dieser Betrachtung zu einem höheren solaren Deckungsanteil. Der Ladezustand des Wärmespeichers ist bei einem Netz-Wärmebedarf von 5.000 MWh im Sommer tendenziell höher als bei einem Netz-Wärmebedarf von 5.500 MWh. Ein tendenziell höherer Ladezustand des Wärmespeichers kann tendenziell höhere mittlere Kollektortemperaturen zur Folge haben, wodurch die Effizienz der Kollektoren in geringem Maße sinkt.

Tabelle 6: Einfluss des Netz-Wärmebedarfs auf den Betrieb der Solarthermie-Anlage

Netz-Wärmebedarf	[MWh]	5000	5500	6000
Solare Nutzwärme	[MWh]	3023	3101	3150
Abweichung solare Nutzwärme zu Stuttgart	[%]	-2,6	0	1,6
Solarer Deckungsanteil	[%]	47,6	44,6	42,3
Stagnationstage	[d]	10	10	3

6.7. Variante 3b und 3c

Basierend auf Variante 3a werden in den Varianten 3b und 3c die Auswirkungen von abgesenkten Netztemperaturen auf die Wärmeversorgung untersucht.

Variante 3b unterscheidet sich von Variante 3a in folgenden Punkten:

- Absenkung der Netz-Vorlauftemperatur auf 65 °C bis 75 °C.
- Absenkung der Netz-Rücklauftemperatur auf ganzjährig 45 °C.
- Die Ziel-Vorlauftemperatur der Hochtemperatur-Wärmepumpe beträgt 72 °C.
- Die Solarthermie-Anlage und die beiden Wärmepumpen sind in einen Wärmespeicher mit einem Speichervolumen von 13.200 m³ eingebunden.

Variante 3c unterscheidet sich von Variante 3a in folgenden Punkten:

- Absenkung der Netz-Vorlauftemperatur auf ganzjährig 65 °C.
- Absenkung der Netz-Rücklauftemperatur auf ganzjährig 40 °C.
- Die Ziel-Vorlauftemperatur der Hochtemperaturwärmepumpe beträgt 67 °C.
- Die Solarthermie-Anlage und die beiden Wärmepumpen sind in einen Wärmespeicher mit einem Speichervolumen von 13.500 m³ eingebunden.

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

Tabelle 7 zeigt die Jahres-Simulationsergebnisse der Varianten 3a, 3b und 3c. Die Absenkung der Netz-Temperaturen bewirkt eine Effizienzsteigerung der Solarthermie-Anlage.

Tabelle 7: Vergleich der Jahresergebnisse der Varianten 3a, 3b und 3c

Komponente	Kennzahl	Einheit	Variante		
			3a	3b	3c
Wärmenetz	Netz-Vorlauftemperatur	[°C]	75-85	65-75	65
	Netz-Rücklauftemperatur	[°C]	55	45	40
Wärmespeicher	Speicher-Volumen	[m ³]	13.600	13.200	13.500
Solarthermie	Kollektor-Aperturfläche	[m ²]	7.000	7.000	7.000
	Solarer Nutzwärmeertrag	[MWh]	3.101	3.275	3.351
	Solarer Deckungsanteil*	[%]	44,6	48,7	50,5
Wärmepumpe Energiequelle: "Pfeffer"	Heizleistung	[kW]	950	950	950
	Wärmeerzeugung	[MWh]	904	1.118	1.463
	Ziel-Vorlauftemperatur	[°C]	40	40	40
	Jahres-Arbeitszahl	[-]	4,6	4,6	4,6
	Deckungsanteil*	[%]	16,4	20,3	26,6
Wärmepumpe Energiequelle: "Wärmespeicher"	Heizleistung	[kW]	1.300	1.300	1.300
	Wärmeerzeugung	[MWh]	1.346	1.104	981
	Ziel-Vorlauftemperatur	[°C]	80	72	67
	Jahres-Arbeitszahl	[-]	3,6	4,0	4,4
	Deckungsanteil*	[%]	24,5	20,1	17,8
Gas-Kessel	Wärmeerzeugung	[MWh]	795	599	279
	Deckungsanteil*	[%]	14,5	10,9	5,1
Summe Strombedarf (Wärmepumpen)		[MWh]	1.541	1.345	1.296
Summe Gasbedarf (Gas-BHKW, Gas-Kessel)		[MWh]	883	666	310

*Verluste des Wärmespeichers zu Lasten der Solarthermie-Anlage

Die Effizienz von Solarthermie-Kollektoren wird unter anderem von der mittleren Kollektortemperatur beeinflusst. Durch niedrigere Netz-Temperaturen kann die mittlere Kollektortemperatur gesenkt und damit die Effizienz erhöht werden.

Zusätzlich zu dem primären Effekt der Steigerung des solaren Nutzwärmeertrags kann der jährliche Betriebsstart der Wärmepumpen, nach der solaren Volldeckung des Netz-Wärmebedarfs im Sommer, zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen. Durch eine niedrigere Netz-Vorlauftemperatur ist das Temperatur-Niveau im Wärmespeicher länger ausreichend, um den Netz-Wärmebedarf ohne den Betrieb einer Wärmepumpe zu decken. Daher sinkt der Deckungsanteil der Hochtemperatur-Wärmepumpe in den Varianten 3b und 3c. In Folge einer kürzeren Betriebszeit der Hochtemperatur-Wärmepumpe sinkt auch der Energieeintrag dieser in den Wärmespeicher. Folgende Punkte ermöglichen in den Varianten 3b und 3c im Vergleich zu Variante 3a eine Senkung des Strom- und Gasbedarfs:

- Ein höherer solarer Deckungsanteil der Solarthermie-Anlage durch einen effizienteren Betrieb der Kollektoren
- Eine höhere Jahresarbeitszahl der Hochtemperatur-Wärmepumpe

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

- Eine geringere Temperatur-Differenz der Ziel-Vorlauftemperatur der Hochtemperatur-Wärmepumpe zur Netz-Vorlauftemperatur

Abbildung 29 visualisiert die Monats-Energiebilanz der Variante 3b. Im Vergleich zu Abbildung 28 ist ein höherer solarer Nutzwärmertrag ersichtlich und der Deckungsanteil des Gas-Kessels am Netz-Wärmebedarf verringert sich.

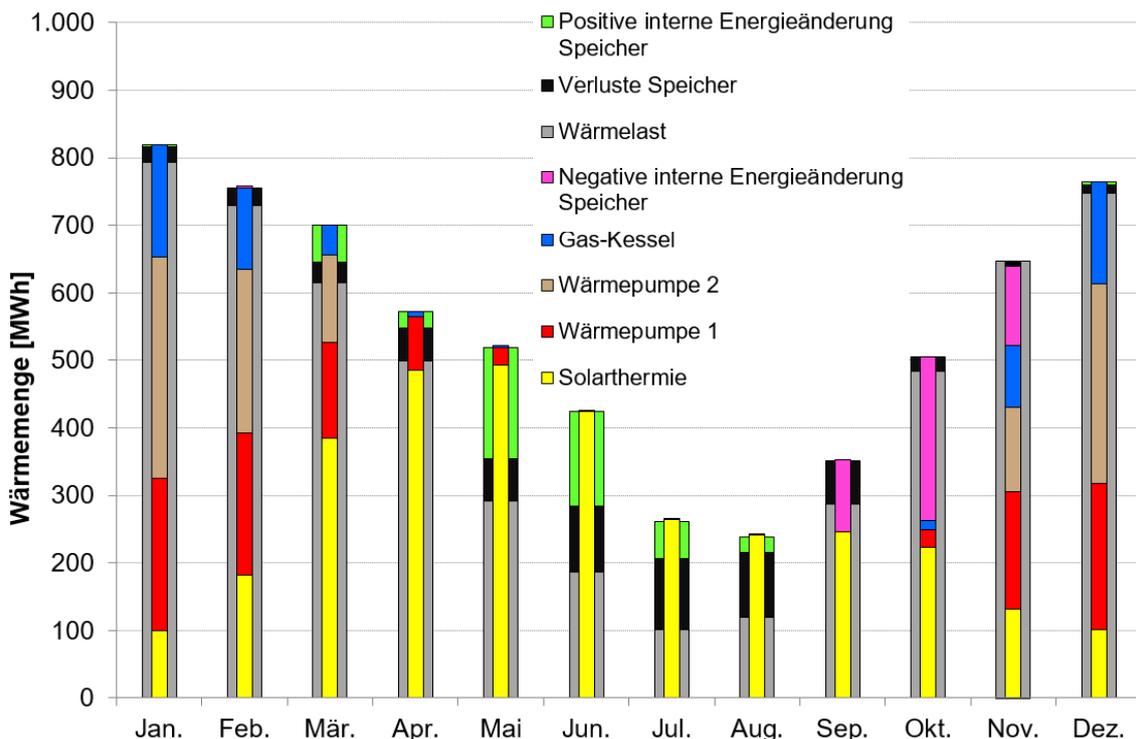


Abbildung 29: Monatsenergiebilanz der Variante 3b

Wie auch die Zahlen in Tabelle 7 zeigen, steigt der Wärmeeintrag der Niedertemperatur-Wärmepumpe in den Wärmespeicher und der Deckungsanteil der Hochtemperatur-Wärmepumpe sinkt.

Die qualitativen Unterschiede, die bei dem Vergleich der Monatsenergiebilanzen von Variante 3a und 3b ersichtlich sind, lassen sich ebenfalls beim Vergleich mit Variante 3c beobachten (siehe Abbildung 30). Der Deckungsanteil des Gas-Kessels sinkt weiter und der Deckungsanteil der Niedertemperatur-Wärmepumpe steigt. Dabei ist ein Rückgang des Energieeintrags der Hochtemperatur-Wärmepumpe ersichtlich. Der Vergleich des Monats Oktober lässt auf einen immer späteren Start der jährlichen Betriebsphase der Wärmepumpen von Variante 3a hin zu 3c schließen.

Den Einsparungen an Strom- und Gaskosten in den Varianten 3b und 3c stehen allerdings Kosten für eine Sanierung des Gebäudebestands entgegen.

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

Durch dem Betrieb der Wärmeversorgungsanlage entstehen bei Variante 3b CO₂-Emissionen in Höhe von 166 t/a und bei Variante 3c 78 t/a, während einem Betriebsjahr (KEA, 2015), (KEA, 2018) (siehe Anhang 2).

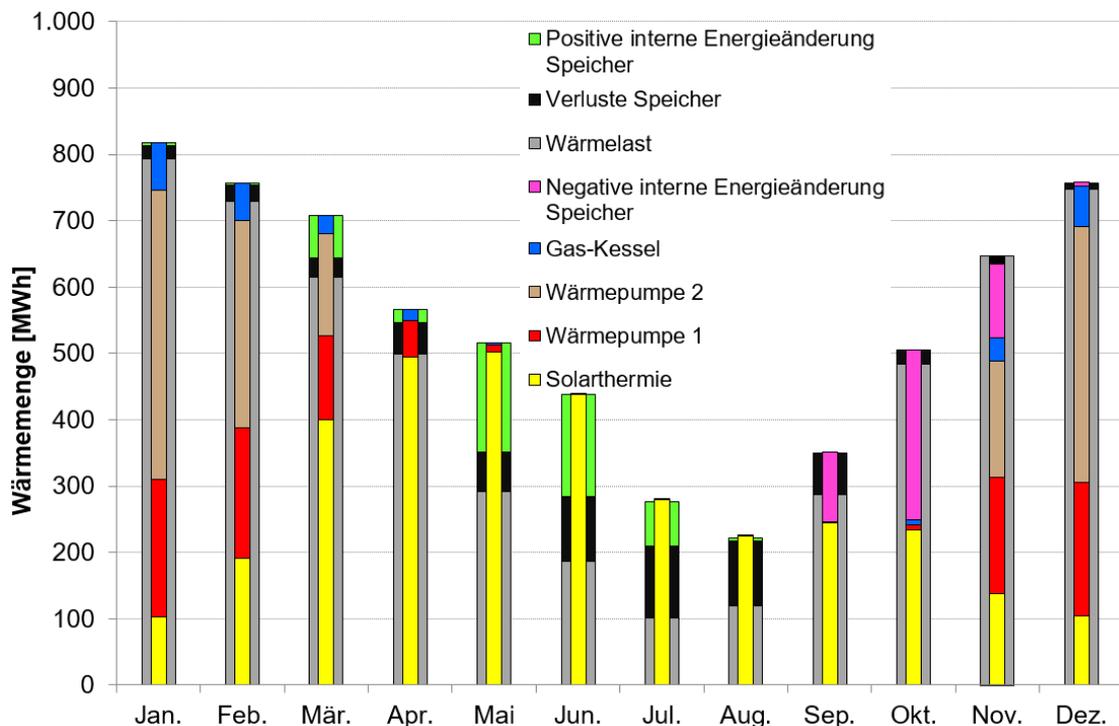


Abbildung 30: Monatsenergiebilanz der Variante 3c

6.8. Variante 4a

In Variante 4a wird Niedertemperatur-Wärme über ein Wärmenetz zu den Wärmekunden transportiert. Eine Wärmepumpe die ebenfalls als Netz-Übergabestation fungiert, erzeugt abhängig vom energetischen Gebäudezustand die nötige Vorlauftemperatur. Der von den Wärmepumpen benötigte Strom soll über das öffentliche Stromnetz von erneuerbaren Energiequellen bereitgestellt werden. Das Wärmenetz wird mit Temperaturen von 40 °C im Vorlauf und 30 °C im Rücklauf betrieben. Es wird in dieser Variante eine durchschnittliche Vorlauftemperatur in den Gebäuden von 65 °C angenommen.

Da diese Variante erst zum Ende des Projektverlaufs zusätzlich mit in die Betrachtungen aufgenommen wurde, erfolgt eine Vereinfachung dieser Betrachtung. Die Bewertung dieser Variante und die Endaussage in Kapitel 8 wird von der Vereinfachung nicht beeinflusst.

Der Variante 4a liegt die folgende Wahl der Wärmeerzeuger und Grobdimensionierung dieser zugrunde:

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

- Einbindung einer zentralen Niedertemperatur-Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 1.300 kW, die Flusswasser als Wärmequelle nutzt. Die Ziel-Vorlauftemperatur beträgt 40 °C und die Quell-Temperatur des Flusswassers 8 °C.
- Einbindung eines Gas-Kessels zur Spitzenlastdeckung und Gewährleistung der Versorgungssicherheit
- Installation von dezentralen Wärmepumpen in den Gebäuden der Wärmekunden (Wahl der Wärmepumpen in Abhängigkeit des zu versorgenden Gebäudes). Repräsentative mittlere Ziel-Vorlauftemperatur auf Gebäudeseite: 65 °C

Tabelle 8 zeigt die Berechnung der Jahresarbeitszahl des Gesamtsystems für Variante 4a. Die mittleren Jahresarbeitszahlen der zentralen und dezentralen Wärmepumpen aus Tabelle 8 basieren auf Erfahrungswerten von Solites und sind mit (Ochsner, 2018), (Auer und Schote, 2008), (Hafner Muschler, 2018) abgeglichen.

Tabelle 8: Berechnung der Jahresarbeitszahl des Gesamtsystems in Variante 4a

Wärmebedarf der Wärmekunden	[MWh/a]	5,000
Jahresarbeitszahl der dezentralen Wärmepumpen	[-]	6.0
Strombedarf der dezentralen Wärmepumpen	[MWh/a]	833
Wärmeabsatz des Wärmenetzes	[MWh/a]	4,167
Netzverluste	[MWh/a]	300.0
Wärmebedarf des Wärmenetzes	[MWh/a]	4,467
Jahresarbeitszahl der zentralen Wärmepumpe	[-]	3.9
Strombedarf der zentralen Wärmepumpe	[MWh/a]	1,145
Strombedarf der Wärmepumpen	[MWh/a]	1,979
Jahresarbeitszahl des Gesamtsystems	[-]	2.5

Die Werte aus Tabelle 8 bilden in Verbindung mit der obigen Beschreibung die Grundlage für die Bewertung der Variante und die Ermittlung der Wärmekosten in Kapitel 8.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Schüttung des Flusses „Pfeffer“ nicht ausreichend für den ganzjährigen Betrieb der zentralen Wärmepumpe sein kann. Bei einer Mindestschüttung von 0,19 m³/s und einer Auskühlung des Flusswassers von 1 K, ergibt sich eine Wärmeentzugsleistung von etwa 800 kW.

Da der CO₂-Emissionsfaktor für Strom aus erneuerbaren Energiequellen 0 kg/kWh beträgt, entstehen durch den Betrieb der Wärmepumpen keine CO₂-Emissionen (siehe Anhang 2).

6.9. Variante 4b

Ferner wird in Variante 4b eine „kalte Nahwärme“ für das Quartier in Königsbronn untersucht. Das Wärmenetz aus Variante 4a wird durch ein kaltes Nahwärmenetz ersetzt. Flusswasser wird

ERNEUERBARE WÄRME „BEI DER GIEßEREI“

durch eine Pumpenstation entnommen und zu den Wärmekunden transportiert. Die Netz-Vorlaufemperatur wird somit maßgeblich durch die mittlere Flusswassertemperatur von 8 °C bestimmt. Durch eine geringe Temperaturspreizung der Netz-Vorlaufemperatur zur Netz-Rücklaufemperatur von angenommenen 5 K sind verglichen mit den Varianten 1 bis 3 deutlich größer dimensionierte Rohrleitungen notwendig, jedoch keine Wärmedämmung dieser Rohrleitungen. In den Gebäuden der Wärmekunden dient eine Wärmepumpe als Netz-Übergabestation, die in Abhängigkeit des energetischen Gebäudezustands die nötige Vorlaufemperatur bereitstellt. Der von den Wärmepumpen benötigte Strom soll über das öffentliche Stromnetz von erneuerbaren Energiequellen bezogen werden. Wie auch in Variante 4a wird eine durchschnittliche Vorlaufemperatur in den Gebäuden der Wärmekunden von 65 °C angenommen. Tabelle 4 zeigt die Berechnung des Strombedarfs der dezentralen Wärmepumpen für Variante 4b. Das Wärmepumpen-System aus Variante 4a ist mit einer Jahresarbeitszahl von 2,5 geringfügig effizienter. Aufgrund des Effizienz-Vorteils der großen zentralen Niedertemperatur-Wärmepumpe zurück zu führen. Daher wird in Variante 4b eine Jahresarbeitszahl von 2,4 angenommen. Diese ist repräsentativ für den gesamten Gebäudebestand im Quartier. Die Wirtschaftlichkeit der Variante 4b wird in Kapitel 8 bewertet und mit den weiteren Varianten verglichen.

Tabelle 9: Berechnung des Strombedarfs der dezentralen Wärmepumpen in Variante 4b

Wärmebedarf der Wärmekunden	[MWh/a]	5.000
Jahresarbeitszahl der dezentralen Wärmepumpen	[-]	2,4
Strombedarf der dezentralen Wärmepumpen	[MWh/a]	2.083
Wärmeabsatz des Wärmenetzes	[MWh/a]	2.917

Wie auch in Variante 4a wird darauf hingewiesen, dass der Fluss „Pfeffer“ nicht ausreichend für einen ganzjährigen Betrieb der Wärmepumpen sein kann.

Da der CO₂-Emissionsfaktor für Strom aus erneuerbaren Energiequellen 0 kg/kWh beträgt, entstehen durch den Betrieb der Wärmepumpen keine CO₂-Emissionen (siehe Anhang 2).

7. KONZEPTION EINES SAISONALEN WÄRMESPEICHERS

7.1. Pufferspeicher und saisonaler Wärmespeicher

Die Varianten 1a bis d sind geprägt von der Kombination einer zentralen Wärmepumpe, deren Strombedarf mit einem Gas-BHKW selbst erzeugt wird, und einer Solarthermieanlage mit 2.000 m² Aperturfläche, die den sommerlichen Wärmebedarf übernimmt. Das für die aufeinander abgestimmten Dimensionierungen der Anlagenkomponenten notwendige Speichervolumen beträgt wenige 100 m³ wie z.B. in Variante 1c 600 m³. Wärmespeicher dieser Größe werden am kostengünstigsten als oberirdischer Stahlbehälter mit außenliegender Wärmedämmung realisiert. Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel. Alternativ bieten andere Hersteller (wie z.B. Cupasol o.a.) auch oberirdisch zu realisierende Betonbehälter o.ä. an. Der Wärmespeicher wird sehr dynamisch genutzt und sollte daher möglichst nahe an der Heizzentrale stehen.



Abbildung 31: Beispiel eines oberirdischen Stahlspeichers (Foto: Solites)

Für die Varianten 2 und 3 ergibt die durch Simulationen abgestimmte Dimensionierung der Anlagenkomponenten ein Wärmespeichervolumen von 13.200 bis 15.000 m³. Diese Speicher werden zum einen als Pufferspeicher für Leistungsspitzen genutzt, zum anderen aber auch, um die sommerliche Überschusswärme der groß dimensionierten Solarthermieanlage saisonal bis in die Heizperiode zu speichern. Bei einer weiteren Konzipierung einer dieser Varianten kann auch darüber nachgedacht werden, das Pufferspeichervolumen vom saisonalen Volumen zu trennen und die dann entstehenden zwei Speicherstandorte voneinander zu trennen. Dadurch

könnte z.B. der große, saisonale Wärmespeicher bei der Solarthermieanlage und der Pufferspeicher bei einer davon entfernten Heizzentrale platziert werden. Die folgende Abbildung zeigt in beiden gelb markierten möglichen Standorten eine Lösungsmöglichkeit hierfür.

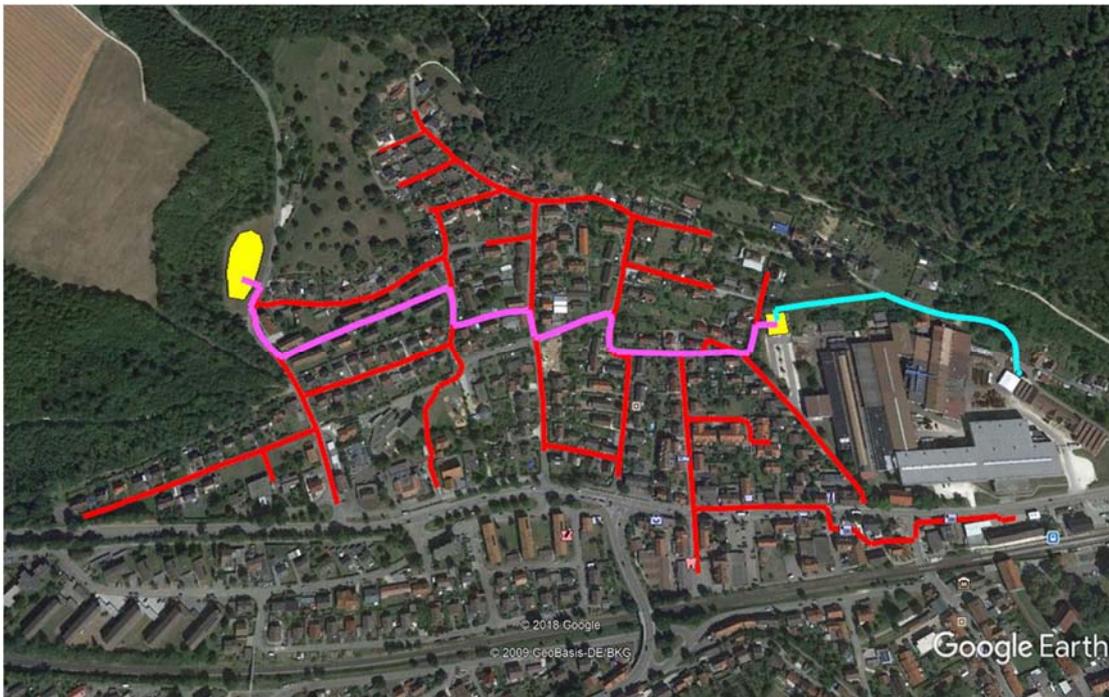


Abbildung 32: Eine Variante der Lage des Wärmenetzes und möglicher Wärmespeicherstandorte (linkes gelbes Feld: saisonaler Wärmespeicher für die Solarwärme auf der Wiese am linken Bildrand, rechtes gelbes Feld: Lage der Heizzentrale an der Gießerei, Quelle: Martin Lohrmann)

7.2. Mögliche Bauweisen saisonaler Wärmespeicher

Saisonale Wärmespeicher werden aufgrund ihrer Größe meist in den Untergrund integriert. Dies ermöglicht eine gute Landschafts- und Stadtplanung und reduziert die Baukosten, da der Untergrund die Speicherlast mit trägt. Solche in den Untergrund integrierte Wärmespeicher wurden in Deutschland über F+E-Programme zur saisonalen Speicherung von Solarwärme entwickelt. Seit 1996 konnten elf Pilotanlagen errichtet werden. Hierbei wurden die folgenden vier Speichertechnologien entwickelt, die jeweils in mindestens einer Pilotanlage in Betrieb sind:

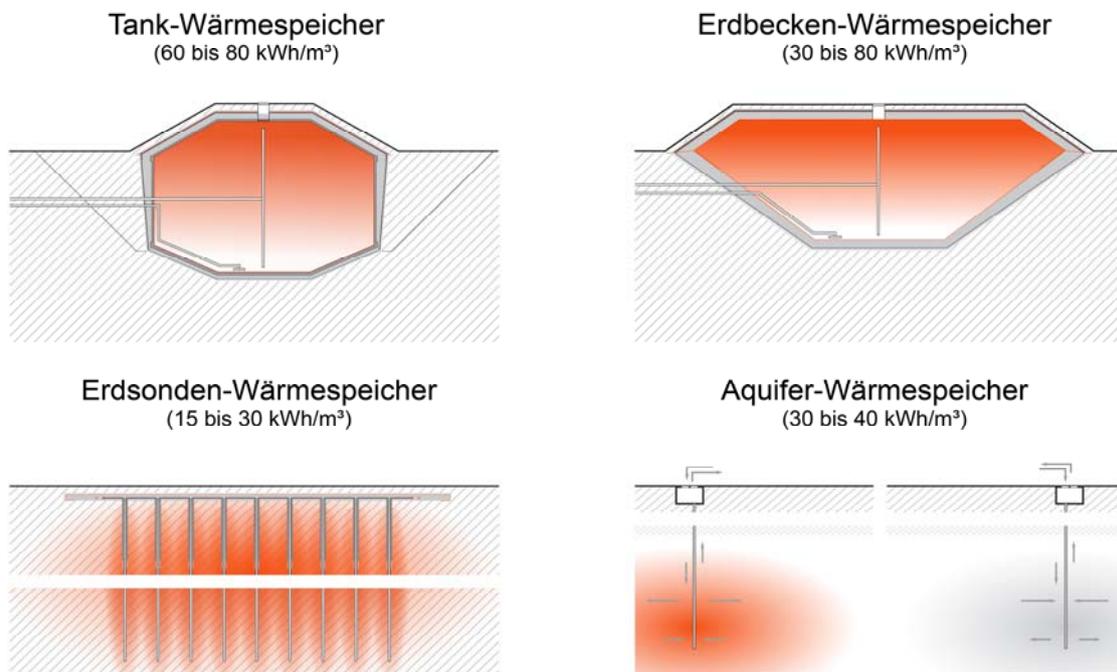


Abbildung 33: Typen von saisonalen Wärmespeichern (in Klammern ist die durchschnittliche Wärmekapazität je m^3 Speichervolumen als Richtwert angegeben) (Quelle: Solites)

Tank-Wärmespeicher bestehen meist aus einem Stahlbetonbehälter, der außen wärmege-
dämmt und im Inneren meist mit Edelstahlblech wasser(dampf)dicht ausgekleidet ist. Der Be-
hälter wird mit Wasser gefüllt, das bis auf $98\text{ }^\circ\text{C}$ erwärmt werden kann.

Erdbecken-Wärmespeicher entstehen, in dem eine Baugrube (teilweise) wärmege-
dämmt, mit Kunststoffbahnen abgedichtet und mit Wasser gefüllt wird. Dieser wärmege-
dämmte Teich wird durch einen schwimmenden oder freitragenden Deckel geschlossen. Alternativ liegt der Deckel
auf einer wassergesättigten Kiesfüllung der Speichergrube auf.

Erdsonden-Wärmespeicher nutzen das Gestein im Untergrund zur Wärmespeicherung. Durch
Wasser durchflossene Erdwärmesonden, die in vertikale Bohrlöcher eingegossen werden, wird
das Gestein erwärmt und wieder abgekühlt.

Aquifer-Wärmespeicher werden durch Brunnen erschlossen, die aus unterirdischen, Wasser
führenden Gesteinsschichten (Aquiferen) Wasser an die Erdoberfläche pumpen, dieses erwär-
men und wieder in den Untergrund einspeichern. Durch eine Umkehr des Pumpvorganges kann
die gespeicherte Wärme genutzt werden.

Für eine Realisierung in Königsbronn sind die Bedingungen im Untergrund zu beachten, die
aufgrund des Wasserschutzgebietes keine direkte thermische Nutzung des Untergrundes zulas-
sen. Daher sind Erdsonden- und Aquifer-Wärmespeicher von vornherein auszuschließen. Auf-
grund des hohen Grundwasserstandes sind auch Erdbecken-Wärmespeicher nur eingeschränkt

einsetzbar, jedoch nicht gänzlich auszuschließen. Der Pilotspeicher in Eggenstein-Leopoldshafen wurde z.B. bei trockenem Untergrund realisiert, kann aber bei Grundwasser-Hochstand im Grundwasserspiegel stehen.

Ein Tank-Wärmespeicher erscheint aufgrund der bestehenden geologischen Randbedingungen (siehe Kapitel 5) und der notwendigen multifunktionalen Nutzungen als Leistungspuffer- und saisonaler Wärmespeicher am plausibelsten und bietet die größte Flexibilität für zukünftige Änderungen in der Wärmeerzeugung und der Entwicklung des Wärmenetzes. Dieser Tank-Wärmespeicher kann entweder, wie in Abbildung 31 gezeigt, auch als oberirdischer, allerdings sehr großer Stahl- oder Betonspeicher realisiert werden. Alternativ kann der Wärmespeicher jedoch auch wie in Friedrichshafen oder München teilweise in den Untergrund eingegraben und durch den angeschütteten Aushub als „grüner Hügel“ realisiert werden. Die folgende Abbildung zeigt das Beispiel in Friedrichshafen.



Abbildung 34: Heizzentrale der solaren Nahwärme Wiggerhausen in Friedrichshafen mit in einen grünen Hügel integrierten, saisonalen Wärmespeicher mit 12.000 m³ Wasservolumen (Quelle: Solites)

In den Untergrund integrierte Wärmespeicher sind noch nicht Stand der Technik, sondern je Bauweise in mehreren Pilotanlagen realisiert. Detaillierte Beschreibungen sind z.B. unter www.saisonalspeicher.de zu finden.

8. WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG

Für die erarbeiteten und in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Varianten zur Wärmeversorgung des Wärmenetzes wurde in Abstimmung mit den entsprechenden Projektpartnern eine Kostenschätzung erstellt und eine Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt. Zielgröße sind hierbei die Kosten je kWh Wärme für die Kunden. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung erfolgte entsprechend VDI 2067 nach dem Annuitätenverfahren mit Berücksichtigung der Barwerte.

8.1. Kostenannahmen

Kosten für die Realisierung der unterschiedlichen Wärmepumpen wurden teilweise von den im jeweiligen Kapitel genannten Herstellerfirmen beigestellt.

Kosten für die Realisierung und den Betrieb der unterschiedlichen betrachteten Solarthermieanlagen und der Wärmespeicher sind auf Basis der realisierten Projekte abgeschätzt. Hier ist zu beachten, dass diese Projekte teilweise Pilotcharakter hatten und die Kosten der wenigen zur Verfügung stehenden Pilotanlagen teilweise stark divergieren.

Kosten für die Anbindungsleitung des Kollektorfeldes sind in Abstimmung mit Herrn Palmer von der Produr Engineering GmbH mit 400 Euro je m² (kleine Kollektorflächen) bis 450 Euro je m² (große Kollektorflächen) angenommen, wie auch die Kosten für das Wärmenetz. Die Kosten für das kalte Nahwärmenetz basieren auf Angaben von ausgeführten Anlagen.

Die Kosten für die Übergabestationen der Varianten 4 wurden von Martin Lohrmann beigestellt, die dementsprechenden Kosten in den vorhergehenden Varianten entsprechend abgeschätzt.

Die Kosten für Systemintegration, Heizzentrale, Planung sowie Wartung und Inspektion sind auf Basis von Erfahrungswerten prozentual auf die Investitionskosten bezogen und berücksichtigen einfache und zweckdienliche Betriebsgebäude.

Den Betriebskosten liegen folgende Annahmen zu Grunde:

Gaskosten: 0,043 Euro/kWh

Stromkosten: 0,263 Euro/ kWh für je Kunde bezogener Grünstrom der Stadtwerke Heidenheim (Hellenstein-Strom Aqua Tarif 2018)
0,20 Euro/ kWh für zentral bezogenen Strom des Betreibers der Heizzentrale

Der angenommene Zinssatz von 2 % entspricht der derzeitigen günstigen Marktlage und dem Genossenschaftscharakter des Betreibermodells.

8.2. Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die folgende Tabelle 10 zeigt zusammenfassend die technischen Kennwerte der betrachteten Varianten in einer Übersicht. Die darauf folgende Tabelle 11 zeigt die für die Wirtschaftlichkeitsberechnung angenommenen Einzelkosten der wichtigsten Anlagenkomponenten für ausgewählte Varianten.

Abbildung 35 zeigt dann den Wirtschaftlichkeitsvergleich der Varianten.

Tabelle 10: Übersicht der Werte und Simulationsergebnisse der Varianten

Komponente	Kennzahl	Einheit	Variante										
			1a	1c	1d	2a	3a	3b	3c	4a	4b		
Wärmenetz	Netz-Vorlauftemperatur	[°C]	75-85	75-85	75-85	75-85	75-85	75-85	75-85	65-75	65	40	7-10
	Netz-Rücklauftemperatur	[°C]	55	55	55	55	55	55	55	45	40	30	3-5
Wärmespeicher	Speicher-Volumen	[m³]	600	600	250	15.000	13.600	13.200	13.500	-	-	-	-
	Kollektor-Aperturefläche	[m²]	2.000	2.000	2.000	8.000	7.000	7.000	7.000	-	-	-	-
Solarthermie	Solarer Nutzwärmeertrag	[MW/h/a]	986	986	940	3.269	3.101	3.275	3.351	-	-	-	-
	Solarer Deckungsanteil ¹	[%]	16,9	16,9	16,5	42,2	44,6	48,7	50,5	-	-	-	-
Gas-BHKW	Leistung (th.)	[kW]	244	217	-	225	-	-	-	-	-	-	-
	Wärmeerzeugung	[MW/h/a]	1.359	1.204	-	990	-	-	-	-	-	-	-
	Deckungsanteil ¹	[%]	24,7	21,9	-	18,0	-	-	-	-	-	-	-
	Heizleistung	[kW]	450	363	545	-	950	950	950	1.300	950	1.300	k.a.
Wärmepumpe(n) Energiequelle: "Pfeffer"	Wärmeerzeugung	[MW/h/a]	1.657	2.014	3.049	-	904	1.118	1.463	4767 ³	5.000	5.000	
	Ziel-Vorlauftemperatur	[°C]	75	75	80	-	40	40	40	40	40	65	
	Jahres-Arbeitszahl	[-]	1,7	2,4	2,4	-	4,6	4,6	4,6	3,9	2,4	2,4	
	Deckungsanteil ¹	[%]	30,2	36,7	55,5	-	16,4	20,3	26,6	-	-	100,0	
	Heizleistung	[kW]	-	-	-	500	1.300	1.300	1.300	1.300	k.a.	-	
"NT-Wärmenetz"	Wärmeerzeugung	[MW/h/a]	-	-	-	610	1.346	1.104	981	5.000	-	-	
	Ziel-Vorlauftemperatur	[°C]	-	-	-	75	80	72	67	65	-	-	
	Jahres-Arbeitszahl	[-]	-	-	-	3,3	3,6	4	4,4	6	-	-	
	Deckungsanteil ¹	[%]	-	-	-	11,1	24,5	20,1	17,8	-	-	-	
	Wärmeerzeugung	[MW/h/a]	1.547	1.346	1.541	1.577	795	599	279	0	-	-	
Gas-Kessel	Deckungsanteil ¹	[%]	28,2	24,5	28,0	28,7	14,5	10,9	5,1	0,0	-	-	
	Summe Strombedarf (Wärmepumpen)	[MW/h/a]	955 ²	831 ²	1.272	610 ²	1.541	1.345	1.296	1.979	2.083		
CO ₂ Emissionen (CO ₂ -Äquivalente)	Summe Gasbedarf (Gas-BHKW, Gas-Kessel)	[MW/h/a]	4.392	3.768	1.712	3.568	883	666	310	0	0		
	CO ₂ Emissionen (CO ₂ -Äquivalente)	[t/a]	1.098	942	1.147	892	221	166	78	0	0		

¹ Verluste des Wärmespeichers zu Lasten der Solarthermie-Anlage

² Eigenstromerzeugung mit Gas-BHKW

³ Auf Temperaturniveau 40 °C

Tabelle 11: Übersicht der Kosten der Varianten

	Varianten							
	1c	1d	2a	3a	3b	3c	4a	4b
Kollektorfeld	[€]	550.000	2.000.000	1.750.000	1.750.000	1.750.000	0	0
Anbindungsleitung	[€]	80.000	90.000	90.000	90.000	90.000	0	0
Pacht, Zaun, Zuwegung	[€]	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	0	0
Zentraler Wärmespeicher	[€]	210.000	100.000	2.100.000	1.972.000	1.914.000	1.957.500	46.532
Zentrale Wärmepumpen	[€]	182.000	250.000	179.517	694.277	694.277	0	350.419
Zentraler Gas-Kessel	[€]	66.755	66.755	66.755	66.755	66.755	0	55.655
Zentrales Gas-BHKW	[€]	138.968	0	139.467	0	0	0	0
Zentrale Pumpstation	[€]						80.000	
Systemintegration, Heizzentrale (Gebäude, MSR, Rohr-, Armaturen)	[€]	269.782	192.015	283.717	298.473	293.253	297.168	135.782
Wärmenetz	[€]	1.982.700	1.982.700	1.982.700	1.982.700	1.982.700	1.784.430	1.784.430
Anbindungsleitung und Übergabestation	[€]	1.670.760	1.670.760	1.670.760	1.670.760	1.670.760	899.262	899.262
Dezentrale Wärmepumpen	[€]	0	0	0	0	0	1.890.000	1.890.000
Dezentrale Pufferspeicher	[€]	0	0	0	0	0	756.000	756.000
Regelungs-Software dezentraler Wärmepumpen	[€]	0	0	0	0	0	162.000	162.000
Systemintegration dezentraler Wärmepumpen-Systeme	[€]	0	0	0	0	0	324.000	324.000
Planung	[€]	515.097	489.223	851.292	852.497	846.175	590.529	640.408
Gesamtinvest	[€]	5.666.063	5.381.454	9.364.208	9.377.462	9.307.920	9.360.077	7.044.488
Gesamtannuität (Invest) bei 2 % Zinssatz	[€/a]	199.697	178.234	367.872	345.097	342.123	344.353	283.426
Stromkosten	[€/a]	3.547	308.446	11.760	380.734	334.114	323.115	709.472
Gaskosten	[€/a]	194.291	88.288	183.979	45.548	34.318	15.985	0
Wartung / Inspektion	[€/a]	42.328	28.870	62.788	50.725	50.293	50.617	112.265
Gesamtannuität (Betrieb)	[€/a]	240.166	425.604	258.527	477.007	418.725	389.717	821.737
Wärmekosten, netto, ohne Förderung	[ct/kWh]	8,8	12,1	12,5	16,4	15,2	14,7	22,1

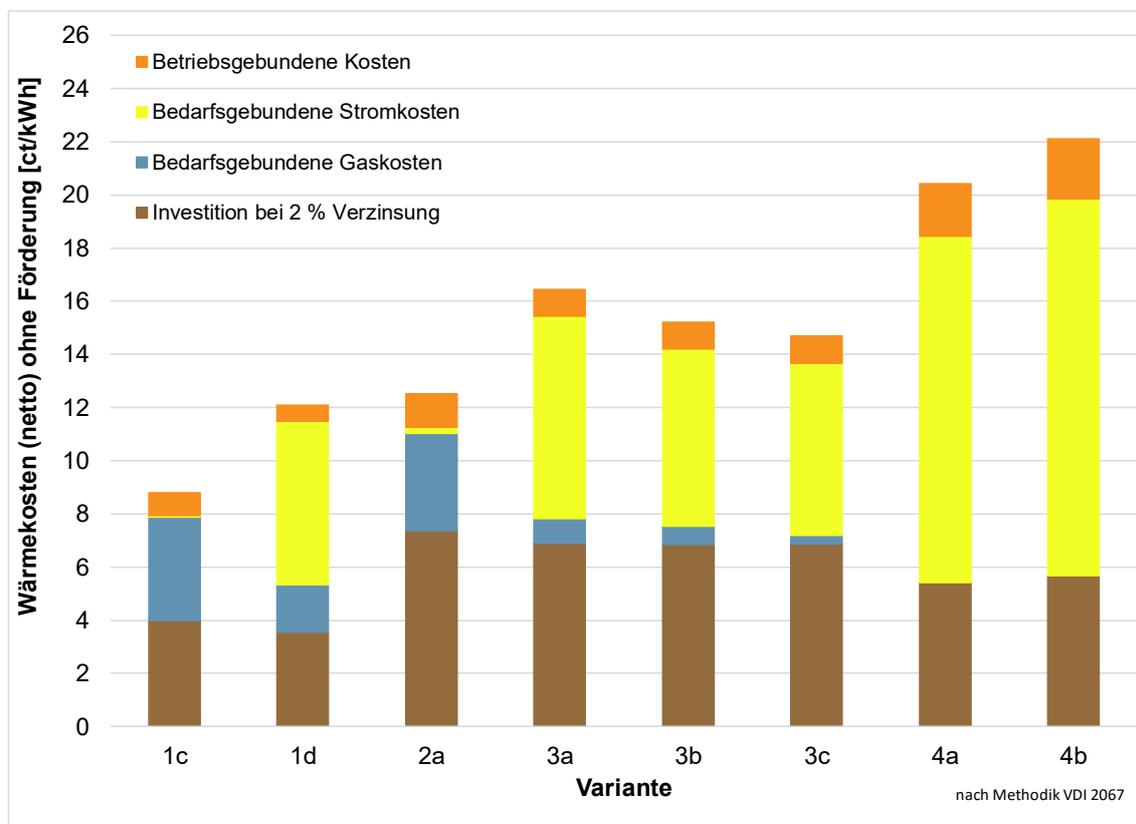


Abbildung 35: Vergleich der Anteile der Netto-Wärmekosten der einzelnen Varianten ohne Berücksichtigung einer Förderung (Quelle: Solites)

8.3. Technologievergleich anhand der Wärmekosten

Die in Abbildung 35 dargestellten Ergebnisse erlauben einen Technologievergleich der Varianten, da keine Förderung berücksichtigt ist. Variante 1c verwendet eine zentrale Wärmepumpe, deren Strombedarf durch ein BHKW selbst erzeugt wird. Daher ist der Anteil der Gaskosten hoch, der Stromkostenanteil dagegen sehr gering. Im Vergleich hierzu verzichtet Variante 1d auf eine eigene Stromerzeugung, die Investitionskosten sind daher geringer (braune Säule). Der Betriebsstrom der Wärmepumpe wird als konventioneller Strom zu 20 Cent/kWh zugekauft, der Restgasbedarf vom Gas-Spitzenlastkessel aufgewandt.

Variante 2a verzichtet auf die Nutzung der Flussquellen und verwendet eine Solarthermieanlage mit saisonalem Wärmespeicher. Dieser wird über eine Wärmepumpe entladen, deren Strombedarf durch ein Gas-BHKW selbst erzeugt wird. Zusätzlich ist ein Gas-Spitzenlastkessel integriert.

Wie in Tabelle 10 ersichtlich, haben diese drei Varianten einen ähnlich hohen CO₂-Emissionswert zwischen 892 und 1147 t/a, dabei aber auch die günstigsten Wärmekosten. Der CO₂-Emissionswert kann reduziert werden, wenn entweder Bioerdgas verwendet wird oder aber für Variante 2a grüner Strom aus dem Stromnetz bezogen wird.

Die Varianten 3 und 4 verwenden jeweils grünen Strom aus dem Stromnetz. Die Varianten 3 verwenden alle eine Solarthermieranlage mit 7.000 m² Aperturfläche, einen saisonalen Wärmespeicher mit rund 13.500 m³ und zwei Wärmepumpen, die zum einen die Pfefferquelle nutzen und zum anderen den Wärmespeicher entladen. Der Einsatz des Gas-Spitzenlastkessels ist, wie schon der blaue Säulenanteil in Abbildung 35 zeigt, sehr beschränkt. Die Varianten 3a bis 3c unterscheiden sich primär in den angenommenen Versorgungstemperaturen im Wärmenetz: während Variante 3a eine Vorlauftemperatur von im Sommer 75 °C und im Winter 85 °C sowie eine Rücklauftemperatur von 55 °C voraussetzt, geht Variante 3c von einer Vorlauftemperatur von 65 °C und einer Rücklauftemperatur von 40 °C aus. Der sich hieraus ergebende Wirtschaftlichkeitsvorteil beträgt 1,7 Cent/kWh. Hier ist jedoch zu beachten, dass hierfür jeder Wärmekundende größere Investitionen für die energetische Sanierung seines Gebäudes und der Anpassung der Gebäudetechnik tätigen muss, die hier nicht mit eingerechnet sind.

