

Machbarkeitsstudie

Optimierung und Ausbau des geothermischen
Potentials von Heil- und Grubenwässern
in Bad Ems

- nicht öffentliche Version -

31. Mai 2010, Bingen am Rhein

Auftraggeber: FAWF / MUFV
Projektnummer: 1493

Mit freundlicher Unterstützung des:



Rheinland-Pfalz

Ministerium für Umwelt, Forsten
und Verbraucherschutz

Institut für geothermisches
Ressourcenmanagement
(igem)

Am Langenstein 21
D-55411 Bingen
Tel. 06721- 98 424 0

www.igem-energie.de

Projektleitung:
Prof. Dr. Georg Wieber
Tel.: 06131 / 3924373
wieber@uni-mainz.de

und

Dipl. Ing. (FH)
Michael Münch
Tel.: 06721 / 98 424 24
m.muench@igem-energie.de

Unter Mitarbeit von:

Verena Honeck B. Sc.
Tel.: 06721 / 98 424 24
honeck@tsb-energie.de

Geschäftsbereich
des



Institut an den Fachhochschulen Bingen und Mainz

ITB - Institut für Innovation,
Transfer und Beratung
gemeinnützige GmbH

Berlinstraße 107a
D – 55411 Bingen

Bankverbindungen:

Sparkasse Rhein-Nahe
BLZ 560 501 80
Kto.Nr. 101 111 28

Mainzer Volksbank eG
BLZ 551 900 00
Kto.Nr. 401 484 035

Geschäftsführer:

Prof. Dr. Matthias Eickhoff
Prof. Dr. Ulrich Glinka

Sitz der Gesellschaft:

55411 Bingen am Rhein
Amtsgericht Mainz
HRB 22716

Steuernummer: 0865405597
UST.-IDNR.: DE 175 755 906

Verantwortlich im Sinne des Pressegesetzes für den Inhalt sind die Autoren. Aus der Benutzung der Studie können gegenüber der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz keine Schadensersatzansprüche geltend gemacht werden. Die Forschungsanstalt ist bemüht, die Studien auf Wahrheit, Inhalte und Herkunft zu prüfen. Sie kann jedoch beispielsweise die Urdaten von Vor-Ort-Erhebungen, gegebenenfalls verwendete Algorithmen und Hintergrundinformationen nicht prüfen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Effiziente Energienutzung	2
1.2	Bad Ems: Bergbau und Kaiserbad	2
2	Geothermische Wärmequellen in Bad Ems	7
2.1	Geothermische Nutzung der Heilwässer	8
2.1.1	Erschließbare Heilwasservorkommen in Bad Ems	8
2.1.1.1	Einschränkungen für die Nutzung der Heilwässer zur Gebäudebeheizung	11
2.1.1.2	Erschließbare warme Abwässer aus der Heilwassernutzung	14
2.1.2	Erschließung der Heilwässer zur Gebäudebeheizung	18
2.2	Geothermische Nutzung der Grubenwässer	20
2.2.1	Erschließbare Grubenwasservorkommen der Grube Mercur	22
2.2.1.1	Stadtstollen	24
2.2.1.2	Neuhoffnungstollen	25
2.2.1.3	Abteilungen Fahnenberg / Pfingstwiese	26
2.2.2	Wärmenutzung der Grubenwässer	26
3	Geothermisches Potential der Heil- und Grubenwässer	31
4	Technische Grundlagen zur Gebäudebeheizung mit geothermischer Wärme	33
4.1	Wärmeverteilung und -übergabe im Gebäude	33
4.2	Regelung des Temperaturniveaus der Heizwärmeverteilung und -übergabe	34
4.3	Anpassung des Temperaturniveaus durch Heizkörperaustausch und Wärmeschutzmaßnahmen	37
4.3.1	Heizkörperaustausch	37
4.3.2	Wärmeschutzmaßnahmen	37
4.3.3	Thermoaktive Bauteilsysteme in Neubauten	39
4.4	Technische Komponenten der Wärmeherzeugung zur Gebäudebeheizung	41
4.4.1	Direkte Nutzung der Thermalwasserwärme / Rücklaufanhebung	41
4.4.2	Wärmepumpe	41
4.4.3	Nahwärmeleitungen	45
5	Machbarkeitsbetrachtung geothermischer Gebäudebeheizung in Bad Ems	46
5.1	„Auf dem Spieß“ - Thermalwassernutzung	52
5.2	Neuquelle - Thermalwassernutzung	59
5.3	Thermalbad - Thermalwassernutzung	69
5.4	Stadtstollen - Grubenwassernutzung	79
6	Zusammenfassung	93
7	Fazit	97
A	Abbildungsverzeichnis	II
B	Quellenverzeichnis	IV

1 Einleitung

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit der Nutzung alternativer Energiequellen in der Form von an der Erdoberfläche anstehenden warmen Wässern zur Gebäudebeheizung. In Bad Ems, einer Kleinstadt an der Lahn, liegen mehrere potentiell nutzbare Ströme von warmen Wässern vor. Auf der einen Seite finden sich warme Grubenwässer, die im größten, nicht mehr genutzten, Bergwerk von Bad Ems, der Grube Mercur, anstehen. Der Entwässerungstollen mit warmen Grubenwässern dieses Bergwerkes liegt mitten in der Stadt. Auf der anderen Seite finden sich in Bad Ems mehrere thermale Mineralquellen (Heilquellen), die teils auf einem außergewöhnlich hohen Temperaturniveau anstehen. In dieser Arbeit wird untersucht, wie und ob diese Potentiale wirtschaftlich zu Heizzwecken eingesetzt werden können.

Die knapper werdenden Ressourcen an fossilen Energieträgern und die weltweit stetig steigende Nachfrage nach Energie erfordern neue Lösungsansätze zur Nutzung regenerativer Energien und zum effizienten Umgang mit den zur Verfügung stehenden Energieträgern. Wie in Abbildung 1 zu erkennen ist, hat der Rohölpreis im Jahr 2008 die 100 \$ - Marke schon einmal überschritten und beträgt zurzeit etwa 85 \$. Auf der anderen Seite steigt die weltweite Nachfrage nach günstiger Energie rapide an. Diese Entwicklung wird vor Allem durch die wachsende Weltbevölkerung und die rasante industrielle Entwicklung großer Schwellenländer (wie Indien und China) zu Industrienationen beschleunigt.

Auch wenn derzeit der Preis für Erdöl wieder rapide gesunken ist, sind sich die Experten einig, dass langfristig von einer extremen Preissteigerung ausgegangen werden kann, die neben den sich verknappenden Ressourcen auch immer höheren Bedarf an Energieträgern abhängig ist.

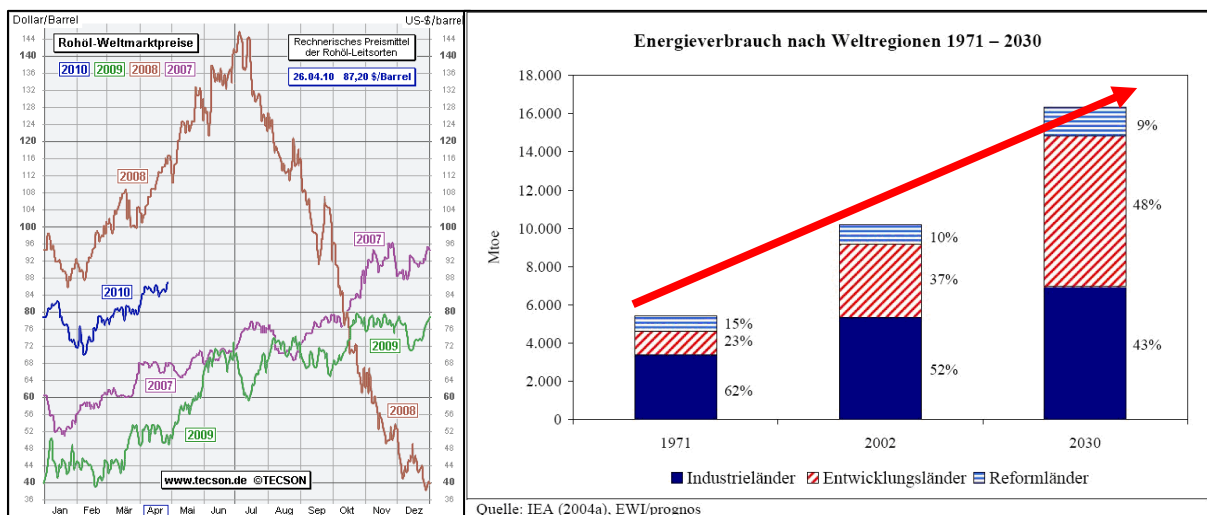


Abb. 1 Entwicklung der Ölpreise und Entwicklung des weltweiten Energiebedarfs

1.1 Effiziente Energienutzung

In Deutschland entfallen etwa 28 %¹ des Primärenergieverbrauches auf den Sektor „Haushalte, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen“. Mit etwa 75% wird der größte Anteil hiervon zur Beheizung von Gebäuden verwendet.

In den meisten Fällen wird Energie mit einem hohen Anteil an Exergie in Niedertemperaturwärme umgewandelt.

Als Exergie wird der Anteil der Energie bezeichnet, der sich vollständig in Arbeit umwandeln lässt. Energie setzt sich aus Exergie und Anergie (Niedertemperaturwärme, die sich nicht in Arbeit umwandeln lässt) zusammen.

$$\text{Energie} = \text{Exergie} + \text{Anergie}$$

Energieträger, welche üblicherweise in Kleinfeuerungsanlagen verbrannt werden, zum Beispiel Erdgas, Heizöl oder Holz, sind höchst exergiehaltig. Die benötigte Heizwärme (Endenergie) besteht nahezu vollständig aus Anergie (Niedertemperaturwärme).

Dies bedeutet, dass in den üblicherweise installierten Kleinfeuerungsanlagen Exergie, also der wertvollste Anteil des Energieinhaltes der Brennstoffe, in einem hohen Maß vernichtet wird.

Wärme auf einem niedrigen Temperaturniveau liegt mannigfaltig in der Umgebung vor. Mit Wärmepumpen lässt sich diese Umgebungswärme auf ein höheres Temperaturniveau aufkonzentrieren, so dass sie zu Heizzwecken genutzt werden kann. Wärmepumpen, die zu Heizzwecken eingesetzt werden, arbeiten mit zunehmender Wärmequellentemperatur effizienter. In Bad Ems finden sich mit den Thermalquellen und Grubenwässern Wärmequellen, die ganzjährig über dem Temperaturniveau der üblicherweise genutzten Wärmequellen liegen.

1.2 Bad Ems: Bergbau und Kaiserbad

Bad Ems ist eine am Fluss Lahn in malerischer Landschaft gelegene Kleinstadt (etwa 10.000 Einwohner). Im Gebiet der Stadt verlief einst der Limes, der mächtige Grenzwall zwischen dem römischen Reich im Südwesten und Germanien im Nordosten. So blickt Bad Ems auf eine etwa 2000jährige Geschichte, während es unter dem Namen „Ems“ das erste Mal im Jahre 880 urkundlich erwähnt wurde. Im Jahr 1324 erhielt Ems Stadtrechte [Wikipedia (2009)].

¹ AG Energiebilanzen 07/2007



Abb. 2 Das Kurhaus in Bad Ems

Heilquellen in Bad Ems

Im Gebiet des so bezeichneten „Emser Quellensattels“ (Kurviertel in Bad Ems) treten mehrere Heilquellen mit thermalen Wässern zu Tage. Geologisch ist dieser Quellensattel eine Zone mit einer äußerst wasserdurchlässigen Struktur. Die unter Druck stehenden Tiefenwässer stoßen an der Stelle des Quellensattels auf den geringsten Fließwiderstand.



Abb. 3 Emser Quellensattel

Die Stadt Bad Ems hat nachweislich seit dem Mittelalter eine lange Tradition in der Nutzung von Thermalwässern.

Ob die Römer, deren Limes (ein mächtiger Grenzwall) im Bereich des heutigen Bad Ems die Lahn querte, auch die Thermalwässer nutzten, ist bis heute ungeklärt. Einige Funde von römischen Münzen an den Quellen und Funde von alten Quellfassungen könnten darauf hinweisen, dass auch schon die Römer die Emser Quellen zu schätzen wussten [Rhein-Lahn-Kreis (2010)].

Die ersten bekannten Badehäuser wurden etwa um das Jahr 1300 errichtet.

Bereits im 17. und 18. Jahrhundert war Ems als das berühmteste Bad Deutschlands bekannt, die bedeutendste Epoche des Badebetriebes war jedoch das 19. Jahrhundert, in welchem Ems die Beinamen „Weltbad“ und „Kaiserbad“ bekam, da neben bedeutenden Persönlichkeiten wie Fjodor Dostojewski und dem russischen Zaren auch besonders Kaiser Wilhelm der Erste den Badeort schätzte. Seit 1913 darf die Stadt Ems sich „Bad Ems“ nennen.

Die Emser Quellen wurden vor Allem aufgrund der heilenden Wirkung ihrer balneologischen² Anwendungen (Bad, Trink- und Gurgelkur) bekannt.

² Balneologie: Bäderkunde



Abb. 4 Lage der Emser Heilquellen in der Kaiserzeit, SCHERRER 1918, aus [Viehmann (2007)]

Nach dem Krieg (1947) wurde Bad Ems Staatsbad des Landes Rheinland-Pfalz.

Neben der Nutzung als Heilbäder, für Trink- und Gurgelkuren wird seit 1902 das Emser Quellensalz (auch in Form der Emser Pastillen) vertrieben. Heilerfolge werden bei Erkrankungen und Leiden an Atemwegen, Bronchien und Verdauungsorganen bescheinigt [Bergbaumuseum Bad Ems (2007)].

Bergbau in Bad Ems

Auch der Bergbau prägte in bedeutendem Maße die wirtschaftliche und landschaftliche Entwicklung des Stadtgebietes. Sowohl nördlich, als auch südlich der Lahn wurde der so genannte „Emser Gangzug“ abgebaut. Die Erzgänge, welche von Braubach am Rhein bis nach Holzappel [Wieber (2005)] verlaufen, hatten ihre größte Mächtigkeit in Bad Ems im Bereich der Grube Mercur nördlich der Lahn. In der Grube Mercur wiederum war die Abteilung Neuhoffnung der wirtschaftlichste Abbaubereich.