Die Varianten 4a (Niedertemperatur-Wärmenetz mit 40 °C Vorlauftemperatur) und 4b (kalte Nahwärme) sind durch die hohen Stromkosten der Kunden für ihre dezentralen Wärmepumpen geprägt. Der hier zu Grunde liegende Strompreis entspricht dem Hellenstein-Strom Aqua Tarif 2018 der Stadtwerke Heidenheim.

8.4. Stromnetzbelastung der betrachteten Varianten

Zusätzlich sind weitere Punkte wie z.B. die Belastung des Stromnetzes durch die jeweilige Variante zu betrachten:

- Die Varianten 1c und 2a erzeugen den selbst verbrauchten Strom fast vollständig durch ein Gas-BHKW selbst. Eine ökologische Stromversorgung kann durch die Verwendung von Bioerdgas entstehen. Dies ist jedoch geringfügig bis deutlich teurer als der hier angesetzte Gaspreis von 4,3 Cent/kWh, je nach Einkaufsbedingungen.
- Die Varianten 1d und 3a bis c beziehen ihren Strombedarf aus dem Stromnetz. Dieser wird vom Betreiber zentral in der Heizzentrale eingesetzt. Hier kann durch den Erwerb eines Windradanteils, durch anderweitige erneuerbare Stromerzeugung o.ä. die Strombilanz verbessert und die Stromnetzbelastung reduziert werden.
- Die Varianten 4a und 4b verlagern einen Großteil des Stromverbrauchs zu den einzelnen Kunden, die diesen für ihre dezentralen Wärmepumpen benötigen. Dadurch wird eine Reduktion der Stromnetzbelastung durch den Betreiber des Wärmenetzes kaum technisch realisiert werden können. Zusätzlich muss der Stromleistungsbedarf jeder Wärmepumpe bei jedem Kunden durch das Stromnetz transportiert werden können. Spätestens mit zunehmender Elektromobilität und dementsprechenden Ladestationen bei den Kunden können hier Stromnetz-Engpässe entstehen.

8.5. Fazit

Mit der Einrechnung möglicher Förderungen werden die Wärmekosten günstiger als in Tabelle 11 und Abbildung 35 aufgeführt. Für eine Genossenschaft kann im Gegensatz zu Stadtwerken etc. die Höhe der Anfangsinvestitionskosten maßgebend für eine Entscheidung für oder gegen die Realisierung sein. Die Varianten 1 zeigen hierbei deutlich geringere Investitionskosten als alle anderen Varianten und mit Variante 1c auch die günstigsten Wärmekosten. Hieraus kann z.B. der Ansatz abgeleitet werden, in einem ersten Schritt das Wärmenetz zu investieren und die Wärmeerzeugung über eine Solarthermieanlage für den sommerlichen Wärmebedarf, eine Wärmepumpe zur Nutzung des Pfefferwassers und ein BHKW zur Eigenstromerzeugung energetisch effizient und zumindest teilerneuerbar zu gestalten. In späteren weiteren Entwicklungsschritten kann der erneuerbare Anteil der Wärmeversorgung dann weiter ausgebaut werden. Grundsätzlich sei nochmals daran erinnert, dass die SHW Casting Technologies im Frühjahr 2019 über eine Eigenstromerzeugung nachdenken möchte und schon angeboten hat, dies in enger Abstimmung mit dem Arbeitskreis Bürgerenergie bzw. der entstehenden Bürgerenergiegenossenschaft durchzuführen. Eine mögliche Abwärmenutzung aus einer Eigenstromerzeugung erscheint schon deshalb interessant, da ohne diese Nutzung die sowieso entstehende Abwärme womöglich ungenutzt in die Umgebung weggekühlt würde.

QUELLEN

Auer und Schöte (2008): Schlussbericht Zweijähriger Feldtest Elektro – Wärmepumpen am Oberrhein, Lahr: Lokale Agenda-Gruppe 21 Energie in Lahr.

Combitherm (2018): Persönliche Korrespondenz mit der Firma Combitherm, Fellbach: Combitherm

Europäische Union (2014): VERORDNUNG (EU) Nr. 517/2014 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 16. April 2014 über fluoridierte Treibhausgase und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 842/2006, Brüssel: Europäische Union

Gemeinde Königsbrunn (2018): GeoPortal – Auskunft, Satellitenbild, zur Verfügung gestellt von Jörg Bielke, Königsbrunn: Gemeinde Königsbrunn.

GoogleEarth (2018): Satellitenbilder, [online]
<https://www.google.de/maps/place/89551+K%C3%B6nigsbrunn/@48.7401358,10.1070961,2940m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x479910b382ba23f9:0x41ffd3c8d097650!8m2!3d48.7428048!4d10.1123751> [08.06.18].

Haakh (2018): Persönliche Korrespondenz mit Herr Prof. Haakh, technischer Geschäftsführer Zweckverband LWV.

Hafner Muschler (2018): Persönliche Korrespondenz mit Mitarbeiter Herr Frank Glaser, Balingen: Hafner-Muschler GmbH.

KEA (2015): Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH, CO₂-Emissionsfaktor Strom, [online] <https://www.kea-bw.de/service/emissionsfaktoren/> [14.11.18].

KEA (2018): Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH, CO₂-Emissionsfaktor Erdgas, [online] <https://www.kea-bw.de/service/emissionsfaktoren/> [14.11.18].

Landratsamt Heidenheim (2017): Geothermische Anlagen im Landkreis Heidenheim Heidenheim: Landratsamt Heidenheim.

Landratsamt Heidenheim (2018): Persönliche Korrespondenz mit Mitarbeiterin Frau Dr. Katrin Ilg, Heidenheim: Landratsamt Heidenheim.

Landratsamt Heidenheim (2018b): Entwurf einer Anzeige zur Errichtung und zum Betrieb einer Erdwärmekollektoranlage, Heidenheim an der Brenz.

Leirich, Katharina (2018): Bachelorarbeit: Thermische Nutzung des Untergrundes im Wasserschutzgebiet am Beispiel von Königsbronn; Hochschule Weihenstephan – Triesdorf, Fakultät Umweltingenieurwesen, Studiengang Umweltsicherung.

Meteonorm: Wetterdaten des Test-Referenz-Jahres für den Standort Stuttgart, Bern (Schweiz): Meteotest AG.

Ochsner, (2018): Persönliche Korrespondenz von Martin Lohrmann mit Wärmepumpenhersteller Ochsner (Vertriebsleiter Deutschland), Berlin: OCHSNER Wärmepumpen GmbH.

Ochsner, (2018b): Persönliche Korrespondenz mit Herr Karl Ochsner, Wärmepumpenhersteller Ochsner, Linz (Österreich): OCHSNER Wärmepumpen GmbH.

Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau – ISONG (2017): Informationssystem Oberflächennahe Geothermie für Baden-Württemberg

Sass, Brehm, Coldewey, Dietrich, Klein, Keller, Kirschbaum, Lehr, Marek, Mielke, Müller, Panteleit, Phl, Porada, Schiessl, Wedewardt, Wesche (2015): Empfehlungen Oberflächennahe Geothermie- Planung, Bau, Betrieb und Überwachung – EA Geothermie. Berlin. Wilhelm Ernst & Sohn

SHW (2013): Wasserentnahme aus dem Pfeffer – Wasserrechtsgesuch – Lageplan, Königsbronn: SHW Casting Technologies.

SHW (2018): Persönliche Korrespondenz mit Betriebsleiter Herr Maier der SHW, Königsbronn: SHW Casting Technologies.

TESS (2018): TRNSYS Transient System Simulation Tool in der Version 17.2, Madison (USA): TESS, Thermal Energy System Specialists.

Umweltministerium Baden-Württemberg (2008): Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Grundwasserwärmepumpen

Viessmann (2018): Persönliche Korrespondenz mit Herr Gerald Lackinger, Allendorf:

Viessmann Deutschland GmbH

WSK (2018): Persönliche Korrespondenz mit Herr Claus Schmager, Kehl: KONZMANN
Kältetechnik GmbH WSK

9. ANHANG

9.1. Anhang 1 Annahmen der Varianten im Simulations-Modell

Variante	[-]	1a	1c	1d	2a	3a	3b	3c	4a	4b
Netz-Vorlauftemperatur	[°C]	75-85	75-85	75-85	75-85	75-85	65-75	65	40	7-8
Netz-Rücklauftemperatur	[°C]	55	55	55	55	55	45	40	30	3-5
Netz-Wärmebedarf	[MWh]	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	300	0
Anbindeleitung der Solarthermie-Anlage	[m]	20	20	20	1.000	1.000	1.000	1.000	-	-
Stagnationstage	[d]	2	2	10	14	10	10	10	-	-
Kollektortyp	[-]	HT-FK	HT-FK	HT-FK	HT-FK	HT-FK	HT-FK	HT-FK	-	-
Eta0	[-]	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	-	-
k1	[W/(m ² *K)]	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	-	-
k2	[W/(m ² *K ²)]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-
Nennmassenstrom im Kollektorkreis	[kg/(h*m ²)]	14	14	14	14	14	14	14	-	-
minimaler Massenstrom im Kollektorkreis (bezogen auf Nennmassenstrom)	[%]	50 %	50 %	50 %	50 %	50 %	50 %	50 %	-	-
maximaler Massenstrom im Kollektorkreis (bezogen auf	[%]	200 %	200 %	200 %	200 %	200 %	200 %	200 %	-	-
Art des Wärmespeichers im Simulationsmodell	[-]	oSHWWS	oSHWWS	oSHWWS	EWS	EWS	EWS	EWS	-	-
maximale Betriebstemperatur des Wärmespeichers	[°C]	98	98	98	98	98	98	98	-	-
Anzahl berücksichtigter Temperaturschichten im Wärmespeicher	[-]	30	30	30	30	30	30	30	-	-

HT-FK: Hochtemperatur-Flachkollektor

oSHWWS: Oberirdischer Heißwasser-Wärmespeicher (Stahl-Speicher)

EWS: Erdbecken Wärmespeicher

9.2. Anhang 2 Berechnung der CO₂ Emissionen

Die berechneten CO₂-Emissionen der Varianten in [t/a] entsprechen CO₂-äquivalenten Emissionen für ein Betriebsjahr. Sie ergeben sich aus dem Gasbedarf des Gas-Kessels und des Motor-BHKWs sowie dem Strombedarf für die Wärmepumpen eines Betriebsjahres und den entsprechenden CO₂-Emissionsfaktoren:

- CO₂-Emissionsfaktor für Erdgas: 0,25 kg/kWh (KEA, 2018)
- CO₂-Emissionsfaktor für Strom (Bundesmix): 0,565 kg/kWh (KEA, 2015)
- CO₂-Emissionsfaktor aus erneuerbaren Energiequellen: 0 kg/kWh

In den Varianten 3a, 3b, 3c, 4a und 4b soll der Strom für den Betrieb der Wärmepumpen über das öffentliche Stromnetz von erneuerbaren Energiequellen bezogen werden.

Hochschule Weihenstephan - Triesdorf

Fakultät Umweltingenieurwesen

Studiengang Umweltsicherung

Bachelorarbeit

Thermische Nutzung des Untergrundes im Wasserschutzgebiet
am Beispiel von Königsbrunn

eingereicht von:	Katharina Anna Leirich
Erstkorrektor:	Prof. Andreas Ratka
Zweitkorrektor:	Dipl.-Ing. Oliver Miedaner, M.Sc. Julian Rolker
Tag der Abgabe:	12.07.2018

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Projektbeschreibung und Ausgangslage	3
2.1	Quartiersprojekt Königsbronn	3
2.2	Hydrogeologische Bestandsaufnahme im Landkreis Heidenheim.....	4
3	Geothermische Techniken	7
3.1	Erdwärmesonden	7
3.2	Grundwasserwärmepumpe.....	7
3.3	Erdwärmekollektoren.....	7
3.4	Energiepfähle und erdberührende Betonbauteile.....	9
3.5	Wärmepumpenprinzip - Kompressionswärmepumpen.....	9
4	Rechtliche Grundlagen	11
4.1	Wasserschutzgebiet (WSG) - Definition und Schutzzonen	11
4.2	Relevante Vorschriften in einem Wasserschutzgebiet	12
5	Analyse und Vergleich bereits realisierter Anlagen	15
5.1	Realisierte Anlagen im Landkreis Heidenheim im Wasserschutzgebiet	15
5.1.1	Erdwärmesonden	17
5.1.2	Grundwasserwärmepumpen	17
5.1.2.1	Beispiele realisierter Anlagen	21
5.1.3	Erdwärmekollektoren.....	24
5.2	Beantragung der einzelnen Techniken	26
5.3	Umsetzbarkeit von Ausnahmeerteilungen in Königsbronn	28
6	Versorgungskonzepte für das Quartiersprojekt Königsbronn	31
6.1	Grundlegende Berechnungen.....	31
6.1.1	Berechnung zu Erdwärmesonden	35
6.1.2	Berechnungen zu Grundwasserwärmepumpen.....	36
6.1.3	Berechnung zu Erdwärmekollektoren.....	40

6.2	Konzepte zur Energiebedarfsdeckung	49
6.2.1	Konzept 1 - Grundwasserwärmepumpen und Hackschnitzelfeuerungsanlage	49
6.2.2	Konzept 2 - Kombination aus Grundwasserwärmepumpen, Erdwärmekollektoren und Hackschnitzelfeuerungsanlage	50
6.2.3	Konzept 3 - Kombination aus Erdwärmesonden, Grundwasserwärmepumpen sowie Hackschnitzelfeuerungsanlage	51
6.2.4	Konzept 4 - Kombination aus Grundwasserwärmepumpen, Solarthermie und Hackschnitzelfeuerungsanlage	52
6.3	Speicheranlagen.....	54
6.3.1	Speichertechnologien und deren rechtlicher Hintergrund	54
6.4	Bewertung der technischen Konzepte hinsichtlich Realisierbarkeit in einem Wasserschutzgebiet und der notwendigen technischen Randbedingungen	56
7	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	59
8	Diskussion	63
9	Zusammenfassung	69
Anhang	75
A	Informationen zum Quartiersprojekt Königsbronn	75
B	Bilder und Graphiken zur Veranschaulichung der Techniken.....	79
C	Anlagen zu Bestimmungen und dem rechtlichem Hintergrund.....	83
D	Dokumente und deren Inhalte zur Beantragung der einzelnen Techniken	92
E	Veranschaulichung der Konzepte	101

1 Einleitung

Starke Unwetter, längere Dürreperioden, Versauerung der Meere. Diese Ereignisse sind Folgen des menschlichen Eingreifens in das Gleichgewicht der Umwelt. Durch die Emissionen von Treibhausgasen aus Industrie, Verkehr und Landwirtschaft heizt sich die Atmosphäre aufgrund des Treibhauseffektes auf, sodass sich das Erdklima verändert. Verschiedene Auswirkungen, wie beispielsweise das Abschmelzen der Gletscher, das Verschieben der Jahreszeiten oder die langanhaltenden Dürrezeiten in manchen Zonen der Erde sind bereits heute zu erkennen. Um weitere Folgen zu vermeiden bzw. einzudämmen traten 2005 das 1997 beschlossene Kyoto-Protokoll [1] sowie 2016 das Pariser Abkommen in Kraft. Das Ziel dieser Abkommen ist eine Minimierung der Treibhausgasemissionen aller teilnehmenden Staaten. Das Pariser Abkommen sieht eine Begrenzung der Erderwärmung auf insgesamt 2 °C vor, sodass nach Expertenmeinung die Folgen des Klimawandels kontrollierbar sind [2]. Um dieses Ziel zu erreichen, muss jede beigetretene Nation eigene Pläne entwickeln und diese auch umsetzen.

Deutschland, als Vorreiter in der Umweltpolitik, hat sich zum Ziel gesetzt die Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80 bis 95 % gegenüber 1990 zu reduzieren [3]. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen in Deutschland zahlreiche Veränderungen stattfinden. Beispielsweise müssen erneuerbare Energien gefördert, sowie Kohle- und Gasverbrennungen zur Energiegewinnung stark reduziert werden. Industrielle Anlagen müssen die maximale Effizienz erreichen, um einen möglichst geringen Energiebedarf zu haben. Außerdem muss der Gebäudebestand saniert werden, um den Energiebedarf eines jeden Haushaltes zu senken. Zusätzlich ist eine Entlastung der zentralen Energieversorgung durch dezentrale erneuerbare Techniken in einzelnen Haushalten sowie der Bau erneuerbarer Nahwärmenetze sinnvoll.

Ein solches Nahwärmenetz, welches einzelne Häuser, Wohnblöcke oder Stadtviertel versorgt, soll in Königsbronn geplant und realisiert werden. Dabei sollen regionale erneuerbare Energien genutzt werden, um ein Wohnquartier in Königsbronn mit Wärme zu versorgen. Um dazu eine hohe Variabilität an Energiequellen zu haben, werden verschiedene Technologien auf ihre Realisierbarkeit untersucht. [4]

In dieser Arbeit wird die thermische Nutzung des Untergrundes auf rechtliche Realisierbarkeit sowie die möglichen produzierbaren Wärmemengen analysiert. Die Problematik hierbei ist, dass das zu versorgende Wohngebiet in einem Wasserschutzgebiet liegt, wodurch dort besondere Regelungen für die Untergrundnutzung vorliegen.

Die Arbeit wird zunächst allgemeine Informationen über das Quartiersprojekt Königsbronn sowie die dortigen Standortbedingungen erläutern. Danach wird ein Überblick aktueller geothermischer Techniken gegeben, wodurch der Leser die erforderliche Wissensgrundlage für die Arbeit bekommt.

Anschließend werden die rechtlichen Grundlagen zu geothermischen Techniken behandelt, woraufhin die bereits realisierten Anlagen rechtlich analysiert werden. Dadurch wird klar, welche Regelungen für die jeweilige Technik vorgesehen sind. Mit diesen Erkenntnissen kann beurteilt werden, ob eine thermische Nutzung des Untergrundes in Königsbronn rechtlich realisierbar ist. Anschließend werden Versorgungskonzepte für das Quartiersprojekt Königsbronn präsentiert und bewertet. Die Arbeit endet mit der Darstellung der Ergebnisse, einer Diskussion sowie einer Zusammenfassung.

Insgesamt betrachtet konzentriert sich diese Arbeit hauptsächlich auf die Energiegewinnung durch die thermische Nutzung des Untergrundes. Die Nutzung des Untergrundes als Wärmespeicherung wird nur nebensächlich behandelt.

Das aus dieser Arbeit resultierende Ergebnis kann genutzt werden, um geothermische Energiequellen zu bewerten, mit anderen Techniken zu vergleichen und letztendlich ein Gesamtkonzept für das Quartiersprojekt Königsbronn zu erstellen, welches letztendlich umgesetzt werden kann.

2 Projektbeschreibung und Ausgangslage

2.1 Quartiersprojekt Königsbronn

Die Energieversorgung des in Abbildung 1 umrandeten Quartiers soll bis 2050 mittels lokaler regenerativer Energiequellen und Abwärmenutzung zu 100 % Kohlenstoffdioxid (CO₂) neutral erfolgen.



Abbildung 1 Luftaufnahme von Königsbronn mit dem für das Projekt relevanten Quartier (gelb markiert) [4]

Um eine hundertprozentige Deckung der Wärmeversorgung zu erreichen sind parallel laufende Untersuchungen und Planungen mit folgenden Zielen durchzuführen:

Im ersten Schritt wird untersucht, ob der Wärmebedarf der Gebäude gesenkt werden kann, um letztendlich weniger Wärme produzieren zu müssen. Dafür wird mithilfe einer Umfrage der einzelnen Haushalte eine Bestandsaufnahme des Gesamtwärmebedarfs sowie des energetischen Zustands der einzelnen Haushalte durchgeführt und ausgewertet. Diese Umfrage (siehe Anhang A) wird von der Hochschule Aalen begleitet. Daraufhin können die optimalen Maßnahmen zur Verbesserung der Haushalte geplant und umgesetzt werden. Neben der Umfrage wurde das Ingenieurbüro Sattler beauftragt einige

Häuser im Quartier genauer zu betrachten, um einen energetischen Ist-Zustand der Gebäude zu erstellen. Mittels dieser Ergebnisse soll der Energiebedarf des gesamten Quartiers möglichst realistisch dargestellt und mögliche Energieeinsparmöglichkeiten aufgezeigt werden. [5]

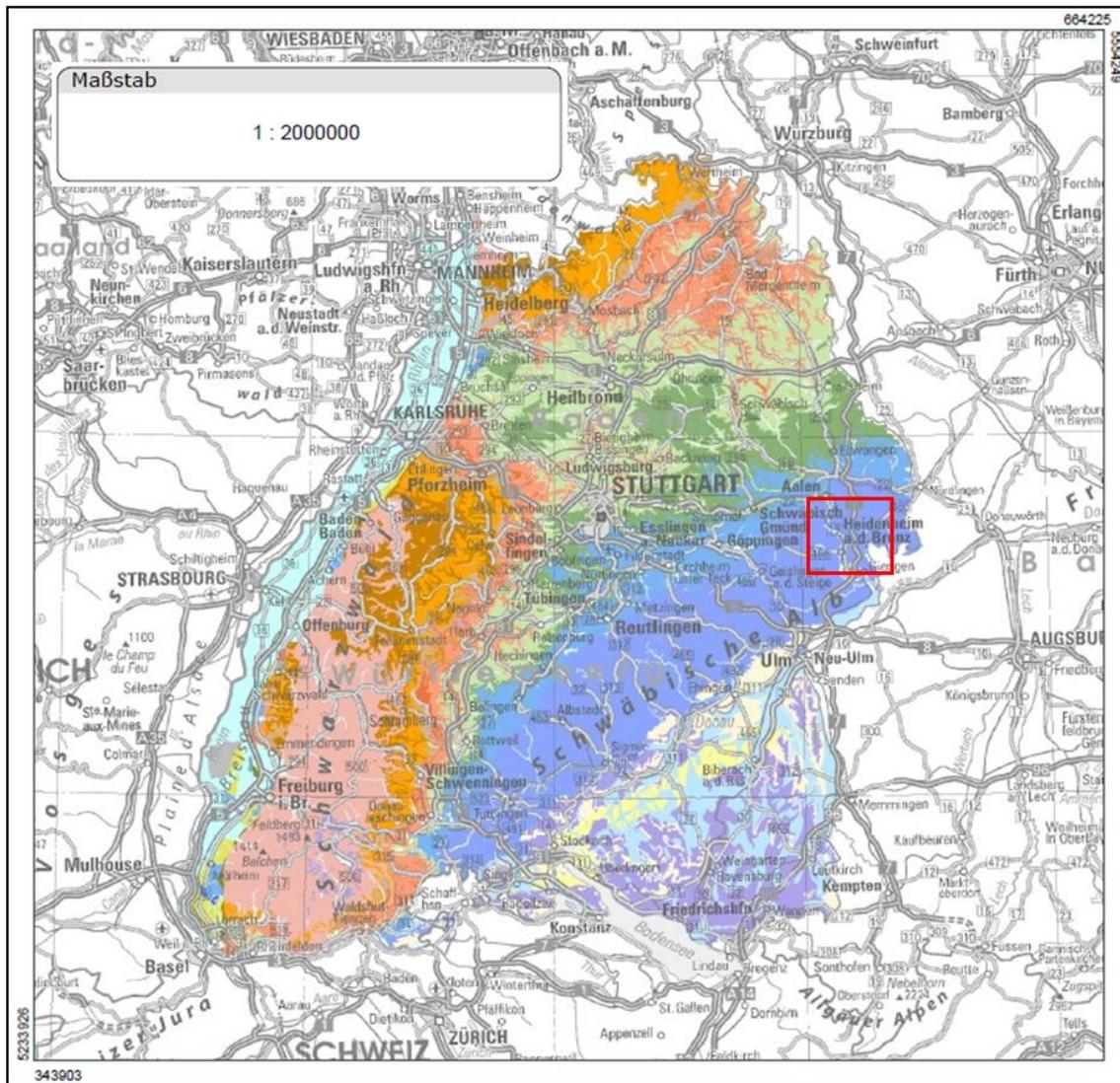
Um den Wärmebedarf zu decken, wurden ursprünglich regenerative Energien sowie die Abwärme der beiden vorhandenen Hüttenwerke in Betracht gezogen. Davon befindet sich eines innerhalb des Quartiers, sodass dessen Abwärme prinzipiell für das Quartier genutzt werden kann. Da allerdings diese Gießerei Insolvenz angemeldet hat, ist für dieses Projekt die Abwärmenutzung der Hüttenwerke nicht mehr vorgesehen, sodass nun das Ziel der hundertprozentigen CO₂-neutralen Wärmeversorgung allein mit erneuerbaren Energien bewerkstelligt werden soll. Dabei werden verschiedene Energiequellen, wie beispielsweise die Solarthermie, auf Realisierbarkeit geprüft und daraus Konzepte erarbeitet. Eine mögliche Energiequelle ist die Geothermie, welche thermische Energie aus dem Untergrund bezieht. Die Untersuchung, ob die Nutzung dieser Energiequelle in einem Wasserschutzgebiet prinzipiell möglich ist, erfolgt in dieser Arbeit. [4]

2.2 Hydrogeologische Bestandsaufnahme im Landkreis Heidenheim

Wie in Abbildung 2 zu erkennen ist, befindet sich der Landkreis Heidenheim und somit auch Königsbronn im Bereich des Oberjuras, der größtenteils aus Carbonatgestein besteht [6]. Sobald Wasser (H₂O) und Kohlendioxid (CO₂) im Niederschlag aufeinander treffen, bildet sich Kohlensäure (H₂CO₃). Wenn diese Kohlensäure auf das Carbonatgestein trifft, kann sich Calciumhydrogencarbonat (Ca(HCO₃)₂) bilden und in Wasser dissoziieren, sodass sich im Gestein Klüfte und Hohlräume bilden. Durch diesen Prozess, der Verkarstung, liegen im Landkreis Heidenheim verkarstete Gesteine vor [7].

Durch die entstandenen Klüfte und Hohlräume im Gestein kommt es zu einer schnellen Versickerung des Oberflächenwassers. Die darin enthaltenen Schadstoffe bzw. Verunreinigungen können somit in das Grundwasser eingetragen werden [8]. Das Grundwasser hat in derartigen Gebieten eine hohe Fließgeschwindigkeit, sodass eingeleitete Schadstoffe sich sehr schnell ausbreiten können. Dies hat zur Folge, dass die Eindämmung der Folgen eines Schadstoffeintrages schwer zu realisieren ist [8]. Daher werden Karstgebiete als Wasserschutzgebiete ausgewiesen, weshalb dort die Regelungen eines Wasserschutzgebietes gelten. Diese werden im Kapitel 4 und 5 für das Wasserschutzgebiet im Landkreis Heidenheim ausführlich dargestellt.

Durch die hohe Durchlässigkeit des Gesteins, gelangt der Hauptteil des Abflusses ins Grundwasser. Die vorhandenen Oberflächengewässer haben deshalb eine geringe Wasserführung. In Königsbrunn bzw. dem Landkreis Heidenheim ist die Brenz der größte Flusslauf. Dieser entspringt in Königsbrunn und mündet bei Lauingen in die Donau [9].



HÜK350: Hydrogeologische Einheiten

Grundwasserleiter (GWL), Grundwassergeringleiter (GWG)

- Quartäre Becken- und Moränensedimente (GWG)
- Quartäre/Pliozäne Kiese und Sande (GWL)
- Fluvioglaziale Kiese und Sande des Alpenvorlands (GWL)
- Jungquartäre Flusskiese und -sande (GWL)
- Junge Magmatite (GWG)
- Tertiär im Oberrheingraben (GWG)
- Obere Meeresmolasse (GWL/GWG)
- übrige Molasse (GWG)
- Oberjura, schwäbische Fazies (GWL)

- Oberjura, rauracische Fazies (GWL)
- Mittel- und Unterjura (GWG)
- Oberkeuper und Oberer Mittelkeuper (GWL/GWG)
- Gipskeuper und Unterkeuper (GWL/GWG)
- Oberer Muschelkalk (GWL)
- Mittlerer Muschelkalk (GWG)
- Unterer Muschelkalk (GWL)
- Oberer Buntsandstein (GWL/GWG)
- Mittlerer und Unterer Buntsandstein (GWL)
- Paläozoikum, Kristallin (GWG)
- Trias, ungegliedert (GWL/GWG)

Abbildung 2 Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg mit dem relevanten Bereich (rot markiert) [6]

In Hinblick auf das Quartiersprojekt Königsbronn zeigt Abbildung 3 eine Detailansicht der hydrogeologischen Situation. Dabei wird nochmals verdeutlicht, dass das Gebiet mit der Schicht des Oberjuras und somit mit Kalkgestein ausgebildet ist. Allerdings ist ebenso zu erkennen, dass sich von Königsbronn über Itzelberg bis unterhalb von Heidenheim quartäre Kiese und Sande erstrecken, die sich aufgrund der dort fließenden Brenz abgelagerten. Explizit auf das relevante Quartier bezogen (in Abbildung 3 rot umrandet) befindet sich circa ein Drittel des Quartiers genau in dieser Schicht des quartären Kieses. [6]

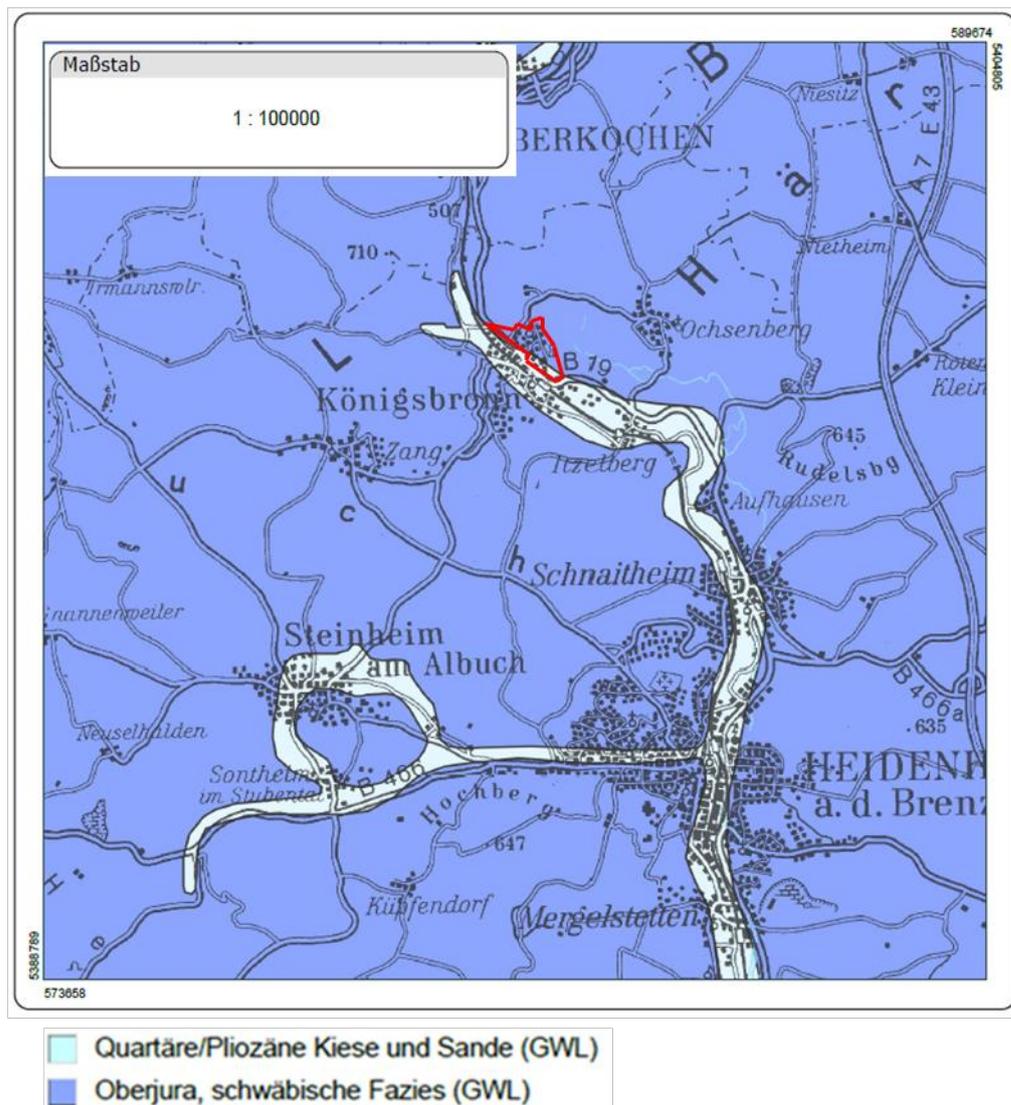


Abbildung 3 Hydrogeologische Karte im Landkreis Heidenheim mit Königsbronn und dem relevantem Quartier (rot umrandet) [6]

3 Geothermische Techniken

Die thermische Nutzung der Erdwärme aus dem Untergrund ist mit vielen Techniken möglich. Da das Ziel dieser Arbeit ist, Aussagen über Nutzungsmöglichkeiten geothermischer Techniken zu bekommen, werden diese in diesem Kapitel zunächst vorgestellt und erläutert.

3.1 Erdwärmesonden

Erdwärmesonden (EWS) werden vor allem zur Erschließung oberflächennaher Geothermie eingesetzt. Dabei wird üblicherweise ein Doppel-U-Rohr in den Untergrund eingebracht, um eine Wärmeträgerflüssigkeit darin zirkulieren zu lassen (siehe Anhang B Abbildung 23) [10]. Dieses Medium erwärmt sich im Untergrund, da dort ab 15 m Tiefe ganzjährig eine konstante Temperatur vorherrscht, die bei tiefer werdenden Schichten mit circa 3 °C pro 100 m zunimmt [11]. Diese Wärme wird beispielsweise verwendet, um eine Wärmepumpe anzutreiben (siehe Kapitel 3.2). Auch im Winter, wenn der Wärmebedarf am höchsten ist, kann dem Untergrund konstant Wärme entzogen werden [10]. Hier liegt der Vorteil gegenüber anderen Techniken, wie beispielsweise der Solarthermie, bei denen dies nicht der Fall ist.

3.2 Grundwasserwärmepumpe

Bei Grundwasserwärmepumpen wird die Wärmeenergie direkt aus dem Grundwasser entnommen. Dabei wird das Grundwasser mittels eines Entnahmebrunnens entnommen, über einen Wärmetauscher geleitet und wieder über einen Infiltrationsbrunnen in die gleiche Grundwasserebene zurückgeführt. Wenn die Anlage zum Kühlen eingesetzt wird, wird das Grundwasser erwärmt, beim Einsatz zu Heizzwecken wird dem Grundwasser Wärme entzogen. Dieser Energietransport treibt eine Wärmepumpe an, dessen Funktionsprinzip in Kapitel 3.5 erklärt wird. [10]

3.3 Erdwärmekollektoren

Im Allgemeinen sind Erdwärmekollektoren Rohre aus Polyethylen (PE), die in einer Tiefe von ein bis zwei Metern verlegt werden. Da in dieser geringen Tiefe des Untergrundes die Bodentemperatur abhängig von der Außentemperatur ist, ist die eigentliche Energiequelle die solare Einstrahlung, welche den Boden erwärmt. Mittels eines Wärmeträgermediums, welches meist aus einem frostsicheren Glykol-Wasser-Gemisch besteht, kann die im Boden gespeicherte Solarenergie an das Wärmeträgermedium abgegeben werden. Das er-

wärmte Wärmeträgermedium transportiert die Energie schließlich zum Wärmeabnehmer, beispielsweise einer Wärmepumpe. Die Kollektorfläche darf aufgrund des Beschädigungsrisikos nicht bebaut werden. Die Kolleortypen umfassen mehrere Ausführungen, die folgend beschrieben sind. [10]

Flächen- und Grabenkollektor

Flächenkollektoren sind horizontal verlegte Schleifen, die mit dem Wärmeträgermedium durchflossen werden (siehe Anhang B Abbildung 24) und aus Kunststoff oder Kupfer bestehen können [10]. Diese Technik hat einen großen Platzbedarf. Eine Anwendung der Flächenkollektoren sind die Kapillarrohrmatten aus Kunststoffrohren, die nebeneinander liegen und orthogonal zur Grundwasserfließrichtung fixiert werden. Dabei ergibt sich eine Rohrmatte, die in die vorgesehene Bodenebene eingebaut werden kann. Dies hat den Vorteil eines vereinfachten Einbaus sowie eines effizienten Energieentzugs des Bodens durch die festgelegten Abstände zwischen den Rohrleitungen. Eine andere Variante der Flächenkollektoren ist der Grabenkollektor, der statt auf einer größeren Fläche in einem Graben verlegt wird, der 0,5 bis 1,5 m tief ist. Diese Modifizierung hat den Vorteil des geringeren Platzbedarfs (siehe Anhang B Abbildung 26), da die Rohre einen kleineren Abstand zueinander besitzen.[10]

Erdwärmekorb

Erdwärmekörbe sind spiralförmig aufgewickelte Rohrleitungen, meist PE-Rohre (siehe Anhang B Abbildung 27). Das Wärmeträgermedium zirkuliert in den spiralförmigen Rohren nach unten und mittig im Korb zurück nach oben zu einem Wärmetauscher. Durch die Richtung der Zirkulation werden die Temperaturschwankungen des Bodens perfekt ausgenutzt, sodass die Energie im Winter zum Heizen und im Sommer zum Kühlen verwendet werden kann. Diese Technik beruht darauf, dass der Boden am Fuße des Erdwärmekorbes im Winter wärmer und im Sommer kälter ist als am oberen Ende des Korbes. [10]

Wenn eine Vielzahl von Erdwärmekörben gebaut werden soll, ist ein Abstand, beispielsweise 4 m, zwischen den einzelnen Körben notwendig. Andernfalls würde die Effizienz eines Erdwärmekorbes nachteilig beeinflusst werden. [12]

Direktverdampfersysteme

Direktverdampfersysteme, wie beispielsweise Verdampferkollektoren ist eine Technik, die genauso aufgebaut ist wie andere Erdwärmekollektoren. Jede Technik kann dabei als Direktverdampfersystem eingesetzt werden. Der Unterschied zu den anderen Techniken besteht lediglich darin, dass ein anderes Wärmeträgermedium verwendet wird, zum Beispiel Propan. Das hat den Vorteil, dass das Wärmeträgermedium bereits bei geringen

Temperaturanstiegen verdampft, wodurch das Medium eigenständig voran getrieben wird. Dieses zirkuliert dabei durch die Erdwärmekollektoren sowie durch die direkt verbundene Wärmepumpe. Der Aufbau und der Betrieb sind äquivalent zu den restlichen Erdwärmekollektoren.[13]

3.4 Energiepfähle und erdberührende Betonbauteile

In dem Untergrund eingebaute Elemente, wie beispielsweise Fundamente, Gründungspfähle, Garagen oder Tunnel können als Wärmetauscher gestaltet und errichtet werden. Dabei werden Rohrleitungen in die dementsprechenden Bauteile eingebaut, sodass die Energie des Untergrundes auf das durchfließende Wärmeträgermedium übertragen werden kann (siehe Anhang B, Abbildung 28). [10]

Wenn es sich bei dem Bauteil um einen Gründungspfahl handelt, nennt man die Kombination aus Wärmetauscher und Gründungspfahl Energiepfahl. Diese Art von Technik ist vor allem bei großen Neubauten von Gebäuden geeignet. [10]

3.5 Wärmepumpenprinzip - Kompressionswärmepumpen

Die beschriebenen Techniken werden üblicherweise mit Wärmepumpen kombiniert. Daher wird folgend das Prinzip einer Kompressionswärmepumpe erläutert.

Die Wärmepumpe besitzt einen Wärmetauscher, der die Energie aus einem externen Wärmeträgermedium, beispielsweise dem Grundwasser, aufnimmt und an das in der Wärmepumpe zirkulierende Medium, auch Kältemittel genannt, abgibt. Durch die Energie- bzw. Wärmeaufnahme verdampft das Kältemittel, wie in Abbildung 4 unter Schritt 1 zu erkennen ist. Der entstandene Dampf wird weiter zum Kompressor geleitet, in dem das Medium verdichtet wird, wie im zweiten Schritt der Abbildung 4 zu sehen ist. Dadurch steigen Druck und Temperatur des Kältemitteldampfes an. Dieser energiereiche Dampf wird zum nächsten Wärmetauscher, dem Verflüssiger, weitergeleitet. Dort gibt der Dampf seine Wärme ab und kondensiert (siehe Abbildung 4 Schritt 3). Die abgegebene Wärme kann für sämtliche Heizzwecke verwendet werden, indem diese Wärme auf ein anderes Wärmeträgermedium, beispielsweise Wasser, übertragen wird. Dieses Wärmeträgermedium kann zum Beispiel eine Fußbodenheizung durchlaufen und erwärmen. In der Wärmepumpe ist nach der Kondensation immer noch ein erhöhter Druck vorhanden. Erst beim Durchlaufen der nächsten Armatur, dem Drosselventil, sinkt der Druck der Flüssigkeit auf dessen Urzustand, da diese eine Querschnittsverengung überwinden muss (siehe Abbildung 4 Schritt 4). Das flüssige

und entspannte Medium wird nun wieder zurück zum Verdampfer geleitet, sodass ein geschlossener Kreislauf entsteht. [14]

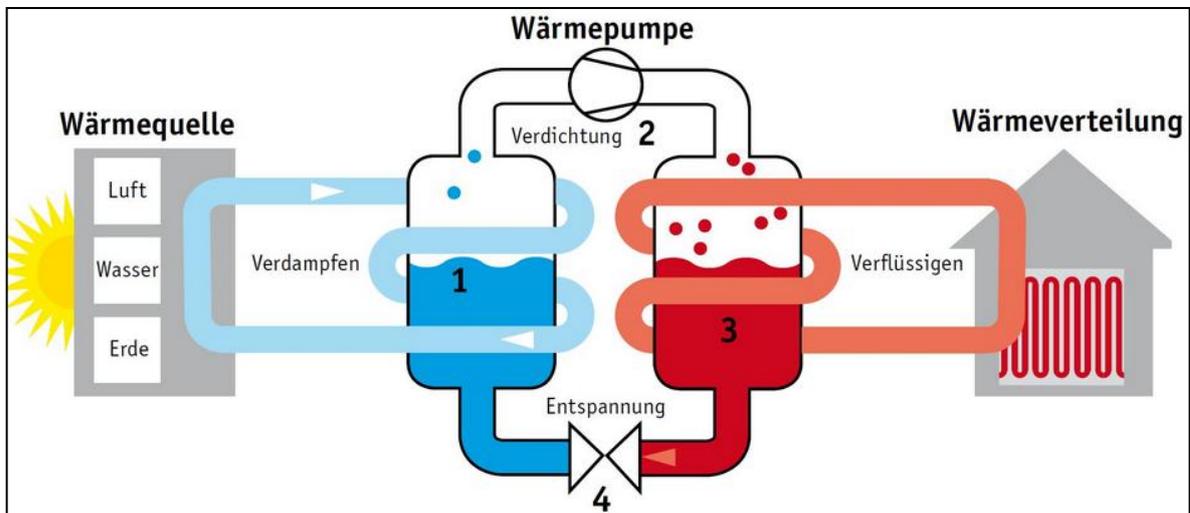


Abbildung 4 Schematisch dargestellte Funktionsweise einer Wärmepumpe[15]

4 Rechtliche Grundlagen

Nachdem die geothermischen Techniken erläutert wurden, wird nun eine rechtliche Analyse der Nutzung des Untergrundes durchgeführt. Dabei wird in diesem Kapitel zunächst eine allgemeine Bestandsaufnahme der rechtlichen Grundlagen erläutert.

4.1 Wasserschutzgebiet (WSG) - Definition und Schutzzonen

Ein Wasserschutzgebiet schützt das vorhandene Grundwasser und somit auch das Trinkwasser. Dazu unterliegen diese Zonen strengen Vorschriften, sodass eine thermische Nutzung des Untergrundes bzw. des Grundwassers dieser Gebiete nur mit speziellen Nebenbedingungen umsetzbar ist, die in Kapitel 4.2 und 5 erläutert werden. Die Form der Einschränkungen variiert zwischen den drei vorhandenen Schutzzonen I, II und III.

- Die Schutzzone I ist auf den Bereich beschränkt, in dem das Grundwasser unmittelbar gewonnen wird. Daher sind dort im Regelfall keine Eingriffe erlaubt[16].
- Die Schutzzone II ist die engere Schutzzone und gilt als Schutzzone für einen bakteriologischen Eintrag. Diese Zone wird mithilfe der 50-Tage Linie bemessen, was bedeutet, dass von dem äußersten Punkt der Schutzzone das Grundwasser 50 Tage Fließzeit benötigt, um in die Trinkwasserförderung zu gelangen. In diesem Bereich ist beispielsweise ein Ausbringungsverbot von Gülle vorhanden. [16]
- Die Schutzzone III umfasst das Gesamteinzugsgebiet der genutzten Trinkwasserfördereinrichtung. In dieser Zone sind die Regelungen deutlich weniger streng als in Schutzzone I oder II, dennoch gelten besondere Bestimmungen und Verbote, die in Kapitel 4.2 und 5 dokumentiert sind. [16]

Da im Landkreis Heidenheim mit verkarstem Gestein zu rechnen ist (siehe Kapitel 2.2), sind 97 % des Landkreises als Wasserschutzgebiet ausgewiesen [16]. Wie in Abbildung 5 zu sehen, liegt das für das Quartiersprojekt Königsbronn relevante Quartier in der Wasserschutzzone III und unterliegt daher deren Bestimmungen. Dabei wurde nochmals in die Abschnitte IIIA und IIIB unterteilt. Die beiden am Quartier nächstgelegenen Trinkwasserentnahmen der Zone I sind in Abbildung 5 blau umrandet. Laut der Unteren Wasserbehörde handelt es sich hierbei um die zwei Itzelberger Brunnen, die der Zwecksverband Härtsfeld-Albuch Wasserversorgung unterliegen[17].

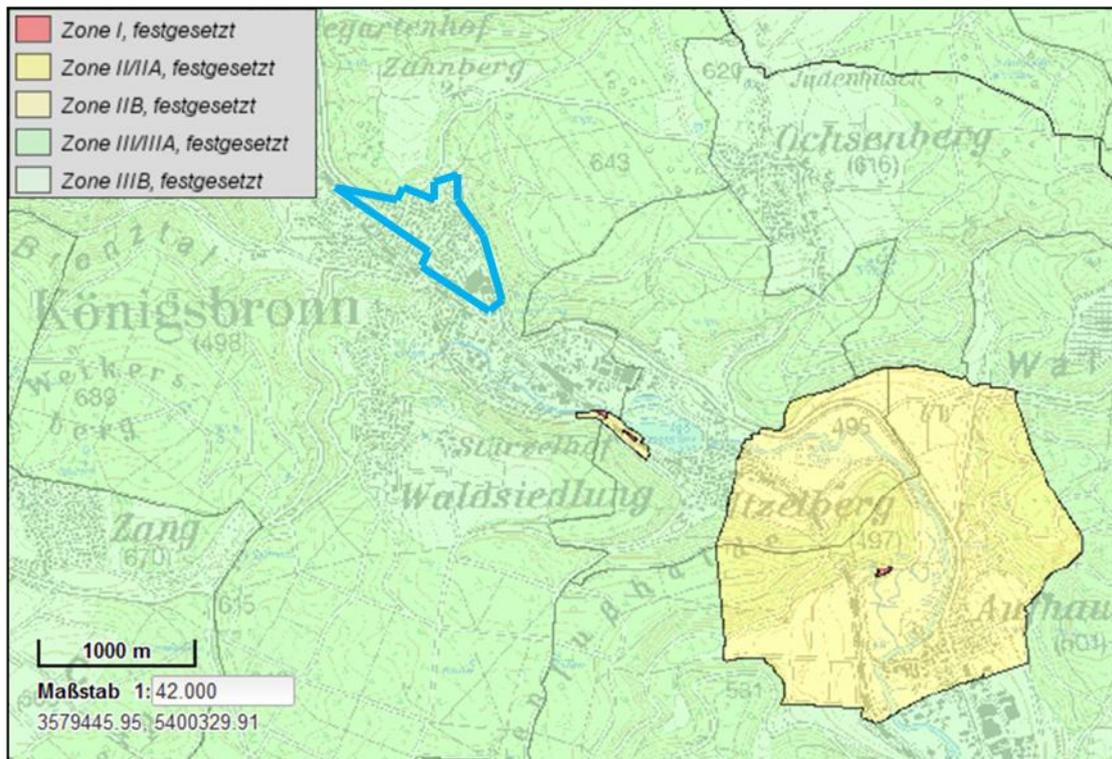


Abbildung 5 Wasserschutzzonekarte der Gemeinde Königsbronn mit blau umrandetem Quartier [16]

4.2 Relevante Vorschriften in einem Wasserschutzgebiet

Im Wasserschutzgebiet gelten Regelungen für die Geothermie, um das Grundwasser und somit die Trinkwasservorräte zu schützen. Beispielsweise sind Tiefenbohrungen, d.h. Bohrungen größer als 400 m Tiefe [18], verboten[16].

Die bundesweit geltenden Gesetze und Bedingungen für Wasserschutzgebiete sind in der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) beschrieben. Für Baden-Württemberg gilt zusätzlich das Wassergesetz (WG), und explizit für den Landkreis Heidenheim im Brenztal die Rechtsverordnung des Wasserschutzgebietes Brenztal. Neben der WRRL und dem WHG kann für die Nutzung der Geothermie das Berggesetz relevant werden. Dieses tritt in Kraft, sobald eine Bohrung tiefer als 100 Meter oder die Anlage grundstücksübergreifend ist. Die einzelnen relevanten Abschnitte der jeweiligen Gesetze und Bestimmungen werden folgend behandelt.

Die Basis der geltenden wasserrechtlichen Bestimmungen wird in der europaweit geltenden Wasserrahmenrichtlinie beschrieben. Diese ist in drei Ziele aufzuteilen[19]:

- Der gute ökologische und chemische Zustand der Oberflächengewässer,
- Das gute ökologische und chemische Potential bei erheblich veränderten Oberflächengewässern (HMWB - Heavy modified water body)
- Der gute ökologische und chemische Zustand des Grundwassers.

Zur Einhaltung des zuletzt aufgezählten Ziels wurde eine grundsätzliche Bestimmung erlassen, die besagt, dass bei der Grundwasserentnahme die Regenerationszeit, also die Grundwasserneubildungsrate, nicht überschritten werden darf. Dadurch wird gewährleistet, dass das Grundwasservorkommen nicht reduziert wird. [19]

Im deutschen Recht gilt zusätzlich das WHG. Der § 13a Abs. (1) Satz 2 des WHGs besagt, dass in einem Wasserschutzgebiet die Erlaubnis für bestimmte Gewässerbenutzungen nicht gegeben ist. Diese bestimmten Gewässernutzungen beziehen sich auf §9 Abs. (2) und beinhalten das Aufbrechen von Gesteinen unter hydraulischem Druck zur Gewinnung von Erdwärme und Erdöl. Dies bedeutet, dass das sogenannte Fracking (hydraulische Frakturierung), also eine Risserzeugung im Untergrund, nicht gestattet ist [20]. Eine derartige Technik ist für das Quartiersprojekt Königsbronn ohnehin nicht relevant.

Im WHG §52 Abs. (1) ist ebenso dokumentiert, dass eine regionale Rechtsverordnung ein Wasserschutzgebiet festlegt und darin Verbote und Einschränkungen beschreibt. Daher ist die Rechtsverordnung des Brenztals die entscheidende Rechtsgrundlage, die sämtliche Maßnahmen vor Ort regelt.[20]

Diese Rechtsverordnung des Regierungspräsidiums Stuttgart vom 14. Dezember 1977 für das Brenztal gibt zunächst im §3 Abs (2) an, dass die Untere Wasserbehörde des Landratsamtes Heidenheim die zuständige Behörde ist, welche die Bedingungen, Verbote und Entscheidungen vorgibt. Außerdem ist dokumentiert, dass prinzipiell alle Anlagen verboten sind, die den Wasserkörper nachteilig beeinflussen. **Daher sind sämtliche Bohrungen und Eingriffe in den Untergrund prinzipiell verboten.** [21]

Allerdings ist in der Rechtsverordnung des Brenztals zusätzlich beschrieben, dass die zuständige Untere Wasserbehörde die jeweilige Anzeige prüft und Ausnahmen des Verbotes genehmigen kann. Diese unterliegen allerdings ebenfalls §3 Abs. (2) der Rechtsverordnung des Brenztals, sodass Ausnahmen nur zu begünstigen sind, wenn keine nachteiligen Veränderungen der Wasserkörper zu befürchten sind[21]. Um eine solche Ausnahmege-

nehmigung zu erhalten, müssen für jede zu bauende Technik Bestimmungen eingehalten werden, welche in Kapitel 5 beschrieben werden.

Neben der Ausnahmeregelung gibt es auch Verbote und Regeln, die in §§4 und 5 der Rechtsverordnung des Brenztals beschrieben sind. Diese werden nachfolgend erläutert.

Im §4 Abs. (1) der Rechtsverordnung stehen Verbote für die weitere Schutzzone (Schutzzone III), welche für Königsbronn gelten. Zunächst werden das Einleiten, sowie das Versickern von biologisch abbaubaren, die nicht ausreichend biologisch gereinigt sind, und nicht biologisch abbaubaren Substanzen oder von giftigen Abwässern in ein Oberflächengewässer verboten. Außerdem sind sämtliche "Handlungen [verboten], die das Eindringen von [...] wassergefährdenden Stoffen in das Erdreich, in Wasserläufe oder in das Grundwasser ermöglichen" [21].

Eine weitere Regelung in §4 Abs.1 f) gibt an, dass der Rohrleitungsbau für wassergefährdende Stoffe verboten ist, außer es sind ausreichende Schutzvorrichtungen getroffen worden, die das Entweichen der Stoffe in das Erdreich ausschließen[21]. Diese Sicherheitsvorkehrungen sind in der Rechtsverordnung nicht weiter beschrieben, daher werden diese von der Unteren Wasserbehörde festgelegt. Laut dieser Behörde müssen Rohrleitungen, sobald diese unterirdisch verlaufen, doppelwandig und mit einem selbstanzeigenden Warnsystem für Leckagen ausgestattet sein[17].

Einzelne Ausnahmeregelungen, bezogen auf die jeweilige geothermische Technik, sind in der Rechtsverordnung des Brenztals nicht vorhanden, da dieses Schreiben aus dem Jahre 1977 stammt. Der Stand der geothermischen Techniken war damals noch nicht so weit fortgeschritten wie heute, daher bestimmt die Untere Wasserbehörde die Regelungen einzelner Techniken. Einige dieser Regelungen sind bereits vom Umweltministerium Baden-Württemberg in den Leitfäden der einzelnen Techniken beschrieben worden, welche als Orientierung der Unteren Wasserbehörde gelten [17]. Um letztendlich eine Anlage zur Erdwärmennutzung bauen zu können, müssen daher die Bestimmungen der Unteren Wasserbehörde eingehalten werden, um eine Ausnahme des Verbots zu bewirken. Die zu erfüllenden Bedingungen sind im Kapitel 5 "Analyse und Vergleich bereits realisierter Anlagen" aufgeführt.

5 Analyse und Vergleich bereits realisierter Anlagen

In diesem Kapitel werden bereits realisierte geothermische Techniken im Landkreis Heidenheim an der Brenz betrachtet. Dabei wird für jede Technik erläutert, welche notwendigen Bedingungen erforderlich sind, um eine Ausnahme des Nutzungsverbots des Untergrundes nach Rechtsverordnung des Brenztals zu erhalten. Anschließend wird betrachtet, ob diese Bedingungen in Königsbronn gegeben sind.

5.1 Realisierte Anlagen im Landkreis Heidenheim im Wasserschutzgebiet

Im Landkreis Heidenheim befinden sich trotz Wasserschutzgebiet einige geothermische Anlagen sowie grundwassernutzende Anlagen, die in Abbildung 6 und Abbildung 7 dargestellt sind.

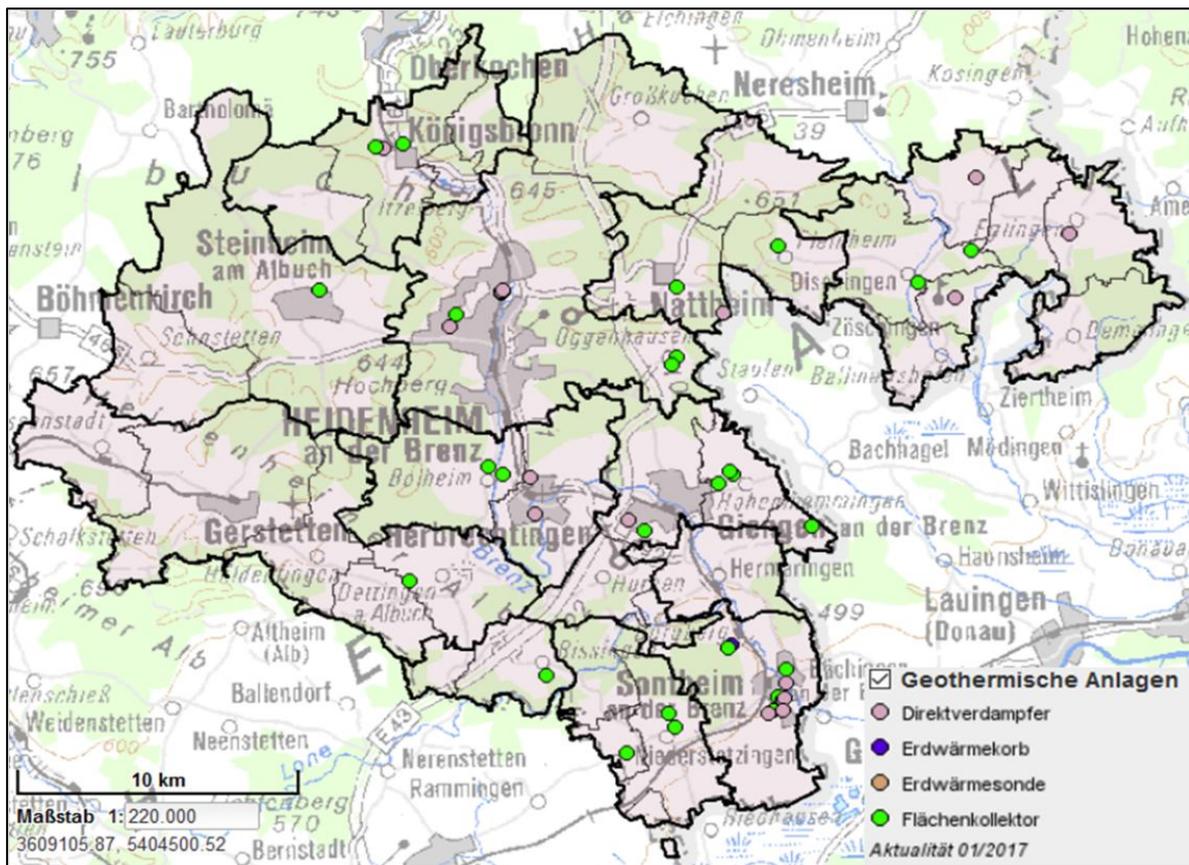


Abbildung 6 Geothermische Anlagen im Landkreis Heidenheim[9]

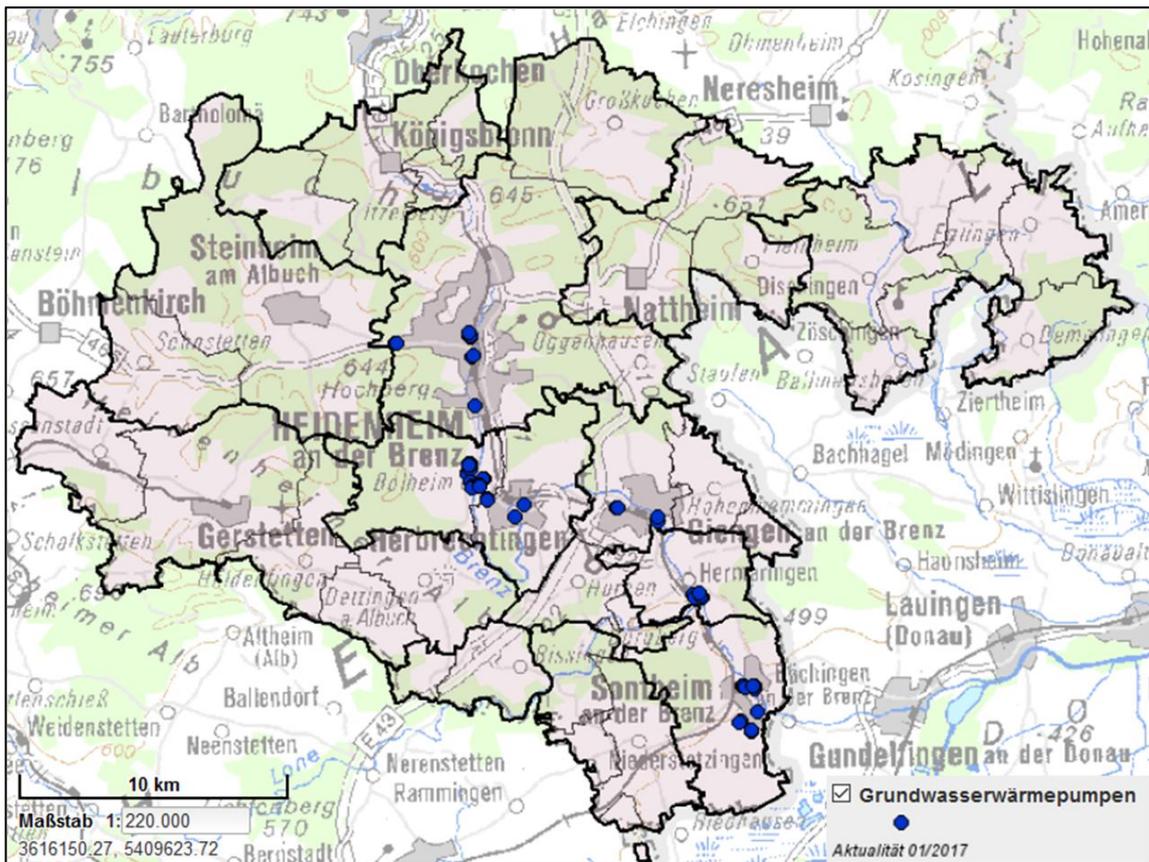


Abbildung 7 Landkreis Heidenheim mit eingezeichneten Grundwasserwärmepumpen[9]

Abbildung 7 zeigt, dass die meisten Grundwasserwärmepumpen im Verlauf der Brenz gebaut wurden. Außerdem wurden viele Flächenkollektoren sowie Direktverdampferkollektoren umgesetzt, wie in Abbildung 6 zu erkennen ist. Erdwärmesonden sind in dieser Grafik allerdings nicht vorhanden, obwohl die untere Wasserbehörde die Existenz einer Erdwärmesonde in Niederstotzingen bestätigte [17].

In Tabelle 1 wurde die Anzahl vorhandener Anlagen dokumentiert. Diese Werte wurden dem Geoportal des Landratsamtes Heidenheim sowie den Aussagen der Unteren Wasserbehörde entnommen.

Anlage	Anzahl im Landkreis Heidenheim
Grundwasserwärmepumpe	78
Direktverdampfer	14
Erdwärmekorb	1
Erdwärmesonde	1
Flächenkollektor	28

Tabelle 1 Zusammenstellung der vorhandenen geothermischen Anlagen im Landkreis Heidenheim [17] [9]

Da Eingriffe in den Untergrund laut der geltenden Rechtsverordnung in einem Wasserschutzgebiet verboten sind, wurden demnach die in Tabelle 1 genannten Anlagen mit einer Ausnahmeregelung bewilligt. Für derartige Ausnahmeregelungen sind vor allem hydrogeologische Bedingungen notwendig, die in den folgenden Kapiteln für die jeweiligen Techniken beschrieben sind.

5.1.1 Erdwärmesonden

Bedingt durch das im Untersuchungsgebiet vorherrschende Karstgebiet und die damit verbundenen Schadstoffeinträge, ist der Bau von Erdwärmesonden in einem Wasserschutzgebiet verboten. Speziell bei der Bohrung für die Erdwärmesonden können Spülverluste, Zementationsverluste und mikrobielle Verunreinigungen leicht ins Grundwasser gelangen [22]. Trotz alledem wurde eine private Erdwärmesonde im Landkreis Heidenheim genehmigt. Demzufolge gibt es bestimmte Umstände unter denen eine Erdwärmesonde erbaut werden darf.

Die dafür notwendige Voraussetzung ist das Vorhandensein eines Grundwassergeringleiter oder die Lage außerhalb eines genutzten Grundwasserleiters [18]. Laut der Unteren Wasserbehörde ist außerdem notwendig, dass keine Klüfte oder Hohlräume im vorgesehenen Untergrund vorhanden sind. Das bedeutet, dass kontinuierliches Locker- oder Festgestein notwendig ist, um eine Erdwärmesonde bauen zu können. Allerdings ist dafür ein hydrogeologisches Gutachten verpflichtend, welches vom Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) Baden-Württemberg geprüft werden muss [22].

Da diese Umstände selten im Landkreis Heidenheim auftreten, ist laut der unteren Wasserbehörde prinzipiell von einer Erdwärmesonde abzuraten. Aus wirtschaftlicher Sicht ist außerdem zu berücksichtigen, dass aufgrund der von einem Fachunternehmen durchzuführenden Probebohrung bereits im Vorfeld Mehrkosten entstehen, ohne Garantie die Anlage letztendlich bauen zu dürfen. [17]

5.1.2 Grundwasserwärmepumpen

Wie Tabelle 1 verdeutlicht, sind Grundwasserwärmepumpen im Landkreis Heidenheim bereits über siebzig Mal genehmigt und erbaut worden. Die Bedingungen für den Bau einer Grundwasserwärmepumpe im Wasserschutzgebiet, explizit im Brenztal, sind nachfolgend dokumentiert.

Um das Trinkwasser zu schützen, darf unter keinen Umständen die jeweils genutzte Grundwasserleiterschicht verwendet werden. Da sich allerdings entlang des Verlaufs der Brenz im Laufe der Zeit eine quartäre Kiesschicht gebildet hat, existieren dort zwei Schichten an Grundwasserleitern (siehe Abbildung 3). Da nur die untere grundwasserleitende Schicht als Trinkwasserquelle genutzt wird, gibt es im Landkreis Heidenheim die Ausnahmeregelung, dass die obere Kiesschicht mittels einer Grundwasserwärmepumpe verwendet werden darf. [17]

Wenn derartige Standorte gefunden wurden, müssen weitere Auflagen erfüllt werden. Die wichtigsten Vorschriften, die im Brenztal gelten, sind im Folgenden aufgelistet. Weitere Auflagen, die für die Arbeit keine Relevanz besitzen, sind dem Anhang C zu entnehmen.

- Zunächst muss der Aufbau der Anlage mit einem Zwischenkreislauf zwischen dem Wärmepumpenkreislauf und dem Grundwasserkreislauf ausgestattet sein, welcher reines Wasser führt. Dadurch ist die Gefahr eines Eintrages von wassergefährdenden Stoffen in das Grundwasser minimiert[22].

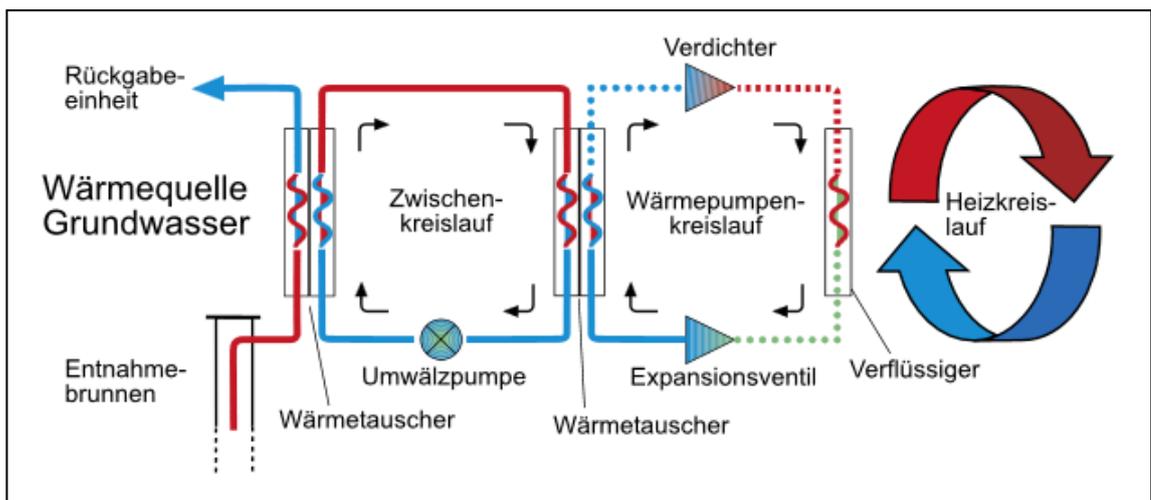


Abbildung 8 Schematische Darstellung eines Zwischenkreislaufes zwischen Grundwasser- und Wärmepumpenkreislauf in einem Wasserschutzgebiet[22]

In Abbildung 8 wurde ein solcher Zwischenkreislauf schematisch dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass das entnommene Grundwasser über einen Wärmetauscher Energie abgibt, sodass das Wasser des Zwischenkreislaufes erwärmt wird. Wenn eine Grundwasserwärmepumpe zum Kühlen eingesetzt werden soll, dann würde die Wärme vom Zwischenkreislauf zum Grundwasserkreislauf transportiert werden. Das erwärmte bzw. gekühlte Zwischenkreislaufwasser steht dann über Wärmetauscher im Austausch mit dem Wärmepumpenkreislauf. Im Falle der Heizungsnutzung wird daher die Wärme des Zwischenkreislaufwassers auf das Wärmepumpenmedium übertragen. Der Zwischen-

kreislauf mit Wasser ermöglicht eine Nutzung der Wärmepumpe ohne das Risiko das Grundwasser, beispielsweise durch Schadstoffeinträge, negativ zu beeinflussen.[22]

- Außerdem ist darauf zu achten, dass zwischen dem kompletten System zur Wärmenutzung keine Verbindung zum öffentlichen Wasserleitungsnetz vorhanden ist. Dadurch ergibt sich ein geschlossenes System der Wärmenutzung des Grundwassers, welches ersichtlich markiert werden muss, um Verwechslungen mit anderen Leitungssystemen ausschließen zu können. [23]
- Des Weiteren darf nur das entnommene Grundwasser wieder in den Aquifer, die grundwasserleitende Schicht, eingeleitet werden. Daher muss die Entnahmemenge mit dem einzuleitenden Wasser übereinstimmen. Zudem dürfen dessen Eigenschaften nicht verändert werden. Beispielsweise dürfen keine Zusatzstoffe, wie Korrosionsschutzmittel, in den Kreislauf gegeben werden.[23]
- Eine weitere Auflage ist, dass im Landkreis Heidenheim die Entnahme des Grundwassers beschränkt ist, wobei eine genaue Entnahmemenge individuell festgelegt wird. Nach Aussagen der Unteren Wasserbehörde sind 5 L/s eine Fördermenge, die im Regelfall erlaubt wird[17]. Zusätzlich darf das genutzte Grundwasser eine maximale Temperaturdifferenz zwischen Entnahme und Infiltration von 5 °C haben. Dies gilt bei Anlagen zu Heizzwecken sowie für Kühlzwecke [17]. Dabei ist außerdem zu beachten, dass das einzuleitende Wasser eine Mindesttemperatur von 5 °C besitzen muss[23].
- Grundsätzlich darf nur das oberste Grundwasserstockwerk verwendet werden, was durch einen Pumpversuch nachgewiesen werden muss. Da im Brenzverlauf des Landkreises Heidenheim nur die obere Kiesschicht als eine geeignete Grundwasserschicht akzeptiert wird, ist diese Auflage prinzipiell erfüllt. [22]
- Die entnommenen Grundwassermengen dürfen nur dem Zweck der Anlage dienen, also dem Betreiben der Wärmepumpe. [23]
- Zusätzlich ist zu beachten, dass die Anlage immer in einwandfreiem Zustand ist. Außerdem müssen alle Änderungen der Anlage mit der Unteren Wasserbehörde abgestimmt werden. Darunter fallen auch Änderungen im Verwendungszweck sowie in der Betriebsweise. Nur wenn die zuständige Behörde zustimmt, können Änderungen realisiert werden.[23]
- Bei Betriebsstörungen, die sich negativ auf das Grundwasser auswirken können, muss die Untere Wasserbehörde davon unterrichtet werden. Außerdem sind im Vorfeld bereits Sicherheitsvorkehrungen vorzusehen, welche den Betrieb der Anlage stilllegen,

sobald im Rückgabebrunnen der Abstand der Brunnenoberkante zur Wasseroberfläche von 0,7 m unterschritten wird. Damit wird ein Überlaufen des Rückgabebrunnens verhindert. [23]

- Außerdem muss im Vorfeld die Absenkung und das Aufstauen des Grundwasserspiegels berechnet werden, sodass mögliche Auswirkungen auf das Umland ausgeschlossen werden können[17]. Eine derartige Absenkung sowie Aufstauung des Grundwassers ist in Anhang B Abbildung 30 dargestellt. Bei den Berechnungen ist vor allem die Absenkungs- bzw. Aufstauungstiefe sowie deren Breite entscheidend. Anhand dieser Parameter sind Auswirkungen auf benachbarte Brunnen sowie Wohngebiete zu berechnen. Eine mögliche, zu vermeidende Auswirkung ist beispielsweise das Setzen des Bodens durch ein Absenken des Grundwasserspiegels, was zu Schäden an darüber liegenden Gebäuden führen kann [22]. Falls Schäden entstehen, sind diese vom Anlagenbetreiber zu übernehmen sowie zu beseitigen[23].
- Zusätzlich ist zu prüfen, ob die thermische Veränderung des Grundwassers durch den jeweiligen Energieentzug einen Einfluss auf bereits bestehende Anlagen hat. Dazu werden Temperaturfahnen berechnet und mit anderen Anlagen abgeglichen. Die Temperaturfahnen sind wie in Anhang B Abbildung 31 in Temperaturisothermen aufgeteilt, die die Temperaturdifferenz zur ursprünglichen Grundwassertemperatur anzeigen. Diese Temperaturfelder werden bei jeder Anlage dokumentiert, sodass diese bei einem Neubau mit der geplanten Anlage verglichen werden können. Nur wenn keine Überschneidungen vorhanden sind kann die Grundwasserwärmepumpe gebaut werden, um eine optimale energetische Ausnutzung des Grundwassers durch die bestehenden sowie die zu bauenden Anlagen zu gewährleisten. [24]
- Falls bei der Planung einer Grundwasserwärmepumpenanlage erkannt wird, dass sich die Anlage im Wirkungsbereich von Schadensfällen bzw. Altlasten befindet, muss die zuständige Behörde individuell darüber entscheiden, ob die Anlage genehmigt werden kann[22].

Nur wenn die genannten hydrogeologischen Auflagen erfüllt sind, sowie die genannten rechtlichen Vorschriften eingehalten werden, kann eine Grundwasserwärmepumpe in einem Wasserschutzgebiet im Brenztal von der Unteren Wasserbehörde genehmigt werden. Um eine derartige Anlage zu bauen, benötigt man eine wasserrechtliche Erlaubnis der Unteren Wasserbehörde. Wie diese zu beantragen ist, wird in dem Kapitel 5.2 beschrieben. Die wasserrechtliche Erlaubnis beinhaltet anlagenspezifische sowie allgemeingültige Auflagen. Viele der allgemeingültigen Bedingungen wurden bereits genannt, allerdings existie-

ren noch Weitere, die in dem Beispiel einer wasserrechtlichen Erlaubnis der unteren Wasserbehörde im Anhang C zu finden sind.

5.1.2.1 Beispiele realisierter Anlagen

In Heidenheim an der Brenz gibt es einige Grundwasserwärmepumpen, die für industrielle Zwecke erbaut wurden. Darunter beispielsweise für das Unternehmen Voith, die Firma Edelman GmbH sowie die Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW). Diese drei Institute wurden kontaktiert, wodurch Details zu den Anlagen dokumentiert werden konnten. Folgend werden diese erläutert.

Voith

Der Hauptsitz des Unternehmens Voith befindet sich in Heidenheim an der Brenz. Dort befindet sich unter anderem ein Training Center, welches mit einer Grundwasserwärmepumpe gekühlt wird. Angaben zu den rechtlichen Bedingungen konnten leider nicht ermittelt werden, da die Firma BauGrund Süd Gesellschaft für Geothermie mbH die Anlage erbaut hat und aus datenschutzrechtlichen Gründen keine Auskünfte geben kann[25]. Allerdings konnte die Firma Voith anlagenspezifische Daten weitergeben, welche folgend erläutert sind.

Die Anlage wurde zu Kühlzwecken erbaut. Dabei nimmt das kalte Grundwasser die Wärme des zu klimatisierenden Raumes auf, sodass der jeweilige Raum stets angenehm klimatisiert bleibt. Beim Saugbrunnen werden maximal 25 L/s (90 m³/h), im Sommer im Durchschnitt 24,87 L/s (89,52 m³/h) und im Winter im Durchschnitt 9,3 L/s (33,6 m³/h) an Grundwasser entnommen. Da im Winter keine Raumkühlung des Gebäudes benötigt wird, wird weniger Grundwasser pro Zeiteinheit entnommen. Am Ende der Wärmetauscher hat das Grundwasser eine Temperatur von 16 °C. Diese Wärme wird dann mittels eines Plattenwärmetauschers auf ein anderes Medium übertragen, welche in einem Heizkreislauf die Wärme wieder abgibt. Anschließend ergibt sich eine geringere Grundwassertemperatur als vor dem letzten Plattenwärmetauscher, die zwischen 10 °C und 20 °C sein darf. Ob zusätzlich eine maximale Temperaturdifferenz von 5 °C zwischen Entnahme und Infiltration des Grundwassers gilt, wie in Kapitel 5.1.2 beschrieben, konnte nicht in Erfahrung gebracht werden. Dieses Wasser wird dann über einen Schluckbrunnen wieder in den Grundwasserleiter zurückgeführt. Da sich das Training Center neben der Brenz befindet, befindet sich der Grundwassereingriff innerhalb des kiesig-sandigen Grundwasserleiters, der oberhalb des Karstgesteins liegt. Dies ist in Abbildung 9 gekennzeichnet. Damit ist die hydrogeologische Bedingung aus Kapitel 5.1.2 erfüllt. [25]

DHBW

Für die DHBW hatte das Bauamt Aalen die Anlage konzipiert und gebaut. Anlagenspezifische sowie rechtliche Auskünfte konnten aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht gegeben werden. Allerdings konnte die Untere Wasserbehörde Informationen zu Problemen der Anlage bereitstellen, die nachfolgend erläutert sind.

Die Duale Hochschule Baden-Württemberg besitzt ein Gebäude in Heidenheim an der Brenz, dessen Standort in Abbildung 9 dargestellt ist. Dieses Gebäude wird mittels Grundwasserwärmepumpen gekühlt. Dabei ergab sich das Problem, dass zu viel Eisen und Mangan im Grundwasser vorhanden war, sodass durch Oxidation Ausfällungen stattfanden. Diese lagerten sich in Rohrleitungen, Armaturen sowie Behältern ab. Außerdem belegten die Ausfällungen die Brunnenanlagen, sodass dortige Auslassöffnungen verstopft wurden. Dies wird Verockerung der Brunnenanlage genannt [26].

Bei diesen Prozessen entstanden starke Einschränkungen der Anlage, weshalb eine unterirdische Enteisung und Entmanganung eingebaut werden musste. Dabei wird Grundwasser entnommen und oberirdisch mit Sauerstoff versetzt. Danach wird das Wasser wieder in die Grundwasserebene reinfiltriert. In diesem Wasser finden nun Eisen(II)- und Mangan(II)-Oxidationsprozesse statt, wodurch sich Eisen(II) sowie Mangan(II) löst. Die gelösten Produkte adsorbieren nun an die im Aquifer vorhandene Bodenmatrix sowie an vorhandene mikrobiologische Reaktionsprodukte. Durch diese Adsorption des Eisens und des Mangans wird die Grundwasserkonzentration dieser Elemente reduziert. Da die Anlage der Grundwasserwärmepumpe hauptsächlich aufbereitetes Grundwasser fördert, kommt es zur einer starken Problemeindämmung. Mit dieser eingebauten Enteisung und Entmanganung nach dem Arbeitsblatt W223-3 zur Enteisung und Entmanganung Teil 3 kann die Anlage regulär betrieben werden. [26]

Edelmann GmbH

Das Unternehmen Edelmann GmbH ist in der Verpackungsbranche tätig und hat ihren Hauptsitz in Heidenheim an der Brenz. Das Firmengebäude, welches sich wie in Abbildung 9 ersichtlich im Westen von Heidenheim befindet, wird mit Grundwasser gekühlt. Dabei handelt es sich allerdings um einen Grundwasserbrunnen, der laut Herrn Wolfgang Rieck der Firma Edelmann GmbH eine Heiz-/Kühldecke versorgt. In dieser Anlage kühlt das Grundwasser einen zweiten Wasserkreislauf, welcher schließlich in der Heiz-/Kühldecke die jeweiligen Räume klimatisiert. Der Brunnen besitzt eine Tiefe von 60 Metern und greift auf das Regenwasser der Albhochfläche zu, welches bis in die Tiefe von 60-70 Metern versickert. Bei der Entnahme dürfen maximal 19 L/s bzw. 68,4m³/h entnommen werden. Das entnommene Wasser wird nach dem Energieaustausch mittels eines Schluckbrunnens

wieder zurückgeführt. Dabei ist eine maximale Temperaturdifferenz in beide Richtungen von 6 Kelvin erlaubt. Für die Beantragung des Brunnens musste eine Probebohrung durchgeführt, die Wasserqualität bestimmt und ein Nachweis eines funktionierenden Systems erbracht werden. Die Probemessungen haben sich über fünf Jahre erstreckt, um nachzuweisen, dass sich keine negativen Auswirkungen auf das Grundwasser ergeben. Probleme beim Betrieb traten bisher keine auf. [27]

Da diese Anlage nicht die Kies- und Sandablagerungen des Brenzverlaufes nutzt, ist die rechtliche sowie technische Ausgangssituation eine andere als bei den Anlagen von Voith sowie der DHBW. Eine mögliche Anlage mit Grundwasserzugriff für das Quartiersprojekt in Königsbronn würde auf den hydrogeologischen Bestand der Kies- und Sandablagerungen entlang der Brenz zugreifen, sodass die rechtlichen Hintergründe dieser Anlage mit der Grundwasserwärmepumpe der Firma Voith sowie der DHBW vergleichbar sind. Allerdings ist zu vermerken, dass die beschriebenen Anlagen für Kühlzwecke verwendet werden, sodass sich bei einer Anlage für Heizzwecke aus rechtlicher sowie technischer Sicht Unterschiede ergeben können.

Zusammenfassend ist zu den Grundwasserwärmepumpen zu sagen, dass es reichlich realisierte Anlagen im Landkreis Heidenheim gibt. Die meisten davon sind für Privatpersonen erbaut worden, einige Anlagen für industrielle Zwecke. All diese Anlagen haben die hydrogeologische Voraussetzung erbracht und die notwendigen Bestimmungen erfüllt, sodass diese erbaut werden konnten. Daher ist eine Grundwasserwärmepumpe in Königsbronn prinzipiell möglich, wenn die in Kapitel 5.1.2 genannten Anforderungen erfüllt werden.



Abbildung 9 Hydrogeologische Übersichtskarte von Heidenheim an der Brenz mit eingezeichneten Grundwasserwärmepumpenstandorte der Unternehmen Voith (rote Markierung), Edelmann GmbH (grüne Markierung) und der DHBW (pinke Markierung) [6]

5.1.3 Erdwärmekollektoren

Wie in Tabelle 1 aufgelistet, sind bereits 28 Flächenkollektoren, ein Erdwärmekorb und 14 Verdampferkollektoren im Landkreis Heidenheim erbaut worden. Für den Bau und die Beantragung gelten prinzipiell für sämtliche Techniken der Erdwärmekollektoren dieselben Bestimmungen, die bei den realisierten Anlagen eingehalten werden mussten. Diese Bestimmungen werden im Folgenden erläutert.

Da derartige Anlagen in die obersten Meter des Untergrundes verbaut werden, benötigen diese Anlagen zum Bau und zur Nutzung nur eine Anzeige der Unteren Wasserbehörde. Dies verursacht weniger Aufwand als bei der Beantragung von Erdwärmesonden sowie Grundwasserwärmepumpen. Allerdings ist bei Erdwärmekollektoren trotzdem eine Ausnahmeerteilung erforderlich, um diese erbauen zu können. Dabei gibt es Vorschriften, die in einem Wasserschutzgebiet der Zone III/IIIB eingehalten werden müssen.

- Erdwärmekollektoren dürfen nicht tiefer als fünf Meter liegen und keinen Kontakt zum Grundwasser haben. Wenn Rohrleitungen mit Kältemitteln gefüllt sind, dürfen diese maximal zwei Meter unterhalb der Geländeoberfläche liegen [13].

- Außerdem ist unterhalb der Kollektorfläche eine flächenhafte, natürliche, bindige Dichtschicht notwendig, die eine Mindestdicke von zwei Metern und einen Durchlässigkeitsbeiwert k_f nach DIN 18130 Teil 1 kleiner als 10^{-6} m/s aufweist. Dies entspricht einer schwach durchlässigen Schicht. Wenn eine Dichtschicht eine Mächtigkeit von einem Meter erreicht muss der Durchlässigkeitsbeiwert k_f kleiner als 10^{-8} m/s sein. Dieser Durchlässigkeitsbeiwert beschreibt eine sehr schwach durchlässige Schicht, die natürlicherweise aus Ton oder schluffigem Ton besteht. Wenn vor Ort eine solche Dichtschicht natürlicherweise nicht vorhanden ist, kann diese auch nachträglich eingesetzt werden [13]. Dafür geeignete Stoffe sind mineralischen Ursprungs, beispielsweise Bentonitmatten[17]. Eine Abdichtung aus Kunststoffen ist nicht gestattet. Für die Beantragung ist die mineralische Dichtschicht mittels eines Fachgutachtens nachzuweisen [13].
- Auf diese Dichtschicht kann verzichtet werden, wenn keine wassergefährdenden Substanzen eingesetzt werden und wenn ein Abstand zwischen dem Kollektor und dem höchsten Grundwasserstand von mindestens einem Meter gewährleistet ist. [13]
- Beim Bau der Dichtschicht bzw. deren Ergänzung ist diese lagenweise zu verdichten. Bei Bentonitmatten muss darauf geachtet werden, dass der Untergrund möglichst eben und frei von Oberflächenwasser ist. Außerdem ist auf der Dichtschicht zusätzlich eine 10 cm dicke Schicht mit feinkörnigem Material vorzusehen, worauf die Kollektoren verlegt werden. Die Verlegung der Kollektoren erfolgt nach VDI 4640 Blatt 2, Nr. 4.2.2. [13]
- Darüber hinaus müssen alle Anlagenteile der Bodenkollektoren dem Stand der Technik nach VDI 4640, DIN 9801 entsprechen. Die Erdwärmekollektoren müssen außerdem alle absolut dicht und beständig sein, sodass keine Substanzen in den Untergrund gelangen und diesen verunreinigen. [13]
- In einem Wasserschutzgebiet dürfen nur Wärmeträgermedien eingesetzt werden, die maximal eine Konzentration von 25 % von wassergefährdenden Substanzen mit Wassergefährdungsklasse 1 aufweisen. [28]
- Zusätzlich muss die Anlage mit einer automatischen Leckageüberwachungseinrichtung ausgestattet sein, die im Falle einer Leckage die verwendete Pumpe sofort abschaltet und ein Warnsignal von sich gibt. Dadurch wird ein Austreten des Wärmeträgermediums verhindert. [28]

- In Wasserschutzgebieten müssen die Rohre aus PE-Xa (peroxidvernetztes Polyethylen [29]) gefertigt sein. Erdberührende Teile der Erdwärmekollektoren dürfen nicht auf der Baustelle geschweißt werden (DIN 8901,3.4 Abs. d). [13]
- Alle Anlagenteile, unter anderem die Kollektoren, müssen den aktuellen Stand der Technik erfüllen sowie von einem Kälte-Klimafachbetrieb erbaut werden. Dabei ist darauf zu achten, dass das vorgesehene Unternehmen „mit dem Handwerk "Kälteanlagenbauer" als Vollhandwerk in der Handwerksrolle eingetragen ist". Dasselbe gilt beim Bau von Direktverdampfersystemen und Verdampferkollektoren. [28]
- Bevor die Anlage in Betrieb genommen wird, muss diese auf Schäden und auf Funktionstauglichkeit geprüft werden. Diese Prüfung muss von einem Fachbetrieb für Sanitär bzw. Klima durchgeführt werden, wobei eine Bestätigung angefertigt wird. Diese muss der Anlagenbetreiber sicher aufbewahren und jederzeit der Wasserbehörde vorzeigen können.[28]
- Die Inbetriebnahme sowie die Befüllung der Anlagen muss ebenfalls ein Fachunternehmen durchführen [28].

Zusammenfassend ist zu sagen, dass Erdwärmekollektoren bereits zahlreich realisiert worden sind. Alle dafür einzuhaltenden Nebenbestimmungen sind in einer Anzeige der Unteren Wasserbehörde festgelegt. Ein solcher Entwurf des Landratsamtes Heidenheim ist für Flächenkollektoren beispielhaft zur Verfügung gestellt worden (siehe Anhang C).

5.2 Beantragung der einzelnen Techniken

Um die jeweiligen Techniken bauen zu können, müssen diese zuvor bei der zuständigen Behörde beantragt werden. Je nach Technik gibt es andere Beantragungsverfahren, wobei hier die Techniken der Erdwärmesonde, der Erdwärmekollektoren und der Grundwasserwärmepumpe erläutert werden.

Beantragung einer Erdwärmesonde

Falls eine Erdwärmesonde in einem Wasserschutzgebiet gebaut werden soll, müssen je nach Tiefe und Größe der Anlage verschiedene Antragsunterlagen vorgelegt werden. Dabei ist eine Bohranzeige nach §37 Abs. 2 WG notwendig, welche der Unteren Wasserbehörde zugestellt werden muss. Nach deren Beurteilung kann eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich sein. Was dafür einzureichen ist, wird von der zuständigen Behörde gefordert.