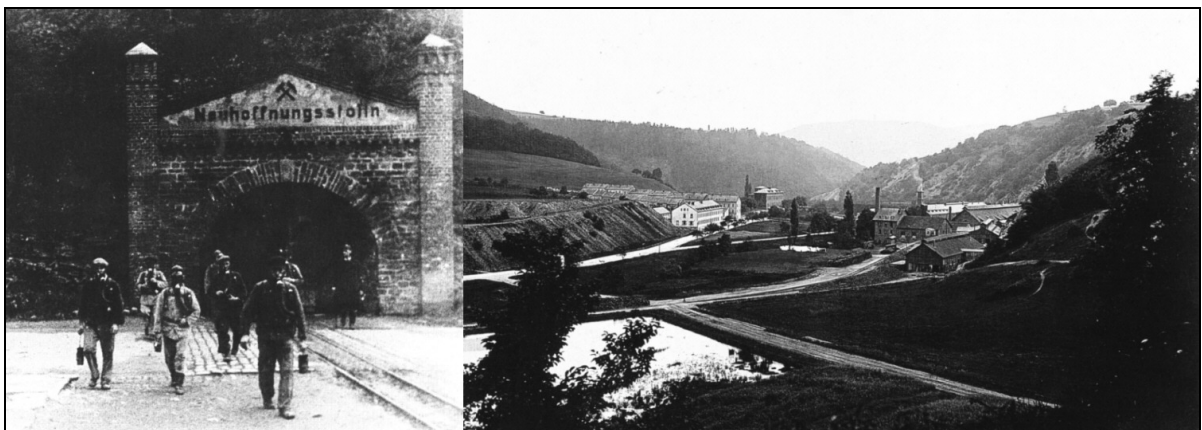


Abb. 5 Bergbau Anfang des 20. Jhd. in Bad Ems [VG Bad Ems (1991)]

Durch den Bergbaufortschritt wurde im Laufe der Zeit immer tiefer abgeteuft, beim Erreichen der 8. Tiefbausohle in der Abteilung Neuhoftung stießen die Bergbauarbeiter auf Thermalwasser. An mehreren Stellen traten diffus thermale Mineralwässer ein, beim „Anstich“ einer Quelle trat ein armdicker Strahl Wasser auf einem Temperaturniveau von etwa 37 °C ein [Viehmann (2007)].



Abb. 6 Thermalwassereintritte auf der 8. Tiefbausohle [Denner (1956)]

In der Zeit des Nationalsozialismus begann die letzte Blütezeit des Emser Bergbaus: Hitlers kriegsvorbereitende Bestrebungen das Deutsche Reich unabhängiger von ausländischen Rohstoffimporten zu machen ließen die vorher an der Grenze der Wirtschaftlichkeit arbeitenden Bergwerke noch einmal mit maximaler Leistung fördern. Gegen Ende des Krieges wurde der Emser Bergbau wegen „kriegsbedingter Ausfälle“ [Pfafferott, Kalz (2007)] stillgelegt.

2 Geothermische Wärmequellen in Bad Ems

Zur geothermischen Beheizung von Gebäuden werden üblicherweise warme oberflächennahe Erdschichten oder das Grundwasser als Wärmequelle genutzt. Diese Wärmequellen liegen auf einem Temperaturniveau von meist unter 10 °C vor. Des Weiteren müssen diese Wärmequellen sehr aufwendig erschlossen werden. So müssen zum Beispiel eine oder mehrere Bohrungen für die Erdwärmesonden bei der Erdwärmenutzung oder Förder- und Schluckbrunnen bei der Nutzung von Grundwässern vorgenommen werden. Diese Bohrungen sind mit sehr hohen Investitionskosten verbunden.

Potentiell zur geothermischen Gebäudebeheizung nutzbare Wärmequellen in Bad Ems liegen einerseits in Form der warmen Heilquellen und andererseits in Form von warmen Grubenwässern des Überlaufes der Grube Mercur, Abteilung Neuhoftung am Stadtstollen, sowie stehenden Grubenwässern im Bergwerk, vor. In Abbildung 7 sind die Wärmequellen in Bad Ems dargestellt. Diese Wärmequellen liegen auf einem (teils beträchtlich) höheren Temperaturniveau als die üblicherweise genutzten oberflächennahen Wärmequellen vor.

Aus mehreren Gründen bietet es sich an, diese beiden Bereiche getrennt zu betrachten:

- die beiden Wärmequellen sind etwa 2 Kilometer voneinander entfernt
- sie unterscheiden sich maßgeblich in der Schüttung
- sie unterscheiden sich maßgeblich im Temperaturniveau.

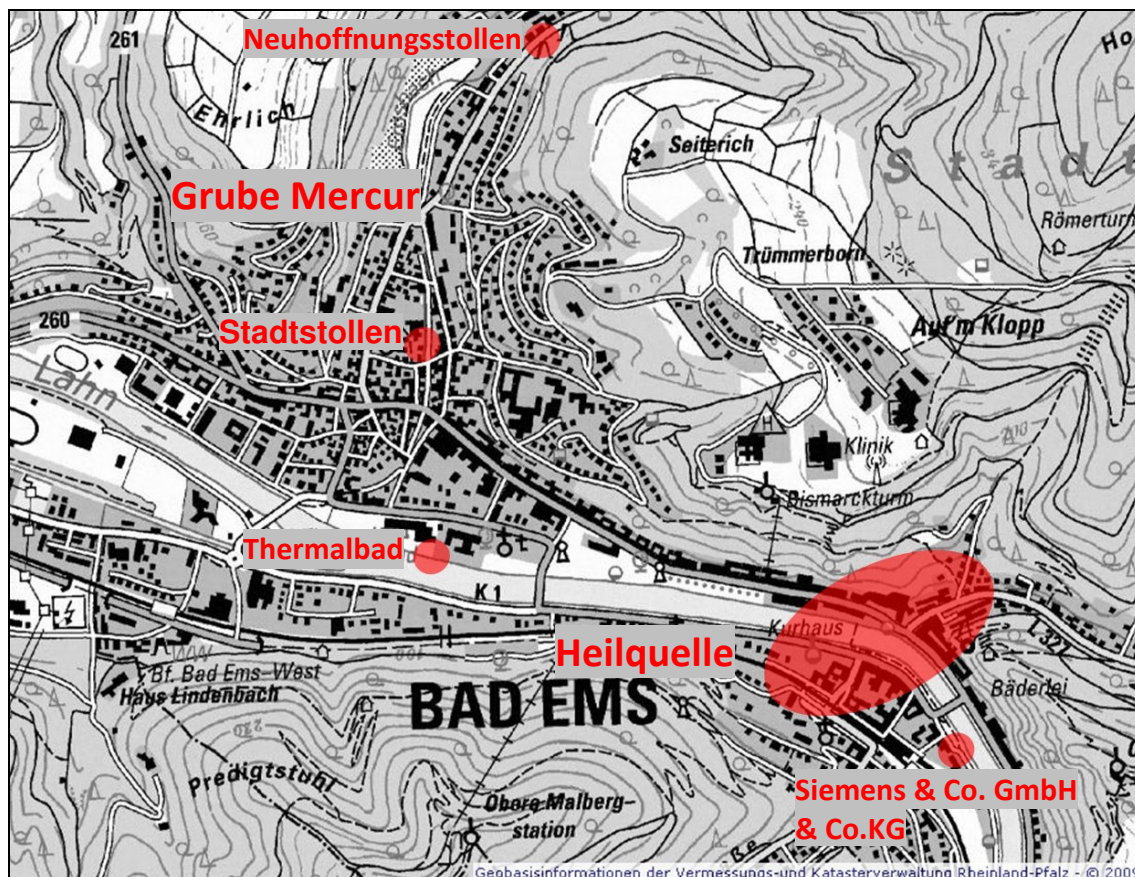


Abb. 7 Warme Wässer in Bad Ems (Vermessungs- und Katasterverwaltung Rheinland-Pfalz)

2.1 Geothermische Nutzung der Heilwässer

2.1.1 Erschließbare Heilwasservorkommen in Bad Ems

In Bad Ems gibt es 29 nachgewiesene thermale Mineralquellen, darunter sind 17 staatlich anerkannte Heilquellen [LUWG RLP (1998)]. Von den staatlich anerkannten Heilquellen sind 2 versiegt, so liegen lediglich von 15 der 17 Quellen Daten über Schüttung und Temperatur der Thermalwässer vor. Die Quellen unterscheiden sich erheblich in ihren Schüttungen, auch das Temperaturniveau ist unterschiedlich. In der Vorstudie zu dieser Machbarkeitsbetrachtung wurden, ausgehend von Daten nach [LUWG RLP (1998)] folgende Schüttungs- und Temperaturdaten der Quelle für eine Potentialanalyse verwendet:

Tab. 1 Staatlich anerkannte Heilquellen in Bad Ems: Schüttungen und Temperaturen nach [LUWG RLP (1998)]

Nr.	Bezeichnung der Heilquelle	derzeitige Nutzung	Mess-zeitraum	Schüttung	Temperatur
1	Bohrung 1a	Thermalbad Pharmazie Hotelbad Schaubrunnen	2002-2005	583 l/min	Ø ca. 55 °C
2	Bohrung 1	Reserve	2003-2005 2007	3,5 l/min 9,5 l/min	Ø ca. 51 °C
3	Kesselbrunnen	Trink- / Gurgelkur	2002-2007	30...40 l/min	Ø ca. 43 °C
4	Kaiserbrunnen	Trink- / Gurgelkur	2002-2007	6...11 l/min	Ø ca. 35 °C
5	Fürstenbrunnen	Reserve für Kaiserbrunnen	2002-2005	10 l/min	Ø ca. 32 °C
6	Emser Kränchen	Trink- / Gurgelkur	ab 2002	8 l/min	Ø ca. 32 °C
7	Römerquelle	Trinkkur	2002-2005	20 l/min (Brunnenkopf)	Ø ca. 46 °C
8	Neuquelle I	Keine	vor 1998	70 l/min	k.A. ³
9	Neuquelle II	Keine		k.A.	k.A.
10	Neuquelle III	Keine		k.A.	k.A.
11	Neuquelle IV	Keine	1980-1984	325 l/min	Ø ca. 45 °C
12	Bohrung 2	Keine	bis 1994	60 l/min Pumpbetrieb	Ø ca. 48 °C
13	Bohrung 3	Öffentliche Zapfstelle	ab 1982	55 l/min	Ø ca. 35 °C
14	Bohrung 4	Keine		k.A. ³	44...50 °C
15	Bohrung 5	Hufeland-Klinik Lahntal-Klinik		k.A. ³	Ø ca. 50 °C
16	Vestibüle	-versiegt-			
17	König-Wilhelm-Quelle	-versiegt-			

³ k.A. = keine Angabe

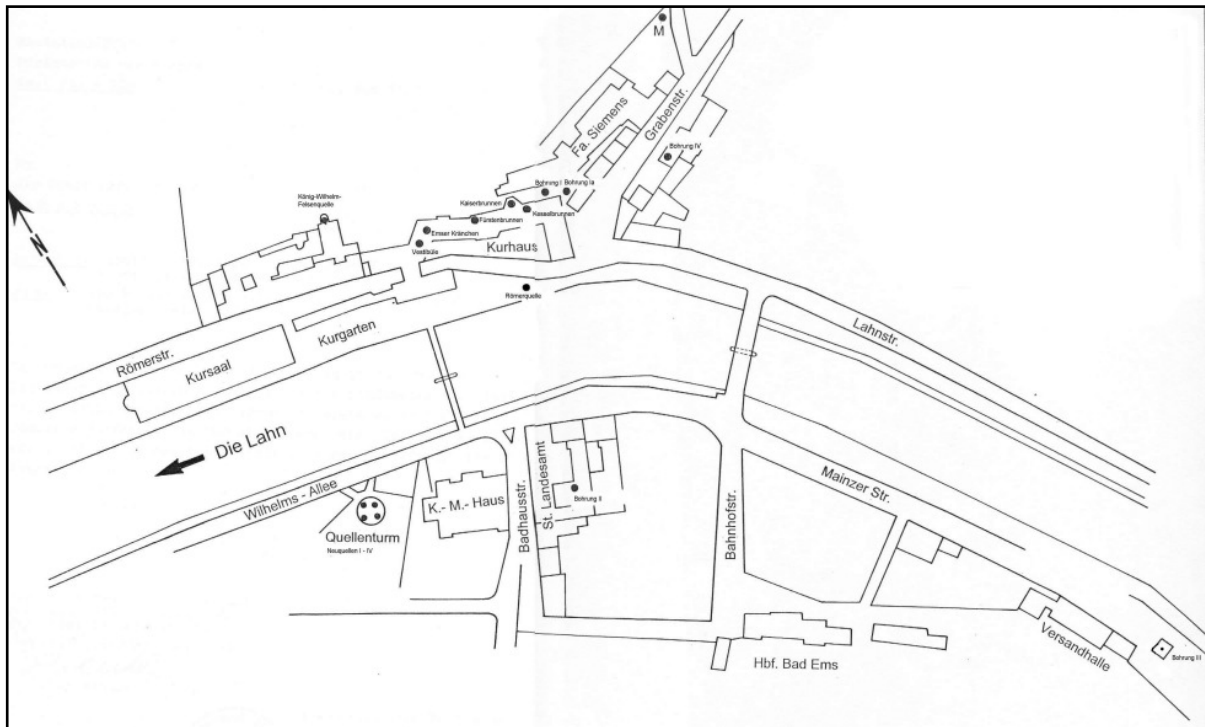


Abb. 8 Lage der Emser Trinkquellen, (verändert nach [LUWG RLP (1998)])

Die Heilquelle mit dem größten Potential stellt die Bohrung 1a auf der rechten Lahnseite dar. Die Bohrung 1a ist eine in 72 Metern Tiefe gefasste Heilquelle mit einer Schüttung von etwa 600 Litern pro Minute [LUWG RLP (1998)].

Auf der linken Lahnseite ist die 45 °C warme Neuquelle IV mit 325 Litern Schüttung pro Minute die ergiebigste Quelle [LUWG RLP (1998)].

Die Verantwortlichkeit für die Heilquellen obliegt der Staatsbad Bad Ems GmbH.