Dem LGRB muss entweder eine Bohranzeige bei grundstücksbezogenen Anlagen oder ein Antrag auf bergrechtliche Genehmigung bei grundstückübergreifenden Anlagen gestellt werden. Diese können auch ein wasserrechtliches Erlaubnisverfahren einleiten, was in Absprache mit der unteren Wasserbehörde stattfindet. In Tabelle 2 ist ersichtlich, bei welchen Bedingungen welche Verfahren der Unteren Wasserbehörde und dem LGRB üblich sind. [18]

Fall	Untere Wasserbehörde	LGRB
1. Fall: Tiefe < 100 m, grundstücksbezogen	Bohranzeige <i>(nach §37 Abs. 2 WG)</i> • evtl. wasserrechtliche Erlaubnis notwendig	Bohranzeige <i>(nach §4 Lagerstättengesetz)</i> • in der Regel keine Rückmeldung
2. Fall: Tiefe > 100 m, grundstücksbezogen	Bohranzeige <i>(nach §37 Abs. 2 WG)</i> • in der Regel wasserrechtliche Erlaubnis notwendig	Bohranzeige <i>(nach §127 BBergG und §4 Lagerstättengesetz)</i> • in der Regel bergrechtlicher Freigabebescheid mit Nebenbestimmungen
3. Fall: Tiefe > 100 m oder Tiefe < 100 m, grundstücksübergreifend	Bohranzeige <i>(nach §37 Abs. 2 WG)</i> • evtl. wasserrechtliche Erlaubnis notwendig	Antrag auf bergrechtliche Genehmigung <i>(nach §§ 6 ff. und 51 ff. BBergG sowie §4 Lagerstättengesetz)</i> • bergrechtliches Genehmigungsverfahren mit förmlichem Bescheid • wasserrechtliches Erlaubnisverfahren

Tabelle 2 Beantragung einer Erdwärmesonde nach Tiefe und Größe der Anlage[18]

Beantragung von Erdwärmekollektoren

Die Beantragung von Erdwärmekollektoren verläuft über eine Anzeige, welche die Ausnahme des Untergrundnutzungsverbotes erteilt, sodass die Anlage erbaut werden kann. Diese muss bei der Unteren Wasserbehörde eingereicht sein. Die notwendigen Inhalte der Anzeige befinden sich im Anhang D Tabelle 15.

Beantragung einer Grundwasserwärmepumpe

Eine Grundwasserwärmepumpe benötigt eine wasserrechtliche Erlaubnis. Um diese zu erlangen, müssen prinzipiell zwei Schritte befolgt werden. Zunächst muss eine „Anzeige der Bohrung bzw. [ein] Antrag auf eine wasserrechtliche Erlaubnis für die geplanten Pumpversuche“ [22] beantragt werden. Laut dem Umweltministerium Baden-Württemberg muss diese Bohranzeige nach §4 Lagerstättengesetz spätestens zwei Wochen vor Bohrbeginn beim LGRB angezeigt werden. Das LGRB darf an wichtigen Bohrungen teilhaben bzw. eigene Bohrungen zur Kontrolle durchführen. [22]

Wenn noch keine genauen örtlichen Informationen über das Grundwasser und dessen Eigenschaften vorhanden sind, ist ein Pumpversuch notwendig. Für den nötigen Pumpversuch kann neben einer Anzeige bei der Unteren Wasserbehörde eine wasserrechtliche Erlaubnis notwendig sein. Die notwendigen Angaben für eine derartige Bohranzeige sind in Anhang D Tabelle 13 dokumentiert.

Der zweite Schritt ist der Antrag auf die erwünschte wasserrechtliche Erlaubnis zur Grundwassernutzung. Dazu sind wie bereits bei der Bohranzeige einige Inhalte und Dokumente nötig, welche im Anhang D Tabelle 14 beschrieben sind.

Zusätzlich ist eine weitere Bohranzeige nötig, wenn die Anlage unter das Bergrecht fällt. Dieses Bergrecht kommt nur zur Anwendung, wenn sich die Anlage über mehrere Grundstücke erstreckt, oder wenn die Bohrung tiefer als 100 m ist. Wenn das der Fall ist, muss eine Bohranzeige nach §127 BBergG beantragt werden. Die zuständige Bergbehörde ist dabei die Landesbergdirektion im LGRB, welche sich beim jeweiligen Projekt mit der zuständigen Unteren Wasserbehörde abspricht. Daher sollte bereits im Vorfeld die Untere Wasserbehörde kontaktiert werden, um sicherzugehen, dass eine Grundwasserwärmepumpe prinzipiell genehmigt werden kann. [18]

5.3 Umsetzbarkeit von Ausnahmeerteilungen in Königsbronn

Letztendlich ist für das Quartiersprojekt relevant, welche Ausnahmebewilligungen in Königsbronn umsetzbar sind. Daher wird betrachtet, ob die hydrogeologischen Voraussetzungen für eine Ausnahmeerteilung für Erdwärmesonden, Grundwasserwärmepumpen sowie Erdwärmekollektoren in Königsbronn vorhanden sind.

Erdwärmesonden

Für die Beurteilung der Realisierbarkeit der Erdwärmesonden darf der zu verwendende Untergrund keine Hohlräume oder Klüfte besitzen. Um dies zu verifizieren müssen detail-

lierte Untergrundinformationen für jeden geplanten Standort mithilfe einer Probebohrung gesammelt werden. Daher sind zum jetzigen Zeitpunkt keine Auskünfte über eine tatsächliche Umsetzbarkeit einer Erdwärmesonde in Königsbronn möglich.

Grundwasserwärmepumpen

Um Grundwasserwärmepumpen bauen zu können, muss oberhalb des Karstgesteins ein Grundwasserleiter aus kiesigem Material vorhanden sein, um in dieser Schicht das Grundwasser entnehmen zu können. Dies sind beispielsweise quartäre Kieslagen im Bereich des Flusslaufes. Diese geologische Situation ist im Quartier teilweise gegeben, weshalb eine prinzipielle Nutzung der Technik möglich ist. Die dafür nutzbare Fläche ist in Abbildung 10 markiert. Diese abgebildete Grenze der Kiesschicht kann von den Vorortbedingungen abweichen.

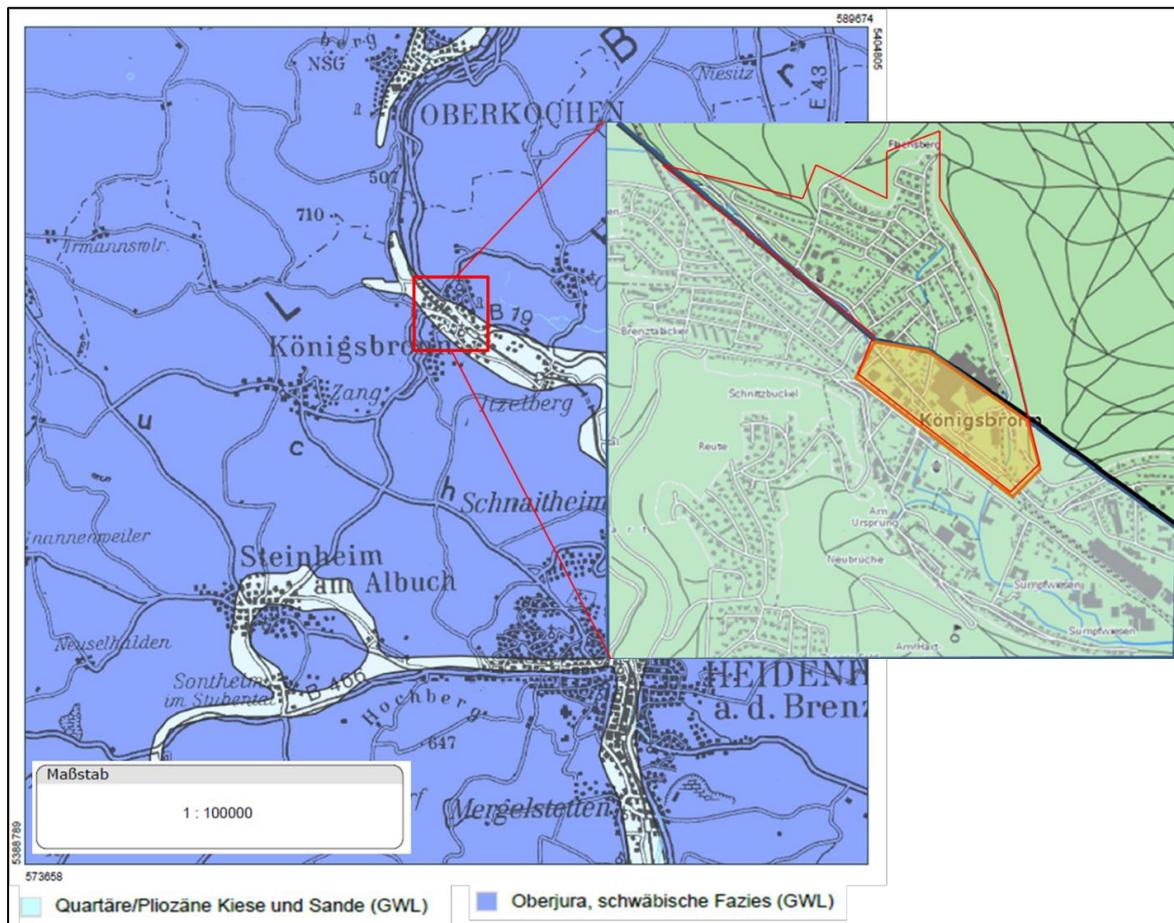


Abbildung 10 Hydrogeologische Karte von Heidenheim an der Brenz und Umgebung, darunter Königsbronn und dessen Quartier (rot umrandet); Detailausschnitt: Königsbronn mit schwarzer Abgrenzung zwischen einer Kiesschicht (hell schattiert) und der Kalkgesteine (grün) sowie einer orangen Markierung der Kiesschicht im Quartier, die für Grundwasserwärmepumpen geeignet ist[6]

Erdwärmekollektoren

Erdwärmekollektoren benötigen eine beschriebene Deckschicht, welche auch nachträglich eingesetzt werden kann.

Außerdem darf kein Kontakt zum Grundwasser vorhanden sein, sodass die Umsetzbarkeit einer Kollektorfläche von den vorliegenden Grundwasserständen abhängt. Zu beachten ist, dass wie in Abbildung 11 ersichtlich in Königsbronn und deren Umgebung hohe Grundwasserstände partiell vorhanden sind. In diesen Gebieten können Erdwärmekollektoren nicht realisiert werden. In den restlichen Gebieten können Erdwärmekollektoren verlegt werden, wenn die Grundwasserstände entsprechend niedrig sind. Dies muss im Vorfeld von einem Fachunternehmen geprüft werden.

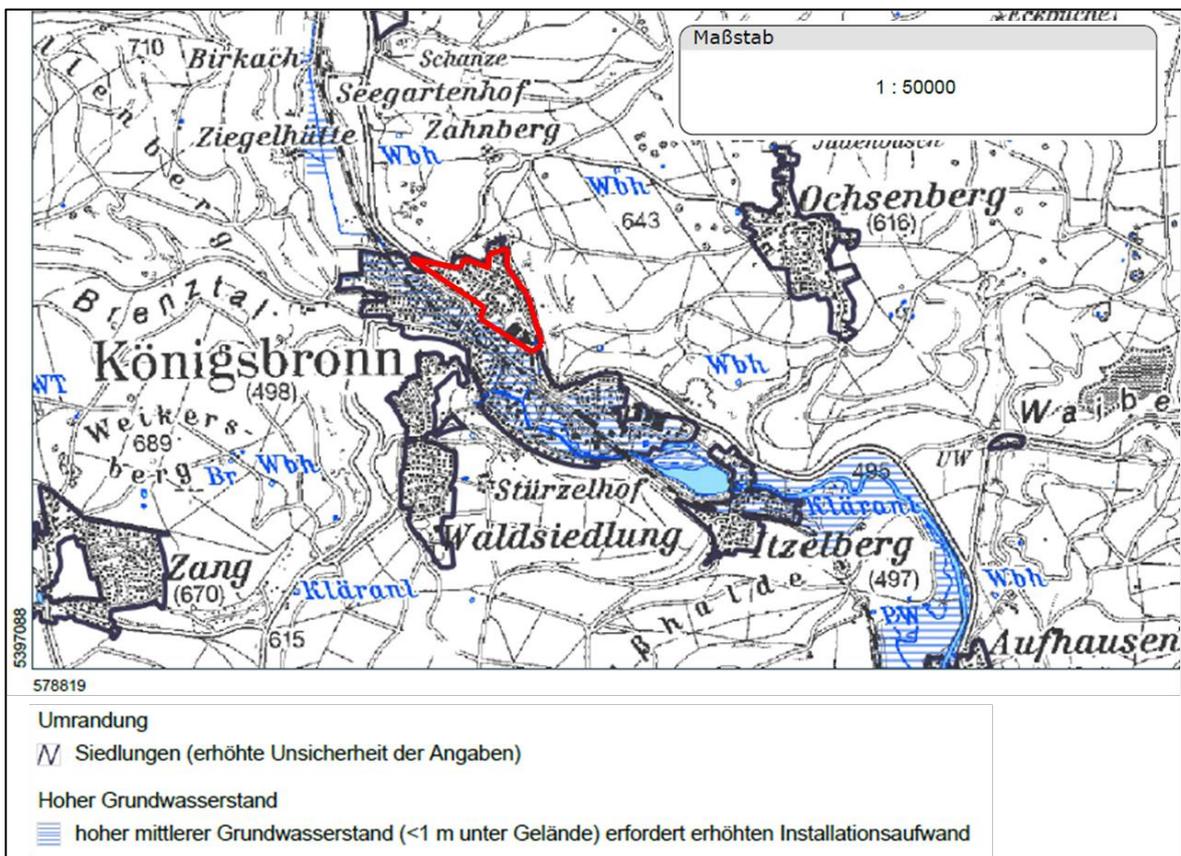


Abbildung 11 Karte von Königsbronn (Quartier rot umrandet) mit eingezeichneten hohen Grundwasserständen[6]

Insgesamt betrachtet sind Erdwärmekollektoren aus rechtlicher Sicht in Königsbronn umsetzbar.

6 Versorgungskonzepte für das Quartiersprojekt Königsbronn

Da in den vorherigen Kapiteln der rechtliche Hintergrund, die notwendigen Bedingungen für eine Ausnahmeerteilung sowie die Betrachtung der Realisierbarkeit in Königsbronn behandelt wurden, können nun konkrete Auslegungsberechnungen für das Quartiersprojekt in Königsbronn durchgeführt werden. Dies beinhaltet grundlegende Berechnungen und Energiepotentiale der einzelnen Techniken. Das Kapitel schließt mit der Erstellung und Bewertung von Versorgungskonzepten, in denen verschiedene Techniken kombiniert werden, um den Energiebedarf des betrachteten Wohngebiets in Königsbronn zu decken.

6.1 Grundlegende Berechnungen

Zunächst werden allgemeine Berechnungen durchgeführt, die für alle drei Techniken relevant sind. Dabei wird zu Beginn der Wärmebedarf des zu versorgenden Quartiers beschrieben. Daraufhin werden Berechnungen der genutzten Wärmepumpenart durchgeführt, welche für Erdwärmesonden, Grundwasserwärmepumpen sowie für Erdwärmekollektoren gelten. Dies beruht auf der Annahme, dass alle genannten Techniken mit identischen Wärmepumpen kombiniert werden.

Wärmebedarf des Quartiers in Königsbronn

Die folgenden Berechnungen wurden auf Basis des vom Projektleiter Herr Lohrmann geschätzten Wärmebedarf von 5000 MWh ausgelegt[5]. Dieser Wert wurde grob überschlagen, indem der Richtwert für den jährlichen flächenbezogenen Energiebedarf Q_m von 200 kWh/(m²a), was dem Bedarf von Altbauwohnungen entspricht, mit der Wohnfläche des Quartiers multipliziert wird[30]. Das beheizende Areal umfasst 315 Haushalte[31], worin Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser und Wohnungen beinhaltet sind. Zur Vereinfachung wird von Wohnungen mit einer Wohnfläche von jeweils 80 m² ausgegangen.

$$Q_{\text{Quartier}} = Q_m \times A_w \times n_{\text{Haushalt}} = 200 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} \times 80\text{m}^2 \times 315 = 5040000 \text{ kWh} \\ = 5040 \text{ MWh} \quad (1)$$

Q_{Quartier} = jährlicher Gesamtenergiebedarf des betrachteten Quartiers in Königsbronn in kWh

Q_m = durchschnittlicher jährlicher flächenbezogener Energiebedarf eines Altbestandes in kWh/(m²a)

A_w = Wohnfläche pro Haushalt in m²

n_{Haushalt} = Anzahl der Haushalte

Die folgenden Berechnungen und Konzepte sind auf den Wärmebedarf des Quartiersprojekts in Königsbronn angepasst.

Wärmepumpenberechnungen

Für die Berechnungen wurden Wärmepumpendaten zur Verfügung gestellt, die an die Bedingungen in Königsbronn angepasst sind. Diese Eigenschaften sind in Tabelle 3 protokolliert.

Anlage	Eigenschaften [32]
Grundwasserwärmepumpe mit jeweils einem Förder- sowie Sickerbrunnen	<p>Kühler:</p> <p>Heizleistung: 350 kW Temperatur Wärmepumpenausritt: 45 °C Temperatur Wärmepumpeneintritt: 75°C Volumenstrom: 10,0 m³/h</p> <p>Verdampfer:</p> <p>Kühlleistung: 215,4 kW Temperatur Wärmepumpeneintritt: 9,6 °C Temperatur Wärmepumpenausritt: 6,6 °C Volumenstrom: 61,5 m³/h Leistungszahl (COP): 2,6</p>

Tabelle 3 Wärmepumpeneigenschaften der in den Konzepten verwendeten Wärmepumpen [32]

Um die produzierende Energiemenge der beschriebenen Wärmepumpen berechnen zu können, ist die jährliche Betriebszeit der Anlage notwendig. Diese wird mit folgenden Annahmen berechnet.

- Während dem Winterhalbjahr wird im Durchschnitt an 12 Stunden pro Tag Wärme für Heizung und Warmwasser benötigt.

$$t_{\text{Betrieb,W}} = t_{\text{Wärme,hW}} \times \frac{n_{\text{Tage}}}{\text{Woche}} \times n_{\text{Wochen}} = 12 \text{ h} \times 7 \times 26 = 2184 \text{ h} \quad (2)$$

$t_{\text{Betrieb,W}}$ = Betriebsdauer im Winterhalbjahr in h

$t_{\text{Wärme,hW}}$ = durchschnittliche Stunden mit Wärmebedarf im Winter in h

$n_{\text{Tage/Woche}}$ = Tagesanzahl pro Woche

n_{Wochen} = Wochenanzahl eines halben Jahres

- Während des Sommerhalbjahres wird weniger geheizt, sodass nur eine Stunde pro Tag Warmwasser benötigt wird.

$$t_{\text{Betrieb,S}} = n_{\text{Wärme,hS}} \times \frac{n_{\text{Tage}}}{\text{Woche}} \times n_{\text{Wochen}} = 1 \text{ h} \times 7 \text{ d} \times 26 \text{ Wochen} = 182 \text{ h} \quad (3)$$

$t_{\text{Betrieb,S}}$ = Betriebsdauer im Sommerhalbjahr in h

$n_{\text{Wärme,hS}}$ = durchschnittliche Stundenanzahl mit Wärmebedarf im Sommer in h

$n_{\text{Tage/Woche}}$ = Tagesanzahl pro Woche

n_{Wochen} = Wochenanzahl eines halben Jahres

Insgesamt ergibt sich daraus eine ungefähre Betriebsdauer der von 2400 Stunden.

$$t_{\text{Betrieb}} = t_{\text{Betrieb,W}} + t_{\text{Betrieb,S}} = 2184 \text{ h} + 182 \text{ h} = 2366 \text{ h} \approx 2400 \text{ h} \quad (4)$$

t_{Betrieb} = jährliche Betriebsdauer in h

$t_{\text{Betrieb,W}}$ = Betriebsdauer im Winterhalbjahr in h

$t_{\text{Betrieb,S}}$ = Betriebsdauer im Sommerhalbjahr in h

Mit dieser Betriebsdauer kann die produzierte Energiemenge pro Wärmepumpe nun ermittelt werden, in dem die Leistung der Wärmepumpe mit der Betriebsdauer multipliziert wird. Im vorliegenden Fall beträgt diese Wärmemenge 840 MWh.

$$Q_{\text{WP}} = P_{\text{WP}} \times t_{\text{Betrieb}} = 350 \text{ kW} \times 2400 \text{ h} = 840000 \text{ kWh} = 840 \text{ MWh} \quad (5)$$

Q_{WP} = produzierte Wärmemenge pro Wärmepumpe in Wh

P_{WP} = Leistung der Wärmepumpe in W

t_{Betrieb} = jährliche Betriebsdauer in h

Um den Wärmebedarf des Quartiers in Königsbronn mit Wärmepumpen zu decken, benötigt man sechs Wärmepumpen mit einer Heizleistung von jeweils 350 kW. Dies wurde ermittelt, indem der Energiebedarf des Quartiers durch die produzierte Energiemenge pro Wärmepumpe dividiert wird.

$$n_{\text{WP}} = \frac{Q_{\text{Quartier}}}{Q_{\text{WP}}} = \frac{5000 \text{ MWh}}{840 \text{ MWh}} = 5,95 \approx 6 \quad (6)$$

n_{WP} = Anzahl der Wärmepumpen

Q_{Quartier} = Gesamtenergiebedarf des Quartiers in Wh

Q_{WP} = produzierte Wärmemenge pro Wärmepumpe in Wh

Die produzierte Gesamtenergiemenge der 6 Wärmepumpen ergibt sich aus der Multiplikation der Energiemenge einer Grundwasserwärmepumpe mit der Anzahl der geplanten Anlagen. Dabei ergeben sich 5040 MWh, was ausreicht um den jährlichen Energiebedarf des Quartiers zu decken.

$$Q_{WP,ges} = n_{WP} \times Q_{WP} = 6 \times 840 \text{ MWh} = 5040000 \text{ kWh} \approx 5040 \text{ MWh} \quad (7)$$

$Q_{WP,ges}$ = produzierte Gesamtenergiemenge der verwendeten Wärmepumpen in Wh

n_{WP} = Anzahl der Wärmepumpen

Q_{WP} = produzierte Energiemenge der Wärmepumpe in Wh

Bei der verwendeten Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 350 kW ist eine Leistungszahl von 2,6 angegeben [32]. Diese Zahl gibt an, dass 2,6 mal so viel Wärmeenergie produziert wird wie die Wärmepumpe Strom benötigt. Damit kann die benötigte Energie einer Wärmepumpe berechnet werden, in dem die produzierte Energiemenge durch die Leistungszahl der Wärmepumpe geteilt wird.

$$Q_{WP,benötigt} = \frac{Q_{WP}}{\varepsilon} = \frac{840000 \text{ kWh}}{2,6} = 323077 \text{ kWh} \approx 323 \text{ MWh} \quad (8)$$

$Q_{WP,benötigt}$ = benötigte Energiemenge der Wärmepumpe in Wh

Q_{WP} = produzierte Energiemenge der Wärmepumpe in Wh

ε = Leistungszahl der Wärmepumpe

Wenn dieser jährliche Strombedarf nun mit der Anzahl der Wärmepumpen multipliziert wird, ergibt sich daraus die jährlich benötigte Gesamtenergie der Wärmepumpen, um den Energiebedarf des Quartiers Königsbronn zu decken.

$$Q_{WP,benötigt,ges} = Q_{WP,benötigt} \times n_{WP} = 323 \text{ MWh} \times 6 = 1\,939 \text{ MWh} \quad (9)$$

$Q_{WP,benötigt,ges}$ = jährlich benötigte Gesamtenergiemenge der verwendeten Wärmepumpen in Wh

$Q_{WP,benötigt}$ = benötigte Energiemenge der Wärmepumpe in Wh

n_{WP} = Anzahl der Wärmepumpen

Dieser Energiebedarf von 1 939 MWh muss über eine Stromversorgung gewährleistet werden.

In den folgenden Abschnitten werden grundlegende Berechnungen für Erdwärmesonden, Grundwasserwärmepumpen sowie Erdwärmekollektoren durchgeführt.

6.1.1 Berechnung zu Erdwärmesonden

Für die Berechnungen zu den Erdwärmesonden wird betrachtet, wie viele Erdwärmesonden benötigt werden, um den vollständigen Wärmebedarf des Quartiers in Königsbronn zu decken. Hierfür ist die Tiefe der Sonden eine entscheidende Größe.

Notwendige Erdwärmesondentiefe

Zunächst wurden in Tabelle 4 übliche maximale Entzugsleistungen der Sonden dokumentiert. Diese Werte beziehen sich auf eine Wärmepumpenleistung von 30 kW und sind nach Untergrundbedingungen aufgeteilt. Außerdem beziehen sich die Werte auf eine Betriebszeit der Wärmepumpen sowie der Sonden von 2400 Stunden im Jahr. Allerdings ist anzumerken, dass im Wasserschutzgebiet im Landkreis Heidenheim an der Brenz keine genauen Daten zu maximalen Entzugsleistungen vorliegen, sodass auf allgemeinen Daten, aus Tabelle 4 zurückgegriffen werden musste.

Untergrund	Spezifische Entzugsleistung	
	bei 1800 h	bei 2400 h
Allgemeine Richtwerte		
Schlechter Untergrund (trockenes Sediment) $\lambda < 1,5 \text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$	25 W/m	20 W/m
Normales Festgestein und wassergesättigtes Sediment $\lambda = 1,5 \text{ bis } 3,0 \text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$	60 W/m	50 W/m
Festgestein mit hoher Wärmeleitfähigkeit $\lambda > 3,0 \text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$	84 W/m	70 W/m

Tabelle 4 Spezifische Entzugsleistungen des Untergrundes bei einer 30 kW EWS aufgeteilt nach Untergrundbedingungen[33]

Da im Landkreis Heidenheim die dominierende Gesteinsart der Kalkstein ist, muss dieser ohne Hohlräume oder Klüfte sein muss, um Erdsonden bauen zu können [6]. Dieser hat eine Wärmeleitfähigkeit zwischen 2,5 und 4,0 W/(m*K). Ein typischer Rechenwert ist dabei 2,8 W/(m*K) [33]. Dieser Wert ist in der Tabelle 4 unter dem normalen Festgestein einzuordnen, sodass in den folgenden Berechnungen von einer spezifischen Entzugsleistung von 50 W/m bei einer Betriebsdauer von 2400 Stunden ausgegangen wird.

Für die Berechnung der Sondentiefe wird die Wärmepumpenheizleistung durch die Entzugsleistungen pro Meter dividiert. Wie in Tabelle 1 dokumentiert werden Wärmepumpen mit einer Heizleistung von 350 kW verwendet.

$$L_{\text{Sonde}} = \frac{P_{\text{WP}}}{P_{\text{E,EWS}}} = \frac{350 \text{ kW}}{50 \frac{\text{W}}{\text{m}}} = 7000 \text{ m} \quad (10)$$

L_{Sonde} = Erdwärmesondenlänge in m

P_{WP} = Heizleistung der Wärmepumpe in W

$P_{\text{E,EWS}}$ = Entzugsleistungen für Erdwärmesonden in W/m

Erdwärmesondenanzahl

Wie in Kapitel 4.1 beschrieben sind in einem Wasserschutzgebiet keine tiefen Bohrungen (größer als 400 m) gestattet, weshalb der Bau einer einzigen Sonde mit einer Tiefe von 7000 m nicht möglich ist. Daher müssen mehrere Sonden erbaut werden, um insgesamt die nötige Sondenlänge zu erreichen. Da die maximalmögliche Länge 400 m beträgt, wird für die Berechnungen dieser Wert als Sondenlänge definiert. Um herauszufinden, wie viele derartige Sonden für eine verwendete Wärmepumpe benötigt werden, muss die Gesamtsondenlänge durch die maximale Sondenlänge dividiert werden.

$$n_{\text{Sonden, WP}} = \frac{L_{\text{Sonde}}}{L_{\text{max}}} = \frac{7000 \text{ m}}{400 \text{ m}} = 17,5 = 18 \quad (11)$$

$n_{\text{Sonden, WP}}$ = Anzahl an Erdwärmesonden pro Wärmepumpe

L_{Sonde} = Erdwärmesondenlänge in m

L_{max} = rechtlich maximale Erdwärmesondenlänge in m

Es müssen demnach mindestens 18 Erdsonden gebaut werden um eine 350 kW Wärmepumpe zu betreiben. Wenn nun die Anzahl der benötigten Wärmepumpen, um das Quartier mit Wärme zu versorgen, mit der Anzahl der Sonden pro Wärmepumpe multipliziert wird, ergibt sich eine Gesamtanzahl von 108 Erdsonden.

$$n_{\text{Sonden, ges}} = n_{\text{Sonden pro WP}} \times n_{\text{Wärmepumpe}} = 18 \times 6 = 108 \quad (12)$$

$n_{\text{Sonden, ges}}$ = Gesamtanzahl der Erdwärmesonden

n_{WP} = Anzahl an Wärmepumpen

$n_{\text{Sonden, WP}}$ = Anzahl an Erdwärmesonden pro Wärmepumpe

6.1.2 Berechnungen zu Grundwasserwärmepumpen

In diesem Kapitel werden theoretische Berechnungen zu einer 100 %-igen Wärmebedarfsdeckung mittels Grundwasserwärmepumpen durchgeführt:

- die nutzbare Fläche für Grundwasserwärmepumpen innerhalb des Quartiers
- die Flächenabschätzung einer Temperaturfahne
- die notwendige Länge innerhalb der nutzbaren Fläche

Nutzbare Fläche für Grundwasserwärmepumpen innerhalb des Quartiers

Grundsätzlich kann der in Abbildung 10 orange eingezeichnete Bereich genutzt werden, um Grundwasserwärmepumpen innerhalb des Quartiers zu erbauen.

Für die Berechnung der für Grundwasserwärmepumpen nutzbaren Fläche wurden zunächst relevante Strecken gemessen, die in Abbildung 12 angegeben sind.

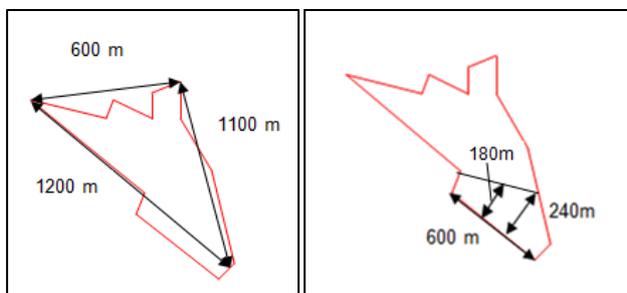


Abbildung 12 Abmessung des Quartiers in Königsbronn (links), Abmessung des Bereichs der Kiesablagerungen im Quartier (rechts)

Vereinfacht kann von einem Rechteck mit einer Länge von 600 m und einer durchschnittlichen Breite von 180 m ausgegangen werden. Die daraus resultierende Gesamtfläche beträgt 108 000 m².

$$A_{\text{nutzbar,GWWP}} = L \times B = 600 \text{ m} \times 180 \text{ m} = 108000 \text{ m}^2 \quad (13)$$

$A_{\text{nutzbar,GWWP}}$ = nutzbare Fläche für Grundwasserwärmepumpen in m²

L = Länge des Rechtecks in m

B = Breite des Rechtecks in m

Fläche einer Temperaturfahne

Wie in Gleichung 6 berechnet werden sechs Wärmepumpen mit einer Heizleistung von jeweils 350 kW benötigt um den Energiebedarf des Quartiers decken zu können. Beim Energieentzug aus dem Grundwasser können sich Auswirkungen auf das umliegende Gebiet ergeben, wodurch ein Abstand zwischen den Anlagen nötig ist. Der Abstand sowie auch die Position der benötigten Brunnen ist von großer Bedeutung, damit der Förderbrunnen nicht durch den Infiltrationsbrunnen beeinflusst wird. Beispielsweise kann die veränderte Temperaturfahne des Grundwassers eine nahegelegene Grundwasserwärmepumpe in

ihrer Leistung negativ beeinflussen. Der notwendige Abstand zwischen zwei Anlagen basiert auf die Größe der Temperaturfahne, welche die Änderung der Grundwassertemperatur um 3 Kelvin anzeigt. Diese ist von der Grundwasserfließrichtung und dessen Geschwindigkeit abhängig.

In den Berechnungen wird eine Länge der 3 Kelvin-Temperaturfahne von 150 m und einer Breite von 45 m angenommen. Dabei wird vereinfacht von einem Rechteck ausgegangen, da in diesem Konzept die Anlagen auf einer gedachten Linie erbaut werden, die orthogonal zur Grundwasserfließrichtung verläuft. Die maximale Breite der Temperaturfahne wird dabei als Abstand zwischen den Anlagen verwendet.

$$A_{TF} = L_{TF} \times B_{TF} = 150 \text{ m} \times 45 \text{ m} = 6750 \text{ m}^2 \quad (14)$$

A_{TF} = Fläche der Temperaturfahne in m^2

L_{TF} = Länge der Temperaturfahne in m

B_{TF} = Breite der Temperaturfahne in m

Mittels dieser Vereinfachung ergibt sich eine Fläche von 6750 m^2 pro Brunnen. Die dazu verwendeten Werte sind Schätzwerte, basierend auf das Berechnungsbeispiel aus der "Arbeitshilfe zum Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Grundwasserwärmepumpen". Die dort vorgegebenen Werte, welche auf die auftretenden Bedingungen einer Wärmepumpe mit 27 kW Heizleistung und einer Betriebsdauer von 2165 h basieren, sind mit einer Temperaturfahnenbreite von 30 m und einer Länge von 100 m kleiner als die in den Berechnungen verwendeten Werte. Da die im Konzept vorliegenden Wärmepumpen eine Heizleistung von 350 kW haben, wurden die Abmessungen der Temperaturfahne um 50 % erhöht. Diese Werte sind abhängig von den Grundwasserfließgeschwindigkeiten. Der exakte Mindestabstand zwischen den Anlagen kann daher erst nach einer fachmännischen Berechnung der Temperaturfahnen erfolgen.

Notwendige Länge innerhalb der nutzbaren Fläche

Der Mindestabstand zwischen den einzelnen Anlagen von circa 45 m wird nun zur Berechnung einer gedachten Brunnenlinie verwendet. Diese gedankliche Linie ergibt sich aus optimal nebeneinander gebauten Brunnenanlagen, die orthogonal zur Grundwasserfließrichtung sind, sodass die Temperaturfahnen parallel verlaufen. Dabei wurde angenommen, dass die Grundwasserfließrichtung zur Brenz hinfließt, da dies der Regel entspricht [34].

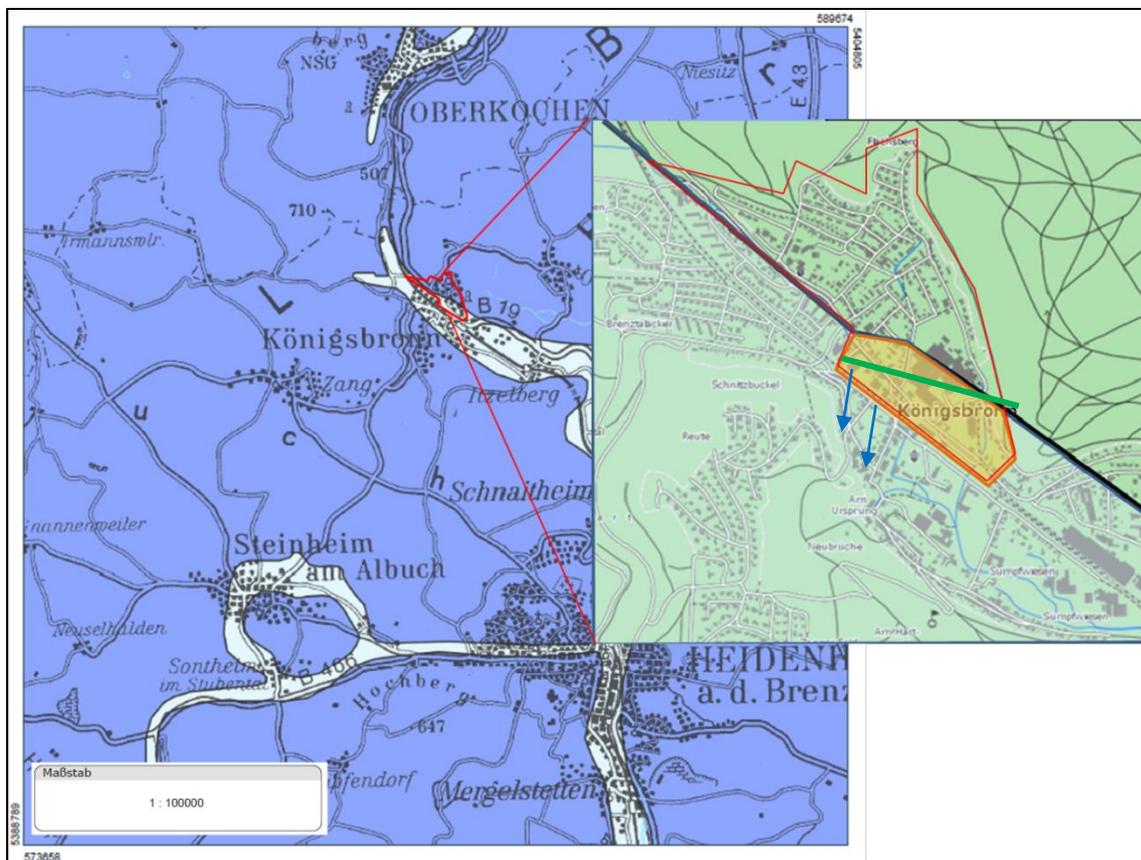
$$L_{GWWP\ Linie} = n_{WP} \times B_{TF} = 45\ m \times 6 = 270\ m \quad (15)$$

$L_{GWWP\ Linie}$ = Länge der Grundwasserwärmepumpenanreihung orthogonal zur Grundwasserfließrichtung in m

n_{WP} = Anzahl an Wärmepumpen

B_{TF} = Breite der Temperaturfahne in m

Dabei ergibt sich eine Linie von 270 m. Um festzustellen, ob diese Grundwasserwärmepumpenlinie innerhalb des Quartiers umsetzbar ist, muss die vorhandene Maximallänge herausgefunden werden. Wie in Abbildung 14 erkenntlich wurde zur Abschätzung dieser mittels Google Maps die Strecke gemessen, was eine Länge von 420 m ergab. Dies ist in Abbildung 13 innerhalb der hydrogeologischen Karte von Königsbronn dargestellt.



■ Oberjura, schwäbische Fazies (GWL) ■ Quartäre/Pliozäne Kiese und Sande (GWL)

↓ Grundwasserfließrichtung — Grundwasserwärmepumpenlinie

Abbildung 13 Hydrogeologische Karte von Heidenheim an der Brenz und Umgebung, darunter Königsbronn und dessen Quartier (rot umrandet); Detailausschnitt: Königsbronn mit schwarzer Abgrenzung zwischen einer Kiesschicht (hell schattiert) und der Kalkgesteine (grün) sowie einer orangen Markierung der Kiesschicht im Quartier, die für Grundwasserwärmepumpen geeignet ist [6]

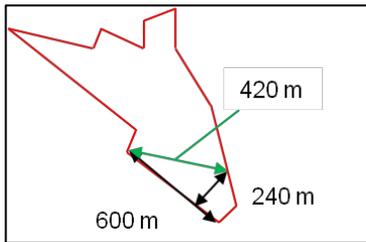


Abbildung 14 Streckenlänge der möglichen Grundwasserwärmepumpenlinie innerhalb des Quartiers in Königsbronn

Diese Berechnungen zu Grundwasserwärmepumpen zeigen, dass die Quartiersversorgung mit sechs Grundwasserwärmepumpen prinzipiell möglich ist. Daher wird diese in Kapitel 6.2.1 als eigenständiges Konzept präsentiert.

6.1.3 Berechnung zu Erdwärmekollektoren

Nun wird die Energieversorgung mittels Erdwärmekollektoren und den dementsprechenden Wärmepumpen berechnet. Da hierfür in vorherigen Abschnitten bereits die Anzahl, die produzierte sowie benötigte Energiemenge der Wärmepumpen ermittelt wurden, folgt nun eine Erdkollektorflächenberechnung für horizontale Erdwärmekollektoren. Anschließend werden Kollektorflächenberechnungen für Kapillarrohrmatten sowie für Erdwärmekörbe durchgeführt.

Flächenberechnung - Horizontale Erdwärmekollektoren

Die dafür notwendigen maximalen Entzugsleistungen wurden aus Abbildung 15 entnommen, welche die Wärmeentzugsleistungen nach Klimazonen und Bodensubstrat aufteilt. Da in der Abbildung 16 festzustellen ist, dass sich Königsbronn in der Klimazone Nr.14 befindet, wurden im Folgenden die entnommenen Werte auf diese Klimazone bezogen.
[10]

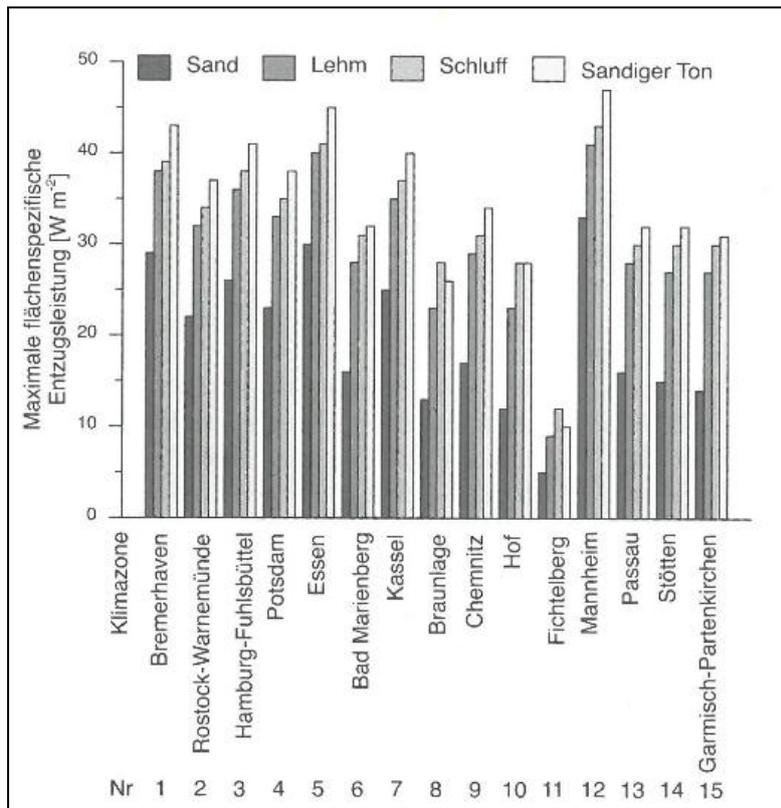


Abbildung 15 Maximale Entzugsleistungen des Bodens unterteilt in Klimazonen und Boden-
substrat [10]



Abbildung 16 Deutschlandkarte mit einzelnen Klimazonen [10]

Dabei ergeben sich für horizontale Erdwärmekollektoren in Klimazone 14 folgende maximale flächenspezifische Entzugsleistungen in W/m^2 , welche bei turbulenten Bedingungen, auftreten. [12][10]

Bodensubstrat	Maximale flächenspezifische Entzugsleistungen in W/m^2
Sand	15
Lehm	27
Schluff	30
Sandiger Ton	32

Tabelle 5 Maximale Entzugsleistungen des Bodens aufgeteilt nach dessen Substrat [12]

Da diese Werte stark vom Bodensubstrat abhängen, müssen die benötigten Flächen der Erdwärmekollektoren jeweils pro Substrat berechnet werden. Wie in Abbildung 17 ersicht-

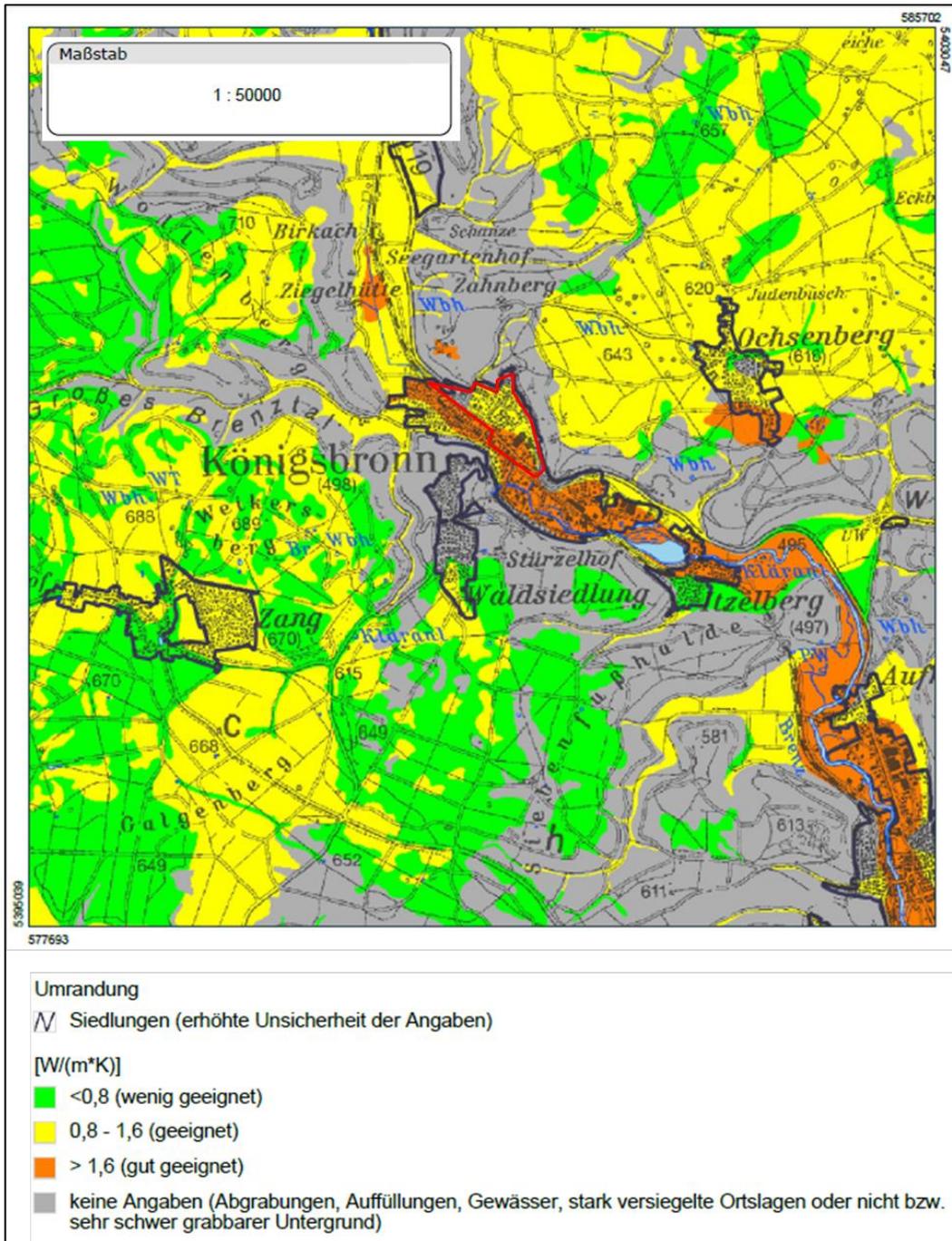


Abbildung 18 Karte der spezifische Wärmeleitfähigkeiten des Bodens in Königsbrunn (relevantes Quartier wurde rot umrandet) und Umgebung[6]

Die vorhandenen Feuersteinlehme besitzen eine für Erdwärmekollektoren geeignete spezifische Wärmeleitfähigkeit, wie in Abbildung 18 ersichtlich wird. In dieser Grafik ist außerdem zu sehen, dass auch innerhalb des Quartiers geeignete spezifische Wärmeleitfähigkeiten zwischen 0,8 und 1,6 W/(m*K) vorliegen, um Energie aus den Böden zu entnehmen. Zur Bestimmung der dazugehörigen Bodensubstrate dient Tabelle 6.

	Sand	Lehm	Schluff	Sandiger Ton
Wassergehalt in % Vol.	9,3	28,2	38,1	36,4
Wärmeleitfähigkeit in W/(m*K)	1,22	1,54	1,49	1,76

Tabelle 6 Wärmeleitfähigkeiten in W/(m*K) je Bodensubstrat mit dem dazugehörigen Wassergehalt[12]

Dabei wird ersichtlich, dass Sand, Lehm und Schluff innerhalb der vorhandenen Wärmeleitfähigkeiten liegen. Da in Abbildung 17 nur Feuersteinlehm in einem am Quartier angrenzenden großflächigen Gebiet auftritt, kann dieser für Erdwärmekollektoren genutzt werden. Daher wird in den folgenden Flächenberechnungen von Lehm als Bodensubstrat ausgegangen. Die Flächenberechnungen der Bodensubstrate Sand, Schluff und sandigem Ton befinden sich im Anhang E.

Bei der Flächenberechnung wird zunächst die Leistung einer Wärmepumpe durch die maximale Entzugsleistung des Bodens dividiert.

$$A_{EWK,Lehm} = \frac{P_{WP}}{P_{E_{max},Lehm}} = \frac{350\,000\,W}{27\,\frac{W}{m^2}} = 12\,963\,m^2 \quad (16)$$

$A_{EWK,Lehm}$ = Erdwärmekollektorfläche bei lehmigem Bodensubstrat in m^2

P_{WP} = Wärmepumpenleistung in W

$P_{E_{max},Lehm}$ = maximale Entzugsleistungen bei Lehm als Bodensubstrat in W/m^2

Da noch keine Bodenanalysen vor Ort stattfanden, wird ein Unsicherheitsfaktor von 20 % auf die Fläche aufgeschlagen. Daraus ergibt sich eine neue Mindestfläche der Erdwärmekollektoren bei lehmigem Untergrund.

$$A_{EWK+20\%,Lehm} = A_{EWK,Lehm} \times (U + 1) = 12\,963\,m^2 \times 1,2 = 15\,556\,m^2 \quad (17)$$

$A_{EWK+20\%,Lehm}$ = Erdwärmekollektorfläche mit Unsicherheitszuschlag bei lehmigem Bodensubstrat in m^2

$A_{EWK,Lehm}$ = Erdwärmekollektorfläche bei lehmigem Bodensubstrat in m^2

U = Unsicherheitsfaktor in Anteilen

Wenn nun das komplette Quartier betrachtet wird, benötigt man sechs Wärmepumpen, wie in Gleichung 6 ermittelt wurde. Daher ergibt sich der Gesamtflächenbedarf an Kollektorfläche zur Deckung des Wärmebedarfs des Quartiers durch Multiplikation der Anzahl der

Wärmepumpen mit der Quadratmeteranzahl der Erdwärmekollektoren pro Wärmepumpe. Dabei ergibt sich eine Mindestkollektorfläche von 93 334 m².

$$A_{EWK_{ges,Lehm}} = A_{EWK+20\%,Lehm} \times n_{WP} = 15\,556 \text{ m}^2 \times 6 = 93\,336 \text{ m}^2 \quad (18)$$

$A_{EWK_{ges, Lehm}}$ = Gesamterdwärmekollektorfläche bei lehmigem Bodensubstrat zur Energiebedarfsdeckung des Quartiers in m²

$A_{EWK+20\%, Lehm}$ = Erdwärmekollektorfläche mit Unsicherheitszuschlag bei lehmigem Bodensubstrat in m²

n_{WP} = Wärmepumpenanzahl

Dabei ergibt sich eine Fläche von circa 93 336 m², was ungefähr sieben großen Fußballfeldern gleicht. Die Werte für horizontale Erdwärmekollektoren sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

Bodensubstrat	Lehm
Maximale flächenspezifische Entzugsleistungen in W/m ²	27
Errechnete Mindestfläche pro Wärmepumpe (mit obigen Herstellerangaben) ohne 20% Zuschlag in m ²	12 963
Errechnete Mindestfläche pro Wärmepumpe (mit obigen Herstellerangaben) mit 20% Zuschlag in m ²	15 556
Errechnete Gesamtfläche (mit 20% Zuschlag) in m ²	93 336

Tabelle 7 Berechnete Flächen der horizontalen Erdwärmekollektoren

Da die maximalen Entzugsleistungen je nach Technik variieren, werden die Flächenberechnungen, identisch wie eben durchgeführt, zusätzlich für Kapillarrohrmatten sowie für Erdwärmekörbe getätigt.

Flächenberechnung - Kapillarrohrmatten

Bodensubstrat	Lehm
Maximale flächenspezifische Entzugsleistungen in W/m ²	29,3
Optimaler Mattenabstand in m	0,70
Errechnete Mindestfläche pro Wärmepumpe ohne 20% Zuschlag in m ²	11945
Errechnete Mindestfläche pro Wärmepumpe mit 20% Zuschlag in m ²	14334
Errechnete Gesamtfläche (mit 20% Zuschlag) in m ²	86007

Tabelle 8 Berechnete Flächen der Kapillarrohrmatten

Die Kapillarrohrmatten haben im Vergleich zu horizontalen Erdwärmekollektoren höhere maximale Entzugsleistungen, wodurch die benötigte Mindestfläche kleiner wird. Hierbei ergibt sich für Lehm eine Mindestfläche von 86 007 m².

Flächenberechnung - Erdwärmekörbe

Bodensubstrat	Lehm
Maximale flächenspezifische Entzugsleistungen in W/Korb	468
Errechnete Mindestfläche pro Wärmekorb ohne 20% Zuschlag in m ²	28
Benötigte Anzahl an Erdwärmekörben für eine WP	748
Errechnete Mindestfläche pro Wärmepumpe (mit obigen Herstellerangaben) ohne 20% Zuschlag in m ²	21011
Errechnete Mindestfläche pro Wärmepumpe (mit obigen Herstellerangaben) mit 20% Zuschlag in m ²	25213
Errechnete Gesamtfläche der sechs WP (mit 20% Zuschlag) in m ²	151279

Tabelle 9 Berechnete Anzahl der Erdwärmekörbe mit einer Höhe sowie einem Durchmesser des Korbes von 1,3 m und mit einem Korbabstand von 4 m mit 4 Nachbarkörben [12]

Da die Entzugsleistungen der Erdwärmekörbe pro Korb gelten, unterscheiden sich die Flächenberechnungen der Erdwärmekörbe zu den vorherigen Rechnungen. Folgend werden diese dargestellt.

Zunächst wird die benötigte Fläche eines Erdwärmekorbes berechnet. Bei Betrachtung der Erdwärmekörbe aus Tabelle 9, ergibt sich eine quadratische Fläche pro Korb von 28 m². Dies bezieht sich auf einen Korb mit vier Nachbarskörben.

$$A_{EWKorb,Lehm} = (L_{Abstand} + d_{Korbes})^2 = (4 \text{ m} + 1,3 \text{ m})^2 = 28,09 \text{ m}^2 \approx 28 \text{ m}^2 \quad (19)$$

$A_{EWKorb,Lehm}$ = Fläche eines Korbes inmitten einer Korbfläche

$L_{Abstand}$ = Abstandslänge zum benachbarten Korb in m

d_{Korb} = Durchmesser des Korbes in m

Um die Gesamtfläche pro Wärmepumpe zu bekommen, benötigt man zusätzlich die Anzahl der benötigten Körbe pro Wärmepumpe. Dies wird durch eine Division der Wärmepumpenleistung mit der maximalen Entzugsleistung eines Korbes berechnet. Dabei ergeben sich 748 Körbe pro Wärmepumpe.

$$n_{EWKorb,Lehm} = \frac{P_{WP}}{P_{E_{max},Lehm}} = \frac{350\,000 \text{ W}}{468 \frac{\text{W}}{\text{Korb}}} = 748 \text{ Körbe} \quad (20)$$

$n_{EWK,Lehm}$ = Anzahl an Erdwärmekörben bei lehmigem Bodensubstrat

P_{WP} = Wärmepumpenleistung in W

$P_{E_{max},Lehm}$ = maximale Entzugsleistungen bei Lehm als Bodensubstrat in W/Korb

Durch Multiplikation der Anzahl der Körbe pro Wärmepumpe mit der jeweiligen Fläche pro Korb, ergibt sich die Fläche der benötigten Erdwärmekörbe pro Wärmepumpe.

$$A_{EWKorb WP, Lehm} = A_{EWKorb, Lehm} \times n_{EWKorb, Lehm} = 28,09 \text{ m}^2 \times 748 = 21011,32 \text{ m}^2 \\ \approx 21011 \text{ m}^2 \quad (21)$$

$A_{EWKorb WP, Lehm}$ = Benötigte Fläche der Erdwärmekörbe pro Wärmepumpe bei lehmigem Bodensubstrat in m^2

$A_{EWKorb, Lehm}$ = Benötigte Fläche eines Erdwärmekorbes bei lehmigem Bodensubstrat in m^2

$n_{EWKorb, Lehm}$ = Anzahl an Erdwärmekörben pro Wärmepumpe

Dabei ergibt sich eine Fläche von 21 011 m^2 pro Wärmepumpe. Der Zuschlag eines Unsicherheitsfaktors sowie die Berechnung der Gesamtfläche der Erdwärmekörbe zur Wärmeversorgung des Quartiers in Köngisbronn, wurden anhand der Gleichungen 17 und 18 berechnet. Da dies identisch zu den horizontalen Erdwärmekollektoren ist, wurden die Rechnungen nicht nochmals dokumentiert. Dabei ergibt sich eine Gesamtfläche für sechs Wärmepumpen von 151279 m^2 . Dieses Ergebnis befindet sich in Tabelle 9.

Folgend wird eine andere Variante eines Erdwärmekorbes betrachtet, dessen Berechnungen identisch wie eben durchgeführt wurden.

Bodensubstrat	Lehm
Maximale flächenspezifische Entzugsleistungen in W/Korb	284
Errechnete Mindestfläche pro Wärmekorb ohne 20% Zuschlag in m^2	20,25
Benötigte Anzahl an Erdwärmekörben für eine WP	1232
Errechnete Mindestfläche pro Wärmepumpe (mit obigen Herstellerangaben) ohne 20% Zuschlag in m^2	24956
Errechnete Mindestfläche pro Wärmepumpe (mit obigen Herstellerangaben) mit 20% Zuschlag in m^2	29938
Errechnete Gesamtfläche (mit 20% Zuschlag) in m^2	179626

Tabelle 10 Berechnete Anzahl der Erdwärmekörbe mit einer Korbhöhe von 2 m, einem Korbdurchmesser von 0,5 m und einem Korbabstand von 4 m mit 4 Nachbarkörben [12]

Bei Betrachtung der Ergebnisse der Erdwärmekörbe ist festzustellen, dass die Mindestfläche an Erdwärmekörben 151 279 m^2 beträgt.

Vergleich der Erdwärmekollektortechniken

Erdwärmekörbe haben zwar die höchsten Entzugsleistungen, allerdings ergibt sich durch die notwendigen Abstände von 4 Metern zu benachbarten Körben eine große Fläche von mindestens 25 213 m² pro Wärmepumpe. Für das ganze Quartier ergäbe dies eine Fläche von mindestens 151 279 m² bei lehmigem Bodensubstrat. Da die Kapillarrohrmatten für das komplette Quartier mit 86 007 m² am wenigsten Fläche benötigen, ist dies die effizienteste der beschriebenen Techniken der Erdwärmekollektoren.

Sämtliche Berechnungen beziehen sich auf keine expliziten Grundstücke, sondern sind eine allgemeine Bestandsaufnahme.

6.2 Konzepte zur Energiebedarfsdeckung

Mithilfe dieser Auslegungsberechnungen der drei geothermischen Techniken werden vier Konzepte vorgestellt, die den Energiebedarf des Quartiers in Königsbronn vollständig decken. Diese beinhalten geothermische Techniken als Hauptquelle und werden mit anderen Techniken kombiniert.

6.2.1 Konzept 1 - Grundwasserwärmepumpen und Hackschnitzelfeuerungsanlage

Das Konzept 1 beinhaltet die Ergebnisse der Berechnungen aus Kapitel 6.1.2. Bei diesem Konzept werden sechs Grundwasserwärmepumpen mit den Angaben aus Tabelle 3 verwendet, die eine Energiemenge von 5040 MWh produzieren. Dies deckt den Gesamtbedarf von 5000 MWh. Die dafür benötigte Fläche, welche die bereits genannten hydrogeologischen Voraussetzungen aus Kapitel 5.1.2, besitzt, ist im Königsbronner Quartier vorhanden (siehe Kapitel 6.1.2). Daher können sechs Wärmepumpen mit jeweiligen Brunnenanlagen erbaut werden.

Da die Wärmepumpen zusätzliche Energie benötigen, wird eine Hackschnitzelfeuerungsanlage mit integrierter ORC-Technik (Organic Rankine Cycle) verwendet [35]. Diese ist in ihrer CO₂ Bilanz neutral, da das Holz, welches verbrannt wird, die gleiche Menge an CO₂ abgibt, die es zuvor aus der Atmosphäre aufgenommen hatte[36].

Diese Anlage muss jährlich 1 938 MWh Strom erzeugen, um die Wärmepumpen betreiben zu können. Da mit dieser Technik jederzeit Energie produziert werden kann, können auch winterliche Spitzenlasten abgedeckt werden. In Abbildung 19 ist das erste Konzept schematisch dargestellt.

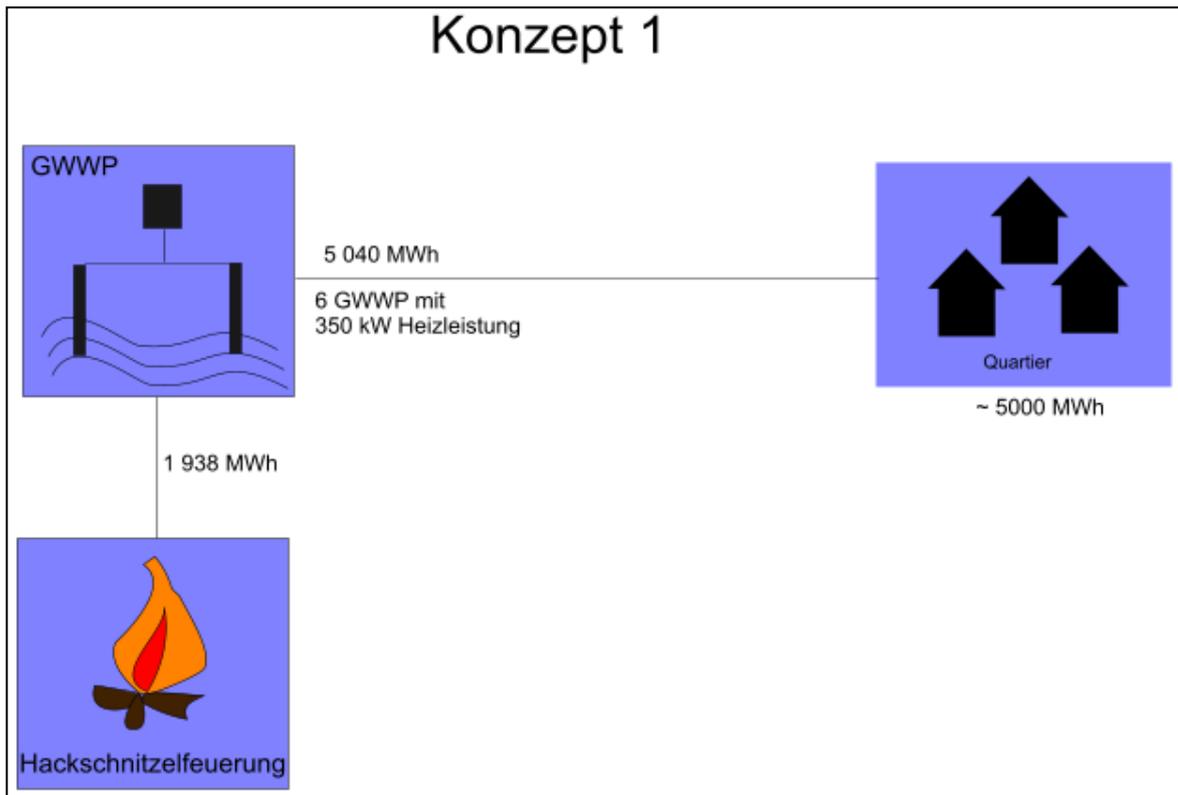


Abbildung 19 Schematische Darstellung des Konzepts 1

6.2.2 Konzept 2 - Kombination aus Grundwasserwärmepumpen, Erdwärmekollektoren und Hackschnitzelfeuerungsanlage

In Konzept 1 wurden sechs Grundwasserwärmepumpen auf einer maximalen Linie von circa 420 Metern verteilt. Da diese gedachte Linie durch Wohngebiete und Firmengelände führt, kann es in der Realität schwer sein, geeignete Standorte für die Anlagen zu finden. Daher beschränkt sich Konzept 2 auf drei Grundwasserwärmepumpen, welche eine Energiemenge von 2 520 MWh erbringen. Die restliche Energiemenge von 2 520 MWh wird mittels Erdwärmekollektoren mit drei Wärmepumpen (je 350 kW Heizleistung) produziert. Dabei werden Kapillarrohrmatten eingesetzt, welche eine Kollektorfläche von 86007 m² pro Wärmepumpe bei lehmigen Böden benötigen. Für drei Wärmepumpen werden daher 258 021 m² benötigt.

Der Strombedarf der Wärmepumpen von 1 938 MWh wird, wie in Konzept 1, mittels einer Hackschnitzelfeuerungsanlage mit integrierter ORC-Technik gedeckt. Die Berechnungen für dieses Konzept ergeben sich aus Kapitel 6.1. In Abbildung 20 ist Konzept 2 als schematischer Überblick dargestellt.

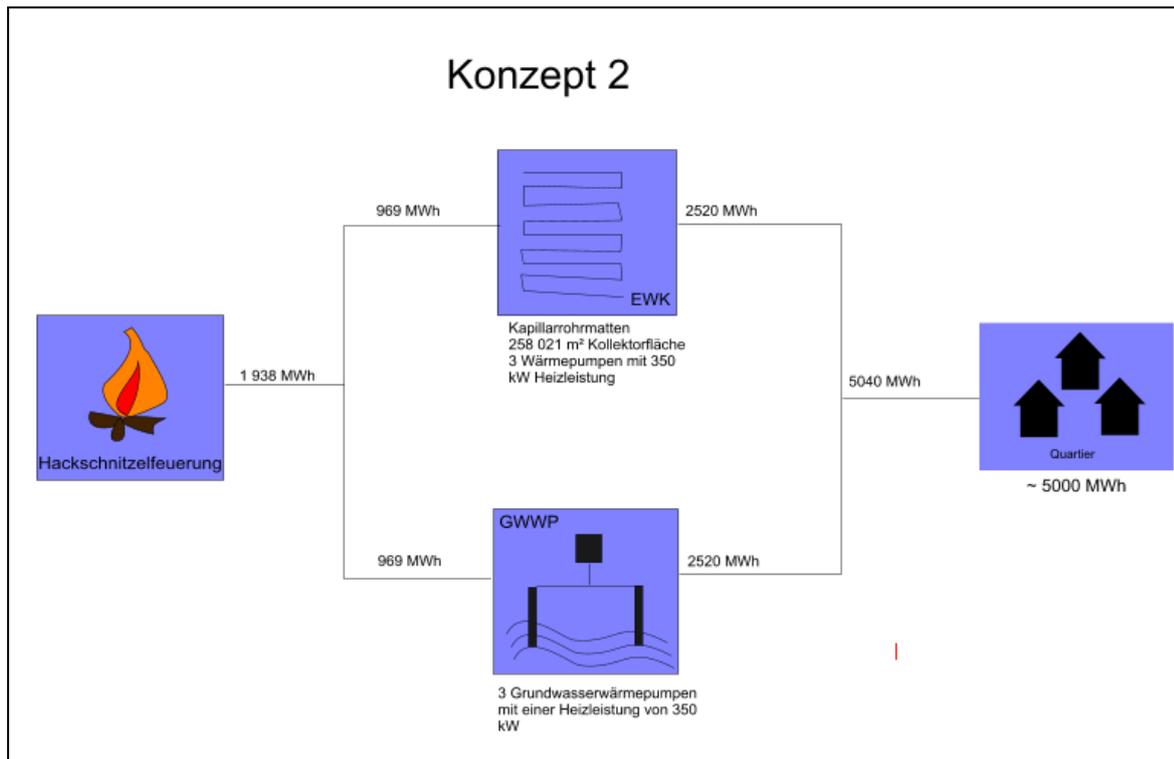


Abbildung 20 Schematische Darstellung des Konzepts 2

6.2.3 Konzept 3 - Kombination aus Erdwärmesonden, Grundwasserwärmepumpen sowie Hackschnitzelfeuerungsanlage

In Konzept 3 werden Erdwärmesonden einen Teil des Energiebedarfs decken. Dabei wird eine Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 350 kW verwendet. Um diese mit Erdwärmesonden zu betreiben, benötigt man eine Erdsondenlänge von 7000 Metern. Da die maximale Sondenlänge auf 400 m begrenzt ist[16], ergeben sich 18 Erdsonden zum Betrieb einer Wärmepumpe (siehe Kapitel 6.1.1). Diese produzieren eine Wärmemenge von 840 MWh im Jahr und benötigen, bei einer Leistungszahl der Wärmepumpe von 2,6, eine Energiemenge von 323 MWh. Diese Strommenge wird über eine Hackschnitzelfeuerung mit integrierter ORC-Technik gewährleistet.

Neben den Erdwärmesonden werden fünf Grundwasserwärmepumpen gebaut, um den restlichen Wärmebedarf zu decken. Die angenommenen Wärmepumpen mit einer jeweiligen Heizleistung von 350 kW erzeugen zusammen eine Energiemenge von 4200 MWh. Die dafür notwendige Energiemenge für die Wärmepumpe beträgt 1 615 MWh, welche mit der genannten Hackschnitzelfeuerung bereitgestellt werden kann. Um diese Grundwasserwärmepumpen bauen zu können, müssen die gleichen hydrogeologischen Bedingungen wie in Konzept 1 gegeben sein, sodass die darin beschriebene Fläche den Bau von sol-

chen Anlagen gewährleistet. Dabei ergibt sich eine Anlagenkette von 225 m Länge orthogonal zu der Grundwasserfließrichtung, mit einem Mindestabstand zwischen den einzelnen Anlagen von 45 Metern.

Die verwendete Hackschnitzelfeuerungsanlage ist, wie bei den vorherigen Konzepten, neben der Bereitstellung des benötigten Stroms der Wärmepumpen, zusätzlich für den winterlichen maximalen Energiebedarf zuständig, indem diese Anlage unterstützend Wärme produziert. Folgend wird das Konzept 3 in Abbildung 21 schematisch dargestellt.

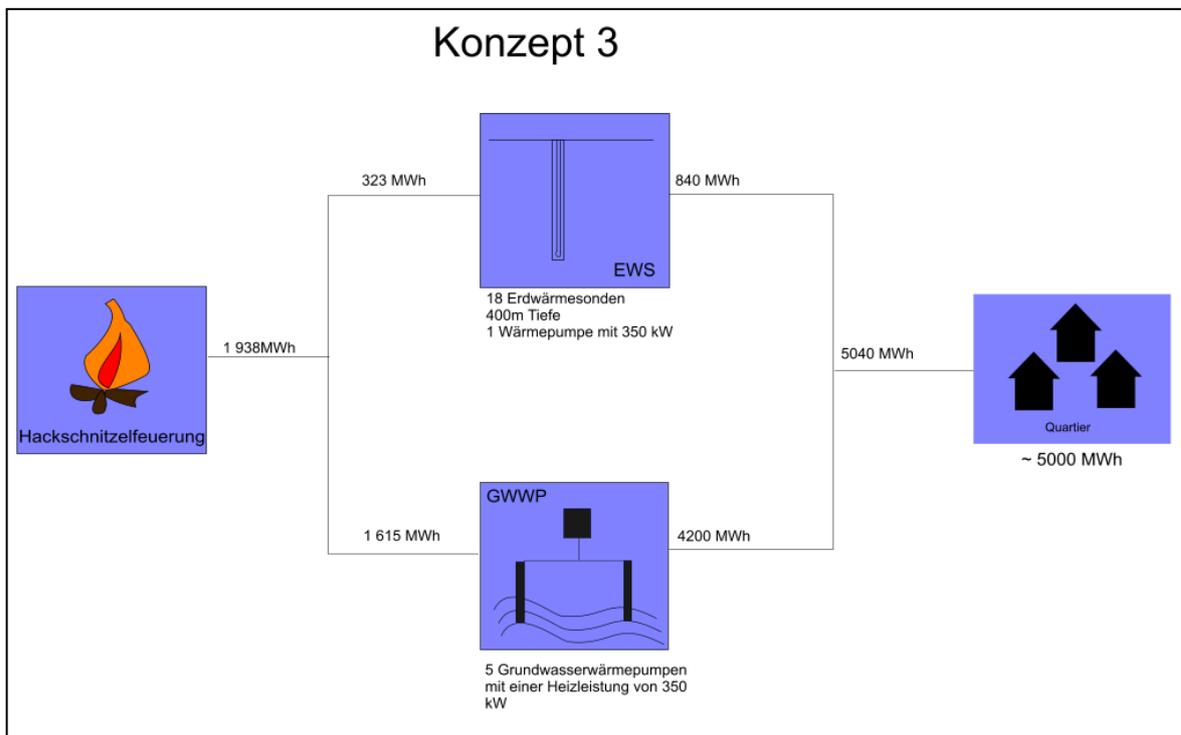


Abbildung 21 Schematische Darstellung des Konzepts 3

6.2.4 Konzept 4 - Kombination aus Grundwasserwärmepumpen, Solarthermie und Hackschnitzelfeuerungsanlage

In Konzept 4 werden die Techniken der Grundwasserwärmepumpe mit der Solarthermie kombiniert. Zusätzlich soll eine Hackschnitzelfeuerungsanlage mit ORC-Technik gebaut werden. Um einen Überblick über das Konzept zu erlangen, stellt Abbildung 22 dieses vereinfacht und schematisch dar.

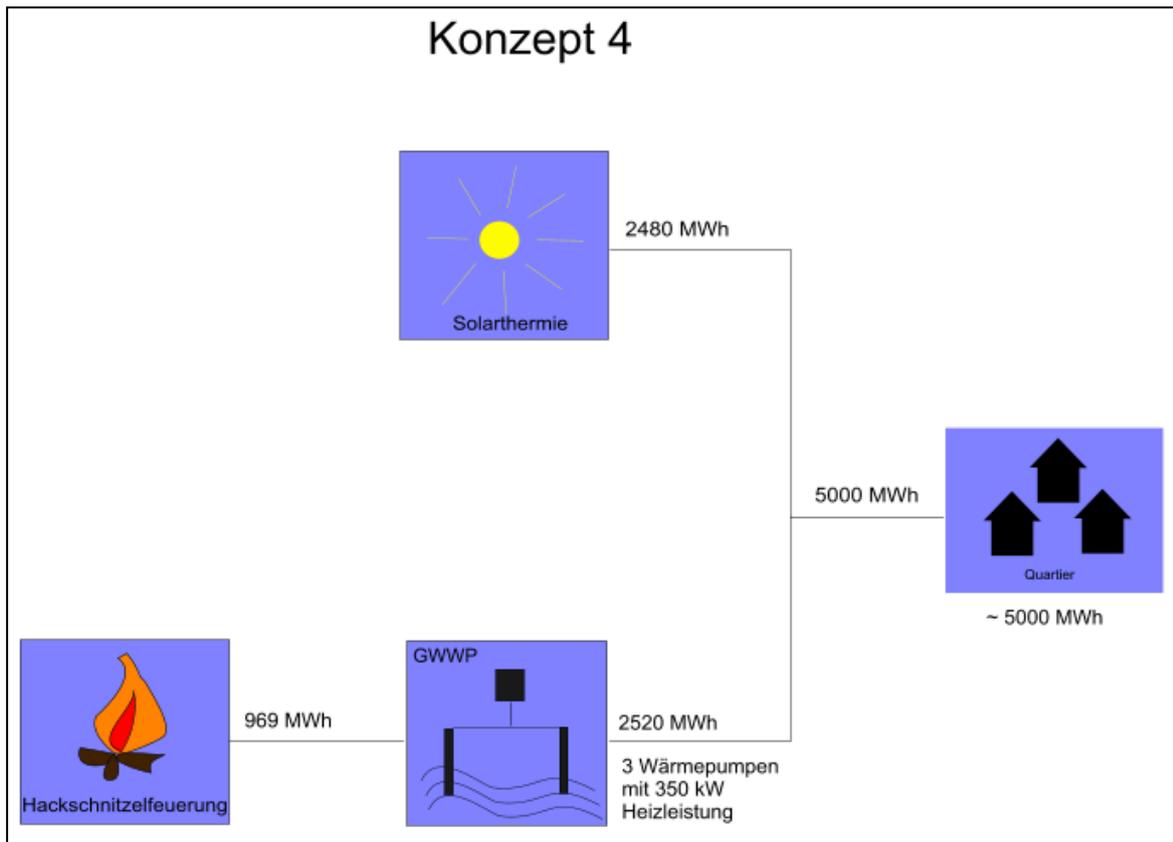


Abbildung 22 Schematische Darstellung des Konzepts 4

Bei diesem Konzept werden drei Grundwasserwärmepumpen mit den Angaben aus Kapitel 6.1.1 verwendet, die eine Energiemenge von 2520 MWh produzieren. Dies entspricht in etwa 50 % des Gesamtbedarfs. Wie in Kapitel 6.1.1 dargestellt ist eine ausreichend große Fläche vorhanden, welche für Grundwasserwärmepumpen genutzt werden darf. Dabei ergibt sich eine Anreihungslänge der drei Grundwasserwärmepumpen von 135 Meter. Dabei wurde der Abstand von 45 m aus Kapitel 6.1.1 verwendet. Die drei Wärmepumpen haben insgesamt einen Energiebedarf von 969 MWh, welcher, wie bei den vorherigen Konzepten, über eine Hackschnitzelfeuerungsanlage gedeckt wird.

Die andere Hälfte des Wärmebedarfs des Quartiers, soll mit Solarthermie gedeckt werden. Die dazugehörigen Berechnungen müssen im weiteren Verlauf des Projektes von einem Fachunternehmen durchgeführt werden.

6.3 Speicheranlagen

Da der Wärmebedarf im Tages- sowie im Jahresverlauf variiert, benötigen alle genannten Konzepte zusätzlich eine Wärmespeicherung. Dabei ist prinzipiell zwischen saisonalen Langzeitspeichern, die im Sommer gewonnene Wärme bis in den Winter speichern, und Kurzzeitspeichern bzw. Pufferspeichern, die Wärme einen Tag speichern, zu unterscheiden.

Bei den beschriebenen Konzepten ist ein Pufferspeicher zum Ausgleich der täglichen Spitzenlasten des Wärmebedarfs notwendig.

Beim Einsatz von Solartechniken, wie der Solarthermie, ist zusätzlich ein Langzeitspeicher zwingend notwendig, da sonst im Winter ein Wärmemangel auftritt. Diese Speicheranlage kann ein sehr großes Volumen besitzen, was eine detaillierte Auslegung und Planung voraussetzt. Im Rahmen des Quartiersprojekts Königsbronn wird diese durch das Unternehmen *Solites* nach einer ausführlichen Wärmequellenrecherche betrieben. Daher werden Langzeitspeicher sowie Speicherauslegungsrechnungen in dieser Arbeit vernachlässigt.

6.3.1 Speichertechnologien und deren rechtlicher Hintergrund

Folgend werden Speichertechnologien, die den Untergrund thermisch nutzen, vorgestellt und rechtlich beurteilt. Auf diese Auswahl kann zurückgegriffen werden, sobald die Auslegungsrechnungen der notwendigen Speicheranlagen durchgeführt wurden.

Erdsondenspeicher

Bei Erdsondenspeichern werden Doppel-U-Rohre in Locker- oder Festgesteinen eingebaut, sodass diese das Gestein erwärmen können. Diese Energie wird im Gestein gespeichert, bis wieder ein Energiebedarf im Wohnviertel vorhanden ist [37]. Dabei ist darauf zu achten, dass im Untergrund die gespeicherte Energie nicht abwandert. Dies bedeutet, dass sich die Anlage außerhalb des Grundwassers oder in einem Grundwassernichtleiter befinden muss. Diese Voraussetzung ist in einem Karstgebiet, wie in Königsbronn nicht erfüllt. Um jegliche Auswirkungen auf das Grundwasser zu vermeiden, sind jegliche Erdsondenanlagen in einem Wasserschutzgebiet verboten, wozu auch Erdsondenspeicheranlagen gehören [17].

Eine derartige Anlage befindet sich in Crailsheim, welche die Solarwärme saisonal speichert. [37]

Aquiferspeicher

Ein Aquiferspeicher ist eine Speichertechnik, die mithilfe des Grundwassers die Wärme zwischenspeichert. Dabei wird einer grundwasserleitenden Gesteinsschicht Wasser entnommen, erwärmt und wieder zurück in den Untergrund gefördert. Dort kann die Wärmeenergie gespeichert und nach Belieben verwendet werden, indem das warme Wasser zurückgepumpt wird [37]. Eine solche Speicheranlage ist laut der Unteren Wasserbehörde in der Regel im Landkreis Heidenheim an der Brenz nicht erlaubt, außer wenn eine negative Beeinflussung des Grundwassers ausgeschlossen werden kann. [17]

Eisspeicher

Ein Eisspeicher ist eine nicht isolierte Betonzisterne, die sich unter der Erdoberfläche befindet. Darin befinden sich Rohrleitungen sowie zwei Wärmetauscher, worin eine frostsichere Flüssigkeit zirkuliert. Der Eisspeicher ist mit Wasser gefüllt, welches seine Wärme während des Betriebes stetig an das Wärmeträgermedium abgibt, wodurch eine Wärmepumpe betrieben wird. Sobald das Wasser eine entsprechende Energiemenge abgegeben hat, beginnt es zu gefrieren. Bei dem Wechsel des Aggregatzustandes wird Kristallisationswärme freigesetzt, die das Wärmeträgermedium erwärmt. Durch den zweiten eingebauten Wärmetauscher, sowie durch die Untergrundwärme schmilzt das Eis wieder und der Prozess kann von Neuem beginnen. Der eingebaute Wärmetauscher wird mit einer vorhandenen Technik verbunden, sodass bei Überproduktion von Wärme, diese in den Eisspeicher geleitet wird und das Eis zum Schmelzen bringt. Sobald ein Energiebedarf vorhanden ist, kann dem Wasser wieder Wärme entzogen werden, wodurch dieses wieder gefriert. [38] Eine solche Speichertechnik ist im Landkreis Heidenheim prinzipiell realisierbar und wird bereits bei vorhandenen Anlagen eingesetzt [17].

Erdbeckenspeicher

Ein Erdbeckenspeicher ist eine wärmegeämmte Baugrube, die mit Kunststoffdichtungsbahnen beschichtet wurde. Diese dient dazu, das Wasser vom Untergrund abzudichten, sodass keine Verluste auftreten. Dieses wärmegeämmte Becken wird beispielsweise mit einem schwimmenden Deckel verschlossen[37]. Eine Variante der Erdbeckenspeicher ist der kiesgefüllte Beckenspeicher. In den Zwischenräumen des Kieses sammelt sich das Wasser, wodurch dessen Wärme dort gespeichert werden kann [37]. Durch eine Entnahme des Wassers kann die Wärme wieder verwendet werden. Da Erdbeckenspeicher die oberflächennahen Schichten nutzen, können diese prinzipiell im Landkreis Heidenheim errichtet werden, wenn kein Kontakt zum Grundwasser besteht[17]. Dabei sind die Vorschriften und Bedingungen der Unteren Wasserbehörde zu beachten.

6.4 Bewertung der technischen Konzepte hinsichtlich Realisierbarkeit in einem Wasserschutzgebiet und der notwendigen technischen Randbedingungen

Konzept 1 - Energiebedarfsdeckung mittels Grundwasserwärmepumpen und einer Hackschnitzelfeuerungsanlage

Das erste Konzept wird mit sechs Grundwasserwärmepumpen und einer Hackschnitzelfeuerungsanlage betrieben. Prinzipiell ist dieses Konzept aus rechtlicher Sicht realisierbar, da die hydrogeologischen Voraussetzungen innerhalb des Quartiers vorhanden sind. Wenn die Grundwasserentnahmebrunnen sowie die Rückführungsbrunnen auf einer Linie orthogonal zur Grundwasserfließrichtung liegen, kann die maximale Anzahl an Wärmepumpen erbaut werden. Da die maximale Linienlänge circa 420 Meter beträgt, können maximal neun Anlagen mit einem jeweiligem Abstand von 45 m errichtet werden. Daher reicht die aus rechtlicher Sicht nutzbare Fläche theoretisch aus, um sechs Anlagen mit Grundwasserwärmepumpen zu betreiben.

Allerdings kann es in der Praxis durchaus Probleme geben ausreichend geeignete Standorte zur Errichtung der Grundwasserwärmepumpen zu finden. Da sich die prinzipiell nutzbare Fläche aus Wohngebieten und industriell genutzter Fläche zusammensetzt, kommt es letztendlich auf die Absprache mit Grundstückseigentümern an, ob die sechs Grundwasserwärmepumpen realisiert werden können.

Die notwendige Hackschnitzelanlage ist aus rechtlicher Sicht nicht an hydrogeologische Bedingungen geknüpft, sodass die Anlage auf beliebigen Flächen erbaut werden kann. Dabei müssen die geltenden Vorschriften der zuständigen Behörde eingehalten werden.

Aus rechtlicher Sicht ist Konzept 1, unter Einhaltung der in Kapitel 5.1.2 genannten Vorschriften, realisierbar.

Konzept 2 - Energiebedarfsdeckung mittels einer Kombination aus Grundwasserwärmepumpen, Erdwärmekollektoren und einer Hackschnitzelfeuerungsanlage

Das zweite Konzept kombiniert drei Grundwasserwärmepumpen mit drei Erdwärmepumpen, welche an eine Erdkollektorfläche angeschlossen sind. Dabei ergibt sich bei der Technik der Kapillarrohrmatten eine Fläche von 258 021 m². Da diese Fläche nach Einbau der Kollektoren nicht mehr bebaut oder genutzt werden darf, kann es Probleme geben eine derartige Flächengröße zu finden. Prinzipiell benötigt man beispielsweise eine freie Ackerfläche mit der notwendigen Größe und geeignetem Bodensubstrat. Da es in der näheren

Umgebung von Königsbronn für Erdwärmekollektoren geeignete Flächen gibt, sind die Erdwärmekollektoren aus Konzept 2 prinzipiell umsetzbar, wenn die benötigte Größe der Fläche gegeben ist. Entscheidend sind dabei die Gespräche und Verträge mit den jeweiligen Landwirten sowie Grundstücksbesitzern. Unter Einhaltung der Vorschriften und Bedingungen (siehe Kapitel 5.1.3) sind aus rechtlicher Sicht Erdwärmekollektoren im Quartiersprojekt Königsbronn einsetzbar.

Die geplanten Grundwasserwärmepumpen sind unter Beachtung der Rechtsvorschriften ebenfalls realisierbar, da es im zu versorgendem Quartier eine Fläche mit den aus rechtlicher Sicht notwendigen hydrogeologischen Bedingungen gibt (siehe Kapitel 6.1.2). Wenn die Grundwasserwärmepumpen optimal verteilt (auf einer gedachten Linie orthogonal zur Grundwasserfließrichtung) angeordnet werden, können neun davon erbaut werden. Daher sind die geplanten drei Anlagen in diesem Gebiet realisierbar.

Die notwendige Hackschnitzelanlage ist, wie in Kapitel 1 beschrieben, aus rechtlicher Sicht realisierbar. Dabei müssen die geltenden Vorschriften der zuständigen Behörde eingehalten werden.

Insgesamt ist Konzept 2 aus rechtlicher Sicht realisierbar, da die benötigten Flächen in Königsbronn vorhanden sind. Ob die geeigneten Flächen letztendlich genutzt werden dürfen, muss mit den Grundstückseigentümern geklärt werden.

Konzept 3 - Energiebedarfsdeckung mittels einer Kombination aus Erdwärmesonden, Grundwasserwärmepumpen und einer Hackschnitzelfeuerungsanlage

Auch in Konzept 3 werden Grundwasserwärmepumpen verwendet, welche, wie auch in Konzept 1 und 2, aus rechtlicher Sicht realisierbar sind. In Konzept 3 sollen fünf solcher Anlagen erbaut werden, welche den Bestand von Kies- oder Sandablagerungen entlang der Brenzaue benötigen. Die im Quartier vorhandene Fläche mit den notwendigen hydrogeologischen Bedingungen reicht für die fünf Grundwasserwärmepumpen aus. Um grundstücksbezogene Angaben zur Nutzung von geeigneten Flächen zu erhalten, müssen die entsprechenden Grundstückseigentümer kontaktiert werden.

Wie in Konzept 1 und Konzept 2 bereits beschrieben, sind Hackschnitzelanlagen in einem Wasserschutzgebiet realisierbar.

Neben den realisierbaren Grundwasserwärmepumpen und einer Hackschnitzelfeuerungsanlage basiert das Konzept 3 auf Erdwärmesonden, die eine Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 350 kW betreiben sollen. Dazu benötigt man 18 Erdwärmesonden mit einer

jeweiligen Länge von 400 m. Wie in Kapitel 4.2 dokumentiert sind tiefe Bohrungen in den Untergrund in einem Wasserschutzgebiet verboten, weshalb sind die in Konzept 3 angenommenen Sonden prinzipiell möglich sind. Da zum Bau einer Erdwärmesonde innerhalb eines Wasserschutzgebietes allerdings hydrogeologische Voraussetzungen erfüllt werden müssen, müssen geeignete Flächen gefunden werden. Da ein durchgängiges Locker- oder Festgestein, welches sich außerhalb des verwendeten Grundwasserleiters befindet, gefordert ist, ist es in einem Karstgebiet unwahrscheinlich sein derartige Standorte zu finden. **Da 18 Standorte dieser Art erkundet werden müssten, erscheint das Konzept 3 aus rechtlicher Sicht nicht realisierbar.**

Konzept 4 - Energiebedarfsdeckung mittels einer Kombination aus Grundwasserwärmepumpen, Solarthermie und einer Hackschnitzelfeuerungsanlage

Das vierte Konzept kombiniert Grundwasserwärmepumpen mit der Solarthermie. Dabei werden drei Grundwasserwärmepumpen gebaut, welche aus rechtlicher Sicht realisierbar sind. Dies ist der Fall, wenn die bereits mehrfach genannte Fläche, welche die notwendigen hydrogeologischen Bedingungen aufweist, verwendet wird.

Die Technik der Solarthermie beinhaltet keinen Eingriff in den Untergrund oder das Grundwasser, sodass diese aus rechtlicher Sicht prinzipiell realisierbar ist. Allerdings sind auch bei oberirdischen Techniken Vorschriften einzuhalten, die die zuständige Behörde vorgibt.

Um die winterliche reduzierte solare Einstrahlung zu kompensieren, wurde eine Hackschnitzelfeuerungsanlage mit integrierter ORC-Technik angedacht. Dies hat zum Vorteil, dass jederzeit Wärmeenergie abrufbar ist, wodurch hohe Energiebedarfsmengen gedeckt werden können. Diese Anlage hat keine flächenspezifischen Ansprüche, weshalb eine Standortfindung einfacher möglich ist, als beispielsweise bei Grundwasserwärmepumpen.

Unter Berücksichtigung der geltenden Vorschriften ist das Konzept 4 aus rechtlicher Sicht realisierbar.

7 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Arbeit beruhen auf den Resultaten der rechtlichen Recherche sowie der Konzeptbewertung. Dabei wurde eine rechtliche Analyse der Erdwärmesonden, Grundwasserwärmepumpen und der Erdwärmekollektoren im Wasserschutzgebiet des Landkreises Heidenheim durchgeführt, dessen Ergebnisse folgend zusammengefasst sind.