Die Messdaten über Temperatur und Schüttung wurden vom [LUWG RLP (1998)] veröffentlicht. Das Landesamt stellte bei der Auswertung der Messdaten im Wesentlichen folgende Fehlerquellen fest:

- lückenhafter und uneinheitlicher Datenbestand
- Messungenauigkeiten bei der elektrischen Leitfähigkeit
- methodisch bedingte Unterschiede zwischen den Messwerten der betrieblichen Kontrollen und den Analysen für die Parameter Chlorid und Kohlendioxid
- nachlässige Messung der Schüttungen bzw. Fördermengen und der dazu gehörigen Wasserspiegelabsenkungen

Die Daten wurden für die Erarbeitung der Studie ungeprüft übernommen.

Im Mai 2008 wurden den Verfassern neuere Ergebnisse der Messung von Temperatur und Schüttung der Quellen zugänglich gemacht. Diese finden sich in der folgenden Tabelle wieder:

Tab. 2 Auswertung Messprotokolle der Heilquellenbeobachtung 2007

Messdatenerfassung 2007			Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Min	Max	Durchschnitt
Kesselbrunnen	Schüttung	l/min	33,6	34,3	36,8	36,8	38	39,4	38,8	39,7	39,2	39,7	39,3	42,3	33,6	42,3	38,2
Bohrung 1	Schüttung	l/min	8	10	9,7	9,7	10,2	9,6	9,7	8,8	8,7	9	8,8	12,4	8	12,4	9,6
Bohrung1a	Schüttung	l/min	420,1	421,9	401,4	384,7	315,3	409,7	298,6	364,6	368,1	439,6	366	445,1	298,6	445,1	386,3
Bohrung 2	Schüttung	l/min	6,4	2	1,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	19,5	6,7	2,9	0,1	19,5	3,3
Bohrung 5	Schüttung	l/min	5,4	5,2	6,4	4,6	4,8	4,7	4,9	5,5	5,2	5,8	6	4,1	4,1	6,4	5,2
Neuquelle IV	Schüttung	l/min	8,5	4,8	0,8	0,7	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5 ⁴	⁴		0,4	8,5	1,8
Kaiserbrunnen	Schüttung	l/min	7,2	7,5	6,4	6,4	6,5	6,3	6,2	7,5	7,1	6,2	6,3	8,7	6,2	8,7	6,9
Fürstenbrunnen	Schüttung	l/min	9,7	10,1	9,6	9,6	10,8	9,8	10,3	8,6	9,4	9,8	10,1	11	8,6	11	9,9
Kränchen	Schüttung	l/min	6,9	7	7,2	7,2	7,8	8,5	7,7	8,2	8,1	8,4	8,5	9,5	7	9,5	7,9
Römerquelle	Schüttung	l/min	24	26,7	21,2	23,1	23,3	23,9	24,5	21	22,7	23,7	23,2		21	26,7	23,4
Kesselbrunnen	Temperatur	°C	43,8	43,6	43,4	43,8	43,5	43,6	43,7	43,8	43,8	43,1	43,4	43,6	43,1	43,8	43,6
Bohrung 1	Temperatur	°C	54,1	53,8	53,8	51,3	51	51	51,2	52,8	53	51,3	51,6	54,1	51	54,1	52,4
Bohrung1a	Temperatur	°C	54,2	54,5	57,6	53,4	57,4	56,8	56,8	57,3	56,8	53,1	56,4	57,2	53,1	57,6	56,0
Bohrung 2	Temperatur	°C	50,1	50,3	50,7	50,2	50,6	50,3	50,2	50,6	50,6	49,7	52	50,2	49,7	52	50,5
Bohrung 5	Temperatur	°C	50,1	49,1	50,1	50	50,4	51,2	52,6	49,3	48,6	49,2	49,8	50,2	48,6	52,6	50,1
Neuquelle IV	Temperatur	°C	42,5	42,2	43,8	43,5	41,7	41,7	41,2	40,6	42	43,3			40,6	43,8	42,3
Kaiserbrunnen	Temperatur	°C	36,8	37	37,1	36,4	37,1	37,1	37,2	37,6	37,4	36,1	36,7	37,6	36,1	37,6	37,0
Fürstenbrunnen	Temperatur	°C	34,1	34,2	33,8	39,2	33,2	33,6	33,8	35,1	34,3	32,8	31,8	35,6	31,8	39,2	34,3
Kränchen	Temperatur	°C	32,9	32,8	33,5	32,6	33,6	34,8	35	35,6	35,2	31,1	36,7	36,1	31,1	36,7	34,2
Römerquelle	Temperatur	°C	46,8	46,4	43	45,9	45,3	45,4	45,9	45,3	45,4	47,1	45,8		43	47,1	45,7

⁴ Pumpe defekt

Die in der Tabelle dargestellten Messdaten bestätigen den Überlauf der Neuquelle IV, lassen aber für diese Quelfassung keine Festigung der Aussage auf das Potential zu. Da derzeit kein Pumpbetrieb an der Quelle stattfindet kann die Schüttung von bis zu 325 l/min nicht bestätigt werden, diese geht als Potentialannahme in die weiteren Betrachtungen ein. Die Bohrung 1a hingegen wird in den Messungen mit einer deutlich niedrigeren Schüttung angegeben. Der kleinste Monatswert findet sich im Juli 2007 mit 430 m³ pro Monat. Um den Vergleich der Messdaten mit den vorliegenden Daten nach [LUWG RLP (1998)] zu gewährleisten, wurden diese Monatsschüttungswerte (m³/Monat) in durchschnittliche Schüttungen mit der Einheit Liter pro Minute umgerechnet. Hier weisen wir ausdrücklich auf den damit verbundenen Fehler hin, dass keine kontinuierliche Erfassung der Schüttungswerte stattfindet, und es sicherlich Zeiteinheiten mit einer noch deutlich geringeren Schüttung als die so ermittelten 299 l/min gibt. Dieser Wert scheint nicht plausibel, da im Messzeitraum Nutzungen von etwa 500 l/min bei der Bohrung 1a stattgefunden haben. Für die weitere Ausführungen und Berechnungen wurden diese neueren Messdaten daher nicht berücksichtigt.

Messdaten sollten jedoch vor Planung der Umsetzung einer Geowärmenutzung lückenlos und genau vorliegen, um eine geeignete Technik auszuwählen, sowie das geothermische Potential genauer bestimmen zu können.

2.1.1.1 Einschränkungen für die Nutzung der Heilwässer zur Gebäudebeheizung

Bei der Ermittlung des technisch-wirtschaftlichen Potentials für die energetische Nutzung der Heilquellen müssen folgende Einschränkungen in Bezug auf die Nutzung zu Heizzwecken berücksichtigt werden:

- wasserrechtliche genehmigte Gesamtentnahme⁵
- bestehende pharmazeutische und balneologische Nutzung

a) Einschränkung durch genehmigten Rahmen

In Tabelle 3 ist zu erkennen, dass die Staatsbad Bad Ems GmbH eine bis 2019 befristete Genehmigung zur Entnahme von 19,8 l/s Thermalwasser besitzt, wovon 16,7 l/s frei überlaufen muss (Schüttung), der Rest von 3,1 l/s darf gepumpt werden. Diese Auflage dient dazu, den Aquifer nicht zu überlasten und den freien Überlauf der Schüttungen weiterhin sicherzustellen [Schenk, Wieber (2007)].

⁵ Laufzeit der Genehmigung vom 09.12.2009 bis 31.12.2019, [LGB RLP (2003)]

Tab. 3 Genehmigte Gesamtentnahmemenge Heilquellen (bis 2019)

Heilquelle	Genehmigte Gesamtentnahmemenge				
	[l/s]	[l/min]	[m³/h]	[m³/d]	[m³/a]
Kesselbrunnen	0,17	10,0	0,6	14,4	5.256
Kaiserbrunnen	0,05	3,0	0,2	4,3	1.576
Fürstenbrunnen	0,05	3,0	0,2	4,3	1.576
Emser Kränchen	0,07	4,0	0,2	5,8	2.100
Römerquelle	0,04	2,5	0,2	3,6	1.314
Bohrung 1a	10,23	614,0	36,8	884,2	322.718
Bohrung 2	1,27	76,1	4,6	109,6	40.000
Bohrung 3	0,41	24,7	1,5	35,6	13.000
Bohrung 4	0,32	19,0	1,1	27,4	10.000
Bohrung 5	0,57	34,2	2,1	49,3	18.000
Neuquellen I – IV	6,66	399,5	24,0	575,3	210.000
Gesamtentnahme	19,8	1.190	71,4	1.714	625.540

Hier sollte vor Entscheidung zu einer geothermischen Nutzung der Heilwässer eine längerfristige Genehmigung beantragt werden, um die in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einfließenden Nutzungs- und Abschreibungszeiträume der Anlage auch für den Betrieb sicherzustellen.

b) Einschränkung durch bestehende Nutzung

Derzeit wird eine Teilmenge der Schüttung der Bohrung 1a sowie die Heilwässer folgender im Quallengang gefasster Quellen:

- Kesselbrunnen
- Kaiserbrunnen
- Fürstenbrunnen
- Emser Kränchen

für balneologische Zwecke (Thermalbad, Wannenbäder, Trink- und Gurgelkuren) sowie zur Herstellung pharmazeutischer Produkte (aus den im Thermalwasser enthaltenen Salzen) genutzt.

Zum einem wird ein großer Teil der Bohrung 1a für den Betrieb des Thermalbades verwendet. Da die Zukunft des Thermalbades zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Machbarkeitsstudie noch nicht endgültig geklärt ist wird in dieser Studie eine Empfehlung zur Integration des Wärmepotentials der hierfür bereitstehenden Thermalwässer ausgesprochen. Anhand einiger exemplarischer Nutzungsdarstellungen werden den Umsetzern Ideen mit auf den Weg gegeben. Als geothermisches Potential, welches am Thermalbad ansteht, wird der gesamte Teilstrom des von der Bohrung 1a hierher geförderten Thermalwassers betrachtet.

Die Firma Siemens & Co., Hersteller der „Emser Pastillen“ und anderer Heilprodukte, benötigen zur Gewinnung der gelösten Mineralsalze einen weiteren Teil der Schüttung aus Bohrung 1a. Die benötigte Menge des Thermalwassers schwankt zwischen Produktions- und Ruhephasen.

Während der Produktionsphasen fallen Teilströme des Abwassers mit einem hohen Temperaturniveau an, während in den Ruhephasen das für die Firma Siemens & Co.

bereitgestellte Heilwasser ungenutzt bleibt und so zu energetischen Zwecken genutzt werden könnte.

Weiter wird eine geringe Teilmenge des Thermalwassers der Bohrung 1a noch von „Häckers Kurhotel“ für das hoteleigene Thermalbad sowie verschiedene balneologische Anwendungen genutzt.

Zurzeit werden von etwa 600 Litern minütlicher Schüttung der Bohrung 1a in Summe etwa 500 Liter genutzt. Hier stellt sich, betrachtet man die neueren Schüttungsdaten von 300 Litern eine deutliche, negative Differenz der zur Verfügung stehenden Menge zum Bedarf dar.

Der Robert-Kampe-Sprudel ist ein Schaubrunnen in Form einer Fontäne, die in einem Anbau des Kurbauwerkes entspringt. Die Fontäne wird aus der Fassung der Bohrung 1a im Quellengang in den Anbau gepumpt.

Die Fontäne wird nur im Sommer betrieben, im Winter steht dieser Teilstrom vollständig der Wärmeabgewinnung zur Verfügung. Es findet keine separate messtechnische Erfassung des Teilstroms statt, sodass das im Winter zusätzlich vorliegende Potential in dieser Studie keine Berücksichtigung findet.

Der Kesselbrunnen, der Kaiserbrunnen und das Emser Kränchen befinden sich in der Brunnenhalle. Die Wässer werden als Trinkkur und zum Gurgeln verwendet.



Abb. 9 Brunnenhalle: Emser Kränchen (Trinkkur) und Gurgelräume

Die Schüttungen von Emser Kränchen, Kesselbrunnen, Kaiserbrunnen, Fürstenbrunnen sowie der Bohrungen 1 und 1a sind im Quellengang unter der Brunnenhalle gefasst.



Abb. 10 links: Quellengang unter der Brunnenhalle
rechts: Brunnenkopf der Bohrung 1

Mitte: Diffuse Thermalwassereintritte

Die Hufeland-Klinik auf der Bismarckhöhe nutzt eine Teilmenge der Schüttung der Bohrung V (auf dem Parkplatz des ehemaligen Werksgeländes der Firma Siemens & Co. in der Grabenstrasse gefasst) für medizinische Bäder.

Weiter dienen die Bohrungen I-V der Reservehaltung für die derzeitigen Nutzungen.

2.1.1.2 Erschließbare warme Abwässer aus der Heilwassernutzung

Nach Nutzung der Thermalwasser stehen sowohl am Thermalbad, als auch im Bereich östlich des Hauptbahnhofes „Auf dem Spieß“, bei der Firma Siemens & Co., warme Abwässer an, welche als Wärmequelle zu Heizzwecken genutzt werden können.

Thermalbad

Das Thermalbad „Emser Therme“ liegt im Bereich der Stadt Bad Ems an der Lahn etwa einen Kilometer südlich des Kurviertels und der Bohrung 1a. Der derzeitige Bau des Thermalbads hat eine Beckenoberfläche von über 1.000 m², davon ein Teil Außenbecken. Das Thermalbad bezieht Thermalwasser über eine Rohrleitung von der Bohrung 1a und nutzt es zu Heizzwecken und zur Beckenwassererneuerung. Die Beckenwassererneuerung erfolgt durch Austausch des Beckenwassers durch Thermalwasser, von welchen als einzige Vorbehandlung das Eisen abgetrennt wurde.

Die Nacherhitzung des Beckenwassers erfolgt derzeit durch zwei redundant arbeitende Wärmetauscher (aufgrund der aggressiven Thermalwässer). Zur weiteren Wärmebereitstellung sind zwei jeweils auf 1.000 kW_{th} reduzierte (eigentliche Kesselleistung jeweils 1.500 kW_{th}) Erdgaskessel (Baujahre 1987 und 1992) installiert. Die Bereitstellung von Warmwasser wird durch zwei Speicher mit einem Gesamtfassungsvolumen von 10.000 Litern ermöglicht. Die anfallenden Abwässer (Beckenüberlauf der Thermalwasserschwimmbecken sowie erkaltetes Thermalwasser nach Direktnutzung zur

Wärmebereitstellung zur Beheizung des Kur- und Therapiezentrums) werden aktiv gekühlt, bevor sie in den Emsbach eingeleitet werden.