Ergebnisse der rechtlichen Analyse

Zunächst wurde festgestellt, dass alle Techniken, die den Untergrund in irgendeiner Weise nutzen, verboten sind, da diese ein potentiell Risiko für das Grundwasser darstellen. Allerdings können Ausnahmen erteilt werden, wenn durch hydrogeologische Bedingungen und bautechnische Vorschriften gewährleistet wird, dass beim Bau und Betrieb der jeweiligen Anlage keine Gefährdung des Grundwassers entsteht. Diese Bedingungen, die Anzahl der bereits realisierten Anlagen im Landkreis Heidenheim an der Brenz sowie die zu beantragenden Behördendokumente sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tech- nik	Rechts- lage	Anzahl rea- lisierter An- lagen im Landkreis Heidenheim	Ausnahmevoraussetzung	Notwendiges Be- hördendokument
EWS	verbo- ten	1	<ul style="list-style-type: none"> • Durchgängiges Locker- oder Festgestein • außerhalb des geförderten Grundwassers oder • innerhalb eines Grundwassergeringleiters 	<ul style="list-style-type: none"> • Bohranzeige, • evtl. wasserrechtliche Erlaubnis, • evtl. bergrechtliche Genehmigung
GW- WP	verbo- ten	78	<ul style="list-style-type: none"> • Grundwasserleiter aus Kies- oder Sandablagerungen im Brenzverlauf über dem Karstgrundwasserleiter • Zwischenkreislauf zwischen Grundwasser- und Wärmepumpenkreislauf 	Wasserrechtliche Erlaubnis

Technik	Rechtslage	Anzahl realisierter Anlagen im Landkreis Heidenheim	Ausnahmevoraussetzung	Notwendiges Behördendokument
EWK	verboten	28 Flächenkollektoren 1 Erdwärmekorb 14 Direktverdampferkollektoren	<ul style="list-style-type: none"> • maximale Tiefe: 5 m • kein Kontakt zum Grundwasser • eine mindestens 2 m dicke Deckschicht unterhalb der Kollektorfläche mit $k_f < 10^{-6}$ m/s oder • eine mindestens 1 m dicke Deckschicht unterhalb der Kollektorfläche mit $k_f < 10^{-8}$ m/s 	Anzeige

Tabelle 11 Zusammenfassung der Ergebnisse der rechtlichen Recherche zur energetischen Untergrundnutzung innerhalb des Wasserschutzgebietes im Brenztal im Landkreis Heidenheim an der Brenz

Diese Ergebnisse zeigen, dass vor allem Grundwasserwärmepumpen sowie Erdwärmekollektoren bei eingehaltenen Bedingungen rechtlich realisierbar sind. Darum gibt es im Landkreis Heidenheim an der Brenz bereits viele dieser Anlagen. Da die Grundwasserwärmepumpe zusätzlich noch eine platzsparende Technik ist, die ganzjährig Wärme produzieren kann, stellt diese eine technische Möglichkeit dar das Quartier in Königsbronn zu versorgen. Auch die Erdwärmekollektoren eignen sich zur Wärmeengewinnung, allerdings werden dafür große Flächen benötigt, die die geeigneten Bodensubstrate besitzen sowie die rechtlichen Bedingungen einhalten müssen. Von Erdwärmesonden ist aus rechtlicher Sicht prinzipiell abzuraten.

Ergebnisse der Versorgungskonzepte

Mit diesen Erkenntnissen wurden Versorgungskonzepte für das Quartier Königsbronn erstellt. Hierbei hat sich ergeben, dass drei der vier vorgestellten Konzepte aus rechtlicher Sicht realisierbar sind. Die Zusammenfassung der Konzeptbewertungen ist in der folgenden Tabelle dokumentiert.

Konzept	Bewertung	Argumente
Konzept 1 - Grundwasserwärmepumpen und Hackschnitzelfeuerungsanlage	realisierbar	<ul style="list-style-type: none"> • hydrogeologische Bedingungen für Grundwasserwärmepumpen ausreichend vorhanden • Hackschnitzelfeuerung prinzipiell überall realisierbar
Konzept 2 - Kombination aus Grundwasserwärmepumpen, Erdwärmekollektoren und Hackschnitzelfeuerungsanlage	realisierbar	<ul style="list-style-type: none"> • hydrogeologische Bedingungen für Grundwasserwärmepumpen ausreichend vorhanden • Ackerfläche mit geeigneten Bedingungen für Erdwärmekollektoren prinzipiell vorhanden • Hackschnitzelfeuerung prinzipiell überall realisierbar
Konzept 3 - Kombination aus Erdwärmesonden, Grundwasserwärmepumpen und Hackschnitzelfeuerungsanlage	Nicht realisierbar	<ul style="list-style-type: none"> • hydrogeologische Bedingungen für Erdwärmesonden höchstwahrscheinlich nicht ausreichend vorhanden • wirtschaftliche Mehrkosten bereits im Vorfeld für notwendige Probebohrungen ohne Garantie auf Erfolg • Hackschnitzelfeuerung prinzipiell überall realisierbar
Konzept 4 - Kombination aus Grundwasserwärmepumpen, Solarthermie und Hackschnitzelfeuerungsanlage	realisierbar	<ul style="list-style-type: none"> • hydrogeologische Bedingungen für Grundwasserwärmepumpen ausreichend vorhanden • Hackschnitzelfeuerung prinzipiell überall realisierbar

Tabelle 12 Überblick der Konzeptbewertungen

Letztendlich sind Konzept 1, 2 und 4 realisierbar, da diese die geothermischen Techniken der Grundwasserwärmepumpe und der Erdwärmekollektoren verwenden und mit Hackschnitzelfeuerungsanlagen mit integrierter ORC-Technik oder Solarthermie kombinieren. Das Konzept 3 ist nicht realisierbar, da die darin geplanten Erdwärmesonden aus rechtlicher Sicht nicht zu empfehlen sind. Dieses Ergebnis zeigt, dass Grundwasserwärmepumpen und Erdwärmekollektoren beliebig miteinander oder mit anderen Techniken kombinierbar sind, solange die beschriebenen Bedingungen eingehalten werden und geeignete Flä-

chen zu Verfügung stehen. Der nächste Schritt ist die Absprache und Verhandlung mit den Grundstückseigentümern bezüglich der Nutzung und Bebauung der geeigneten Flächen. Dabei sollten sich tatsächlich nutzbare Flächen ergeben, welche den Bau von Grundwasserwärmepumpen oder Erdwärmekollektoren ermöglichen.

8 Diskussion

Abschließend werden die Inhalte sowie die Herangehensweise dieser Arbeit diskutiert.

Thematische Abgrenzung der Arbeit

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf den Potentialen zur thermischen Nutzung des Untergrundes zur Energiegewinnung und behandelt nur nebensächlich die unterschiedlichen Arten der Energiespeicherung. Eine ausführliche Betrachtung der Speichermöglichkeiten war aus zeitlichen Gründen im Rahmen dieser Arbeit nicht vorgesehen. Um das Quartiersprojekt Königsbronn insgesamt zu einem Erfolg zu machen, ist dieser Punkt jedoch essentiell. Daher ist im weiteren Verlauf des Projektes eine umfassende Analyse dieser Thematik notwendig. Zu diesem Zweck wird das Unternehmen *Solites* nach Beendigung der Energiequellenrecherche eine ausführliche Auslegungsberechnung eines notwendigen Speichers durchführen.

Im Folgenden werden die Inhalte der einzelnen Kapitel diskutiert.

Allgemeine Informationen

Zu Beginn der Arbeit werden Informationen über das Quartiersprojekt in Königsbronn und den vorhandenen Standortbedingungen gegeben. Diese haben den Stand von Mai 2018, da zu diesem Zeitpunkt eine Versammlung der jeweiligen Parteien des Projektes stattfand, bei der Zwischenziele der einzelnen Arbeiten vorgestellt und neue Ziele gesetzt wurden. Der nächste Austausch des Projektfortschritts findet im Herbst dieses Jahres statt.

Im zweiten Kapitel wurde eine Auswahl geothermischer Techniken vorgestellt. Hierbei ist anzumerken, dass dies keine umfassende Dokumentation aller Techniken ist, sondern lediglich eine Darstellung der zurzeit meist verwendeten sowie der für diese Arbeit relevanten geothermischen Techniken.

Rechtliche Grundlagen / Bereits realisierte Anlagen

Nach der Dokumentation von Fakten konnte im Anschluss eine rechtliche Analyse der geothermischen Techniken durchgeführt werden. Dabei wurde auf einen ausführlichen Austausch mit der zuständigen Unteren Wasserbehörde Wert gelegt. Der Informationsaustausch verlief über den gesamten Bearbeitungszeitraum dieser Arbeit, sodass die Informationen zu notwendigen Voraussetzungen sowie Vorschriften realitätsgetreu sind. Bei der rechtlichen Betrachtung wurde das Gebiet der Rechtsverordnung des Brenztals im Wasserschutzgebiet im Landkreis Heidenheim an der Brenz betrachtet, wodurch die erarbeiteten Ergebnisse nicht auf andere Wasserschutzgebiete übertragbar sind.

Diese Ergebnisse zeigen, dass trotz eines Verbotes zur allgemeinen Nutzung des Untergrundes Ausnahmeregelungen bei bestimmten Bedingungen und Techniken möglich sind. Die beschriebenen Ausnahmebedingungen der einzelnen Techniken sind nur für das beschriebene Gebiet zulässig.

Desweiteren ist anzumerken, dass die genannten Ausnahmebedingungen zwar bereits in anderen Projekten durchgesetzt wurden, jedoch ist nicht gewährleistet, dass eine Ausnahme eines Verbots auch bei kommenden Anlagen bewilligt wird. Dies entscheidet allein die zuständige Behörde sowie in bestimmten Fällen das LGRB in Freiburg. Da die rechtlichen Informationen allerdings direkt von der zuständigen Behörde erbracht wurden, ist eine Ausnahmeerteilung unter Einhaltung der beschriebenen Bedingungen im Regelfall umsetzbar.

Bei der rechtlichen Betrachtung der bereits realisierten Anlagen wurde der Fokus auf die drei genannten geothermischen Techniken gelegt, da diese bereits im Landkreis Heidenheim umgesetzt wurden. Weitere Techniken, die aus rechtlicher Sicht möglich sind, allerdings in der Praxis noch nicht umgesetzt wurden, sind denkbar, da eine Ausnahme des Verbots der energetischen Untergrundnutzung in einem Wasserschutzgebiet prinzipiell erteilt werden kann, sofern kein Risiko einer negativen Beeinflussung für das Grundwasser besteht.

Die Betrachtung der bereits verwirklichten Anlagen beinhaltet neben den Ausnahmebedingungen weitere notwendige Vorschriften, um eine Anlage bauen zu können. Zusätzlich gelten weitere Auflagen, die im Anhang C aufgeführt wurden. Sobald die Anlage unter das Bundesberggesetz fällt, können wiederum andere Auflagen gelten.

Realisierte Beispielanlagen wurden nur bei den Grundwasserwärmepumpen dokumentiert, da diese Techniken von Unternehmen im Landkreis Heidenheim an der Brenz genutzt werden. Sämtliche Erdwärmekollektoren und die Erdwärmesonde sind Anlagen von Privatpersonen. Diese Anlagenbetreiber wurden nicht kontaktiert, da die jeweiligen Anlagen einer dezentralen Energieversorgung dienen.

Die kontaktierten Grundwasserwärmepumpenbetreiber sowie die Untere Wasserbehörde lieferten Anlagenbeschreibungen und schilderten eventuelle Probleme, wie beispielsweise die Verockerung der Brunnenanlage durch die zu hohen Mangan und Eisenkonzentrationen im Grundwasser[26]. Mit dem Wissen über bereits aufgetretenen Probleme ist es möglich diese schon während der Planung zu berücksichtigen und frühzeitig entgegenzuwirken. Am Beispiel des Eisen- und Manganproblems müssen während der Planung regionale Untersuchungen zu den Konzentrationen durchgeführt werden, um einschätzen zu können,

ob eine Verockerung der Brunnenanlagen stattfinden kann. Die daraus resultierenden Erkenntnisse beeinflussen die wirtschaftliche sowie technische Bewertung der Brunnenanlagen. Es ist zu bedenken, dass bei einer zukünftig gebauten Anlage im Quartiersprojekt Königsbronn möglicherweise unvorhersehbare Probleme auftreten, da bei jedem Standort andere Bedingungen vorherrschen.

Versorgungskonzepte

Auf Basis der Ergebnisse der rechtlichen Analyse wurden Versorgungskonzepte für das Quartiersprojekt Königsbronn erstellt. Da das Thema der Arbeit die thermische Grundnutzung in einem Wasserschutzgebiet ist, wurde in den Konzepten von geothermischen Techniken ausgegangen, also Grundwasserwärmepumpen, Erdwärmesonden sowie Erdwärmekollektoren. Prinzipiell könnten jedoch sämtliche Techniken, die keine negativen Auswirkungen auf das Grundwasser haben, gebaut werden. Zunächst wurden Berechnungen durchgeführt, die die Grundlage für die präsentierten Konzepte waren.

Die Berechnungen zu Erdwärmesonden beinhalten unter anderem eine Erdsondenlängenberechnung. Diese wurde mit Werten durchgeführt, die nicht auf den Vorortbedingungen basieren. Dies betrifft bei den Erdwärmesonden die Entzugsleistungen des Untergrundes. Der verwendete Richtwert von 50 W/m wurde einer Einführung der Richtlinie VDI 4640 entnommen [33]. Dieser Wert ist eine ungefähre Richtgröße für "normales Festgestein" [33], weshalb die Ergebnisse lediglich grobe Einschätzungen zulassen. Da sich dieser Wert auf eine Wärmepumpe mit einer Heizleistung von maximal 30 kW bezieht, und die verwendeten Wärmepumpen eine Heizleistung von 350 kW aufweisen, kann es zu Diskrepanzen führen. Da allerdings keine Entzugsleistungen für Wärmepumpen mit einer Heizleistung von 350 kW gefunden wurden, wurde diese Diskrepanz in Kauf genommen. Da mittels der rechtlichen Ergebnisse ohnehin festgestellt wurde, dass eine Erlaubnis zum Bau einer Erdwärmesonde in einem Wasserschutzgebiet nur in seltenen Fällen erteilt wird, hat die Ungenauigkeit der Erdwärmesondenauslegung nur geringe Auswirkungen. Für den Fall, dass trotzdem eine Ausnahme erwirkt wird, müssen weitere Untersuchungen des Untergrundes stattfinden. Damit könnte man einen genauen Wert für die Entzugsleistung erhalten, sodass eine exakte und realistische Auslegung der Erdwärmesonden möglich ist. Da das relevante Gebiet als Wasserschutzgebiet ausgewiesen ist, sind derzeit keine exakten Entzugsleistungen oder Untergrundbedingungen bekannt.

In den Berechnungen zu Grundwasserwärmepumpen werden "Temperaturfahnenflächen" errechnet, welche angeben, wie weit eine temperaturspezifische Auswirkung des Grundwassers reicht. Die Werte dazu basieren auf Werten einer Beispielrechnung aus der Arbeitshilfe zum Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Grundwasserwärmepumpen, die

anhand des Größenunterschiedes der Anlage mit 50 % Zuschlag vergrößert wurden. Daher wurde mit einem Mindestabstand von 45 m und einer Mindestlänge der Temperaturfahne von 150 m gerechnet. Da diese Annahme eine Unsicherheit besitzt, kann der tatsächliche Mindestabstand von dem angenommenen Wert von 45 Metern abweichen. Um eine exakte Auskunft über Grundwasserwärmepumpenabstände zu bekommen, müssen die Temperaturfahnen nach der Berechnungsanleitung in der Arbeitshilfe zum Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Grundwasserwärmepumpen berechnet werden. Dafür ist eine genaue Kenntnislage der Hydrogeologie Voraussetzung.

Weiterhin ist zu beachten, dass die erlaubte Entnahmemenge pro Zeiteinheit von der Unteren Wasserbehörde festgelegt wird. Dies kann zur Folge haben, dass die in den Berechnungen verwendete Wärmepumpe möglicherweise nicht für den erlaubten Entnahmestrom geeignet ist.

Die Berechnungen zu den Erdwärmekollektoren basieren auf einer Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 350 kW, einer verdampferseitigen Wärmepumpeneintrittstemperatur von 9,6 °C sowie einer verdampferseitigen Wärmepumpenaustrittstemperatur von 6,6 °C [32]. Die genutzte Untergrundtemperatur hat Temperaturen zwischen 10 und 15 °C, sodass diese ungefähr mit der verdampferseitigen Wärmepumpeneintrittstemperatur übereinstimmt. Daher konnte die oben genannte Wärmepumpe für die Berechnungen verwendet werden. Ob in der Realität diese Wärmepumpe eingesetzt werden kann, muss überprüft werden.

Zur Auslegung der Kollektorflächen wurden maximale Entzugsleistungen der jeweiligen Bodenmatrix verwendet, die vereinfacht in vier Bodensubstanzen aufgeteilt waren, nämlich Sand, Lehm, Schluff und sandiger Ton. Diese Werte waren auf die Klimazone 14 der Abbildung 15 ausgelegt, in der auch Köngisbronn liegt, und stellen Durchschnittswerte für die komplette Region dar. Bei der Beprobung einzelner Flächen kann daher eine Abweichung zu den verwendeten Werten auftreten, weshalb geeignete Flächen im Vorfeld näher untersucht werden müssen.

Wie in Abbildung 17 ersichtlich, besteht die Umgebung des relevanten Quartiers vorzugsweise aus Feuersteinlehm, weshalb sämtliche Berechnungen auf dieses lehmiges Bodensubstrat ausgelegt wurden. Da allerdings keine exakten Messungen der maximalen Entzugsleistungen vorliegen, weisen die Werte eine Unsicherheit auf. Aus diesem Grund beinhalten die in dieser Arbeit vorzufindenden berechneten Kollektorflächen bereits einen Unsicherheitszuschlag von 20 %. Dennoch müssen beim Bau einer solchen Anlage genaue bodenkundliche Untersuchungen der relevanten Fläche durchgeführt und die dazu-

gehörige Entzugsleistung berechnet werden. Nur mit derartigen Untersuchungen kann eine verlässliche Auslegung der Erdwärmekollektoren durchgeführt werden.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die grundlegenden Berechnungen zu den einzelnen Techniken lediglich ungefähre Richtwerte darstellen. Dies beruht auf den genannten Unsicherheiten sowie auf den Rundungsfehlern der verwendeten Werte. Um exakte Ergebnisse der berechneten Werte zu bekommen, sind je Technik unterschiedliche Untersuchungen des Untergrundes von einem Fachunternehmen durchzuführen.

Basierend auf diesen Richtwerten konnten die darauffolgenden Konzepte erstellt werden. Die Berechnungen sind alle auf die Bedingungen in Königsbronn angepasst, weshalb die Ergebnisse nicht auf andere Gebiete übertragbar sind. Für alle drei Techniken wurden dieselben Wärmepumpeneigenschaften angenommen, welche von der Firma *Solites* bei einem Wärmepumpenhersteller für die Bedingungen in Königsbronn angefragt wurden. Die Wärmepumpen wurden zwar an das Quartiersprojekt angepasst, allerdings nicht für geothermische Techniken, weshalb im weiteren Projekt durchaus andere Wärmepumpenarten zum Einsatz kommen können.

Die auf den Berechnungen basierenden Konzepte stellen Vorschläge dar, wie die Versorgung des Quartiers mit geothermischen Techniken gestaltet werden kann. Dabei wurden vor allem Grundwasserwärmepumpen als Hauptenergiequelle verwendet, da diese platzsparend und aus rechtlicher Sicht realisierbar sind. Diese Technik wurde dann mit Erdwärmekollektoren, mit Erdwärmesonden oder mit Solarthermie und Hackschnitzelfeuerungsanlagen kombiniert. Da die Konzepte auf die zuvor durchgeführten Berechnungen zurückgreifen, gelten alle erwähnten Unsicherheiten auch für die erarbeiteten Konzepte. Daher sind diese nicht als Baugrundlage zu sehen, sondern lediglich als Konzeptvorschläge.

Die vorgestellten Konzepte wurden auf ihre Realisierbarkeit aus rechtlicher Sicht geprüft und bewertet. Um eine vollständige Bewertung der Konzepte zu erstellen, müsste eine fundierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt werden, die aus zeitlichen Gründen nicht mehr erstellt werden konnte. Damit könnte letztlich abgewogen werden, welche geothermischen Techniken am besten für das Quartiersprojekt in Königsbronn geeignet sind. Dennoch wurde ersichtlich, dass Grundwasserwärmepumpen und Erdwärmekollektoren aus rechtlicher Sicht für das Quartiersprojekt Königsbronn eine mögliche Wärmequelle darstellen.

Fazit und Ausblick

Das Ziel der Arbeit bestand darin die thermische Nutzung des Untergrundes in einem Wasserschutzgebiet am Beispiel von Königsbronn auf Realisierbarkeit zu prüfen. Da die Ergebnisse zeigen, dass der Untergrund in Königsbronn thermisch nutzbar ist, und dass Grundwasserwärmepumpen sowie Erdwärmekollektoren rechtlich realisierbar sind, wurde das Ziel der Arbeit erreicht.

Mithilfe dieser Arbeit kann nachfolgend der Untergrund als Energiequelle für die fortschreitende Planung des Quartiersprojekt Königsbronn in Betracht gezogen werden. Bis September 2018 soll ein Gesamtkonzept des Quartiersprojektes Königsbronn erstellt worden sein, welches den Einwohnern von Königsbronn präsentiert werden soll. Da das Nahwärmenetz nicht ohne die finanzielle Unterstützung der Anwohner erbaut werden kann, ist das Ziel der Präsentation so viele Bürger wie möglich für dieses Konzept zu gewinnen. Auch hinsichtlich der Gebäudesanierung sollten so viele Bürger wie möglich von dem Konzept einer nachhaltigen Wärmeversorgung überzeugt werden und dieses unterstützen. Nur dann ist eine Umsetzung des Nahwärmenetzes möglich.

9 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde innerhalb des Quartiersprojektes Königsbronn eine Energiequelle, die thermische Nutzung des Untergrundes, auf rechtliche Realisierbarkeit geprüft. Das Quartiersprojekt Königsbronn hat als Zielsetzung ein CO₂ - neutrales Nahwärmenetz aus erneuerbaren Energien zu errichten. Die Schwierigkeit hierbei war, dass sich Königsbronn in einem Wasserschutzgebiet befindet.

Daher sind nach der Rechtsverordnung des Brenztals prinzipiell alle Eingriffe in den Untergrund verboten. Eine ausführliche rechtliche Recherche ergab, dass unter bestimmten hydrogeologischen Bedingungen Ausnahmeregelungen zu einigen Techniken möglich sind.

Für die Nutzung von Grundwasserwärmepumpen benötigt man beispielsweise eine hydraulisch gut durchlässige Schicht, die im betrachteten Wasserschutzgebiet im Bereich des Flusslaufes der Brenz durch quartäre Kieslagen gegeben ist. Für die Nutzung von Erdwärmekollektoren benötigt man eine Deckschicht unterhalb der Kollektoren, sodass im Fall einer Leckage die Betriebsmittel nicht in das Grundwasser gelangen. Für die Nutzung von Erdwärmesonden benötigt man durchgängige Locker- bzw. Festgesteine, die sich außerhalb des geförderten Grundwasserleiters befinden.

Diese Ausnahmeregelungen lassen eine Verwendung der beschriebenen Techniken prinzipiell zu. Da allerdings für Erdwärmesonden geeignete Standorte in dem vorhandenen Karstgebiet des Landkreises Heidenheim an der Brenz kaum zu finden sind, sind Erdwärmesonden nicht realisierbar. Für eine Energieversorgung des Quartiers mit geothermischen Techniken können daher Grundwasserwärmepumpen sowie Erdwärmekollektoren verwendet werden.

In dieser Arbeit wurden unter anderem Versorgungskonzepte mit geothermischen Techniken erstellt, dessen Hauptenergiequelle Grundwasserwärmepumpen mit einer jeweiligen Heizleistung von 350 kW darstellen. Als Nebenenergiequelle wurde zwischen Erdwärmekollektoren, Solarthermie und einer Hackschnitzelfeuerungsanlage mit integrierter ORC-Technik variiert. Jegliche Kombinationen sind aus rechtlicher Sicht realisierbar.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Energiequelle des Untergrundes mit Grundwasserwärmepumpen sowie mit Erdwärmekollektoren thermisch genutzt werden kann.

Literaturverzeichnis

- [1] Ittershagen, M.; 25.07.2013: Kyoto-Protokoll, URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/internationale-eu-klimapolitik/kyoto-protokoll#textpart-1.>, Zugriff am 15.05.2018
- [2] Wilhelm, U.; 02.06.2017, *Pariser Abkommen - Der internationale Klimavertrag ohne die USA?*, URL: <https://www.br.de/klimawandel/klimaabkommen-paris-protokoll-klimapolitik-klimawandel-102.>, Zugriff am 15.05.2018
- [3] Prof. Dr. Ratka, A.; 2017, *Technische Grundlagen der Erneuerbaren Energien*, Hochschule Weihenstephan - Triesdorf, Triesdorf
- [4] Lohrmann, M., 25.10.2017, Bürger Energie Königsbronn, URL: [https://www.buergerenergie-koenigsbronn.de/quartier-konzept/zielsetzung/.](https://www.buergerenergie-koenigsbronn.de/quartier-konzept/zielsetzung/), Zugriff am 13.03.2018
- [5] Lohrmann, M.; 2018, *Persönliches Gespräch*, Königsbronn, 23.04.2018
- [6] Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau; 2017, *ISONG*, URL: [http://isong.lgrb-bw.de/.](http://isong.lgrb-bw.de/), Zugriff am 10.07.2018
- [7] Prof. Dr. Könneker, C.; 2000, Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, URL: <http://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/karst/8099.>, Zugriff am 21.03.2018
- [8] Hielscher, M.; 2001, TU-freiberg, URL: <http://www.geo.tu-freiberg.de/hydro/oberseminar/pdf/Mandy%20Hielscher.PDF.>, Zugriff am 20.06.2018
- [9] Landratsamt Heidenheim; 2018, *Loginbereich im Geoportal*, URL: <https://buergerinfo.landkreis-heidenheim.de/cadenza/pages/access/login.xhtml;jsessionid=12B7CBEE773C39F5A21B4984111CA4A1>, Zugriff am 05.07.2018
- [10] Prof. Dr. rer.nat. Sass, I. et al.; 2015, *Empfehlungen Oberflächennahe Geothermie - Planung, Bau, Betrieb und Überwachung - EA Geothermie*, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin
- [11] Dipl.-Ing. Miedaner, O.; 2018: *Persönliche Korrespondenz*, Solites, Stuttgart

- [12] Interessengemeinschaft Energie Umwelt Feuerungen GmbH; 03.2011, *Auslegung von oberflächennahen Erdwärmekollektoren*, URL: https://www.waermepumpe.de/uploads/tx_bcpagflip/bwp-Infoblatt43-Erdwaermekollektoren.pdf., Zugriff am 08.06.2018
- [13] Umweltministerium Baden-Württemberg, 2008, *Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmekollektoren*, 1. Auflage, Stuttgart
- [14] Dr. Sabel, M.; 2017, *BWP-Bundesverband Wärmepumpen e.V.*, URL:<https://www.waermepumpe.de/waermepumpe/funktion-waermequellen/>., Zugriff am 15.05.2018
- [15] Würsten, F.; 19.11.2012, Simply Science, URL:<https://www.simplyscience.ch/teens-liesnach-archiv/articles/wie-kann-man-mit-kalter-luft-heizen-.html>., Zugriff am 27.06.2018
- [16] Landratsamt Heidenheim; 2013, Landkreis-Heidenheim, URL: <https://www.landkreis-heidenheim.de/>., Zugriff am 09.07.2018
- [17] Awiszus, U.; *persönliche Korrespondenz*, Heidenheim an der Brenz, 29.06.2018
- [18] Umweltministerium Baden Württemberg; 05.2005, *Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden*, 4. überarbeitete Neuauflage, Stuttgart.
- [19] Umweltministerium Baden Württemberg; 07.2005, *Unser kostbares Wasser*, Offizin Chr. Scheufele, Stuttgart
- [20] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2017, *Wasserhaushaltsgesetz*, URL:https://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/index.html., Zugriff am 22.03.2018
- [21] Regierungspräsidium Stuttgart; 14.12.1977: *Rechtsverordnung WSG Brenztal*, Stuttgart.
- [22] Umweltministerium Baden-Württemberg; 2009: *Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Grundwasserwärmepumpen*, Gassner Druck GmbH, Stuttgart

- [23] Untere Wasserbehörde - Landratsamt Heidenheim, 2018: *Muster zur wasserrechtlichen Erlaubnis für eine Grundwasserwärmepumpe*, Heidenheim an der Brenz
- [24] Umweltministerium Baden Württemberg, 10.2009: *Arbeitshilfe zum Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Grundwasserwärmepumpen*, 1. Auflage, Stuttgart
- [25] Koch, R.; 2018, *persönliche Korrespondenz*, Voith, Heidenheim an der Brenz
- [26] Deutsche Vereinigung des Gas und Wasserfaches e.V.; 2005: *Arbeitsblatt W223-3 Einteisung und Entmanganung Teil 3: Planung und Betrieb von Anlagen zur unterirdischen Aufbereitung*, Bonn
- [27] Rieck W., 13.04.2018: *persönliche Korrespondenz*, Edelmann GmbH, Heidenheim an der Brenz
- [28] Untere Wasserbehörde - Landratsamt Heidenheim, 2018: *Entwurf einer Anzeige zur Errichtung und zum Betrieb einer Erdwärmekollektoranlage*, Heidenheim an der Brenz
- [29] Stein, A.; 2013, *Kunststoff.de*,
URL: <https://www.kunststoffe.de/themen/basics/standardthermoplaste/polyethylen-pe/artikel/vernetztes-polyethylen-pe-x-820007.html>, Zugriff am 04.04.2018
- [30] Dr. Thiel, G.; 09.05.2011, *D Statis - Statistisches Bundesamt*, Statistisches Bundesamt Wiesbaden, URL: https://www.destatis.de/DE/Methoden/Zensus_/Tabellen/Wohnsituation_HH_Zensus_11_Wohnflaeche.html, Zugriff am 11.06.2018
- [31] Glatzle, W.; *Bürger Energer Königsbronn*, URL: <https://www.buergerenergie-koenigsbronn.de/quartier-konzept/zielsetzung/>, Zugriff am 14.03.2018
- [32] Hafner-Muschler, 2018, *Persönliche Korrespondenz*, Stuttgart
- [33] Dr. Schramedei, R.; 28.01.2010, *Einführung in die Richtlinie VDI 4640, Auslegung von Anlagen bis 30 kW Heizleistung*, URL: http://www.geothermie.de/fileadmin/useruploads/aktuelles/Veranstaltungen/2010-01-28_lennestadt/2010-01-28_Lennestadt.Schramedei2.pdf, Zugriff am 18.06.2018.

- [34] Prof. Dr. Pyka, W.; SS2014/2015: *Modul Grundwasser*, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Triesdorf
- [35] Donnerbauer, R.; 21.10.2011, *ORC-Technik: Strom aus Abwärme ohne Nutzung von Thermoöl*, URL: <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/orc-technik-strom-abwaerme-nutzung-thermoel/>, Zugriff am 22.06.2018
- [36] Österreichischer Biomasse-Verband, 2014: *Gute Wärme wächst nach*, URL: <http://www.waermeausholz.at/co2-neutral/der-co2-kreislauf/>, Zugriff am 22.06.2018
- [37] Mangold D. et al.; 2007: *Solare Nahwärme und Langzeit-Wärmespeicher*, Solites, Stuttgart
- [38] Prof. Dr. Viessmann, M.; *Eispeicher - innovative Energiequelle*, URL: <https://www.viessmann.de/de/wohngebaeude/waermepumpe/eis-energiespeicher.html>, Zugriff am 26.06.2018
- [39] Wenzel, S.; 2016, *GeoClimaDesign* AG, URL: <http://www.geoclimadesign.com/de/produkte/kapillarrohrmatten/systematisierung.html>, Zugriff am 21.06.2018

Anhang

A Informationen zum Quartiersprojekt Königsbronn

Fragebogen zum energetischen Gebäudebestand an die Bewohner des Quartiers Königsbronn[4]:

Fragebogen

Sie können Ihre Antworten ganz unkompliziert geben durch **Unterstreichen, Ankreuzen, Einkreisen oder in eigenen Worten**.
Wenn etwas nicht für Ihr Gebäude zutrifft, gehen Sie einfach zum nächsten Punkt weiter.

Falls Sie mehrere Gebäude im untersuchten Quartier haben:
Bitte füllen Sie für jedes Gebäude einen eigenen Fragebogen aus!

Wenn Sie Fragen haben, sprechen Sie einfach den AK Bürger-Energie an.
Kontakt zum AK: Werner Glatzle, Tel. 07328-4399, E-Mail: werner.glatzle@t-online.de

1. Gebäudeeigentümer / Kontaktdaten

Name:

Postanschrift Eigentümer:

Telefon:

Email-Adresse:

2. Das Gebäude im Quartier

Postanschrift des Gebäudes:

Baujahr:

Gebäudeart:

EFH mit / ohne Einliegerwohnung, Zweifamilienhaus, Doppelhaus,
 Doppelhaushälfte, MFH mit Stockwerken und Wohnungen
 andere Gebäudeart:

Art des Wärmebedarfs:

Raumheizwärme Warmwasser Prozesswärme

Falls Prozesswärme: Wofür?

Beheizbare Nutzfläche: m² / Tatsächlich beheizte Nutzfläche: m²

Ist die langfristige Nutzung des Gebäudes sicher? JA NEIN

Wärmedämmung / Sanierungsstand:

Entspricht das Gebäude dem heutigen Stand der Wärmedämmung? JA NEIN

Das Gebäude wurde zuletzt im Jahr generalsaniert / teilsaniert.

Was wurde energetisch verbessert (bitte unterstreichen)?

AUSSENDÄMMUNG, ALLE FENSTER NEU, EINIGE FENSTER NEU,

KELLERDECKE GEDÄMMT, DECKE ZUM DACHBODEN GEDÄMMT, DACH GEDÄMMT

Ist mittelfristig eine weitere Sanierung geplant: JA NEIN

Falls ja, was soll gemacht werden?

Besteht im Hinblick auf eine mögliche Energieeinsparung und Heizungserneuerung

Interesse an einer Energieberatung: JA NEIN

3. Die bisherige Heizung für die Raumwärmeerzeugung

Zentralheizung vorhanden? JA NEIN

Falls nein: Einbau Zentralheizung geplant? JA NEIN

Art der Hauptheizung:

Nennleistung: kW, Baujahr:

Es ist eine Heizungserneuerung im Jahr geplant

Mit welcher max. Temperatur läuft die Hauptheizung: Vorlauf: °C, Rücklauf: °C

Kommt Brennwertechnik zur Anwendung: JA NEIN

Gibt es einen Heizwasserpufferspeicher? JA, mit Litern / NEIN

Energieverbrauch der Hauptheizung (durchschnittlicher Jahresverbrauch 2015 und 2016):

..... Liter Heizöl / kWh oder m³ Erdgas /

..... Liter Flüssiggas / kWh Strom für: El. Heizung / Wärmepumpe

..... Raummeter Meterholz / Raummeter Scheitholz / Sonstiges:

Gibt es noch eine Zusatzheizung, z.B. Schwedenofen?

Falls ja, Jahresenergieverbrauch der Zusatzheizung:

4. Die bisherige Art der Warmwasserbereitung

Es wird Warmwasser für Bewohner im Gebäude benötigt.

Das Warmwasser wird mit der Hauptheizung erzeugt: JA NEIN

Falls nein: Wie wird das Warmwasser erzeugt?

Gibt es einen Warmwasserspeicher? JA, mit Litern / NEIN

5. Bisherige Nutzung von Solarenergie / Umweltenergie

Sind Sonnen-Kollektoren vorhanden? JA, Fläche:m² / NEIN

Dienen die Sonnen-Kollektoren auch der Heizungsunterstützung? JA NEIN

Solarstromanlage (PV) vorhanden? JA, Leistung: kWpeak / NEIN

Betreiben Sie eine Wärmepumpe? JA NEIN

6. Fragen zur Zukunft

Haben Sie eine eigene Idee, wie der Wärmebedarf Ihres Gebäudes ohne Heizöl und Erdgas gedeckt werden könnte, weil der Klimaschutz dringlich wird?
Ihre Idee (Sie können auch ein extra Blatt beifügen):

Haben Sie noch eine weitere Bitte oder Anregung an das Projektteam?

Wollen Sie mit unserem Arbeitskreis oder den Wissenschaftlern darüber diskutieren? Wir laden Sie dazu ein! Auch bei Fragen zum Fragebogen helfen wir Ihnen gern.
Kontakt zum AK: Werner Glatzle, Tel. 07328-4399, E-Mail: werner.glatzle@t-online.de
Wir bedanken uns für Ihr Engagement,
Ihr Arbeitskreis Bürger-Energie

Wir bitten Sie um baldmöglichste Rücksendung des ausgefüllten Fragebogens an (Porto zahlt der Empfänger):

**Gemeindeverwaltung
Zukunftsoffensive AK 6
Herwartstr. 2
89551 Königsbronn
Fax: 07328-962527**

B Bilder und Graphiken zur Veranschaulichung der Techniken

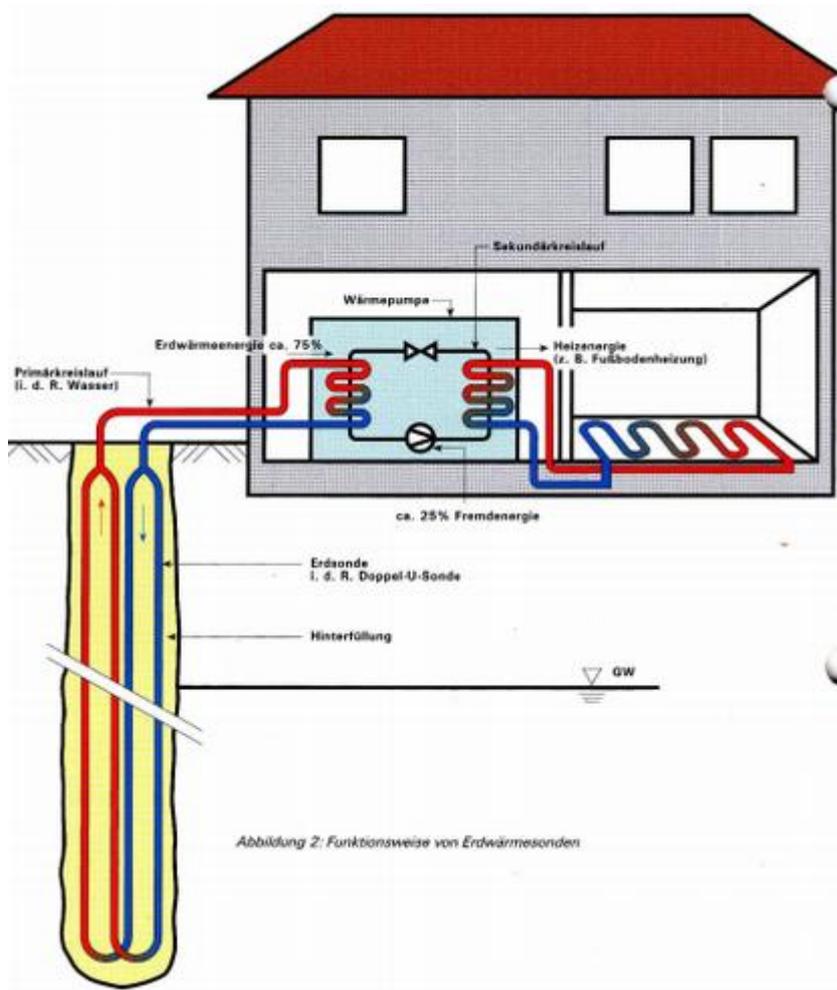


Abbildung 23 Erdwärmesonde mit einer Doppel U-Rohrsonde für ein Einfamilienhaus[18]



Abbildung 24 Bau einer Flächenkollektorfläche [10]

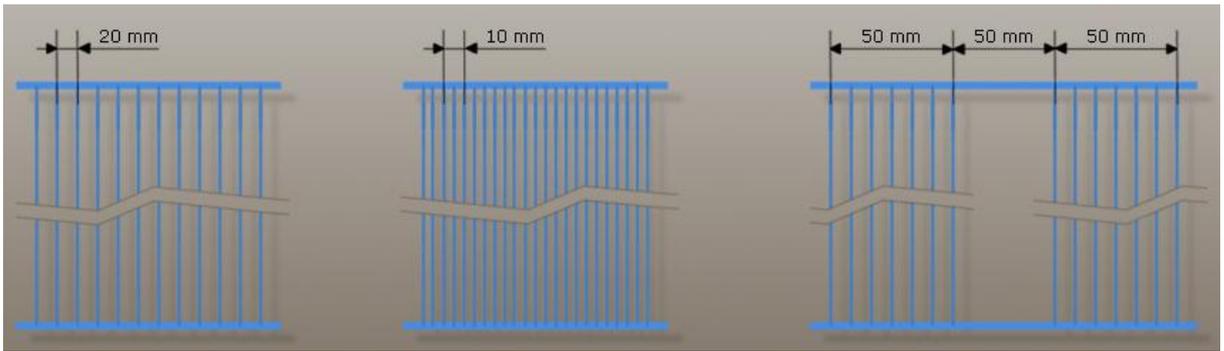


Abbildung 25 Schemata von Kapillarrohmatten zur Erdwärmennutzung in drei verschiedenen Rohrabständen: Links 20 mm; Mitte 5mm; Rechts 50 mm Abstand zwischen jeweils 50 mm Mattenabschnitt [39]



Abbildung 26 Bau eines Grabenkollektors[10]



Abbildung 27 Prinzip (links) und Einbau (rechts) eines Erdwärmekorbs[10]

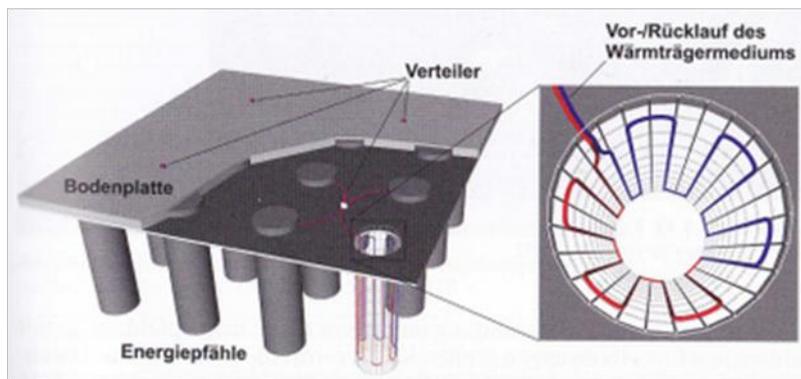


Abbildung 28 Aufbau einer Energiepfahlanlage mit Ansicht der Wärmetauschereinbauten (rechts)[10]

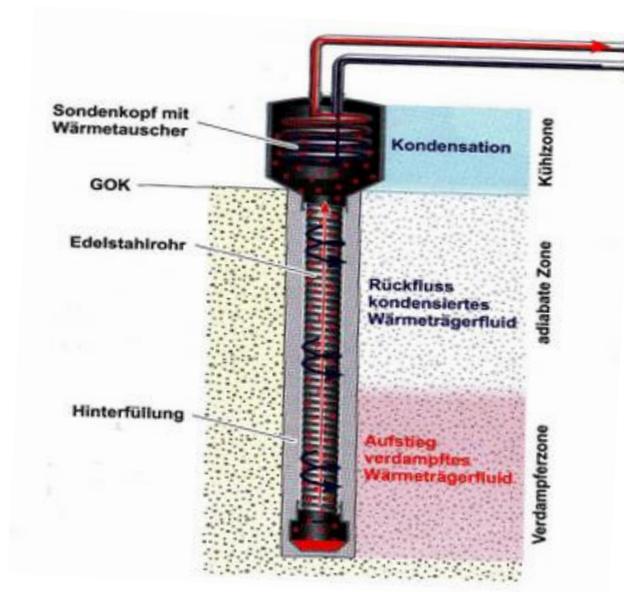


Abbildung 29 Prinzipskizze einer Verdampfersonde[10]

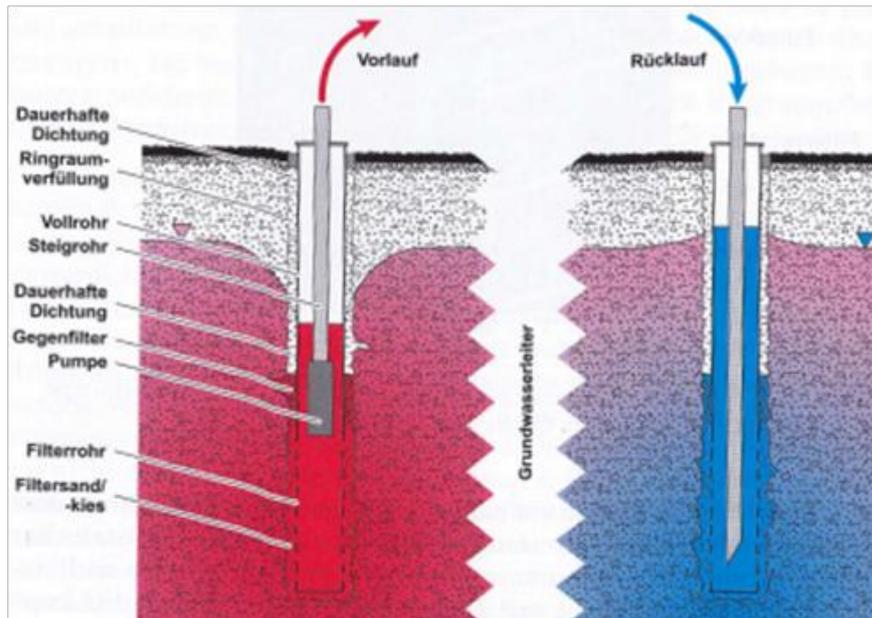


Abbildung 30 Prinzip der Grundwasserentnahme (links) und der Grundwasserinfiltration (rechts) im ungespannten Grundwasser[10]

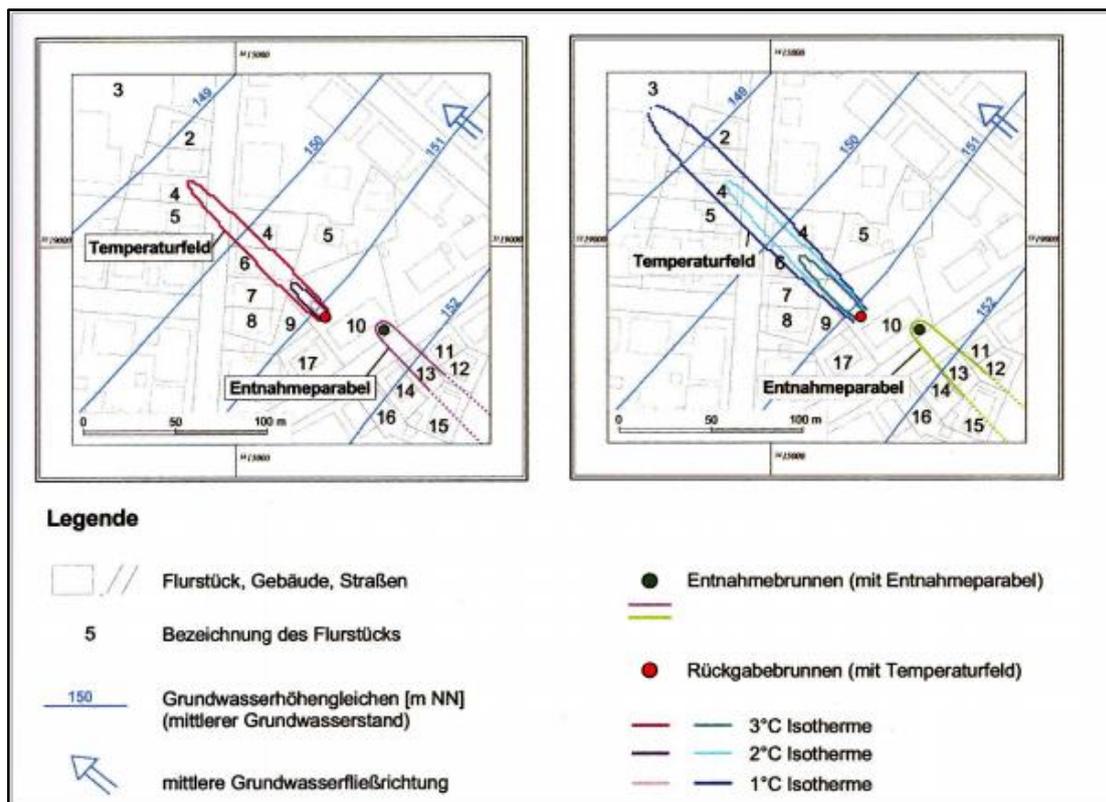


Abbildung 31 Temperaturfeldberechnung für die 1°C, 2°C und die 3°C-Isotherme im Jahresmittel (links) und im Winter (rechts)[24]

C Anlagen zu Bestimmungen und dem rechtlichem Hintergrund

Entwurf einer wasserrechtlichen Erlaubnis zur Benutzung des Grundwassers mit einer Grundwasserwärmepumpe[16]:

Landratsamt Heidenheim
- Untere Wasserbehörde -

Entscheidung

vom xx.04.2017
Nr. 30/692.222-aw
Verz. Nr. xxx/17

- I. Der Bauherrengemeinschaft in wird auf Antrag vom 14.03.2017 unter den nachfolgenden Bedingungen und Auflagen gemäß §§ 8, 9 Abs. 1 Nr. 5, 6 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) vom 31.07.2009 (BGBl. I S. 2585) in Verbindung mit §§ 80 und 82 Abs. 1 des Wassergesetzes für Baden-Württemberg (WG) vom 03.12.2013 (GBl. S. 219) die stets widerrufliche

wasserrechtliche Erlaubnis

erteilt, Grundwasser zum Betrieb einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe auf den Flurstücken Nr. , Straße in aus einem 1.000 mm Entnahmehrinnen abzapfen und nach dem Durchfluss der Wärmepumpe in das Grundwasser über einen Schluckbrunnen wieder einzuleiten.

Die geplanten Entnahmemengen betragen max. 6 l/s, max. 22 m³/h, max. 500 m³/Tag. bzw. ca. 95.000 m³/a.

II. Bedingungen und Auflagen

- Die gesamte Anlage ist gemäß der vorgelegten Planung und der Bestimmungen der Unteren Verwaltungsbehörde nach den geltenden Vorschriften und anerkannten Regeln der Technik und der Baukunst durchzuführen und zu betreiben. Sie ist jederzeit in technisch einwandfreiem Zustand zu erhalten. Änderungen der Anlagen und ihrer maschinellen Einrichtungen, der Betriebsweise oder des Verwendungszwecks des geförderten Wassers sind nur

- 2 -

in Abstimmung mit der Unteren Verwaltungsbehörde zulässig.

2. Das entnommene Wasser darf nur zum Betrieb der Wärmepumpe verwendet werden. Zwischen dem Leitungssystem für die Wärmenutzung und dem öffentlichen Wasserleitungsnetz dürfen keinerlei Verbindungen bestehen. Das für die Grundwassernutzung erforderliche Leitungsnetz ist als geschlossenes System auszuführen und muss gut erkennbar gekennzeichnet werden.
3. Die Brunnen müssen mit normgerechten tagwasserdichten Brunnenköpfen und Schachtabdeckungen ausgebaut werden. Seitliche Durchbrüche in Brunnenstuben (sofern vorhanden) müssen ebenfalls druckdicht ausgeführt werden (zur Verhinderung, dass Bodenwasser in das Brunnenbauwerk eindringt).
4. Zur Beobachtung der Grundwasserstände und Entnahme von Wasserproben ist an jedem Brunnenkopf eine Peilöffnung (mind. $\varnothing 2''$) mit dicht verschließbarem Deckel zu installieren. Wenn die Wiedereinleitung unter Druck erfolgt, d. h. der Betriebswasserstand oberhalb des Brunnenkopfes liegt, ist der zusätzliche Einbau eines Manometers zwischen Wärmepumpe und Brunnenkopf erforderlich.
5. Zur Feststellung der entnommenen Wassermenge ist in die Druckleitung ein genormter und geeichter Wasserzähler (Durchflusssummenzähler) hinter der Wärmepumpe oder an geeigneter Stelle ein Betriebsstundenzähler zur Feststellung der Betriebsdauer der Entnahmepumpe einzubauen. Zur Feststellung der Temperaturen des Grundwassers bei der Entnahme und vor der Wiedereinleitung sind geeignete Messgeräte zu installieren.
6. Es ist ein Betriebsbuch zu führen, das der unteren Verwaltungsbehörde auf Verlangen vorzulegen ist. Die Dokumentation der Betriebsdaten dient zum Nachweis des rechtmäßigen Betriebs und wesentlich zur Eigenkontrolle (z. B. Brunnenalterung) und damit der eigenen Anlagensicherheit.
7. Die entnommene Wassermenge sowie die Temperatur des Grundwassers bei der Entnahme und der Wiedereinleitung sind einmal monatlich während des Betriebs der Anlage abzulesen und unter Angabe des Datums in das Betriebsbuch einzutragen.

- 3 -

8. Besondere Vorkommnisse wie z. B. Betriebsstörungen, Wechsel der Pumpe, Anstieg des Wasserspiegels über die Schachtsohle des Rückgabebrunnens, Leckage des Wärmetauschers sind unter Angabe des Datums in das Betriebsbuch einzutragen.
9. Für den Bau der gesamten Anlage sind korrosionsbeständige Materialien zu verwenden.
10. Die Rückgabe des Grundwassers über den Rückgabebrunnen muss grundsätzlich unterhalb des Wasserspiegels erfolgen.
11. Das dem Grundwasserkörper entnommene Wasser ist demselben restlos wieder zuzuführen. Eine Einleitung in die städtische Kanalisation ist nicht zulässig. Fremdwässer dürfen nicht in die Brunnen eingeleitet werden.
12. Die Temperatur des einzuleitenden Wassers darf + 5 ° C nicht unterschreiten.
13. Wassergefährdende Stoffe (z. B. Kraftstoffe, Pflanzenbehandlungsmittel, Reinigungsmittel etc.) dürfen im Umfeld der Brunnen nicht gelagert werden. Verwendet werden dürfen sie nur, wenn durch geeignete Maßnahmen sichergestellt ist, dass sie nicht in den Untergrund oder in das Grundwasser gelangen können.
14. Etwaige Maßnahmen zur Regenerierung der Brunnen sind der unteren Verwaltungsbehörde schriftlich anzuzeigen und zu erläutern. Die chemische Regeneration von Brunnen bedarf einer wasserrechtlichen Erlaubnis. Mit der Maßnahme darf frühestens 4 Wochen nach Eingang der Anzeige begonnen werden.
15. Es ist eine Sicherheitseinrichtung einzubauen, welche die Anlage abschaltet, wenn der Wasserspiegel im Rückgabebrunnen höher als 0,7 m unter die Brunnenoberkante ansteigt.
16. Betriebsstörungen, durch die eine Beeinträchtigung der Grundwasserbeschaffenheit zu besorgen, sind unverzüglich der Unteren Verwaltungsbehörde zu melden und in das Betriebsbuch einzutragen.

- 4 -

17. Die Gesamtanlage (Wärmequellen- und Wärmepumpenanlage) ist vom Betreiber regelmäßig auf ihre Funktionsfähigkeit zu prüfen, zu überwachen und zu warten.
18. Die Erlaubnis zur Grundwassernutzung bzw. -einleitung zum Betrieb der Wasser-Wasser-Wärmepumpe wird befristet bis zum 31.12.2037.
19. Die Änderung der Entnahme nach Art, Maß oder Zweck bedarf einer neuen Erteilung der Erlaubnis.
20. Die Erlaubnis gibt kein Recht auf Zufluss von Wasser bestimmter Menge und Beschaffenheit.
21. Betrieb und Unterhaltung der Anlage haben so zu erfolgen, dass Dritte weder beeinträchtigt noch geschädigt werden.
22. Nachbargrundstücke dürfen von dieser Maßnahme nicht beeinträchtigt werden. Werden Nachbargrundstücke dennoch beeinträchtigt, sind die Schäden, die daraus entstehen durch den Verursacher zu beseitigen.
23. Der Einsatz von Korrosionsschutzmitteln und anderer Zusatzstoffe im Grundwasserkreislauf ist nicht zulässig.
24. Aufgrund der Lage der Anlage innerhalb der gemeinsamen Wasserschutzzone III für die Fassungen im Brenztal ist zwischen dem Grundwasserkreislauf und dem Heizkreislauf ein zusätzlicher mit Wasser betriebener Zwischenkreislauf zu installieren. Dadurch wird im Leckagefall gewährleistet, dass die in der Wärmepumpe enthaltenden Betriebsmittel in den Grundwasserkreislauf gelangen.
25. Nach Fertigstellung der Anlage sind der Unteren Verwaltungsbehörde Bestandspläne in zweifacher Fertigung vorzulegen: In maßstäblichen und vermassten Ausbauzeichnungen (Draufsicht und Schnitt) des Entnahme- und des Rückgabebrennens ist die Anordnung aller Leitungen und technischen Geräte darzustellen. Im Lageplan mit aktuellem Gebäudebestand und Flurstücksnummer sind die Brunnen und die zugehörigen Leitungen lagegenau einzutragen und die Gauß-Krüger-Koordinaten für die Lage der Brunnen anzugeben. Des Weiteren ist die Brunnenoberkante höhenmäßig in m NN

- 5 -

einzmessen und zu dokumentieren.

26. Für Kälteanlagen und Wärmepumpen gilt die DIN 8901.
27. Die Anlage ist bei Inbetriebnahme abzunehmen und die Dichtigkeit des Kältemittelkreislaufs und die Abschalt- und Absperreinrichtungen alle 5 Jahre durch einen zugelassenen Fachbetrieb überprüfen zu lassen. Die Prüfungen sind im Betriebstagebuch zu dokumentieren.
28. Im Abstrom der Anlage liegt eine weitere Grundwasserwärmepumpe. Deshalb sind die im Gutachten der vom 28.10.2016 gemachten Angaben über die voraussichtlichen Entnahmeraten zu verifizieren und mit den aktualisierten Daten die Temperaturfeldveränderung im Abstrom der Anlage nach 2 Heizperioden neu zu prognostizieren. Die neue Temperaturfeldberechnung ist beim Landratsamt Heidenheim unaufgefordert einzureichen.
29. Wenn keine Folgenutzung vorgesehen ist, ist die Brunnenanlage nach den jeweiligen Regeln der Technik zurück zu bauen. Eine Stilllegung der Brunnen ist der Unteren Verwaltungsbehörde anzuzeigen. Auflagen bezüglich einer anderweitigen Verwendung oder zum Rückbau bleiben vorbehalten.

III. Hinweise

Der Antragsteller haftet für alle Schäden, die durch die Grundwasserentnahme entstehen. Auf die Gefährdungshaftung nach § 89 des Wasserhaushaltsgesetzes wird hingewiesen.

IV. Gebühren

Für die Erteilung der wasserrechtlichen Erlaubnis wird gemäß dem Gebührenverzeichnis Nr. 55.20.02-01 zur Gebührenverordnung des Landkreises Heidenheim eine Gebühr von 420,00 € erhoben.

Um Überweisung mit beiliegendem Beleg an die Kreiskasse Heidenheim wird gebeten.

V. Begründung

Die Bauherrengemeinschaft _____, in _____ hat mit Antrag vom 14.03.2017 die wasserrechtliche Erlaubnis nach § 9 WHG für den Betrieb einer Wärmepumpe auf den Flurstücken Nr. _____, _____ Straße in _____ beantragt. Das Vorhabensgebiet befindet sich in der Zone III des gemeinsamen Wasserschutzgebietes für die Wasserfassungen im Brenztal (LfU-Nr. 1). Grundsätzlich ist hier der Betrieb von Grundwasser-Wärmepumpen nicht zulässig.

Unter den in Ziff. II der Entscheidung genannten Voraussetzungen kann der antragsgemäße Betrieb der Wärmepumpe erlaubt werden, da dann im Abstrom der Anlage aufgrund der überschlägigen Temperaturfeldberechnung keine gravierende Beeinflussung der natürlichen Grundwassertemperatur zu erwarten ist und bei Beachten der wasserrechtlichen Bestimmungen und Auflagen sichergestellt ist, dass schädliche Auswirkungen auf die Gewässer, die Allgemeinheit und im weiteren Abstrom bereits befindliche Grundwasserwärmepumpen nicht herbeigeführt werden und somit deren Schutz gewährleistet ist.

VI. Rechtsbehelfsbelehrung:

Gegen diese Entscheidung kann nach § 69 der Verwaltungsgerichtsordnung vom 19. März 1991 (BGBl. I S. 686 ff.) Widerspruch erhoben werden. Der Widerspruch ist innerhalb eines Monats, vom Tage der Zustellung dieser Entscheidung an gerechnet, schriftlich oder zur Niederschrift beim Landratsamt Heidenheim, Felsenstraße 36, 89518 Heidenheim, zu erheben. Die Frist bleibt auch gewahrt, wenn der Widerspruch rechtzeitig beim Regierungspräsidium Stuttgart, Ruppmannstraße 21, 70565 Stuttgart, eingelegt wird.

Wird der Widerspruch schriftlich eingelegt, muss er innerhalb der Widerspruchsfrist bei der Behörde eingehen.

Gez.

Entwurf einer Anzeige für Erdwärmekollektoren[28]:

Landratsamt Heidenheim
Bau, Umwelt und Gewerbeaufsicht

Landratsamt Heidenheim – 89505 Heidenheim

Name
Straße
Ort

**Anzeige zur Errichtung und zum Betrieb einer Erdwärmekollektor-
anlage in _____ , _____ , auf dem Flurstück Nr. _____
vom _____**

Sehr geehrter Herr _____ ,

im Rahmen des o. g. Bauvorhabens ist geplant, die erforderliche Heiz-
energie durch eine Erdwärmepumpe mit Flächenkollektor zu erzeugen. Die
Anlage wurde beim Landratsamt Heidenheim am 01.05.2016 mit folgen-
den Unterlagen angezeigt:

- Anzeigeformular vom _____
- Luftbild ohne Maßstab _____
- Baugrundgutachten des _____
- Produktdatenblatt der Wärmepumpe _____

Bei dem geplanten System handelt es sich um keine genehmigungspflichtige Anlage im Sinne des § 14 Wassergesetz Baden-Württemberg, eine wasserrechtliche Erlaubnis ist somit nicht erforderlich.

Das Bauvorhaben liegt in der gemeinsamen Wasserschutzzone III (WSZ III) für die Grundwasserfassungen im Brenztal. Die Rechtsverordnung des Regierungspräsidiums Stuttgart vom 14. Dezember 1977, Nr. 5 1-WR VI 704/1, ist zu beachten.

Seitens des Landratsamts Heidenheim kann deshalb dem Einbau der Erdreichwärmepumpe mit Flächenkollektor auf dem Flurstück Nr. _____ der Gemarkung _____ nur unter nachfolgenden Auflagen und Nebenbestimmungen zugestimmt werden.

Für die Bauausführung und Betrieb von Erdflächenkollektoren in Wasserschutzgebieten gelten folgende Anforderungen:

- Die Bodenkollektoren sowie zugehörige Anlagenteile müssen dem Stand der Technik entsprechen (VDI 4640, DIN 8901) und sind vom Kälte-Klimafachbetrieb, der mit dem Handwerk "Kälteanlagenbauer" als Vollhandwerk in der Handwerksrolle eingetragen ist, zu errichten.
- Die verwendeten Materialien (gemäß VDI 4640 Blatt 1, Nr. 9.1) für die Erdwärmekollektoren müssen dicht und beständig sein. Es werden Rohre aus PE-Xa im Wasserschutzgebiet vorgeschrieben. Schweißungen

Name Herr Awiszus
Zimmer C 122
Telefon 07321 321-1315
Telefax 07321 321-1303
u.awiszus@
landkreis-heidenheim.de

Ihre Zeichen
Nachricht vom _____
Unsere Zeichen 30-690.412-aw
Nachricht vom _____

Datum _____

Verwaltungsgebäude
Feisenstraße 36
89518 Heidenheim

www.landkreis-heidenheim.de

Telefon 07321 321-0
Telefax 07321 321-2410
post@landkreis-heidenheim.de

Kreissparkasse Heidenheim
BLZ 632 500 30
Kto.-Nr. 880 347
IBAN: DE1063250030000880347
BIC: SOLADES11HDH

Postbank Stuttgart
BLZ 600 100 70
Kto.-Nr. 5349 706
IBAN: DE96600100700005349706
BIC: PBNKDEFF

Sprechzeiten
Montag - Freitag 8:00 - 11:30
Montag 14:00 - 16:00
Donnerstag 14:00 - 17:30
Termine nach Vereinbarung

UST-IdNr. DE145617772

erdberührender Teile der Erdwärmekollektoren auf der Baustelle sind nicht zulässig.

- Der Kollektor ist entsprechend der VDI 4640 Blatt 2, Nr. 4.2.2 zu verlegen und mit Warnband zu sichern.
- Als Wärmeträgermittel dürfen innerhalb von Wasserschutzgebieten nur wassergefährdende Stoffe der Wassergefährdungsklasse 1 (WGK 1) bis zu einem Anteil von 25 % eingesetzt werden.
- Die Kältemittel führenden Rohrleitungen dürfen in einer maximalen Tiefe von 2 m unter dem geplanten Geländeniveau verlegt werden, dürfen keinen Kontakt zum Grundwasser haben und müssen von einer mindestens einen Meter mächtigen Bodendichtschicht mit einem Durchlässigkeitsbeiwert k_f von $< 1 \times 10^{-9}$ m/s bzw. einer zwei Meter mächtigen Bodenschicht mit einem Durchlässigkeitsbeiwert k_f von $< 1 \times 10^{-6}$ m/s unterlagert sein.
- Der Kollektorkreislauf ist durch eine selbsttätige Leckageüberwachungseinrichtung (z.B. Druck-/Strömungswächter) gegen Flüssigkeitsverluste infolge von Leckagen zu sichern, die im Falle einer Leckage (Abfall des Flüssigkeitsdrucks) in der Anlage die Umwälzpumpe sofort abschaltet, ein Störungssignal abgibt und den Austritt der Wärmeträgerflüssigkeit verhindert.
- Vor Inbetriebnahme ist eine Durchflussendprüfung der Erdwärmeanlage durch einen Fachbetrieb für Sanitär / Klima oder den Hersteller der Anlage im Auftrag des Betreibers durchführen zu lassen. Die Prüfbescheinigung hat der Betreiber bei sich aufzubewahren und auf Verlangen der Wasserbehörde vorzulegen.
- Die Befüllung und Inbetriebnahme der Erdwärmeanlage ist durch einen Fachbetrieb vorzunehmen (VDI 4640 Blatt 2, Nr. 4.2.6, 4.2.7).

Folgende Unterlagen sind der unteren Wasserbehörde auf Anforderung vorzulegen:

- Bestätigung der fachgerechten Inbetriebnahme nach VDI 4640 Blatt 2, Nr. 4.2.7 sowie der plan- und bedingungsgemäßen Ausführung.
- Vorlage des Inbetriebnahmeprotokolls nach VDI 4640 Blatt 2, Nr. 6.3.

Hinweise zum Betrieb

- Die Funktionsfähigkeit des Druck-/Strömungswächters bzw. die Dichtheit des Kollektorkreislaufs und die Dichtheit des Wärmepumpenkreislaufs sind vom Betreiber alle drei Monate zu kontrollieren und in einem Betriebsbuch zusammen mit durchgeführten Wartungsarbeiten zu dokumentieren. Wird eine Undichtigkeit festgestellt, ist das Wärmeträgermedium aus dem Kollektorkreislauf auszuspülen und ordnungsgemäß zu entsorgen. Das weitere Vorgehen ist mit der unteren Wasserbehörde abzustimmen.
- Bei Stilllegung der Erdwärmeanlage ist ein vorhandenes Glykolgemisch oder sonstige wassergefährdende Flüssigkeit auszuspülen, aufzufangen

und ordnungsgemäß zu entsorgen. Die ordnungsgemäße Stilllegung ist der unteren Wasserbehörde vom Betreiber mitzuteilen, mit dem Nachweis der Sicherung der Erdwärmeanlage durch die ausführende Firma.

- Der Anlagenbetreiber haftet für den ordnungsgemäßen Bau und Betrieb der Anlage und aller daraus resultierenden Schäden. Nach § 89 Wasserhaushaltsgesetz ist derjenige, der Stoffe in Gewässer einbringt, die dessen physikalische, chemische oder biologische Eigenschaft verändern zum Ersatz des daraus einem anderen entstehenden Schadens verpflichtet.

Dieses Schreiben beinhaltet keine baurechtliche Beurteilung der geplanten Maßnahme.

Wir bitten Sie den Empfang dieses Schreibens auf der vorbereiteten Empfangsbescheinigung unterschriftlich und unter Angabe des Eingangsdatums zu bestätigen und diese wieder hierher zurückzusenden.

Die Gebühr von insgesamt **150,00 €** ist mit beiliegender Gebührenrechnung an die Kreiskasse Heidenheim zu überweisen.

Mit freundlichen Grüßen

gez.

Anlagen
Gebührenbescheid
Empfangsbescheinigung

Durchschrift

D Dokumente und deren Inhalte zur Beantragung der einzelnen Techniken

Notwendige Angaben sowie Unterlagen	Erläuterungen
1. Projektverantwortung	
Einsender	Name, Firma, Anschrift, Telefon, Fax, E-Mail
Bauherr	derzeitige und neue Adresse; Name, Firma, Anschrift, Telefon, Fax, E-Mail
Brunnenbauunternehmen	Qualifikationsnachweise sind beizulegen (Zertifikat, Meisterbrief), Name, Anschrift, Telefon, Fax, E-Mail
Fachplaner (Anlagentechnik)	Name, Firma, Anschrift, Telefon, Fax, E-Mail
Fachgutachter (Hydrogeologie)	Name, Firma, Anschrift, Telefon, Fax, E-Mail
Verteiler	Untere Wasserbehörde sowie RPF-LGRB, Albertstr. 5, 79104 Freiburg
2. Lage des Projekts	
Land/-Stadtkreis	
Gemeinde/Gemarkung	
Flurstücksnummer/Straße, Hausnummer	
Planunterlagen	Auszug topografische Karte 1:25000 oder Auszug aus Stadtplan, Auszug Flurkarte 1:1500/1:2500; Lageplan 1:500 nach LBOVVO mit Kennzeichnung der Brunnen, ggf. der Rückgabeeinrichtung und der Wärmepumpenanlage
Unterlagen zu Punkt 1 und Punkt 2	
Verteiler für alle Unterlagen	Untere Wasserbehörde, RPF-LGRB, Albertstraße 5, Freiburg
Bestätigung der geplanten Ausführung	Die planmäßige Ausführung ist zu bestätigen, Abweichungen von der Planung sind zu beschreiben und zu begründen
Anzahl der gebauten Brunnen bzw. Entnahme-/	Getrennte Angabe für Entnahme- und Rückgabeburten bzw. der Rückgabeeinheit (z.B. Si-

Rückgabebauwerke	ckerblock etc.); Dokumentation der Lagekoordinaten sowie der auf m NN eingemessenen Bezugshöhe, jeweils für Entnahmebrunnen und Rückgabeeinheit
Bauzeit	
Bohrverfahren	
Angetroffene geologische Schichtenfolge	Beprobung gemäß DIN 4021, Probenahme alle Meter, mindestens jedoch alle 2 m, Aufnahme der Schichtenfolge gemäß EN ISO 14688, EN ISO 14689-1, EN ISO 22475-1 (ehem. DIN 4022), Darstellung der Schichtenfolge gemäß DIN 4023, geologische Gliederung des Bohrprofils
Angaben zum Brunnenbau (falls fertig ausgebaut)	Brunnentiefe, Bauart, Durchmesser, Abdichtungsstrecken, Art und Bauweise des Filters, Vollrohrstrecken, Angabe der Ausbaumaterialien, Bauweise des Brunnenkopfs und der Brunnenabdeckung
Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen	z. B. Bohrlochgeophysik, Messung des Ruhewasserstandes, Dokumentation und Auswertung des Pumpversuchs, Ergebnisse von Grundwasseranalysen
3. Projektbeschreibung	
Nutzungszweck	
Anzahl der geplanten Brunnen bzw. Entnahme-/Rückgabebauwerke	Getrennte Angabe für Entnahme- und Rückgabeburunen bzw. der Rückgabeeinheit (z. B. Sickerblock etc.)
geplanter Bohrbeginn	
geplantes Bohrverfahren	
voraussichtliche Bohrtiefe und geplanter Bohrdurchmesser	
voraussichtliche geologische Schichtenfolge	z. B. Baugrundgutachten des Gebäudes, Interpretation der geologischen Karte o.ä., Angabe des zur Nutzung vorgesehenen Grundwasserleiters

Entsorgung des Bohr- und Spülguts Entsorgungswege sind zu erläutern	
Geplanter Ausbau des Entnahmebrunnens und	des Rückgabebrunnens bzw. der Rückgabeeinheit Schnittzeichnung: Brunntiefe, Bauart, Durchmesser, Abdichtungsstrecken, Art und Bauweise des Filters, Vollrohrstrecken, Angabe der Ausbaumaterialien, Bauweise des Brunnenkopfs und der Brunnenabdeckung
Geplante Untersuchungen	Pumpversuch: Entnahmeraten und -dauer, Einleitungsort; hydrochemische Untersuchungen

Tabelle 13 Notwendige Angaben, Unterlagen und Erläuterungen für die Bohranzeige bzw. für den Antrag einer wasserrechtlichen Erlaubnis für den Pumpversuch [22]

Notwendige Angaben sowie Unterlagen	Erläuterungen
1. Projektverantwortung	
Einsender	Name, Firma, Anschrift, Telefon, Fax, E-Mail
Bauherr	Name, Firma, Anschrift, Telefon, Fax, E-Mail
Brunnenbau-Unternehmen	Firma, Name, Anschrift, Telefon, Fax, E-Mail Qualifikationsnachweise sind beizulegen (Zertifikat, Meisterbrief)
Fachplaner (Anlagentechnik)	Name, Firma, Anschrift, Telefon, Fax, E-Mail
Fachgutachter (Hydrogeologie)	Name, Firma, Anschrift, Telefon, Fax, E-Mail
Verteiler	Untere Wasserbehörde
2. Lage des Projekts	
Land/-Stadtkreis	
Gemeinde/Gemarkung	
Flurstücksnummer/Straße, Hausnummer	
Planunterlagen	Auszug topografische Karte 1:25000

	Auszug Flurkarte 1:1500/1:2500; Lageplan 1:500 nach LBOVVO mit Kennzeichnung der Brunnen, ggf. der Rückgabeeinrichtung und der Wärmepumpenanlage
3. Beschreibung der vorgesehenen Nutzung	
Art der Nutzung (Heizen/Kühlen)	
Errechneter Wärme- bzw. Kältebedarf	Ergebnisse der Berechnung nach DIN EN 12831
Betriebsweise	voraussichtliche Anzahl der Betriebsstunden pro Tag und pro Jahr in der Heiz- bzw. Kühlperiode, getrennte Angabe jeweils für Kühlung und Heizung

Tabelle 14 Notwendige Angaben im Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis zur Nutzung des Grundwassers [22]

	Gliederung	Anlagen	Erläuterungen
1	Projektverantwortung		
1.1	Einsender		<i>Name, Firma, Ansprechpartner; Anschrift; Fon, Fax, E-Mail</i>
1.2	Bauherr		<i>Name, Firma, Anschrift; Fon, Fax, E-Mail Unterschrift des Antrages durch Bauherrn</i>
1.3	Unternehmen/Firma*		<i>Name, Firma, Ansprechpartner; Anschrift; Fon, Fax, E-Mail</i>
1.4	Projektberatung		<i>Name, Firma, Ansprechpartner; Anschrift; Fon, Fax, E-Mail</i>
2.	Lage des Projekts		
2.1	Land-/Stadtkreis		
2.2	Gemeinde		
2.3	Gemarkung		

2.4	Flur/Flurstück-Nr./Straße-Nr.		<i>Angabe aller Flurstücke, auf denen Arbeiten durchgeführt werden sollen</i>
2.5	Planunterlagen	<i>Auszug Top. Karte 1:25.000 (TK 25) Auszug Flurkarte 1:1.500 / 2.500, ggf. Lageplan 1:500 nach LBOVVO; mit Kennzeichnung des geplanten Einbauortes, Name und Zone des Schutzgebietes</i>	<i>Anm.: Auszugskopien aus Stadtplänen genügen nicht, da Maßstab oft unklar und Darstellungen zu generalisiert</i>
3.	Projektbeschreibung		
3.1	<i>Art, Anzahl, Fläche, Länge und Tiefe des Erdwärmekollektors</i>		
3.2	<i>Rohrmaterial</i>		<i>Es ist das vorgesehene Rohrmaterial anzugeben: Hersteller, Werkstoff (Art, Durchmesser, Wandstärke, Druckstufe)</i>
3.3	<i>Hersteller des Erdwärmekollektors</i>	<i>Technische Daten Qualitätszertifikat des Herstellers</i>	
3.4	<i>Nennleistung der Anlage</i>	<i>Dimensionierung der Anlage und des Kollektors</i>	
3.5	<i>Wärmeträgermedium</i>	<i>Sicherheitsdatenblatt für Wärmeträgermedium</i>	<i>Zusammensetzung mit Mengenangaben; Wassergefährdungsklasse</i>

3.6	Anlagenkontrolle, - überwachung	Verhalten bei Undich- tigkeit in der Anlage	Eigenverantwortliche Kon- trolle der Anlage, Drucküberwachung; Umwälzpumpe mit automatischer Abschalt- ung bei Druckverlust
4.	Geologische Auf- nahme		
4.1	Verantwortliche Per- son		Geologe oder Bodengutach- ter mit Angabe der Qualifikation
4.2	Grundlagen der Auf- nahme	Gutachten zur Dicht- schicht, geologische Schichten, Durchläs- sigkeitswert kf der Dichtschicht	Schürfe oder Sondierung

*Liegt die Information zu dem gekennzeichneten Punkt zum Zeitpunkt der Anzeige nicht oder nicht vollständig vor, so kann diese nachträglich übermittelt werden.

Tabelle 15 Notwendige Inhalte einer Anzeige einer Erdwärmekollektoranlage [13]

Benötigte Antragsunterlagen und deren Inhalte für eine Erdwärmesonde [18]:

	Gliederung der Bohranzeige	Beizufügende Unter- lagen	Erläuterungen
1	Projektverantwor- tung		
1.1	Einsender		Name, Firma, Ansprechpart- ner; Anschrift; Fon, Fax, E- Mail
1.2	Bauherr		Name, Firma, Anschrift; Fon, Fax, E-Mail Unterschrift des Antrages durch Bauherrn
1.3	Bohrunternehmen *	Zertifikat nach	Name, Firma, Ansprechpart-

		DVGW-Arbeitsblatt W120 oder Gütesiegel für Erdwärmesonden/ Bohrfirmen, Schweiz	<i>ner; Anschrift; Fon, Fax, E-Mail</i>
1.4	Verantwortlicher Bohrmeister *	Nachweis der Fachkunde	
1.5	Projektberatung		<i>Name, Firma, Ansprechpartner; Anschrift; Fon, Fax, E-Mail</i>
1.6	Verteiler der Bohranzeige		<i>Angabe des Verteilers der Bohranzeige, z.B. Untere Wasserbehörde, Bergbehörde</i>
2.	Lage des Projekts		
2.1	Land- / Stadtkreis		
2.2	Gemeinde / Gemarkung		
2.3	Flurstücks-Nr.		<i>Angabe aller Flurstücke, auf denen Bohrungen niedergebracht werden sollen</i>
2.5	Planunterlagen	Auszug Top. Karte 1:25.000 (TK 25) Auszug Flurkarte 1:1500 / 2500, ggf. Lageplan 1:500 nach LBOVVO jeweils mit Kennzeichnung der Bohran-satzpunkte	<i>Anm.: Auszugskopien aus Stadtplänen genügen nicht, da Maßstab oft unklar und Darstellungen zu ungenau</i>
3.	Projektbeschreibung		
3.1	Bohrungen (Anzahl, Tiefe		

3.2	Bohrlochdurchmesser		
3.3	Geplanter Bohrbeginn *		
3.4	Nennleistung der Anlage	Dimensionierung der Erdwärmesonde bzw. der Bohrungen	<i>Die Anlage muss für den benötigten Wärmebedarf ausgelegt sein, so dass beim Betrieb keine Vereisung im Untergrund auftreten kann</i>
3.5	Hersteller / Typ der Sonden	Herstellerinformationen, Qualitätszertifikate der Herstellers	
3.6	Wärmeträgermedium	Bei Glykolegemischen: Sicherheitsdatenblatt für Wärmeträgermedium	<i>Zusammensetzung mit Mengenangaben; Wassergefährdungsklasse</i>
3.7	Anlagenkontrolle	Verhalten bei Undichtigkeiten im Sondenkreislauf	<i>Eigenverantwortliche Kontrolle d. Anlage; Drucküberwachung, Umwälzpumpe mit automatischer Abschaltung bei Druckverlust</i>
4.	Geologische Schichtenfolge		
4.1	Voraussichtliche Schichtenfolge	Referenzprofil	<i>Mit Angabe der Informationsquellen</i>
4.2	Besonderheiten *		<i>Grundwasserstände, Druckverhältnisse, erwartete Gasaustritte u. a.</i>
5.0	Bohrtechnik		
5.1	Bohrverfahren		
5.2	Spülung	Herstellerinformationen	<i>Zusammensetzung; Wassergefährdungsklasse der Spülmittelzusätze; Aufbereitung; Entsorgung</i>
5.3	Bohranlage (Hersteller, Typ)	EU-Konformitätserklärung des Herstellers, tech-	

		nische Daten	
5.4	Verrohrungsschema		<i>Auch Angaben zu Standrohr und voraussichtlicher Hilfsverrohrung</i>
5.5	Ringraumverfüllung	Herstellerinformation	<i>Art, Verfüllstrecken, Baustofftyp, Einbringtechnik</i>
6.0	Geologische Aufnahme		
6.1	Verantwortliche Person *		<i>Name mit Angabe der Qualifikation</i>
6.2	Grundlagen der Aufnahme		<i>Kerne, Bohrklein, geophysikalische Messung</i>
* Liegen die Informationen zu den gekennzeichneten Punkten zum Zeitpunkt der Anzeige nicht oder nicht vollständig vor, sind sie vor Bohrbeginn zu übermitteln			

Tabelle 16 Inhalt einer Bohranzeige für Erdwärmesonden [18]

E Veranschaulichung der Konzepte

- Sand:	$A_{EWK,Sand} = \frac{P_{Wärmepumpe}}{P_{max.Entzug,Sand}} = \frac{77500 \text{ W}}{15 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 5167 \text{ m}^2$
- Lehm:	$A_{EWK,Lehm} = \frac{P_{Wärmepumpe}}{P_{max.Entzug,Lehm}} = \frac{77500 \text{ W}}{27 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 2870 \text{ m}^2$
- Schluff:	$A_{EWK,Schluff} = \frac{P_{Wärmepumpe}}{P_{max.Entzug,Lehm}} = \frac{77500 \text{ W}}{30 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 2583 \text{ m}^2$
-Sandiger Ton:	$A_{EWK,Lehm} = \frac{P_{Wärmepumpe}}{P_{max.Entzug,Lehm}} = \frac{77500 \text{ W}}{32 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 2422 \text{ m}^2$

Tabelle 17 Kollektorflächenberechnungen für verschiedene Bodensubstrate (horizontale Erdkollektoren)

- Sand:	$A_{EWK+20\%,Sand} = 5167 \text{ m}^2 \times 1,2 = 6200 \text{ m}^2$
- Lehm:	$A_{EWK+20\%,Lehm} = 2870 \text{ m}^2 \times 1,2 = 3444 \text{ m}^2$
- Schluff:	$A_{EWK+20\%,Schluff} = 2583 \text{ m}^2 \times 1,2 = 3100 \text{ m}^2$
- Sandiger Ton:	$A_{EWK+20\%,Sandiger Ton} = 2422 \text{ m}^2 \times 1,2 = 2906 \text{ m}^2$

Tabelle 18 Kollektorflächenberechnung mit einem Unsicherheitsfaktor von 20 % für verschiedene Bodensubstrate

- Sand:	$A_{EWK \text{ gesamt},Sand} = A_{EWK+20\%,Sand} \times n_{Wärmepumpe} = 6200 \text{ m}^2 \times 27 = 167400 \text{ m}^2$
- Lehm:	$A_{EWK \text{ gesamt},Lehm} = A_{EWK+20\%,Lehm} \times n_{Wärmepumpe} = 3444 \text{ m}^2 \times 27 = 93000 \text{ m}^2$
- Schluff:	$A_{EWK \text{ gesamt},Schluff} = A_{EWK+20\%,Schluff} \times n_{Wärmepumpe} = 3100 \text{ m}^2 \times 27 = 83700 \text{ m}^2$
-Sandiger Ton:	$A_{EWK \text{ gesamt},Sandiger Ton} = A_{EWK+20\%,Sandiger Ton} \times n_{Wärmepumpe} = 2906 \text{ m}^2 \times 27 = 78469 \text{ m}^2$

Tabelle 19 Gesamtkollektorfläche zur Deckung des Energiebedarfs des Quartiers

Boden- substrat	Maximale flächenspezi- fische Ent- zugsleistun- gen in W/m ²	Errechnete Min- destfläche pro Wärmepumpe (mit obigen Her- stellerangaben) ohne 20% Zu- schlag in m ²	Errechnete Min- destfläche pro Wärmepumpe (mit obigen Hersteller- angaben) mit 20% Zuschlag in m ²	Errechnete Gesamtfläche (mit 20% Zu- schlag) in m ²
Sand	15	5167	6200	167400
Lehm	27	2870	3444	93000
Schluff	30	2583	3100	83700
Sandiger Ton	32	2422	2906	78469

Tabelle 20 Berechnete Flächen der horizontalen Erdwärmekollektoren pro Wärmepumpe

Boden- substrat	Maximale flächenspezi- fische Ent- zugsleistun- gen in W/m ²	Optimaler Mattenabst- and in m	Errechnete Mindestflä- che pro Wärmepum- pe ohne 20% Zuschlag in m ²	Errechnete Mindestflä- che pro Wärmepum- pe mit 20% Zuschlag in m ²	Errechnete Gesamtflä- che (mit 20% Zu- schlag) in m ²
Sand	19,3	0,23	4016	4819	130103
Lehm	29,3	0,70	2645	3174	85700
Schluff	35,0	0,80	2214	2657	71743
Sandiger Ton	35,5	0,73	2183	2620	70732

Tabelle 21 Berechnete Flächen der Kapillarrohrmatten pro Wärmepumpe

Boden- substrat	Maximale flächenspezifische Entzugsleistungen in W/Korb	Errechnete Mindestfläche pro Wärmekorb ohne 20% Zuschlag in m ²	Errechnete Mindestfläche pro Wärmepumpe ohne 20% Zuschlag in m ²	Errechnete Gesamtfläche (mit 20% Zuschlag) in m ²
Sand	296	28,09	7355	238291
Lehm	468	28,09	4652	150714
Schluff	498	28,09	4371	141635
Sandiger Ton	534	28,09	4077	132086

Tabelle 22 Berechnete Anzahl der Erdwärmekörbe pro Wärmepumpe mit einer Höhe sowie einem Durchmesser des Korbes von 1,3 m und mit einem Korbabstand von 4 m mit 4 Nachbarkörben

Boden- substrat	Maximale flächenspezifische Entzugsleistungen in W/Korb	Errechnete Mindestfläche pro Wärmekorb ohne 20% Zuschlag in m ²	Errechnete Mindestfläche pro Wärmepumpe ohne 20% Zuschlag in m ²	Errechnete Gesamtfläche (mit 20% Zuschlag) in m ²
Sand	166	20,25	9454	306312
Lehm	284	20,25	5526	179041
Schluff	308	20,25	5095	165090
Sandiger Ton	328	20,25	4785	155024

Tabelle 23 Berechnete Anzahl der Erdwärmekörbe pro Wärmepumpe mit einer Korbhöhe von 2 m einem Korbdurchmesser von 0,5 m und mit einem Korbabstand von 4 m mit 4 Nachbarkörben

Abkürzungsverzeichnis		
Begriff	Abkürzung/Symbol	Einheit
Grundwasserleiter	GWL	-
Grundwasseringleiter	GWG	-
Erdwärmesonden	EWS	-
Wasserschutzgebiet	WSG	-
Wasserhaushaltsgesetz	WHG	-
Wassergesetz	WG	-
Polyethylen	PE	-
Wasserrahmenrichtlinie	WRRL	-
Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau	LGRB	-
Erdwärmekollektor	EWS	
Grundwasserwärmepumpe	GWWP	
Wärmepumpe	WP	
Organic Rankine Cycle	ORC	-
Durchlässigkeitsbeiwert	k_f	m/s
Wärmebedarf/-menge	Q	Wh
Jährlicher flächenbezogener Energiebedarf	Q_m	Wh/(m ² a)
Fläche	A	m ²
Anzahl	n	-
Leistung	P	W
Zeit	t	h, s
Länge	L	m
Breite	B	m
Leistung	P	W
Entzugsleistung Erdwärmesonde	$P_{E,Sonde}$	W/m
Entzugsleistung Erdwärmekollektoren	$P_{E,EWK}$	W/m ²
Entzugsleistung Erdwärmekorb	$P_{E,EWKorb}$	W/Korb
Leistungszahl der Wärmepumpe	ϵ	-
Wärmeleitfähigkeit	λ	W/(m*K)

Quartierskonzept für das Quartier bei der Gießerei, 89551 Königsbronn

Berechnungen zu: Wärmebedarf, Energieeinsatz, THG-Emissionen, Niedertemperatur-Wärmernetz, Wärmekosten, ...