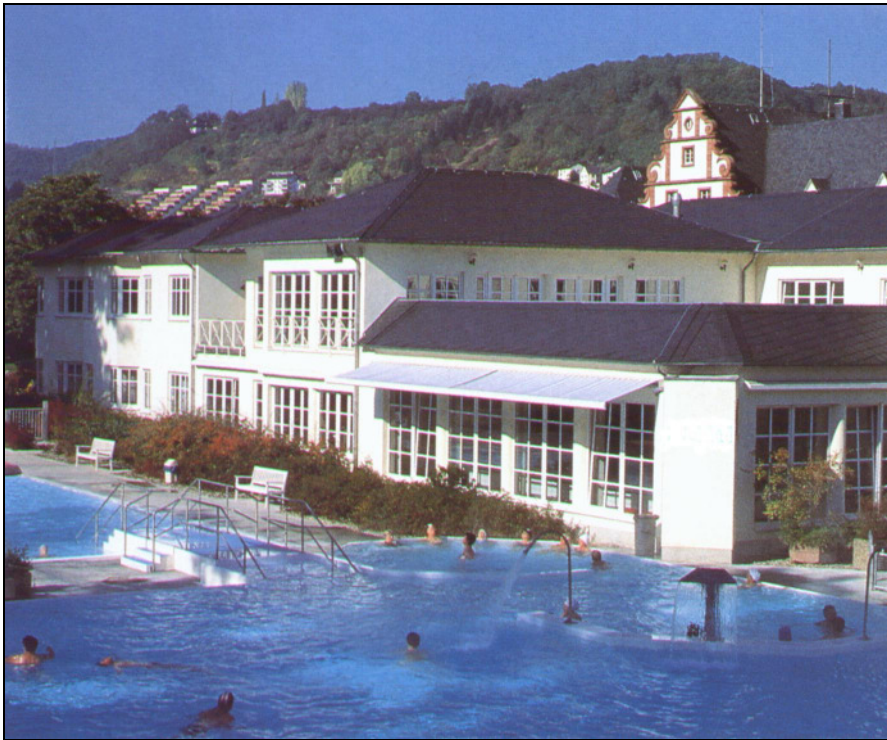


Abb. 11 Thermalbad „Emser Therme“ (Staatsbad Bad Ems GmbH)

Das zu den Emser Thermen gehörende Kur- und Therapiezentrum erhält Wärme auf einem niedrigen Temperaturniveau zur Gebäudebeheizung. Diese Wärme wird primär über einen Wärmetauscher von dem Thermalwasser zur Verfügung gestellt, teilweise ist eine Nacherhitzung erforderlich⁶.

Auch die östlich an das Thermalbad angrenzende AOK-Klinik wird vom Thermalbad aus mit Wärme versorgt. Die AOK-Klinik wird mit Wärme auf einem höheren Temperaturniveau beliefert.

Die Abwässer des Thermalbades werden, wie bachaufwärts auch schon die Grubenwässer (Überlauf am Mundloch des Stadtstollens), in den Emsbach eingeleitet. Dieser mündet wenige Meter nach Einleitung der Thermalbadabwässer in die Lahn.

Die Staatsbad GmbH plante das alte Thermalbad mit Kur- und Therapiezentrum gegen einen Neubau zu ersetzen. Aus dem Grund wurde im Mai 2007 eine europaweite Ausschreibung gestartet, um einen neuen Bauherrn und Betreiber für das neue Thermalbad zu suchen. Die Ausschreibung endete erfolgreich im Herbst 2007. Die neue Emser Therme soll 2011 eröffnet werden.

Warme Abwässer aus der Produktion des Emser Salzes

Die Firma Siemens & Co. GmbH & Co. KG. verarbeitet die in dem Thermalwasser der Bohrung 1a enthaltenen Salze („Emser Salz“) zu pharmazeutischen Produkten. In Bad Ems gibt es zwei Standorte, ein kleineres Werk in der Nähe des Hauptbahnhofes (Mainzer Str. /

⁶ Aussage Herr Schlich, Staatsbad Bad Ems GmbH

Werk I) und ein größeres Werk mit Verwaltung etwas außerhalb in der Arzbacher Strasse (Werk II). In Werk I wird aufgrund der Nähe zu den Heilquellen das Salz aus den Thermalwässern gewonnen, in Werk II wird es weiterverarbeitet und die Produkte verpackt. Die Verdampferanlage im Werk I wurde am 25. August 1992 in Betrieb genommen.

Im Werk I werden in Betriebszeiten (etwa 30...40 Wochen jährlich, zurzeit jeweils montags bis freitags = 120 h/Woche) stündlich 8.000 Liter Thermalwasser aus der Bohrung 1a genutzt.

Das Thermalwasser stammt gänzlich aus der Bohrung 1a. Das Wasser gelangt über eine wärmegeämmte Rohrleitung aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) von der Bohrung 1a zum Werk I in der Mainzer Strasse.



Abb. 12 Thermalwasserleitung von Bohrung 1a zu Firma Siemens & Co.

Die Leitung verläuft, im Erdreich verlegt, an der Lahnuferbefestigung und unter der Bogenbrücke verlaufend. Südlich der Lahn verläuft die Leitung im Erdreich von der Brücke bis zum Werk I der Firma Siemens & Co. GmbH & Co. KG. Sie wurde Anfang der 1990er Jahre verlegt⁷.

Das Salz wird aus dem Thermalwasser mittels eines mehrstufigen Verfahrens gewonnen. In einer Umkehrosmose wird das Salz soweit wie möglich in einem Teilstrom des bezogenen Thermalwasser gewonnen (Konzentrat), das Permeat dieser Anlage wird in der Anlage nicht weiter genutzt und muss zur Einleitung (als Industrieabwasser) in den Kanal aktiv gekühlt werden (Kühlung mit Trockenkühltürmen auf etwa 30 °C). Bei der Umkehrosmose treten

⁷ Aussage SCHLICH, Technischer Leiter Staatsbad GmbH

Probleme mit Verblockungen der Membranen durch Kieselsäure auf, wodurch der Salzgewinnungsgrad bzw. der Salzgehalt im Konzentrat nicht auf das Niveau erhöht werden kann, wie es theoretisch technisch möglich wäre, da sich ansonsten die Standzeiten der Membranen extrem verkürzen würden. Der Austausch der Membranen wäre kostenintensiver als der derzeitige Betrieb unter Inkaufnahme der niedrigen Salzgewinnungsgrade.

Als nächster Schritt schließt sich die Entkalkung des mit Salzen angereicherten Thermalwassers in einem Reaktor an. Dort wird Dampf mit einem Temperaturniveau von etwa 150 °C eingeblasen, um Karbonate auszufällen und anschließend wird in einer Destillation und einer dreistufigen Vakuumverdampfung das Konzentrat zu einer Rohsole mit 24 % Salzgehalt verarbeitet. In der Vakuumverdampfung nutzt jede Stufe die Abwärme der vorherigen.

Nach einer weiteren Reinigung durch eine Kammerfilterpresse wird die Rohsole auf einem Walzentrockner getrocknet. Die mit Dampf beheizten Walzen des Trockners laufen durch die Salzlösung und ziehen einen dünnen Film mit sich. Der Film trocknet während einer Umdrehung. Das so zurückbleibende Salz wird dann mit einem Messer von der rotierenden Walze separiert, bevor der Walzenteil wieder in das Konzentrat getaucht wird und einen neuen Film aufnimmt.

Während des Prozesses können drei Arten warmer (Ab-)Wässer zur energetischen Nutzung ausgekoppelt werden:

- Permeat aus der Umkehrosmose: 2.900 l/h bei 55 °C
- Brüdenkondensate aus verschiedenen Prozessschritten, etwa 2.700 l/h bei etwa 85 °C
- Kondensate aus dem der Verdampfung nachgeschalteten barometrischen Kondensator: 1.400 l/h mit etwa 65 °C

Etwa 20 Wochen pro Jahr steht die Verdampfungsanlage im Werk I still, da dort andere Verarbeitungsschritte verschiedener pharmazeutischer Produkte geleistet werden.

Während dieser Zeit stehen keine Brüdenkondensate und auch kein Permeat aus der Umkehrosmose zur Verfügung. Es können aber die 8.000 Liter stündlich für die Firma Siemens & Co. GmbH & Co. KG von der Staatsbad GmbH bereitgestellten Thermalwasser zur Gebäudebeheizung genutzt werden. In der Abschätzung des geothermischen Potentials muss mit der kleinsten jederzeit zur Verfügung stehenden Geowärmeleistung kalkuliert werden. Das heißt, es wird ermittelt, ob während oder außerhalb der Betriebszeiten der Verdampferanlage das größere Wärmeleistungspotential zur Verfügung steht.

2006 lag der Erdgasverbrauch der Firma Siemens & Co. GmbH & Co. KG bei etwa 5,1 Mio. kWh_{HS}. Davon entfielen etwa 4,5 Mio. kWh_{HS} auf das Werk I und 0,6 Mio. kWh_{HS} auf das Werk II. Für Werk I entstehen jährlich Erdgaskosten in Höhe von etwa 200.000 €.

Aufgrund dieser hohen Erdgaskosten ist die Firma Siemens & Co. sehr daran interessiert, ihren Prozess thermisch zu optimieren und so den Erdgasverbrauch zu senken.

2.1.2 Erschließung der Heilwässer zur Gebäudebeheizung

Die Bad Emser Heilwässer stehen mit unterschiedlichen Schüttungen je Quelle und auf einem Temperaturniveau von etwa 32 bis 56 °C an. Die Heilquellen in Bad Ems sind im Bereich des Kurgebietes gefasst. Sowohl links als auch rechts der Lahn wird Thermalwasser aus mehreren Bohrungen gewonnen, die meisten der genutzten Heilquellen treten als freie „Schüttung“ aus, lediglich bei Manchen der Bohrungen muss mit zusätzlichem Aufwand das Wasser an die Oberfläche gepumpt werden.

Teilströme der Wässer werden zu balneologischen oder pharmazeutischen Zwecken genutzt und anschließend als (warme) Abwässer entsorgt. In die Betrachtung zur Nutzung in der Gebäudebeheizung fließen auch die Abwässer (warme Thermalwässer) vom Thermalbad und der Firma Siemens & Co. GmbH & Co. KG ein.

In dieser Betrachtung werden lediglich die Thermalwässer von den beiden Quellen mit den höchsten Schüttungen betrachtet:

- Die Thermalwässer der Bohrung 1a
- Die Thermalwässer der Neuquelle IV

Aus der Bohrung 1a treten etwa 600 Liter Thermalwasser pro Minute natürlich aus. Davon werden in Summe etwa 450 Liter pro Minute an das Thermalbad, sowie zur Herstellung von pharmazeutischen Produkten an die Firma Siemens & Co. GmbH & Co. KG geliefert. Von der Bohrung 1a bleiben somit minütlich etwa 100 bis 150 Liter Thermalwässer auf einem Temperaturniveau 55 °C zur geothermischen Nutzung verfügbar.

Die Neuquelle IV liegt auf der linken Lahnseite im Quellturm. Sie wurde mehrere Jahre lang zu Heizzwecken in der Heizzentrale am Kurmittelhaus der Staatsbad Bad Ems GmbH (heute Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz) genutzt, die Thermalwässer wurden zu diesem Zweck vom Quellturm zur Heizzentrale gepumpt. Die Neuquelle IV läuft mit etwa 325 Liter pro Minute auf einem Temperaturniveau von etwa 45 °C [LUWG RLP (1998)] artesisch über. Die Thermalwässer werden gemeinsam mit den Wässern der Neuquellen I bis III in einem Sammler gefasst, von welchen sie in die Heizzentrale gefördert werden.

Die Wässer der Neuquellen im Quellturm sind nach Aussage des technischen Leiters der Staatsbad Bad Ems GmbH vergleichsweise trüb. Das Wasser der Neuquelle IV ist nach Aussage von Herrn Schlich etwas klarer als jenes der weiteren Neuquellen.

Die Menge und das Temperaturniveau der Thermalwässer auf der einen Seite, aber auch der Wärmedämmstandard und die Art der Heizwärmeverteilung in den mit Wärme zu versorgenden Gebäuden (siehe 4.2) auf der anderen Seite bestimmen die einzusetzende Technik zur Nutzung der geothermischen Wärme für Heizwecke.

Von der ehemaligen Nutzung der Neuquelle IV zur Gebäudebeheizung (Kurmittelhaus, Kurverwaltung / -hotel und Kursaalgebäude) sind noch die unter der Kurbrücke angehängten Wärmeleitungen vorhanden.



Abb. 13 Quellenturm und Nahwärmeleitung unter der Kurbrücke

Prinzipiell bieten sich 2 Möglichkeiten der Wärmeverteilung von den Quellen zu den Verbrauchern an:

1. Verteilung der Wärme nach einer zentralen Wärmepumpe, also auf der „warmen Seite“ in Verbindung mit zentraler Einleitung der abgekühlten Wässer in den Vorfluter
2. Verteilung der Heilwässer über eine isolierte Rohrleitung und dezentrale Einleitung der abgekühlten Wässer in die Kanalisation (Verteilung auf der „kalten Seite“)

Beide Varianten sind sowohl in einem großen Wärmenetz als auch in mehreren kleinen Verteilnetzen nahe den Wärmequellen denkbar.

Eine dezentrale Nutzung (Verteilung der Thermalwässer zu den Verbrauchern) der Wärmenutzung hat den Vorteil, dass nur eine isolierte Rohrleitung verlegt werden müsste. Geklärt werden müsste die Entsorgungsfrage: Wird das dezentral abgekühlte Thermalwasser über die Abwasserleitung oder direkt in den Vorfluter entsorgt? Entstehen Kosten für die Entsorgung der zusätzlichen Abwässer, oder sind die Transportwirkung der zusätzlichen Wässer in der Kanalisation, die gering belasteten Wässer sowie die Restwärme für die biologische Reinigungsstufe in der Kläranlage positiv für die Abwasserentsorgung zu bewerten? Wie werden die hohen Volumenströme der Wässer außerhalb der Heizperiode entsorgt?