Tabellenverzeichnis

	Blätter	ab Seite
1 Zielsituation 2030	2	2
2 Wirtschaftliche Planung	3	4
3 Wärmebedarf und Wärmeerzeugung - Energiebilanzierung	2	7
4 Eckdaten der Nahwärversorgung 2030	2	9
5 Treibhausgasemissionen 2030 für alle Gebäude im Quartier	2	11
61 Eigenkosten der Eigentümer von Einfamilienhäusern	3	13
62 Eigenkosten der Eigentümer von Mehrfamilienhäusern	3	16
71 Quartiernetz - Grafik	1	19
72 Quartiernetz - Straßenaufstellung	1	20
73 U-Wert des Quartiernetzes	1	21
81 Heizlastberechnung	1	22
82 Klimadaten für die Heizlastberechnung	1	23
9 Hausseitig verfügbare Nahwärmetemperatur für den Betrieb der Heizkreise	1	24

Königsbronn / Bad Säckingen, 25.01.2019

Dipl.-Vwt. Martin Lohrmann
79661 Bad Säckingen / Tel. 07761 55 98 92
service@wirtschaft-umwelt.de / www.wirtschaft-umwelt.de

Gebäudedaten		Warmwasserbedarf							
		2016			2030				
Gebäudeart	Gebäude Anzahl	beheizte Fläche m ²	Bewohner 2016	m ² /Bew	Bewohner 2030	m ² /Bew	kWh/a	kWh/P	kWh/a
Einfamilienhaus	121	17.932	304	59	326	55	243.200	800	260.829
Doppelhaushälfte	36	5.226	111	47	111	12.541	88.800	800	88.800
Reihenhaus	6	642	15	43	15	wie heute	12.000	800	12.000
Zweifamilienhaus	53	9.853	205	48	219	45	164.000	800	175.164
Mehrfamilienhaus	43	16.442	435	38	435	wie heute	348.000	800	348.000
MFH-Neubau in Baulücken*	4	1.728			48	36	0	800	38.400
derzeit unbeheizte Wohnflächen		3.174			63	50	0	800	50.400
Öffentliche Gebäude	8	4.175	9		9	wie heute	15.270	800	15.270
Wohn- und Geschäftshaus	24		101		101	wie heute	93.341	800	93.341
Geschäfts-/Betriebsgebäude	5						1.000	800	1.000
<i>*der Abriss der Altbauten ist durchgeführt, der Neubau fehlt noch</i>									
Summen	300		1.180		1.327		965.611		1.083.205
Veränderung 2030 gg. 2016					+147				+117.594

Gebäudedaten		Raumwärmebedarf								
		2016			2030					
Gebäudeart	Gebäude Anzahl	beheizte Fläche m ²	Bewohner 2016	m ² /Bew	Bewohner 2030	m ² /Bew	kWh/a	kWh/m ²	Einsparung gg. 2016	kWh/a
Einfamilienhaus	121	17.932	304	59	326	55	2.347.200	131	39%	1.434.560
Doppelhaushälfte	36	5.226	111	47	111	wie heute	542.000	104	28%	391.950
Reihenhaus	6	642	15	43	15	wie heute	62.300	97	23%	48.150
Zweifamilienhaus	53	9.853	205	48	219	45	1.219.100	124	39%	738.975
Mehrfamilienhaus	43	16.442	435	38	435	wie heute	1.550.300	94	31%	1.068.730
MFH-Neubau in Baulücken*	4	1.728			48	36				51.840
ungenutzte/unbeheizte Wohnfläche		3.174			63	50				238.050
Öffentliche Gebäude	8	4.175	9		9	wie heute	388.230	93	-35%	252.350
Wohn- und Geschäftshaus	24		101		101	wie heute	974.460		-35%	633.399
Geschäfts-/Betriebsgebäude	5						66.640		-35%	43.316
<i>*der Abriss der Altbauten ist durchgeführt, der Neubau fehlt noch</i>										
Summen	300		1.180		1.327		7.150.230			4.901.320
Veränderung 2030 gg. 2016/17					+147					-2.538.801
										+289.890
										Einsparungen im Gebäudebestand Zunahme durch erweiterte Nutzung und Neubau

Gebäudedaten		Raumwärme- und Warmwasserbedarf									
Gebäudeart	Gebäude Anzahl	beheizte W-Fläche		Bewohner		Raumwärme	Warmwasser	Gesamtbedarf	Raumwärme	Warmwasser	Gesamtbedarf
		m ²	m ² /Bew	2016	2030						
Einfamilienhaus	121	17.932	59	304	326	2.347.200	243.200	2.590.400	1.434.560	260.829	1.695.389
Doppelhaushälfte	36	5.226	47	111	111	542.000	88.800	630.800	391.950	88.800	480.750
Reihenhaus	6	642	43	15	15	62.300	12.000	74.300	48.150	12.000	60.150
Zweifamilienhaus	53	9.853	48	205	219	1.219.100	164.000	1.383.100	738.975	175.164	914.139
Mehrfamilienhaus	43	16.442	38	435	435	1.550.300	348.000	1.898.300	1.068.730	348.000	1.416.730
MFH-Neubau in Baulücken*		1.728			48				51.840	38.400	90.240
ungenutzte/unbeheizte Wohnfläche		3.174			63				238.050	50.400	288.450
Öffentliche Gebäude	8	4.175		9	9	388.230	15.270	403.500	252.350	15.270	267.620
Wohn- und Geschäftshaus	24			101	101	974.460	93.341	1.067.801	633.399	93.341	726.740
Geschäfts-/Betriebsgebäude	5					66.640	1.000	67.640	43.316	1.000	44.316
*der Abriss der Altbauten ist durchgeführt, der Neubau fehlt noch											
Summen	296			1.180	1.327	7.150.230	965.611	8.115.841	4.901.320	1.083.205	5.984.524
	+4	+4.902			+147	88,1%	11,9%	100,0%	81,9%	18,1%	100,0%

Struktur der Wärmeversorgung im Jahr 2030

A) Nicht am Wärmenetz 30 EFH 4.446 m²

das sind Einfamilienhäuser in Randlagen und solche, die bereits mit Wärme aus erneuerbaren Energien heizen

B) Gebäude am Wärmenetz 270

Eigene Warmwassererzeugung im Sommer: Solarwärme oder WW-Wärmepumpe oder Fortführung der Erzeugung mit Boilern an Zapfstellen

Eigene Warmwassererzeugung in der Raumheizperiode, Temperaturhub von 50 auf 63 °C mit Heizstab im Wärmespeicher

Eigene Raumwärmeerzeugung mit Einzelraum-Holzöfen

Wärmebezug aus dem Wärmenetz der Energiegenossenschaft

Raum-W	Warm-W	Gesamt
355.680	64.000	419.680
4.545.640	1.019.205	5.564.844
	336.337	
	102.430	
125.000		
4.420.640	580.437	5.001.076
88,4%	11,6%	100%

Investition und Nahwärmegestehungskosten, Schätzung

Investitionen und Finanzierung	Zahl der Hausanschlüsse	270 HA	Wärmenetz	9600 Trm	AK/HK Abschreibung		Wartung & Instandh	
					Jahre	Betrag	%	Betrag
Kaufpreis der Nutzflächen					10.000 €	0		
Tiefbau Haupttrasse		4740 Trm	280 €/Trm		1.327.200 €	40	33.180 €	6.636 €
Tiefbau Hausanschlüsse		3780 Trm	180 €/Trm		680.400 €	40	17.010 €	3.402 €
Leitungsnetz, bis Absperrarmatur		8520 Trm	170 €/Trm		1.448.400 €	40	36.210 €	7.242 €
HÜ-Stationen betriebsbereit, bis 25 kW		200 HA	3000 €/HA		600.000 €	20	30.000 €	12.000 €
dazu Primäranschluss		200 HA	1800 €/HA		360.000 €	20	18.000 €	7.200 €
HÜ-Stationen betriebsbereit, > 25 kW		70 HA	5000 €/HA		350.000 €	20	17.500 €	7.000 €
dazu Primäranschluss		70 HA	2500 €/HA		175.000 €	20	8.750 €	3.500 €
für den Hausbesitzer kommen dazu Wärmespeicher, WW-Bereitung, WP für weitere Temperaturerhebung, Umschluss der Heizkreise								
ggf. Anlagen zur Eigenstromerzeugung zu Senkung der Stromkosten (z.B. Kleinwasserkraftanlage)								
Wärmespeicher, ohne Netztrennung		200 m3	1000 €/m3		200.000 €	30	6.667 €	1.000 €
Großwärmepumpen		2 Stück	400 kW	800 kW	220.000 €	25	8.800 €	4.400 €
Quellfassung					40.000 €	40	1.000 €	200 €
Erdgaskessel, Brennwert		Brennwert	600 kW	1800 kW	170.000 €	20	8.500 €	3.400 €
Kaminanlage / Rauchgasableitung		zweizügig			50.000 €	40	1.250 €	500 €
Gasnetzanschluss					15.000 €	40	375 €	75 €
Heizungstechnische Einrichtungen					200.000 €	20	10.000 €	6.000 €
Elektrische Installationen					50.000 €	20	2.500 €	1.500 €
Leittechnik					60.000 €	20	3.000 €	1.800 €
Bauwerke / Einhausungen		Hauptzentrale			300.000 €	50	6.000 €	3.000 €
Bodenarbeiten, Wege, Außenanlagen					30.000 €	50	600 €	1.000 €
Zwischensumme, gewerbliche Kosten					6.286.000 €	30,03	209.342 €	68.855 €
Planungs- und Nebenkosten		6.286.000 €	20%		1.257.200 €	30,03	41.868 €	
Summen, Investition und AfA					7.543.200 €		251.210 €	
Förderung Wärmenetze 4.0		7.543.200 €	30%		-2.262.960 €	30,03	-75.363 €	
Hausanschlussbeiträge		200 HA	6.500 €	70 HA 10.000 €	-2.000.000 €	20	-100.000 €	
Investitions/AfA-Werte, um Mitfinanzierungsbeiträge gekürzt					3.280.240 €		75.847 €	
Startverluste		genau ermitteln, hier nur als Merkposition						
Finanzierungsbedarf					100.000 €			
					7.643.200 €			

Übertrag Finanzierungsbedarf			7.643.200 €
Genossenschaftseinlagen	200 Mitglieder	400 Euro	80.000 €
Genossenschaftseinlagen	70 Mitglieder	800 Euro	56.000 €
Fördermitglieder	ohne Versprechen einer Gewinnausschüttung		
Nachranggesellschafterdarlehen	verbessert ggf. die Eigenkapitalquote		Verzinsung wie Bank 2,0%
Förderung Wärmenetze 4.0			2.262.960 €
Hausanschlussbeiträge			2.000.000 €
Bankdarlehen, langfristig			3.244.240 € Zinsen in d Startjahre 2,0%
			64.885 €

Vorfiananzierung während der Bauzeit, bis Auszahlung der Mitfinanzierungsbeiträge

Vorfiananzierung der öffentlichen Mitfinanzierungsbeiträge

Vorfiananzierung der privaten Mitfinanzierungsbeiträge

Zusätzlicher kurzfristiger Finanzierungsbedarf

Energiebilanzierung

Raumwärmebedarf	270 Hausanschlüsse		4.545.640 kWh/a
Warmwasserbedarf			1.019.098 kWh/a
Summe Nutzwärmebedarf			5.564.738 kWh/a
Eigenerzeugung durch Wärmekunden			564.289 kWh/a
Verbleibender Nutzwärmebedarf, Bezug aus dem Nahwärmenetz, Verkauf an die K			5.000.449 kWh/a Anschlussdichte 521 kWh/Trm
Netzverluste	9600 Trm	50 kWh/Trm	483.323 kWh/a 8,8%
wärmespeicherverluste	200 m3		15.366 kWh/a 0,3%
Wärmebedarf für den Wärmenetzbetrieb			5.499.138 kWh/a 100%

Wärmeerzeugung

Tab. Klimadaten kfm. korrigiert auf

Wärmepumpe / Kalte Quelle	5.052.767	91,9%	90%	4.949.224 kWh/a
Erdgaskessel, Brennwertkessel	446.371	8,1%	10%	549.914 kWh/a
Summe Erzeugung	5.499.138			5.499.138 kWh/a
Strombedarf Netzpumpen	5.499.138 kWh/a therm	1,0%		54.991 kWh/a
Strombedarf Wärmepumpe	4.949.224 kWh/a therm	COP	3,15	1.571.182 kWh/a
Summe Strombedarf				1.626.174 kWh/a
Erdgasverbrauch, Brennwertkessel		JNG	90%	611.015 kWh _{HS} /a

später ein Biomethan-BHKW möglich

Betriebsabrechnung

	270 HA	2.941 kW	5.000.449 MWh/a	MwSt.	Preise inkl. MwSt.
<u>Betriebs Erlöse</u>					
Hausanschlüsse/Eckdaten	270 HA	2.941 kW	5.000.449 MWh/a		
Arbeitspreis für Wärmelieferung	5.000.449 kWh/a		8,40 Ct/kWh	19%	10,00 Ct/kWh
Grundpreis für Wärmeleistung	2.941 kW		65,00 €/kW, Jahr	19%	77,35 €/kW
Betriebserlöse	5.000.449 kWh/a		12,22 Ct/kW	19%	611.231 €
<u>Betriebskosten</u>			Gewinn- und Risikoeinschluss		12.824 €
AfA (nicht Annuität!)	zu Preisen des Jahres 2018 (heutige Preise)				
Öffentliche Förderung	7.543.200 €	im Mittel	30,0 Jahre	42%	5,02
Hausanschlussbeiträge	-2.262.960 €	RAP-Auflösung	30,0 Jahre	-13%	-1,51
Zinsbelastung in den Startjahren	-2.000.000 €	RAP-Auflösung	20 Jahre	-17%	-2,00
	3.244.240 €		2,0%	11%	1,30
Strombezug	1.626.174 kWh/a		195,00 €/MWh	53%	6,34
Erdgasbezug	611.015 kWh/a		38,00 €/MWh	3,9%	0,46
Wartung & Instandhaltung	68.855 €	anfangs niedriger, z.B.	60%	6,9%	0,83
Austausch Wärmemengenzähler	270 Stück	300 €	81.000 €	2,7%	0,32
Anlagenüberwachung/-betreuung	120 Stunden		45,00 €/Stunde	0,9%	0,11
Versicherungen (Gebäude, Gebäudeinhalt, Haftpflicht, evtl. Organhaftpflicht)				0,0%	0,00
von den Anlagewerten, ohne Netz	1.255.000 €			1,3%	0,15
vom Umsatz	611.231 €			0,3%	0,04
Konzessionsabgabe	klären			0,0%	0,00
Büroarbeiten und Reinigungskraft	450 €/M	1,32	18 Monate	1,8%	0,21
Geschäftsführung der eG	450 €/M	1,32	36 Monate	3,6%	0,43
Büroauslagen, Beiträge usw.				1,0%	0,12
Jahresabschluss, Lohnbuchhaltung, Steuerberatung				1,2%	0,14
Jahreskosten	5.000.449 kWh/a		11,97 Ct/kWh	100%	11,97
Betriebsergebnis vor Steuern	5.000.449 kWh/a		0,26 Ct/kWh		15,47
			Umsatzrendite	2,1%	15,47

15,47 Ct/kWh Gesteuerungskosten
ohne öff+priv. Mitfinanzierungsbeiträge

Kapitalgebundene Kosten	fix	140.732 €	24%	2,81 Ct/kWh mit den Jahren sinkende Zinsbelastung
Verbrauchsgebundene Kosten	variabel	340.322 €	56,9%	6,81 Ct/kWh abhängig von der Entwicklung der Energiemärkte
Betriebsgebundene Kosten	relativ fix	117.353 €	20%	2,35 Ct/kWh in späten Jahren Instandh.aufwand steigend

Energiebilanzierung

Tage	Stunden	Außentemperatur Ulm	Einheit	Faktoren	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	
					31	28	31	30	31	30	31	30	31	30	31	30	31	31
			h		744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	744	720	744	8760
			°C		-1,1	-0,1	4,1	8,3	13,0	15,9	18,2	17,6	13,4	8,6	3,1	0,0	0,0	
Wärmewasser					997.594 kWh/a	plus	Nichtwohngebäude					21.611 kWh/a	Gesamtbedarf					1.019.205 kWh/a
			kW		108%	106%	102%	100%	98%	95%	92%	92%	95%	100%	102%	110%	100%	
			kWh		800 kWh/Bew	82.877	88.294	83.770	84.831	79.582	79.724	79.724	79.582	86.563	85.446	95.219	1.019.098	
			kWh		93.488	82.877	88.294	83.770	84.831	79.582	79.724	79.724	79.582	86.563	85.446	95.219	1.019.098	
			kWh		14.023	12.432	13.244	10.304	7.635	0	0	0	7.162	10.517	12.817	14.283	102.417	
			kWh		79.464	70.445	75.050	58.388	43.264	0	0	0	40.587	59.598	72.629	80.936	580.361	
			kW		107	105	101	81	58	0	0	0	56	80	101	109		
			kWh		14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	
			°C		15,1	14,1	9,9	5,7	1	0	0	0	0,6	5,4	10,9	14	14	
			K		468	395	307	171	31	0	0	0	18	167	327	434	2.318	
			kWh		11.234	9.475	7.366	4.104	744	0	0	0	432	4.018	7.848	10.416	55.637	
			kWh		917.873	774.143	601.784	335.305	60.786	0	0	0	35.295	328.246	641.198	851.008	4.545.640	
			abzgl Erzeugung mit Holzöfen im Winter		36.715	30.966	23.831									34.040	125.552	
			kWh		881.158	743.177	577.954	335.305	60.786	0	0	0	35.295	328.246	641.198	816.968	4.420.088	
plus Nutzen aus der Raumkühlung durch ein kaltes Netz im Sommer																		
			kWh		1.011.361	857.020	690.078	419.075	145.618	79.582	79.724	79.724	114.877	414.809	726.643	946.227	5.564.738	
			kWh		960.623	813.623	653.004	393.693	104.050	0	0	0	75.882	387.844	713.826	897.904	5.000.449	
			kWh		59.451	51.846	53.984	52.243	54.668	0	0	0	50.920	52.618	52.243	55.351	483.323	
			kWh		60	58	55	55	55	55	55	55	55	55	55	57	8,79%	
			°C		43	42	40	41	42	42	42	42	42	42	42	42		
			°C		51,5	50,0	47,5	48,0	48,5	48,5	48,5	48,5	48,5	48,5	48,5	48,5	49,5	
			°C		8	8	8	8,5	8,5	9	10	10	10	10	10	9	9	
			Kelvin		43,5	42,0	39,5	39,5	40,0	0,0	0,0	0,0	38,5	38,5	39,5	40,5	40,5	
			kW		79,9	77,2	72,6	72,6	73,5	0,0	0,0	0,0	70,7	70,7	72,6	74,4	74,4	
			kWh		2.113	1.818	1.744	1.544	1.426	0	0	0	1.365	1.603	1.765	1.989	15.366	
			kWh		1.022.187	867.287	708.731	447.479	160.144	0	0	0	128.167	442.065	767.834	955.244	5.499.138	
			kW		1.374	1.291	953	621	215	0	0	0	178	594	1.066	1.284	628	

Eckdaten der vorgeschlagenen Nahwärmeversorgung

	Jahr 2016/17	Jahr 2030
Gebäude im Quartier	296	300 +4
davon reine Wohnhäuser	259	263 +4
Wohnungen	596	628 +32
Bewohner	1.180	1.327 +147
Gesamtwärmebedarf	8.116	5.985 MWh/a
Gebäude, hausindividuelle Wärmeerzeugung	296	30
Gebäude, am Wärmenetz	0	270
deren Bewohnerzahl	1247	1247
Nutzwärmebedarf, Gebäude am Wärmenetz		5.565 MWh/a 100%
Warmwasserbedarf		1.019 MWh/a
Eigenerzeugung		439 MWh/a
Warmwasser aus dem Wärmenetz		580 MWh/a
Raumwärmebedarf		4.546 MWh/a
Eigendeckung mit Einzelraum-Holzöfen		125 MWh/a
Raumwärme aus dem Wärmenetz		4.421 MWh/a
Wärmebezug aus Wärmenetz = Nahwärmeverkauf		5001 MWh/a 90%

Wärmebezug aus Wärmenetz = Nahwärmeverkauf 5001 MWh/a 90%

Das für die Nahwärmelieferung erforderliche Wärmenetz

- Zufuhrleitung Quelle - Quartier 344 Trm
- Hauptleitungen im Quartier 4396 Trm
- Hausanschlüssen, ab Hauptleitung bis Hauswand 3780 Trm
- Primärleitungen in den Gebäuden 1080 Trm
- Gesamtausdehnung des Wärmenetzes 9600 Trm**

Betriebsweise an Tagen mit Raumwärmebedarf

Vorlauf 55 °C bei Außentemperaturen im Plusbereich

Vorlauf gleitend 56 bis 65 °C bei Temperaturen < 1°C

Wärmeverluste mit bestisoliertem KMR-Doppelrohr

483 MWh/a 8,8%

200 m3

15 MWh/a 0,3%

5500 MWh/a 100%

2400 kW

Spitzenlast bei -16 °C (Tagesmittel, Auslegungstemperatur)

Strombedarf für den Betrieb der Umwälzpumpen

55 MWh/a

Wärmeerzeugung 5500 MWh/a 100%

1 Großwärmepumpen für Wärmeentzug aus Pfefferquelle

Leistungszahl (COP) für Quelle 7 °C → Wärmenetz 55 °C

3,15

4.949 MWh/a 90%

Wärmeerzeugung

Strombedarf der Wärmepumpe(n)

1.571 MWh/a

2 Erdgas-Brennwertkessel, 600 + 1800 kW

Wärmeerzeugung

2400 kW

551 MWh/a 10%

Erdgaseinsatz

JNG 90%

598 MWh/a

3 Biomethan-BHKW für Wärme- und Stromspitzenlasten (Option für später)

Eckdaten als Vorspann zur nachfolgenden Tabelle

Nutzwärmebedarf im Quartier	300 Geb.	1327 Bew.	5.985 MWh/a
davon nicht am Wärmenetz	30 Gebäude	80 Bew.	420 MWh/a
davon am Wärmenetz	270 Gebäude	1247 Bew.	5.565 MWh/a
WW-Eigenerzeugung (Sommererzeugung und Temperaturhub)			439 MWh/a
RW-Eigenerzeugung			125 MWh/a
Wärme aus Wärmenetz			5.001 MWh/a

Bilanzierung, Zieljahr 2030	Wärme MWh _{th,chem} /a	Endenergie MWh _{End} /a	Emissionsfaktor kg/kWh _{End}	Treibhausgasmission t/a CO ₂ -Äqu.
Einzelversorgte Gebäude (30)	420			
Erdgas	0	0,250	0,0	0,0%
Holzpellets	394	464	0,027	10,6 1,6%
WW solarthermisch	26	0	0,0	0,0%
Gebäude am Wärmenetz (270)				
Nutzwärme aus Wärmenetz	5.001			
Wärmeverluste	498			
Summe Wärmebedarf	5.499			
Erzeugung mit Wärmepumpe	4.949	1.571	0,263	413,2 62,9%
davon mit EE-Eigenstrom			0	0,0 0,0%
Erzeugung mit Erdgas	550	611	0,25	152,8 23,3%
Sonstiger Stromverbrauch, Netzstrom		55	0,263	14,5 2,2%
<u>Warmwassereigenerzeugung</u>	<u>439</u>			
solarthermisch	110		0	0,0 0,0%
Wärmepumpe	227			
Strom, PV-Eigenerzeugung		91	0	0,0 0,0%
Strom aus Stromnetz		136	0,263	35,8 5,4%
Temp.hub mit Heizstab/Netzstrom	102	102	0,263	26,9 4,1%
<u>Raumwärmeeigenerzeugung</u>	<u>125</u>			
Stückholz	125	167	0,019	3,2 0,5%
Summen 2030	6.483	3.051		657 100%
Summen 2016	8.116	9.731		2.525
Rückgang (Saldo)	-1.633	-6.680		-1.868
	-20%	-69%		-74,0%

Kundenseitige Investitionen und Wärmekosten

<u>Einfamilienhaus</u>	Baujahr 1955	150 m ²	3 Bewohner
Raumwärmebedarf	heutiger Wärmebedarf	Bedarf nach Sanierung	
	131 kWh/m ²	80 kWh/m ²	12.000 kWh
			-39%
Warmwasserbedarf	800 kWh/Bew	2.400 kWh	800 kWh/Bew
Gesamtwärmebedarf	22.050 kWh		14.400 kWh
			-35%
Heizgrenze	16 °C		14 °C
Heizleistung	2000 Vbh	12 kW	1700 Vbh
Vorlauftemperatur Raumheizung	65 °C		meist 50 °C (bis max. 65 °C)

Aufwendungen für Instandhaltung, Modernisierung und energetische Sanierung

EFH, Bj 1955, 150m², 3 Bew.	<u>energetisch bedingt</u>	<u>Instandhaltung/M</u>	<u>odernisierung</u>	<u>Kostensumme</u>
Außenwände	20.000 €		20.000 €	40.000 €
Türen und Fenster	15.000 €			15.000 €
Kellerdecke	6.000 €			6.000 €
Dach (wieviel Klempnerarbeit?)	10.000 €		35.000 €	45.000 €
Heizkreise, Wärmetauscher	6.000 €			6.000 €
Zwischensumme	gewerbliche Kosten			112.000 €
Architekt, Planung, Vergaben, Ausführungsüberwachung, 10 %				11.200 €
Kostensumme	netto			123.200 €
	brutto, mit Mehrwertsteuer		19%	146.608 €

Kosten der Umstellung auf Nahwärme

Hausanschlussbeitrag für den Nahwärmeanschluss, einmalig	6.500 €
Solarthermieanlage für die Warmwasserbereitung	5.500 €
Wärmespeicher	1.500 €
Verrohrung, Isolierung, elektrischer Anschluss, Umschluss der Heizkreise	5.000 €
Investition in die Heizung	18.500 €
netto	
brutto, mit Mehrwertsteuer	19%
	22.015 €

Laufende Kosten der Wärmeversorgung

Jahreskosten ohne Kapitalkosten, inklusive Mehrwertsteuer

EFH Bestandsbau, unsaniert	heutige Erdgasheizung	Nahwärmeversorgung, ohne Sanierung
Gesamtwärmebedarf	12 kW 22.050 kWh	12 kW 22.050 kWh WW 2.400 kWh
Verbrauch Erdgas / Nahwärme	0,8 27.563 kWh	21.762 kWh
Gaseinkauf/Nahwärmebezug	5,60 Ct/kWh 1.544 €	10,00 Ct/kWh 21.762 kWh 2.175 €
Grundpreis der Nahwärme		77,35 €/kW 12 kW 928 €
WW-Bereitung solarthermisch im Sommer		40% 960 kWh
Temperaturhub mit Heizstab von 50 auf 60 °C im Winter		20% 288 kWh
Stromerwerb für die Warmwasserbereitung		29,00 Ct/kWh 288 kWh 84 €
Sonstige Betriebskosten	200 €	300 €
Jahreskosten, inkl. MwSt.	6,3 Ct/kWh 1.744 €	15,8 Ct/kWh 3.487 € + 150%

Laufende Kosten der Wärmeversorgung

Jahreskosten ohne Kapitalkosten

EFH Bestandsbau	vor Sanierung, Erdgasheizung	nach der Sanierung, mit Nahwärme
Gesamtwärmebedarf	12 kW 22.050 kWh	9 kW 14.400 kWh
davon Warmwasser	2.400 kWh	2.400 kWh
Verbrauch Erdgas / Nahwärme	0,8 27.563 kWh	13.440 kWh
Gaseinkauf/Nahwärmebezug	5,60 Ct/kWh 1.544 €	10,00 Ct/kWh 1.343 €
Grundpreis der Nahwärme		77,35 €/kW 696 €
WW-Bereitung solarthermisch im Sommer		40% 960 kWh
Temperaturhub mit Heizstab von 50 auf 60 °C im Winter		20% 288 kWh
Stromerwerb für die Warmwasserbereitung		29,00 Ct/kWh 288 kWh 84 €
Sonstige Betriebskosten	200 €	300 €
Jahreskosten, inkl. MwSt.	7,9 Ct/kWh 1.744 €	16,8 Ct/kWh 2.423 € + 113% + 39%

Wie geht es weiter, wenn der Druck zum Ausstieg aus der Verbrennung von Heizöl und Erdgas anwächst?

Gasheizung mit Biomethan?	10,50 Ct/kWh	2.894 €	Brennstoffkosten
CO ₂ -Steuer auf Erdgas?	2,00 Ct/kWh	551 €	Zusatzkosten

<u>Einfamilienhaus</u>	Neubau	150 m2	3 Bewohner
Raumwärmebedarf	30 kWh/m2	4.500 kWh	
Warmwasserbedarf	800 kWh/Bew	2.400 kWh	
Wärmebedarf insgesamt			6.900 kWh
Heizleistung	1400 Vbh zur Heizgrenze von 12 °C		5 kW
Vorlauftemperatur Raumheizung	35 °C		
Kosten der Heizung mit Nahwärmennutzung	150 m2	3 Bewohner	
Hausanschlussbeitrag			6.500 €
(Ab-)Luft-Wasser-Kleinwärmepumpe für Warmwasserbereitung im Sommer			2.700 €
Wärmespeicher			1.500 €
Verrohrung, Isolierung, elektrische Anschlüsse			5.000 €
Investition in die Heizung netto			15.700 €
	zuzüglich Mehrwertsteuer		19%
			18.683 €
Laufende Kosten der Wärmeversorgung			
Jahreskosten, ohne Kapitalkosten			
Gesamtwärmebedarf EFH-Neubau	150 m2	3 Bewohner	6.900 kWh WW 2.400 kWh
Nahwärme / Arbeitspreis	8,40 Ct/kWh	10,00 Ct/kWh	5.940 kWh 594 €
Grundpreis der Nahwärme	65,00 €/kW	77,35 €/kW	5 kW 387 €
WW-Bereitung mit WP im Sommer	40%	COP 6,9	960 kWh
Strombedarf für Temperaturhub von 50 auf 60 °C im Winter			288 kWh
Stromeinkauf für die Warmwasserbereitung	29,00 Ct/kWh		427 kWh 124 €
Sonstige Betriebskosten (Wartung & Instandhaltung)			200 €
Lfd. Kosten, ohne Kapitalkosten	inkl. MwSt.	18,90 Ct/kWh	1.304 €

Kundenseitige Investitionen und Wärmekosten

<u>Mehrfamilienhaus_3 Etagen</u>	Baujahr 1955	480 m2	16 Bewohner
Raumwärmebedarf	heutiger Bedarf 94 kWh/m2	45.120 kWh	Bedarf nach Sanierung 31.200 kWh -31%
Warmwasserbedarf	800 kWh/Bew	12.800 kWh	800 kWh/Bew 12.800 kWh
Gesamtwärmebedarf		57.920 kWh	44.000 kWh -24%
Heizgrenze	16 °C		14 °C
Heizleistung	2000 Vbh	29 kW	1700 Vbh 26 kW
Vorlauftemperatur Raumheizung	65 °C		meist 50 °C (bis max. 65 °C)

Aufwendungen für Instandhaltung, Modernisierung und energetische Sanierung

MFH, Bj 1955, 480m2, 16 Bew.	energetisch bedingt	Instandhaltung/M	Kostensumme
Außenwände	45.000 €	35.000 €	80.000 €
Türen und Fenster	55.000 €		55.000 €
Kellerdecke	20.000 €		20.000 €
Dach	20.000 €	35.000 €	55.000 €
Heikreise, Wärmetauscher	12.000 €		12.000 €
Zwischensumme	152.000 €	70.000 €	222.000 €
Architekt, Planung, Vergaben, Ausführungsüberwachung, 10 % netto			22.200 €
Gesamtinvestition			244.200 €
			19% 290.598 €
			zuzüglich Mehrwertsteuer

Kosten der Heizungsumstellung auf Nahwärmebezug

Hausanschlussbeitrag für den Nahwärmeanschluss, einmalig	480 m2	16 Bewohner
Luftwärmepumpe für die Warmwasserbereitung im Sommer	26 kW	10.000 €
Wärmespeicher		5.000 €
Verrohrung, Isolierung, elektrischer Anschluss, Umschluss der Heizkreise		4.000 €
Gesamtinvestition netto		8.000 €
brutto, mit Mehrwertsteuer		27.000 €
	19%	32.130 €

Laufende Kosten der Wärmeversorgung

Jahreskosten, ohne Kapitalkosten

MFH-Bestandsbau

Baujahr 1955	480 m2	16 Bewohner	12.800 kWh Warmwasser
	heutige Erdgasheizung	Nahwärmeanschluss, nach Sanierung	
Gesamtwärmebedarf	29 kW	26 kW	31.200 kWh -31%
Verbrauch Erdgas / Nahwärme	0,8		26.080 kWh
Gaseinkauf/Nahwärmebezug	5,6 Ct/kWh	10,00 Ct/kWh	2.607 €
Grundpreis der Nahwärme	3.158 €	77,35 €/kW	2.011 €
COP 6,9			
WW-Bereitung mit Klein-WP im Sommer		5.120 kWh	
Temperaturhub von 50 auf 60 °C im Winter		1.536 kWh	
Stromeinkauf		2.278 kWh	661 €
Sonstige Betriebskosten	500 €		500 €
Jahreskosten, inkl. MwSt.	8,1 Ct/kWh	18,5 Ct/kWh	5.779 € + 58%
pro m2 Mietfläche, monatlich	0,64 €/m2	128%	1,00 €/m2
Jahreskosten, pro Bewohner	16 Bew		361 €

Mehrfamilienhaus

Neubau **640 m2** **21 Bewohner**

Zugewinn gg. MFH-Altbau auf gleichem Baugrund

160 m2 5 Bewohner

Raumwärmebedarf

30 kWh/m2

19.200 kWh

Warmwasserbedarf

800 kWh/Bew

16.800 kWh

Wärmebedarf insgesamt

Heizleistung

1400 Vbh zur Heizgrenze von 12 °C

35 °C

36.000 kWh
26 kW

Vorlauftemperatur d. Raumheizung

Kosten Nahwärmeanschluss + WW-Bereitung

Hausanschlussbeitrag > 25 kW

640 m2 21 Bewohner

10.000 €

(Ab-)Luft-Wasser-Wärmepumpe für Warmwasserbereitung im Sommer

Wärmespeicher mit Heizstab

Verrohrung, Isolierung, elektrische Anschlüsse

Investition in die Heizung netto

brutto, mit Mehrwertsteuer

19%

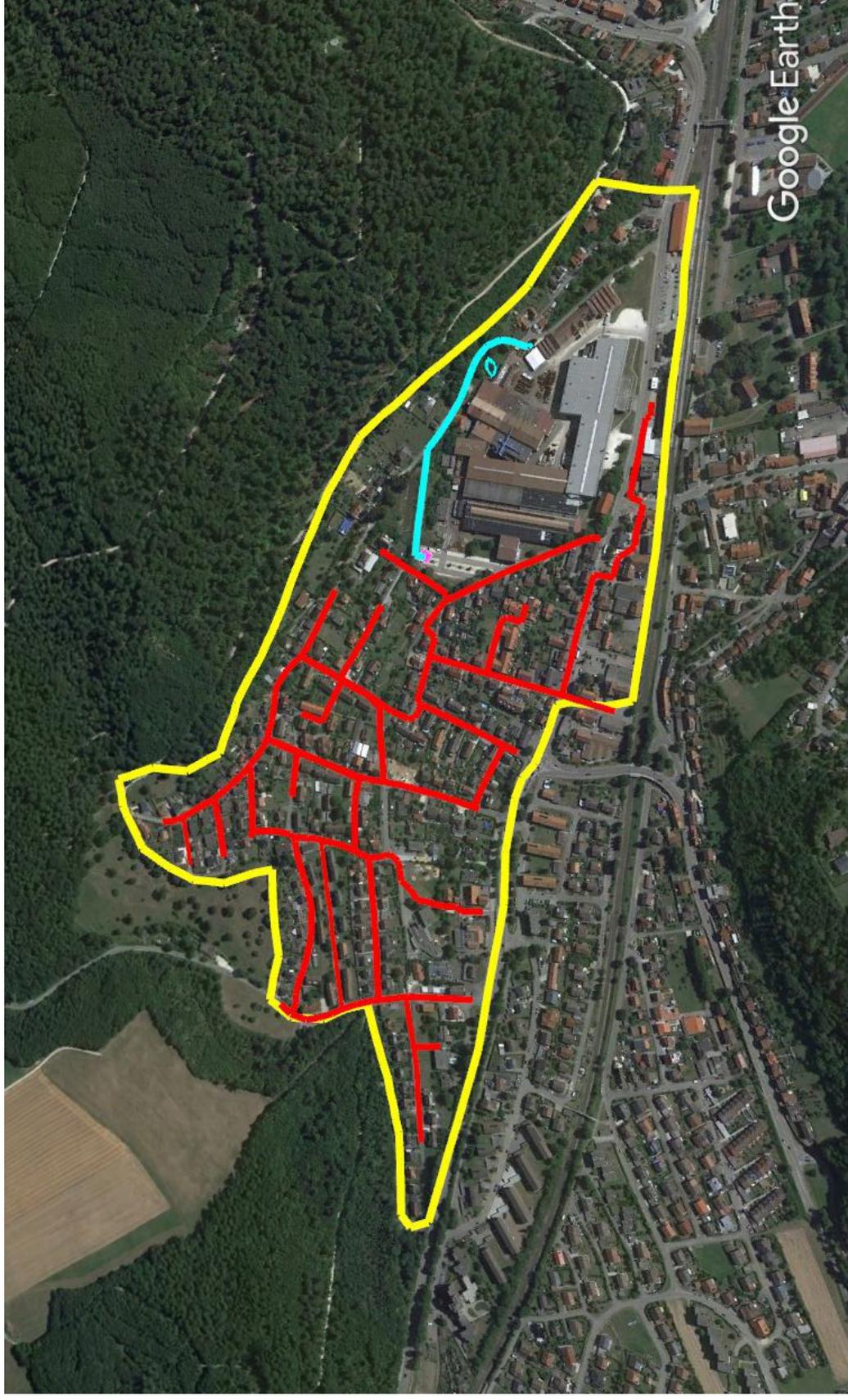
25.000 €
29.750 €

Laufende Kosten der Wärmeversorgung

Jahreskosten, ohne Kapitalkosten

MFH-Neubau	640 m ²	21 Bewohner	36.000 kWh	WW 16.800 kWh
Nahwärme / Arbeitspreis		10,00 Ct/kWh	31.800 kWh	3.179 €
Grundpreis der Nahwärme		77,35 Ct/kW	26 kW	1.989 €
WW-Bereitung mit WP im Sommer	40%	COP 6,9	6.720 kWh	
Strombedarf für Temperaturhub von 50 auf 60 °C im Winter			2.016 kWh	
Stromeinkauf		29,0 Ct/kWh	2.990 kWh	867 €
Sonstige Betriebskosten				500 €
Laufende Kosten, inkl. MwSt.			18,15 Ct/kWh	6.535 €
pro m ² Mietfläche, monatlich	640 m ²	0,85 €/m ²		
Jahreskosten, pro Bewohner	21 Bew	311 €		

Die in der Grafik rot eingezeichneten Nahwärme-Hauptleitungen wurden ausgemessen: siehe Arbeitsblatt 72



Wärmenetz im Quartier

gemäß Grafik Arbeitsblatt 71

	<u>Länge HL</u>	Anlieger Gebäude	Bedarf MW/h/a
Wielandstraße	175 Trm	16 G	
Anbindung Ende Aalener Str 50+52	40 Trm	3 G	
Zahnberger Straße (mit Aalener 46)	281 Trm	7 G	
Flachsbergstraße	231 Trm	11 G	
Silcherstraße	207 Trm	14 G	
Schubartstraße	171 Trm	16 G	
Pestalozzi - Schule - Aalenerstr	160 Trm	6 G	
Gerokstraße (mit Scheffelstr 7)	174 Trm	10 G	
Eichendorffstraße	61 Trm	4 G	
Goethestraße	77 Trm	6 G	
Kantstraße	92 Trm	8 G	
Scheffelstraße Stich Nr. 1 bis 5	52 Trm	3 G	
Buchenweg	90 Trm	3 G	
Wilhelm-Hauff-Straße	313 Trm	25 G	
Hegelstraße	94 Trm	1 G	
Kernerstraße	83 Trm	3 G	
Carl-Zeiss-Straße	357 Trm	35 G	
Hölderlinweg (ab CZ bis Nr. 3)	110 Trm	6 G	
Mörikestraße (inkl Aa 2 und Hh 1)	358 Trm	19 G	
Eichhaldenstraße	241 Trm	16 G	
An der Eichhalde	112 Trm	8 G	
Lindenweg	112 Trm	6 G	
Frauentalstraße	424 Trm	27 G	
Aalener Straße	165 Trm	12 G	
Schickardtstraße	92 Trm	5 G	
Heidenheimer Straße	124 Trm	3 G	
Ochsenberger Weg		5 G	
Summe Hauptleitungen	4396 Trm	278 G	
Wärmezufuhrleitung	344 Trm	Einbindung Wärmepumpen	4740 Trm
Hausanschlüsseleitungen, bis Armatur	3780 Trm	14 m/HA	270 HA
Primärleitungen in den Anschlussobjekten	1080 Trm	4 m/HA	270 HA
Wärmenetz im Quartier	9600 Trm		4860 Trm 9600 Trm

Wärmerohrauswahl und U-Wertberechnung für das Wärmenetz

U-Werte für Logstor-Twinrohre zweifach verstärkte Isolierung	U-Wert	Netzlänge	W-Wert	W/mK	
				W/mK	W/K
114,3-114,3/400	0,230	500 m	115,00		
139,7-139,7/500	0,220	540 m	118,80		
168,3-168,3/560	0,248	600 m	148,80		
219,1-219,1/710	0,254	800 m	203,20		
273,0-273,0/900	0,244		0,00		
			0,00		
26,9-26,9/160	0,125	3108 m	388,50		
33,7-33,7/180	0,134	672 m	90,05		
42,4-42,4/200	0,148		0,00		
48,3-48,3/200	0,169		0,00		
60,3-60,3/250	0,162	500 m	81,00		
76,1-76,1/280	0,186	1000 m	186,00		
88,9-88,9/315	0,200	800 m	160,00		
Primärleitungen in den Anschlussobjekt	0,320	1080 m	345,60		

Summe Netzverluste 1,84 kW/K

1837

bzw. U-Wert des Wärmenetzes mit einer Ausdehnung von 9600 Trm.

Heizlastberechnung Quartiernetz Königsbronn
 Heizgrenze \varnothing 14 °C, Auslegungstemperatur -16 °C

	<u>Wärmebedarf</u>	<u>Nutzung</u>	<u>Leistungsbedarf</u>
	MWh	Vbh	kW
Raumwärme	4.420	1910	2314 kW
Warmwasser	79.464	744	107 kW
Zwischensumme / Nutzwärmebedarf	83.885		
Netzverlustleistung Januar	59.451	744	80 kW
Speicherverlustleistung Januar	1.989	744	3 kW
Summen, Wärmebedarf und -leistung	145.324		2504 kW

untertägige Aufheizspitzen werden über den Wärmespeicher gepuffert
 eine geringer übertägiger Lastausgleich wird angenommen

Leistungsabsicherung / Gaskessel 600 kW 1800 kW 2400 kW

Die Auslegung der Netzanschlusswerte für die Anschlussobjekte erfolgt mit niedrigeren Vollbenutzungsstunden

Aus der Summe der Anschlusswerte in Relation zur vorstehend berechneten Wärmeleistung ergibt sich der Gleichzeitigkeitsfaktor: Er liegt bei < 0,8

Zu beachten ist, dass bei diesem Niedertemperatur-Wärmenetz die aus dem WW-Bedarf und den Netzverlusten resultierenden Grundlasten relativ gering sind, und dass bei einer Heizgrenze, die mit 14 °C angenommen wurde, und Auslegungstemperatur, die mit -16 °C angenommen wurde, eine relativ steile Heizkurve entsteht.

Gebäudeseitig verfügbare Vorlauftemperatur für den Betrieb der Heizkreise mit 10 % Wärme aus Erdgas

Außen- temperatur Tagesmittel	Netzlaster		Großwärmepumpe(n) 7/55		Erdgaskessel (teilweise ersetzbar durch BHKW)		Nahwärm- vorlauf Mischtemp.	hausseitig verfügbare Temperatur
	Absolut	%	Absolut	Temperatur	Absolut	Temperatur		
-16 °C	2519 kW	47%	1180 kW	55 °C	1339 kW	90 °C	73,6 °C	68 °C
-15 °C	2442 kW	48%	1180 kW	55 °C	1262 kW	90 °C	73,1 °C	67 °C
-14 °C	2365 kW	50%	1180 kW	55 °C	1185 kW	90 °C	72,5 °C	67 °C
-13 °C	2286 kW	52%	1180 kW	55 °C	1106 kW	90 °C	71,9 °C	66 °C
-12 °C	2208 kW	53%	1180 kW	55 °C	1028 kW	90 °C	71,3 °C	65 °C
-11 °C	2130 kW	55%	1180 kW	55 °C	950 kW	90 °C	70,6 °C	65 °C
-10 °C	2051 kW	58%	1180 kW	55 °C	871 kW	90 °C	69,9 °C	64 °C
-9 °C	1973 kW	60%	1180 kW	55 °C	793 kW	90 °C	69,1 °C	63 °C
-8 °C	1895 kW	62%	1180 kW	55 °C	715 kW	90 °C	68,2 °C	62 °C
-7 °C	1817 kW	65%	1180 kW	55 °C	637 kW	90 °C	67,3 °C	61 °C
-6 °C	1738 kW	68%	1180 kW	55 °C	558 kW	90 °C	66,2 °C	60 °C
-5 °C	1660 kW	71%	1180 kW	55 °C	480 kW	90 °C	65,1 °C	59 °C
-4 °C	1582 kW	75%	1180 kW	55 °C	402 kW	90 °C	63,9 °C	58 °C
-3 °C	1503 kW	78%	1180 kW	55 °C	323 kW	90 °C	62,5 °C	57 °C
-2 °C	1425 kW	83%	1180 kW	55 °C	245 kW	90 °C	61,0 °C	55 °C
-1 °C	1347 kW	88%	1180 kW	55 °C	167 kW	90 °C	59,3 °C	53 °C
0 °C	1269 kW	93%	1180 kW	55 °C	89 kW	90 °C	57,4 °C	51 °C
1 °C	1190 kW	99%	1180 kW	55 °C	10 kW	90 °C	55 °C	50 °C
2 °C	1112 kW	100%	1112 kW	55 °C	0 kW	90 °C	55 °C	50 °C
3 °C	1034 kW	100%	1034 kW	55 °C	0 kW	90 °C	55 °C	50 °C
4 °C	955 kW	100%	955 kW	55 °C	0 kW	90 °C	55 °C	50 °C
5-14 °C							55 °C	50 °C