Die zentrale Übertragung der Wärme an ein Wärmenetz hat den entscheidenden Vorteil, dass nur ein mit dem aggressiven Thermalwasser in Kontakt stehender Wärmetauscher notwendig ist. Zudem wird das Wärmeträgermedium nur zirkuliert, welches energetisch deutlich günstiger ist als die Förderung des Wassers in eine Richtung. Die Investitionskostenersparnis in diesem Fall ist ausschlaggebend für die weitere Betrachtung der zentralen Variante. Die dezentrale Verteilung findet in dieser Machbarkeitsstudie keine weitere Betrachtung.

2.2 Geothermische Nutzung der Grubenwässer

Die Grube Mercur

Die Grube Mercur erstreckt sich mehrere Kilometer von Bad Ems stadtauswärts nördlich der Arzbacher Strasse folgend. Von der Stadt aus betrachtet ist die Grube Mercur in die Abteilungen Neuhoftnung, Fahnenberg, Pfingstwiese und Tollgraben unterteilt. In der Abteilung Neuhoftnung wurden bis zu 800 Meter tiefe Schächte abgeteuft. Die Abteilung Neuhoftnung ist mit 3 Hochbau- und 15 Tiefbausohlen erschlossen.

Gegen Ende des zweiten Weltkrieges ist aufgrund eines Bombentreffers der Versorgungsleitungen die Stromversorgung des Bergwerkes gekappt worden. Das Grubengebäude⁸ lief über Jahre hinweg mit Grund- und Sickerwässern voll. Einbauten wie Fahrstühle in den Schächten werden noch im Grubengebäude vermutet.

Das gesamte Grubengebäude der Grube Mercur ist hydraulisch verbunden, über die 6. und 11. Tiefbausohle der Abteilung Neuhoftnung stehen die Wässer in Verbindung mit den anderen Abteilungen.

Die alten Stollen und Schächte bzw. die durch den Bergbau durchklüfteten Gesteinmassen bieten dem Wasser eine große Kontaktfläche mit dem Gesteinsmaterial. Die in das Grubenwasser eintretenden Sickerwässer durchmischen sich mit aus der Tiefe aufsteigenden Thermalwässern. Dieses Mischwasser liegt auf einer Temperatur von 25 °C vor.

Es wird angenommen, dass der Temperaturverlauf in den Schächten sich über die Jahrzehnte nach der vollständigen Flutung der Grubengebäude homogenisiert hat. Messungen aus dem Jahre 1961 durch das Institut Fresenius zeigten noch eine stetige Temperaturzunahme mit der Tiefe gemessen ab der Geländeunterkante. Eine aktuelle Temperaturmessung im Weidtmanschacht, die im Rahmen einer Diplomarbeit an der Universität Koblenz-Landau [Viehmann (2007)] vorgenommen wurde zeigt deutlich, dass sich die Temperatur mit der Tiefe kaum noch verändert. Es wird vermutet, dass die Temperatur überall im Grubengebäude etwa 25 °C beträgt.

⁸ Grubengebäude: Gesamtheit aller unterirdischen Hohlräume in einem Bergwerk.

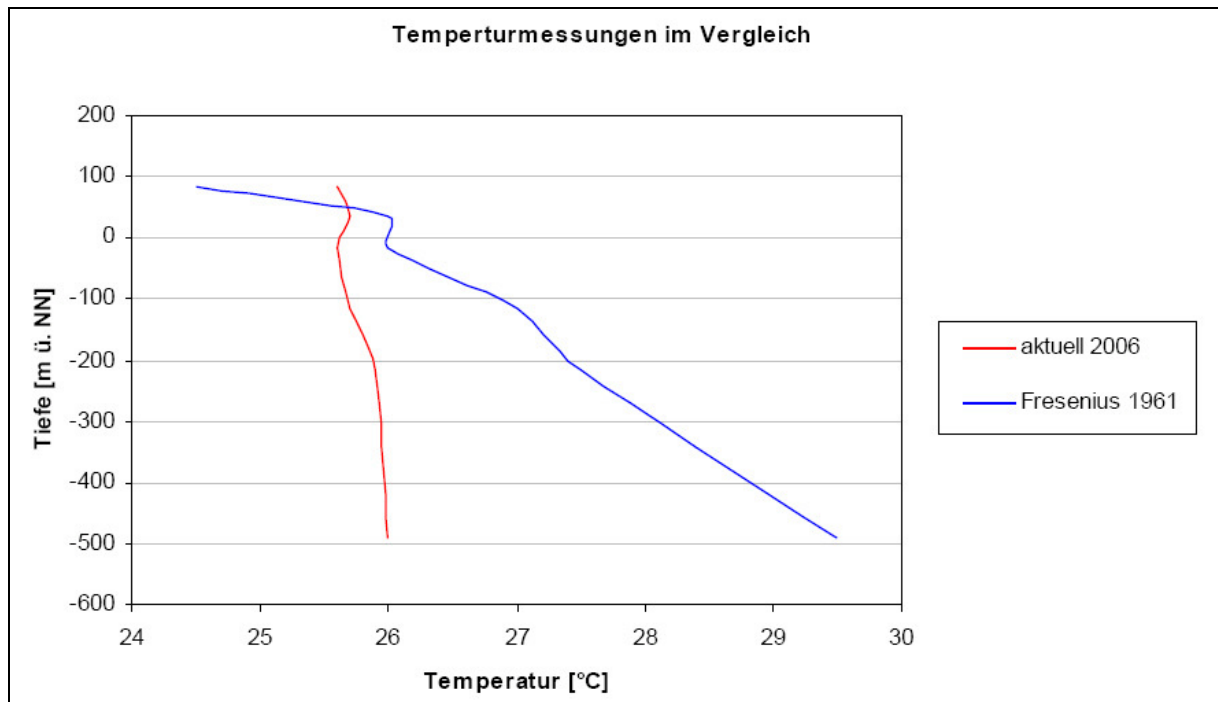


Abb. 14 Temperaturmessungen im Weidtmanschacht der Abteilung Neuhoffnung [Viehmann (2007)]

Die Belastung der Grubenwässer durch Arsen-, Eisen- und Buntmetallverbindungen und die Möglichkeiten der Grubenwässerreinigung werden an anderer Stelle dieses Berichtes beschrieben.

Hierbei wird ein besonderes Augenmerk auf Synergieeffekte in Verbindung mit der geothermischen Nutzung gerichtet. Ein Beispiel eines solchen Synergieeffektes ist das Abscheiden gelöster Schadstofffrachten durch Fällungsreaktionen beim Wärmeentzug. Ein weiteres Beispiel die Verminderung von Wärmeemissionen in die Fließgewässer [Igem (2009)].

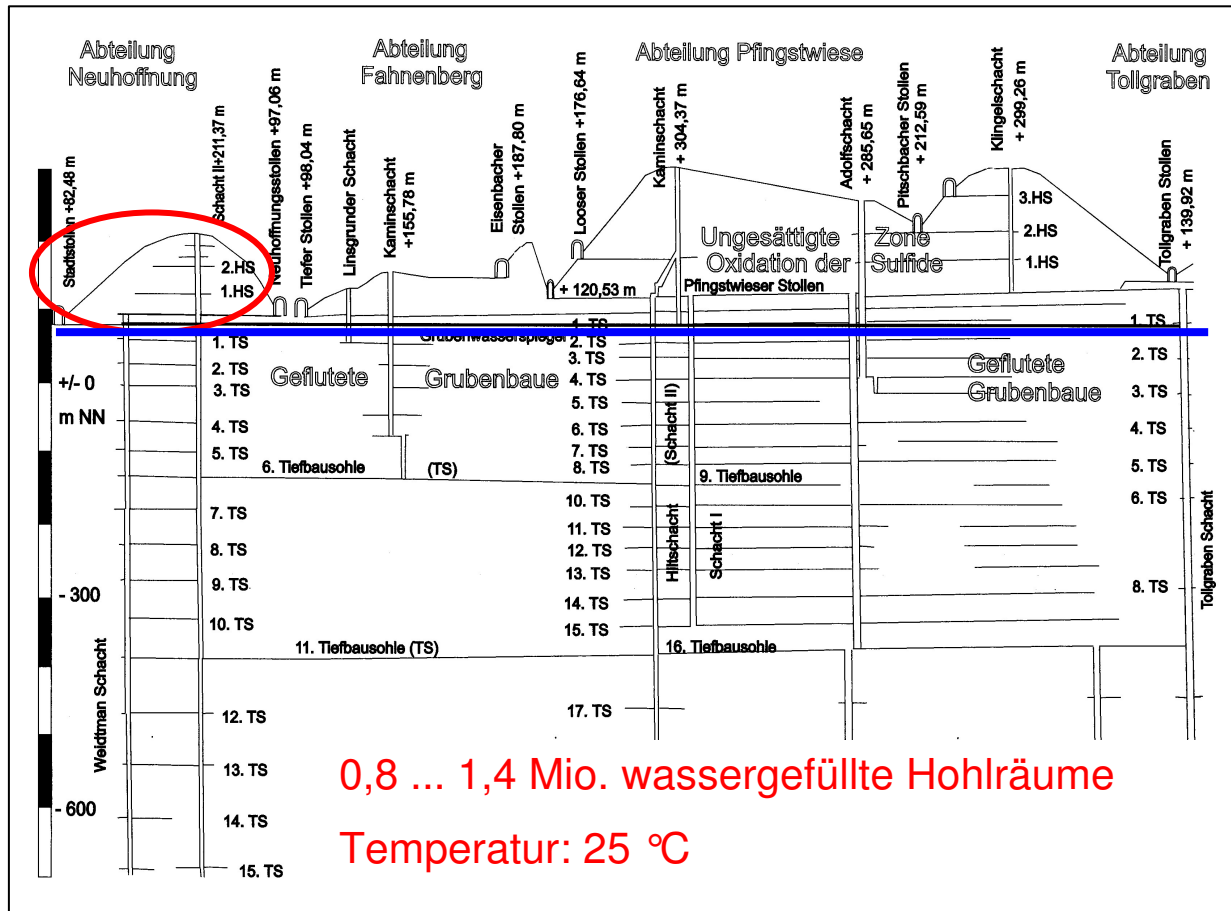


Abb. 15 Seigerriss 9 der Grube Mercur [Wieber (2005)]

2.2.1 Erschließbare Grubenwasservorkommen der Grube Mercur

Die Grube Mercur erstreckt sich von der Innenstadt der Arzbacher Strasse folgend bis weit außerhalb der Stadtgrenze von Bad Ems.

Potenzielle Wärmeabnehmer befinden sich im Stadtgebiet von Bad Ems, in dieser Machbarkeitsstudie werden daher lediglich die in Stadtstollen und Neuhoftungsstollen (beide Abteilung Neuhoftung, siehe rote Ellipse in Abb. 15) zur Verfügung stehenden Wässer betrachtet.

⁹ Seigerriss (auch Saigerriss): „Der Saigerriss ist Teil des Risswerkes einer Grube. Die Projektionsebene ist eine senkrecht (saiger) zur Grundrissebene stehende Ebene, parallel zum Streichen eines Ganges.“ (www.mineralienatlas.de)

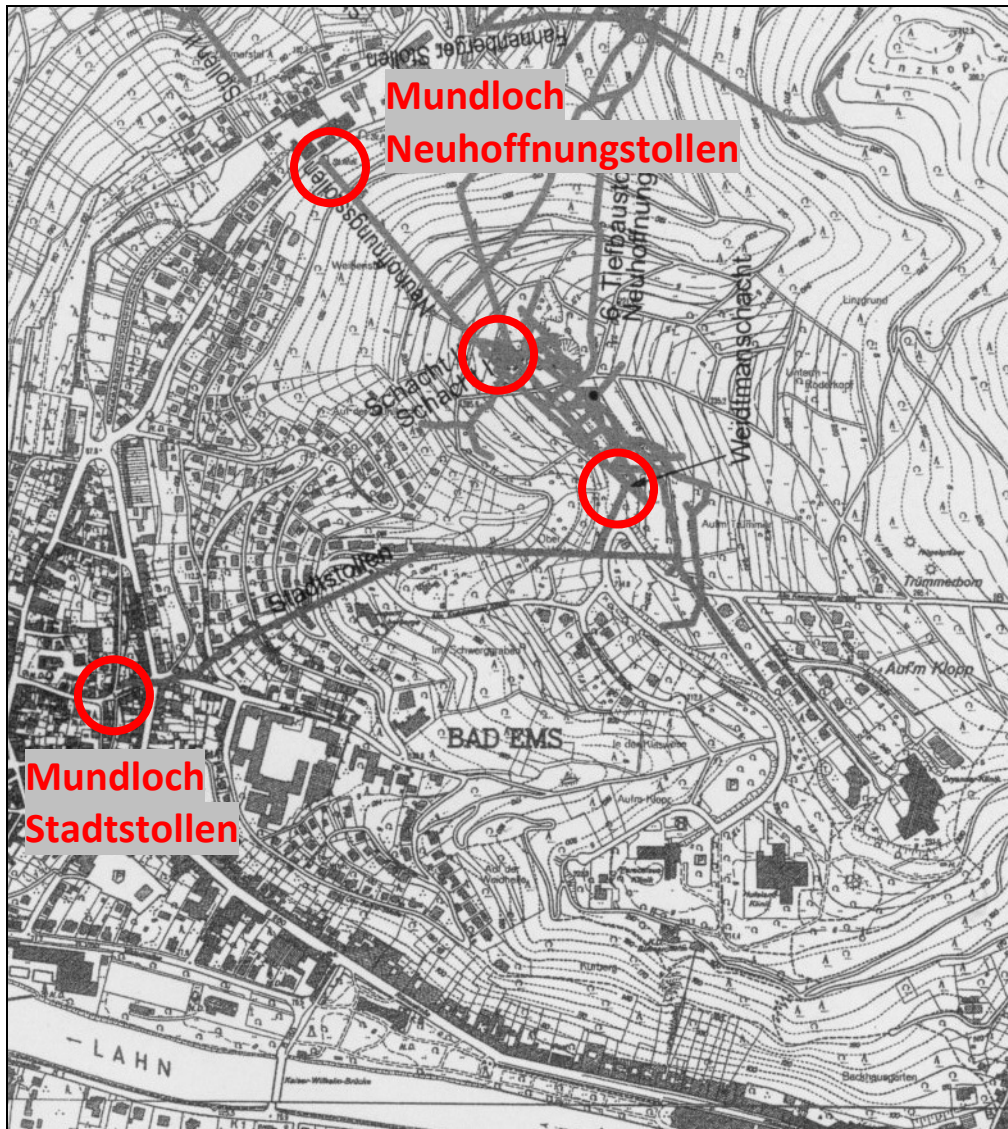


Abb. 16 Lage der Abteilung Neuhoffnung mit Stadtstollen und Neuhoffnungstollen 10
[Viehmann (2007)]

¹⁰ Die roten Kreise kennzeichnen die Mundlöcher beider Stollen sowie die Lage der beiden Schächte in den Stollen

2.2.1.1 Stadtstollen

Im Ortskern von Bad Ems fließt in einem Hinterhof aus dem Mundloch des Stadtstollens der Überlauf der Grube Mercur mit einem Volumenstrom von etwa 30 bis 35 Litern pro Sekunde.

Vom Mundloch führt der Stollen gut 400 Meter in Nordöstliche Richtung, dort ändert er die Richtung nach Osten wo er nach weiteren 250 Metern auf die Abzweigung zum Weidtmanschacht trifft. Von der Abzweigung sind es etwa 100 Meter zum Weidtmanschacht.

Am Weidtmanschacht beginnt eine Rösche¹¹, welche die warmen Wässer bis zum Mundloch des Stollens leitet. Die letzten (geschätzten) 200 Meter verläuft die Rösche verrohrt bis zum Mundloch. Einige Revisionsöffnungen erlauben auf diesem Teilstück den Zugang zur Rohrleitung.



Abb. 17 Mundloch des Stadtstollens und Überlauf in den Emsbach



**Abb. 18 Verfärbung des Emsbaches
(Aufnahmen kurz vor und kurz hinter der Grubenwassereinleitung am Stadtstollen)**

¹¹ Rösche: Mit Rösche wird im Bergbau der Entwässerungskanal eines Grubengebäudes bezeichnet. In der Grube Mercur ist die Rösche ein Kanal mit rechteckigem Querschnitt, der mit Betonplatten abgedeckt im Stadtstollen verläuft.



**Abb. 19 Im Stadtstollen. Seitlich verläuft die mit Betonplatten abgedeckte Rösche
Im rechten Bild ein nicht verdeckter Teil der Rösche**

2.2.1.2 Neuhoffnungsstollen

Das Mundloch des Neuhoffnungsstollens befindet sich unmittelbar an der Arzbacher Strasse. Der Neuhoffnungsstollen führt vom Mundloch etwa 600 Meter Richtung Südosten bis zum Weidtmanschacht. Auf dem Weg liegt in etwa 430 Meter Entfernung vom Mundloch der Schacht II. Der Schacht II ist im Gegensatz zum Weidtmanschacht ein Tagschacht, das heißt, dass der Berg bis an das Tageslicht nach oben geöffnet ist.

Im Neuhoffnungsstollen fließen keine warmen Grubenwässer, der Neuhoffnungsstollen wird dennoch als Wärmequelle betrachtet, da er die potentialen Wärmeabnehmer am Stollenmundloch an der Arzbacher Strasse mit den in den Schächten anstehenden warmen Wässern der Grube Mercur verbindet. Die Wässer stehen in den Schächten auf einem Niveau von etwa 12 Meter unterhalb der Geländeunterkante an.



Abb. 20 Mundloch des Neuhoffnungsstollens und stehende Wässer im Weidtmanschacht

2.2.1.3 Abteilungen Fahnenberg / Pfingstwiese

Neben der Abteilung Neuhoftung (mit dem Stadtstollen und dem Neuhoftungsstollen) besteht die Grube Mercur noch aus den Abteilungen Fahnenberg, Pfingstwiese und Tollgraben.

Sollte sich eine energetische Nutzung der in dieser Studie betrachteten Abteilung Neuhoftung als sinnvoll und wirtschaftlich erweisen, wäre eine Betrachtung des geothermischen Potentials zur Wärmenutzung der weiteren Abteilungen denkbar.

2.2.2 Wärmenutzung der Grubenwässer

Die Grubenwässer weisen ein enormes geothermisches Potential auf. Dies resultiert besonders aus den großen Mengen der anstehenden warmen und überlaufenden Wässer. Mit dem vorliegenden Temperaturniveau von 25 °C ist keine direkte Nutzung zur Gebäudebeheizung denkbar, es muss in jedem Fall eine Wärmepumpe eingesetzt werden, welche die geothermische Wärme aus den Grubenwässern auf eine höhere Temperatur hebt.

Bei der Nutzung muss zwischen den anstehenden Wässern im Grubengebäude und den überlaufenden Wässern (Grubenentwässerung) unterschieden werden. In Abbildung 20 sind die Möglichkeiten der Wärmenutzung der Grubenwässer in Bad Ems schematisch dargestellt.

Das geothermische Potential der überlaufenden Wässer, wie es beim Stadtstollen der Fall ist, ist als vollständig regenerierbar anzusehen, das heißt konkret, dass sich mit Abkühlung dieser Wässer keine Änderung der Temperaturverhältnisse der anstehenden Wässer und somit auch keine Änderung der Eintrittstemperatur der kontinuierlich in die Entwässerungsrinne (Rösche) einströmenden Überlaufwässer einstellt.

Das Temperaturniveau der in den gefluteten Bereichen des Grubengebäudes anstehenden Wässer des Neuhoftungsstollens kann in erster Näherung als regenerative Wärmequelle bezeichnet werden. Dies ist insbesondere auf die großen Wärmespeichermassen und günstige konvektive Verhältnisse in den Stollen zurückzuführen.

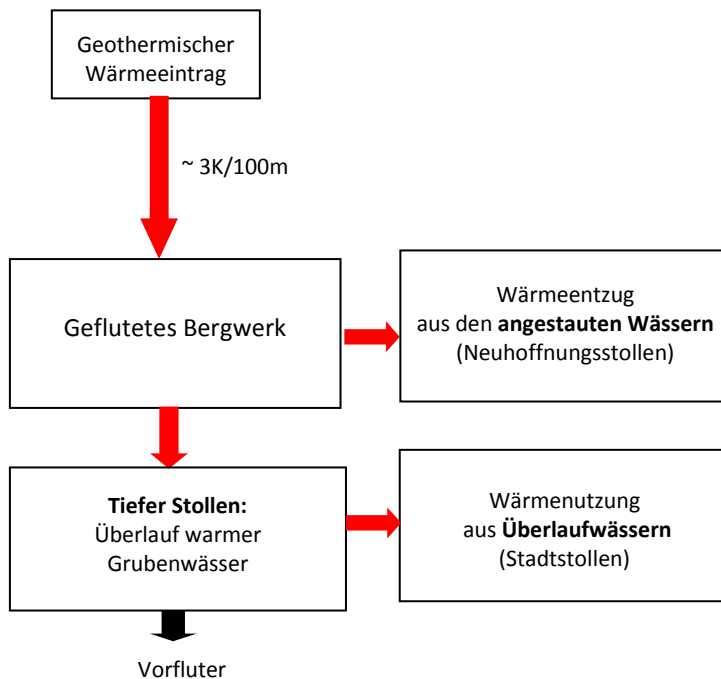


Abb. 21 Möglichkeiten der Wärmenutzung von Grubenwässern

In jedem Fall sollte vor Umsetzung einer Wärmenutzung die Materialverträglichkeit mit dem Grubenwasser überprüft werden. Die Zusammensetzung der Grubenwässer können verschiedene Probleme mit sich bringen. Einerseits sollte vor Umsetzung einer geothermischen Nutzung die Materialverträglichkeit mit den Herstellern geklärt werden. Andererseits bringen die Grubenwässer und der Austrag von Sedimenten (auch ohne geothermische Nutzung) ökologische Probleme für die nachgeschalteten Vorfluter mit sich. Für diesen Sachverhalt siehe den ausführlichen Bericht: [igem (2009)].

Stadtstollen

Der Überlauf der Grube Mercur, der mit etwa 30 Liter pro Sekunde aus dem Stadtstollen fließt, weist ein enormes Wärmepotential auf. Um die Wärme der Grubenwässer an den Wärmeabnehmer zu fördern wird ein primärer Wärmeträgerkreislauf (Arbeitsmittel: Wasser) benötigt. Die Grubenwässer strömen über oder durch einen Wärmetauscher, welcher die Wärme aufnimmt und über den primären Wärmeträgerkreislauf an den Verdampfer der Wärmepumpe oder die Wärmetauscher eines Hausanschlusses oder Verteilnetz abgibt.

Als Wärmeüberträger bieten sich sogenannte Abwasser- oder Rinnenwärmetauscher an, welche üblicherweise für die Verwendung mit Abwässern in die Kanalisation eingebaut werden. Diese können in die bestehende Rösche eingebaut werden und sind unempfindlich gegen partikuläre Verunreinigung in den Wärmetauscher überströmenden Wässern.

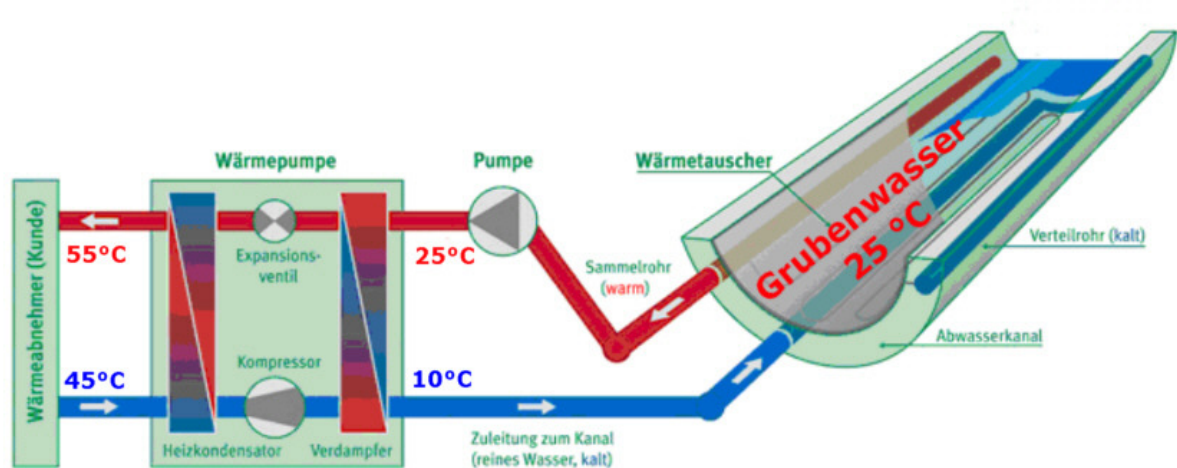


Abb. 22 Rinnenwärmetauscher zur Gebäudebeheizung [Wallstein (2010)]

Die Abbildung 22 zeigt einen nachträglich in den Abwasserkanal eingebauten Abwasserwärmetauscher. Diese Einbausätze sind auch empfehlenswert für den Einsatz in der Rösche des Stadtstollens.

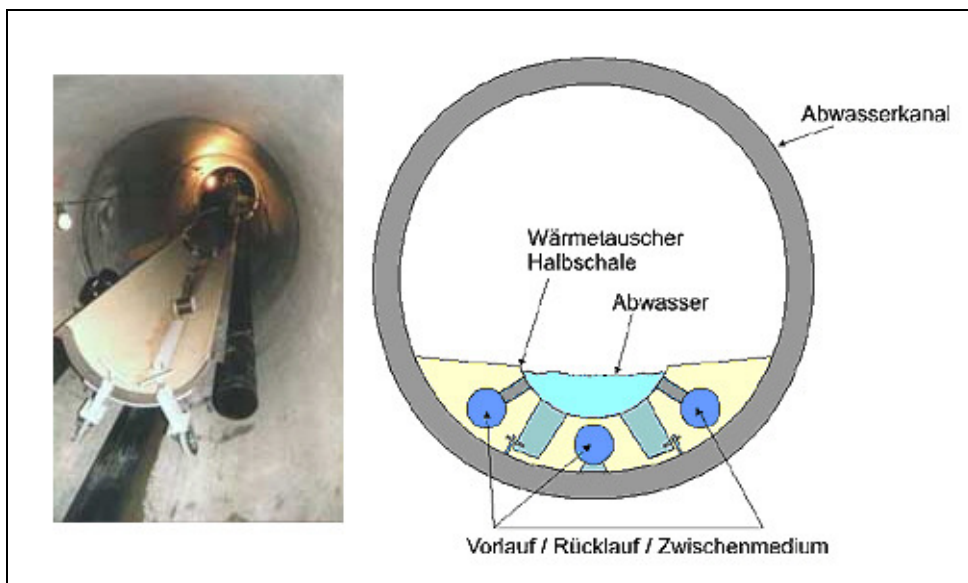


Abb. 23 Einbau des Wärmetauschers in einen vorhandenen Kanal (nach santec-gmbh.de)

Die Abflussrinne (Halbschalenrinne als Wärmetauscher) in der Mitte des Einsatzes sichert auch bei Trockenwetter eine ausreichende Fließgeschwindigkeit für einen guten Wärmeübergang.

Im Fall des Einsatzes im Stadtstollen ist dies nicht von Interesse, da die Schüttung der Grubenwässer als konstant betrachtet werden kann.

Ein Vorteil der Nutzung von Abwasserwärmetauschern ist, dass das Grubenwasser nicht gefördert werden muss, es müssen keine Pumpen eingesetzt werden, was besonders in Bezug auf die aggressiven CO_2 -gesättigten Wässer und auf zu Erwartende Ausfällungen ein großer Vorteil ist.

Ein großer Nachteil sind die hohen leistungsspezifischen Investitionskosten der Abwasserwärmetauscher. Ein weiterer großer Nachteil ist die starke Sedimentationsrate rostroter und brauner Ausfällungen, die sich derzeit in der Rösche finden und nach Einbau auf den Oberflächen der Wärmetauscher zu erwarten wären.



Abb. 24 Rösche und Sediment

Die Sedimente auf der Wärmetauscheroberfläche verschlechtern den Wärmeübergang und erhöhen die Betriebskosten aufgrund von aufwendigen Reinigungsarbeiten.

Als weitere Möglichkeit des Wärmeentzuges lassen sich Erdwärmesonden in die Rösche legen oder an der Wandung anhängen. Bei der Einbringung der Erdwärmesonden sollte in jedem Fall darauf geachtet werden, dass die Stränge der Sonde in den strömenden Grubenwässern hängen, bei Sonden die schlicht in die Rösche gelegt werden dürfte sich der Wärmeübergang durch sedimentierende Schlämme (unter anderem durch Eisenausfällungen) mit der Zeit verschlechtern.

Ein Strang einer Erdwärmesonde besteht aus je einer Rohrleitung (U-Rohr) für Vor- und Rücklauf. Für den Einbau in eine Entwässerungsrinne sind mehrere, über den durchflossenen Querschnitt des Kanals verteilte Stränge denkbar.



Abb. 25 Erdwärmesonden

links: Aufbau einer Erdwärmesonde (architektur.tu-darmstadt.de)

mitte: einzelne Stränge (beim Drucktest) (villa-geotherm.de)

rechts: Rohrbündel von Erdwärmesondensträngen in der Rösche des Stadtstollens, in der Grubenwasserkontaktzone von Schlämmen zugesetzt

Der Vorteil dieser Variante (Erdwärmesonden) liegt darin, dass das Material und die Einbringung in die Rösche wesentlich günstiger sind als bei der Variante mit dem Abwasserwärmetauscher. Nachteile liegen vor allem in einer niedrigeren Wärmeentzugsleistung pro Meter Röschenlänge im Vergleich zum Abwasserwärmetauscher.

Neuhoffnungsstollen

Die Sohle des Neuhoffnungsstollens liegt über dem Grundwasserspiegel und dem Überlaufniveau der Grube Mercur durch den Stadtstollen. Der Neuhoffnungstollen verbindet das Gewerbegebiet „Arzbacher Strasse“ mit den warmen Grubenwässern, die in den beiden Schächten (Schacht II und Weidtmanschacht) in etwa 12 Metern unter Geländeoberkante anstehen. In den Schächten steigen sichtbar CO₂-Blasen mit Durchmessern von bis zu 30 cm auf.

Die warmen Wässer des Neuhoffnungsstollens können mit Hilfe einer im Schacht angebrachte Förderpumpe bis zur Geländeoberkante gehoben und über einen vor Ort installierten Wärmetauscher geleitet werden. Nach dem Wärmeentzug kann das erkaltete Grubenwasser in andere Abbaubereichen der Grube reinfiltrierte werden, sodass sich das Wasser durch das Grubenbauwerk wieder erwärmen kann und die Wasserbilanz der Grube ausgeglichen bleibt.

Die Strömungsgeschwindigkeit und das Strömungsprofil in den Rohrleitungen und im Wärmetauscher müssen in jedem Fall so ausgelegt werden, dass Inkrustationen in idealer Betrachtung vermieden, in jedem Fall aber deutlich vermindert werden. Inkrustationen im Wärmetauscher verändern nachteilig den Wärmedurchgang durch die Wandungen der Kontaktfläche zwischen den beiden Strömungen. Weiter erhöhen Inkrustationen den Druckverlust der Strömung, das führt zu einem ansteigenden Bedarf an Pumpenleistung. Mit höherer Strömungsgeschwindigkeit der Thermalwässer stellt sich eine turbulente Strömung ein. Turbulente Strömungen verbessern den Wärmeübergang durch die Wärmeaustauschflächen und verhindern Inkrustationen.

3 Geothermisches Potential der Heil- und Grubenwässer

In Tabelle 1, staatlich anerkannte Heilquellen in Bad Ems, sind die Schüttung und die Temperatur der 15 aktiven Emser Heilquellen als wesentliche Parameter zur Abschätzung des geothermischen Potentials aufgelistet.

Aus oben näher erläuterten Grunde werden folgend lediglich die verfügbaren Heilwässer der Bohrung 1a und der Neuquelle IV, sowie die warmen Abwässer der Emser Therme und der Firma Siemens & Co. betrachtet. Eventuell käme auch eine gemeinsame Nutzung der Bohrung 1a mit dem gesammelten Überlauf der Brunnen im Quellengang in Frage. Da die Datengrundlage der benötigten Wassermenge für die Trink- und Gurgelkur, sowie genaue Daten über eine kontinuierlich nutzbare Schüttung der Quellen nicht in genügender Schärfe vorliegen kann hierzu keine weitere Betrachtung vorgenommen werden.

Von den Grubenwässern wird das Potential des Überlaufes der Grube Mercur am Stadtstollen mitten in Bad Ems betrachtet. In einer separaten Studie im Rahmen des Auftrags werden weitere Nutzungsmöglichkeiten eingestauter Grubenwässer in der Grube Mercur, Abteilung Neuhoftung, erreichbar über den Neuhoftungsstollen, betrachtet [Igem (2010)].

Tab. 4 verfügbare warme Wässer zur Gebäudebeheizung

Lfd. Nr.	Wärmequelle	Verfügbare Menge	Temperatur
1	Bohrung 1a	100 l/min max.	55 °C
2	Neuquelle IV	325 l/min	45 °C
3	Emser Therme	Vgl. derzeitige Nutzung	etwa 55°C ab Leitung
4a	Firma Siemens & Co. Verdampfungsprozess	45 l/min 23 l/min 48 l/min	85 °C 65 °C 55 °C
4b	Firma Siemens & Co. Produktionsstillstand	130 l/min	55 °C
5	Stadtstollen	30 l/s entspricht 1.800 l/min	25 °C

Um das nutzbare geothermische Potential abzuschätzen ist es notwendig die Art der Nutzung näher zu bestimmen. Die Nutzungsart ist insbesondere von dem Wärmeabnehmer und dessen benötigtes Temperaturniveau in Vor- und Rücklauf der Heizwärmeverteilung abhängig.

Das Maß der nutzbaren Wärme ist abhängig von der Temperaturabsenkung des Wärmequellenstroms bei der Nutzung. Die Temperaturdifferenz ist abhängig von der Art der Wärmenutzung (direkt oder indirekt mit Wärmepumpe).

Wird beispielsweise der warme Quellenstrom zur Anhebung des Heizkreisrücklaufes (direkte Nutzung) eines Gebäudes genutzt, kann er lediglich bei idealer Betrachtung auf die Rücklauftemperatur des Heizkreises abgekühlt werden. Wird eine Wärmepumpe als Wärmeerzeuger installiert, die verdampferseitig die warmen Wässer als Wärmequelle nutzt, kann die Quelle bis knapp über deren Gefrierpunkt abgekühlt werden. Durch die hohe Temperaturdifferenz, die bei dieser Auskühlung der Quelle möglich ist, kann weit mehr Wärme übertragen werden. Bei Wärmepumpen aus Serienfertigung ist die Auskühlung vom benötigten Volumenstrom des Verdampfers der Wärmepumpe abhängig. Durch einen vorgeschalteten Wärmetauscher mit entsprechend unterschiedlichen Volumenströmen auf Primär- und Sekundärseite kann ebenfalls das Maß der Auskühlung beeinflusst werden.

Die übertragene Wärme ist in etwa proportional zur Temperaturdifferenz vor und nach der Abkühlung der Wärmequelle:

$$\dot{Q}_i = \dot{m}_i * c_{p,Wasser} * \Delta T_i$$

$\dot{Q}_i$ Wärmestrom durch Abkühlung der Wärmequelle um ΔT_i

$\dot{m}_i$ Massenstrom des Wassers der Wärmequelle

$c_{p,Wasser}$ spezifische Wärmekapazität des Wassers $4,19 \frac{kJ}{kg * K}$

$$\Delta T_i = T_{i,vor} - T_{i,nach}$$

ΔT_i Temperaturdifferenz der Wärmequelle vor und nach dem Wärmeentzug

T_i Temperatur des Wärmequellenstromes vor dem Wärmeentzug

T_R Temperatur des Wärmequellenstromes nach dem Wärmeentzug

i Index für die jeweilige Wärmequelle

Welcher Betrag an Wärmeleistung im jeweiligen Untersuchungsgebiet bei der jeweils ausgewählten Technik entzogen werden kann wird in den Einzelbetrachtungen abgeschätzt und in der Zusammenfassung für alle Gebiete dargestellt.

4 Technische Grundlagen zur Gebäudebeheizung mit geothermischer Wärme

4.1 Wärmeverteilung und –übergabe im Gebäude

Die für die Wärmenutzung verwendbare Technik hängt vor Allem vom Gebäudestandard ab. Folgend werden Nutzungsmöglichkeiten für zwei verschiedene Gebäudetypen beschrieben:

- Neubauten oder grundlegend zu sanierende Gebäude
- Altbauten im Gebäudebestand

Bei **Neubauten oder grundlegend zu sanierenden Gebäuden** kann mit einer Flächenheizung (Fußboden- oder Wandheizung) die Wärme auf dem vorliegenden Temperaturniveau (Thermalwasser) direkt (als Vorlauftemperatur der Heizwärmeverteilung) genutzt werden. Die Wärme kann dem Thermalwasser mit einem Wärmetauscher entzogen und direkt, also ohne weitere Temperaturerhöhung durch eine Wärmepumpe, den Heizkreisen zur Verfügung gestellt werden. Durch die größere Wärmeübertragungsfläche einer Flächenheizung im Vergleich zu einer Heizwärmeverteilung mit Radiatoren wird bei gleicher Heizleistung eine niedrigere Vorlauftemperatur benötigt.

Die von der Wärmeleitung bereitgestellte Temperatur reicht aus, um die benötigte Vorlauftemperatur der Gebäudeheizung über das ganze Jahr zu erreichen. Eine Wärmepumpe wird nicht benötigt. Daher werden erhebliche Investitions- und Verbrauchskosten vermieden.

In einem Neubau bietet es sich an, eine größere Schichtdicke an Wärmedämmung zu wählen. Dies sichert ganzjährig eine ausreichende Raumtemperatur bei der Beheizung mit Niedertemperaturwärme. Da der Aufwand der Montage vergleichbar mit dem von niedrigeren Schichtdicken ist, fallen lediglich höhere Materialkosten an.

Zur **Beheizung der Neubauten** mit den **Grubenwässern** (niedrigere Wärmequellentemperatur im Vergleich zu den Thermalwässern) kommt eine Wärmepumpe (s.u.) zum Einsatz. Der Einsatz der Wärmepumpe mit den Grubenwässern stellt sich im Vergleich zu anderen Wärmequellen (Erdreich, Grundwasser, Luft) aufgrund des vergleichsweise günstigen Temperaturniveaus besonders effizient dar.

Bei **Altbauten (Gebäudebestand)** reicht eine Vorlauftemperatur im Bereich von 40 ... 55 °C meistens nicht aus, um die Gebäude mit Heizkörpern als Wärmeüberträgern (mit üblichen Vorlauftemperaturen jenseits der 80 °C im Auslegungsfall) zu beheizen. Um eine geothermische Beheizung, beziehungsweise eine Anbindung an ein zu Errichtendes geothermisches Wärmenetz zu verwirklichen, können verschiedene Maßnahmen getroffen werden.

Mit Altbauten im Gebäudebestand sind hier Gebäude im Bestand gemeint, die keiner grundlegenden Sanierung bedürfen.

Will man das bestehende Wärmeverteilsystem (Heizkörper) beibehalten, muss durch eine Modernisierung des Wärmeschutzstandards der Gebäude die benötigte Heizlast verringert

werden. Mit einer Modernisierung des Gebäudestandards muss die Heizwärmeverteilung in jedem Fall hydraulisch neu abgeglichen werden. Ein hydraulischer Abgleich stellt die Heizlastverteilung im Gebäude spezifisch für jeden Heizkörper ein.

4.2 Regelung des Temperaturniveaus der Heizwärmeverteilung und -übergabe

Stand der Technik ist schon seit längerem, die benötigte Vorlauftemperatur der Heizwärmeverteilung jederzeit der aktuell benötigten Heizlast anzupassen. Stellgröße dieser witterungsgeführten Regelung ist die Außentemperatur. Zur Ermittlung der Zeitanteile der jeweils benötigten Vorlauftemperatur wurde zunächst eine geordnete Jahresdauerlinie der Außentemperaturen der Jahre 2002 – 2006 an der Station Trier-Petrisberg erstellt.

Danach wurde mit Hilfe einer Heizkurve exemplarisch für drei Kategorien von Gebäuden eine geordnete Jahresdauerlinie der benötigten Vorlauftemperaturen erstellt.

Folgend wird die Vorhergehensweise beschrieben und die Ergebnisse der einzelnen Schritte in Diagrammen dargestellt.

Im ersten Diagramm ist die gemittelte Temperaturverteilung der mittleren Tagestemperatur der letzten fünf Jahre (2002-2006) an der Wetterstation Trier-Petrisberg aufgetragen.

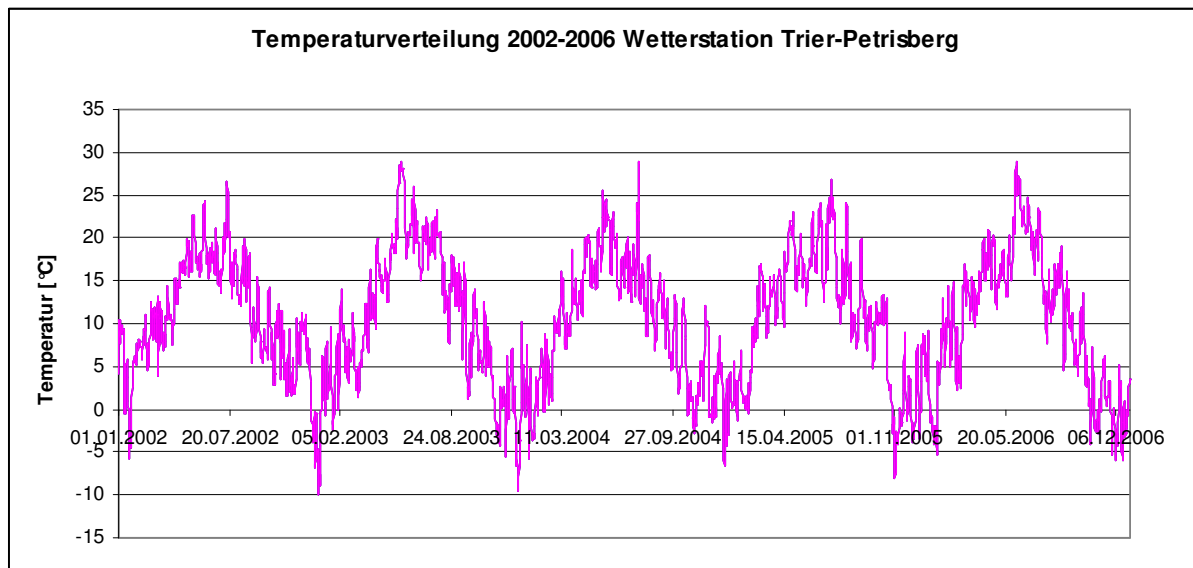


Abb. 26 mittlerer Temperaturverlauf der Jahre 2002 bis 2006 an der Wetterstation Trier-Petrisberg

Das zweite Diagramm zeigt eine aufkumulierte Jahresdauerlinie der mittleren Außentemperaturen. An diesem Diagramm lässt sich ablesen, an wie vielen Tagen jährlich welche mittlere Mindesttemperatur erreicht wurde.

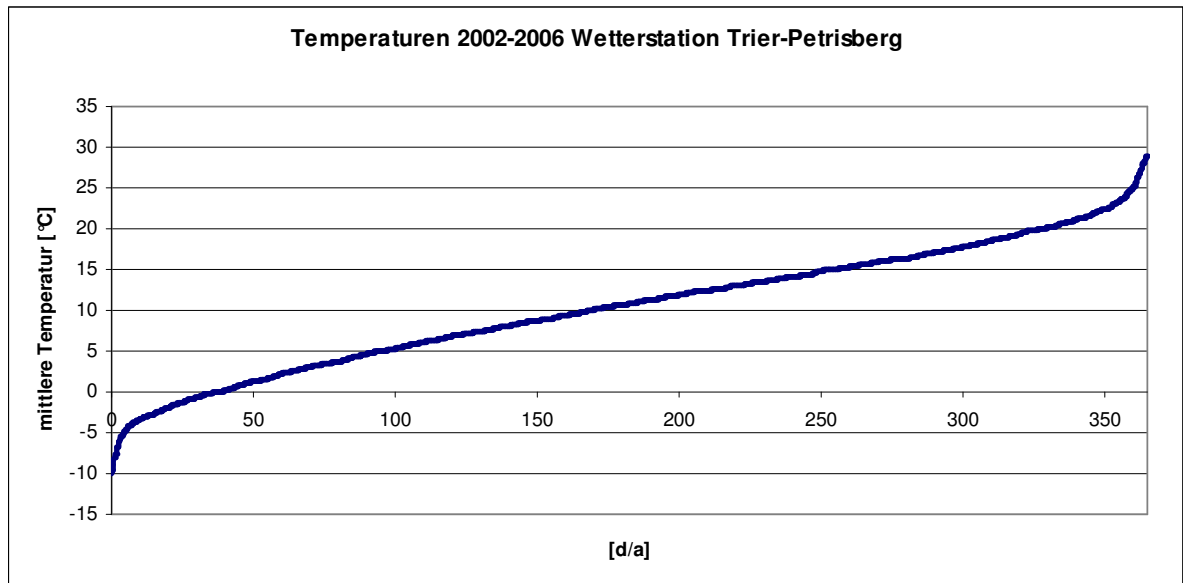


Abb. 27 Geordnete Jahresdauerlinie der Außentemperaturen

Ein Heizkurvendiagramm zeigt spezifisch für verschiedene Gebäude die benötigten Vorlauftemperaturen bei gegebenen Außentemperaturen. Damit stellt es für die Wärmeerzeugungsanlage praktisch einen „Fahrplan“ dar, der vorgibt, wie die Wärmeerzeugung auf Vorgaben durch die Außentemperaturmessung reagieren soll. Die Steigung der Heizkurven ist ein Maß für den Wärmedämmstandard und die Art der Heizwärmeverteilung und -übergabe eines Gebäudes. Je steiler die Steigung desto höhere Vorlauftemperaturen werden benötigt. Während die Heizkurve von Gebäuden mit einem guten Wärmedämmstandard und Fußbodenheizung sehr flach verläuft, weist die Heizkurve eines Altbaus ohne Wärmedämmung und mit Heizkörpern eine steile Steigung auf. Die Steigung der Heizkurve ist individuell einstellbar und kann so auch an unterschiedliches Nutzerverhalten angepasst werden.



Abb. 28 Regelgerät für witterungsgeführte Wärmeerzeugungsanlagen mit Heizkurvendiagramm
(solarbayer.de)

Die folgende Grafik vereint die beiden Datensätze (Außentemperaturen und gebäudespezifische Heizkurven). Exemplarisch für drei verschiedene Gebäude wurden geordnete Jahresdauerlinien der benötigten Vorlauftemperaturen dargestellt.

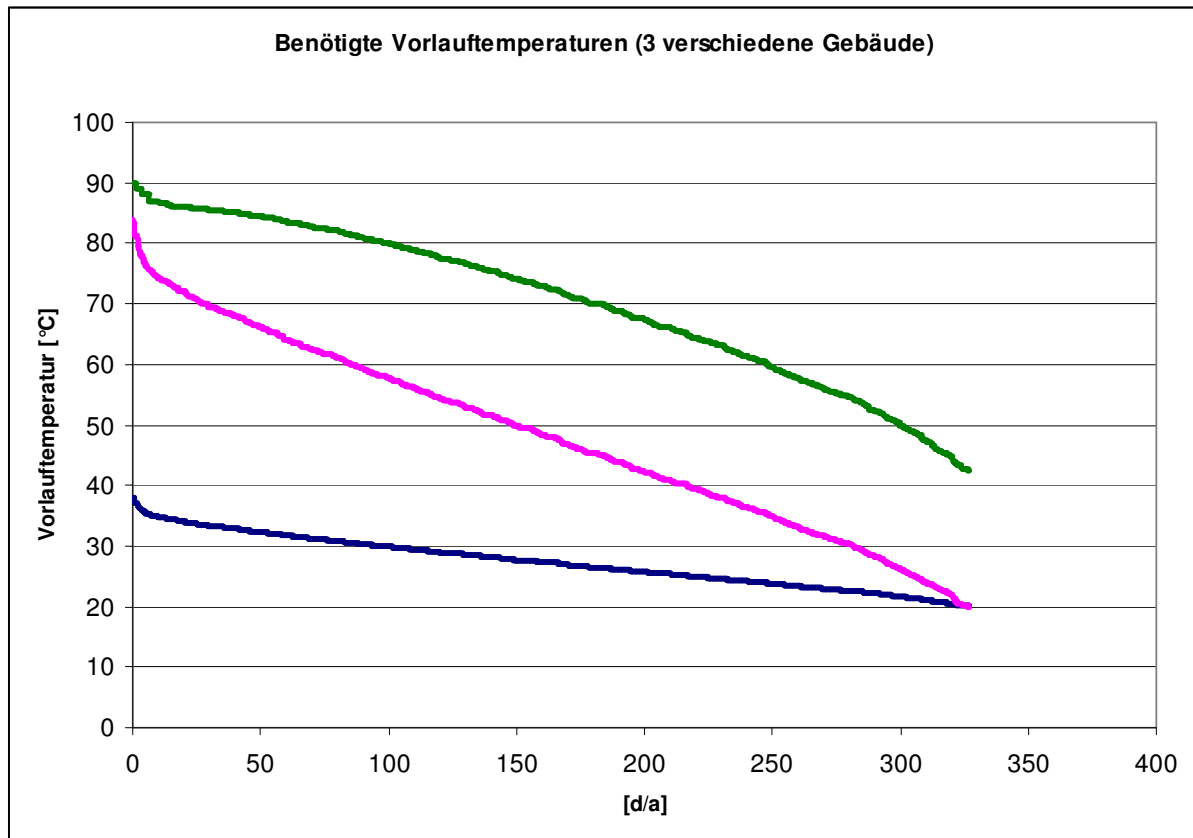


Abb. 29 Jahresdauerlinie der benötigten Vorlauftemperaturen für 3 verschiedene Gebäudestandards

Die Grafik verdeutlicht, dass bei einem vorliegenden Temperaturniveau von über 40 °C in der Nahwärmeleitung die Thermalwässer genutzt werden können, um Neubauten, die mit gutem Wärmedämmstandard und einer Flächenheizung ausgestattet sind, ganzjährig und ohne den Einsatz einer Wärmepumpe durch das Wärmenetz zu beheizen.

Zur Bereitstellung von Trinkwarmwasser bedarf es einer Nacherhitzung.

Eine Beheizung mit den Grubenwässern (25°C) kann bei Neubauten mit einer Wärmepumpe ermöglicht werden. Bei einer Wasser/Wasser-Wärmepumpe, die auf der Verdampferseite mit einer Wärmequellentemperatur von 25 °C arbeitet, sind äußerst gute Jahresarbeitszahlen (bis zu 4,5) zu erwarten.

Da die Wärmeerzeugung und –verteilung eines Gebäudes auf die maximal benötigte Wärmeleistung ausgelegt ist, diese aber nur wenige Stunden pro Jahr benötigt wird, muss, je nach Auslegung der Heizwärmeverteilung und dem Wärmedämmstandard des Gebäudes, nur für einen überschaubaren Zeitrahmen mit anderen, redundanten Wärmeerzeugern geheizt werden. In der Vergangenheit wurde die Heizwärmeverteilung, also speziell die Heizkörper, eher zu groß ausgelegt, was einer möglichen Absenkung der Vorlauftemperaturen noch entgegen kommt.

Eine dauerhafte Nacherhitzung des Heizwassers kann nicht in Frage kommen, da dies sowohl energetisch als auch wirtschaftlich sehr ungünstig ist. Bei den durch die

Nacherhitzung sehr hohen Vorlauftemperaturen liegen die Rücklauftemperaturen des Heizkreises kaum unter den am Kondensator der Wärmepumpe „abgreifbaren“ Temperaturen. Es findet kaum eine Rücklaufanhebung (Wärmetausch zwischen Wärmepumpe und Rücklauf der Heizwasserverteilung) statt, nahezu der gesamte Heizenergiebedarf muss durch die Nacherhitzung gedeckt werden.

Eine detaillierte Aufnahme der Heizkurven der Gebäude sollte im Vorfeld der Umsetzungsplanung einer geothermischen Beheizung aufgenommen werden, um genauer abzuschätzen, welcher Anteil des Heizwärmebedarfs über die Geowärme gedeckt werden kann. Dieses Kriterium ist wichtig zur Konkretisierung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

4.3 Anpassung des Temperaturniveaus durch Heizkörperaustausch und Wärmeschutzmaßnahmen

4.3.1 Heizkörperaustausch

Vor allem in Bestandsgebäuden finden sich häufig Heizkörper in Form von Radiatoren zur Wärmeübertragung, die mit hohen Vorlauftemperaturen von deutlich über 50 °C arbeiten. Wärmepumpen stellen die Wärme zur Raumheizung effizienter zur Verfügung, je niedriger der Temperaturbedarf des Wärmeüberträgers ist. Eine Wärmepumpenanlage kann zwar mit Vorlauftemperaturen von 65 °C betrieben werden; allerdings ist aufgrund der niedrigen Effizienz, die sich daraus ergibt, schnell die Grenze zum wirtschaftlichen und ökologischen Betrieb überschritten. Um sich dem Temperaturoptimum des Wärmepumpenbetriebs anzunähern könnte man durch eine Senkung der Vorlauftemperaturen, beispielsweise durch Austausch der Heizkörper gegen Flachheizkörper mit einer größeren Wärmeübertragungsfläche oder gegen eine Flächenheizung vornehmen. Dadurch ermöglicht man eine vergleichbare Wärmeübertragungsleistung an die zu beheizenden Räume bei niedrigeren Temperaturen des Heizsystems.

4.3.2 Wärmeschutzmaßnahmen

Wärmeschutzmaßnahmen können den Einsatz von Niedertemperaturwärme zur Gebäudebeheizung begünstigen.

Sinnvolle Wärmeschutzmaßnahmen müssen für jedes Gebäude individuell ermittelt werden.

Mögliche Ausführungen sind:

- Wärmedämmung des Daches oder der obersten Geschoßdecke
- Wärmedämmung der Außenwand
- Wärmedämmung der Kellerdecke
- Austausch von Fenstern und Türen
- Beseitigung von Schwachstellen (Kältebrücken)

Die folgende Abbildung verdeutlicht, wie sich der Wärmeverlust eines älteren Gebäudes zusammensetzt.

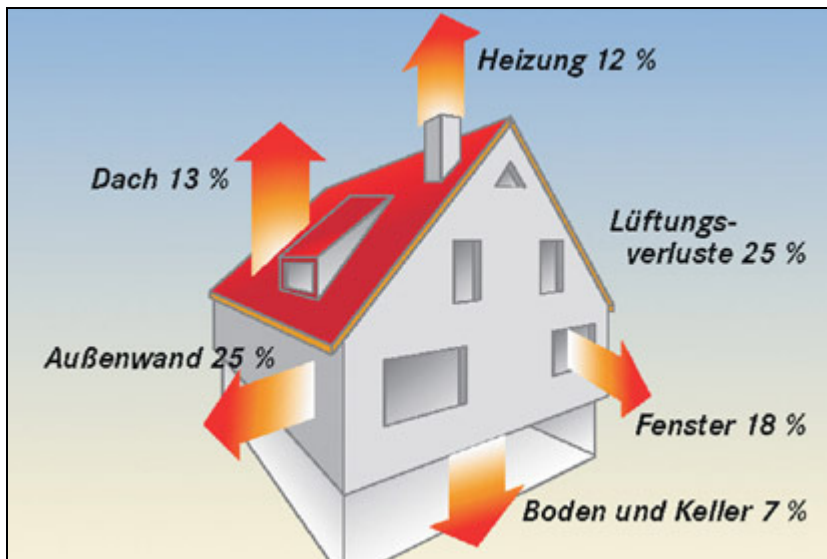


Abb. 30 Wärmeverluste eines älteren Gebäudes (www.ludwigshafen.de)

Zum Beispiel durch Wärmedämmmaßnahmen an Dach, oberer Geschoßdecke, Kellerdecke oder der Außenwand, sowie durch Austausch von einfachverglasten Fenstern lässt sich nicht nur der Jahresheizenergiebedarf, sondern auch die maximal benötigte Heizlast und damit das benötigte Heiztemperaturniveau sowie die Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf der Heizwärmeverteilungsanlage verändern.

Die in der Abbildung dargestellten Wärmeverluste gelten nur exemplarisch. Es muss für jedes Gebäude individuell abgeschätzt werden, in welchem Maß die geeigneten Wärmeschutzmaßnahmen die Heizlast und damit die benötigten Vorlauftemperaturen senken. Hierfür bietet es sich an bei Aufgreifen einer der in dieser Studie beschriebenen Projektideen eine umsetzungsnahe Machbarkeitsstudie mit inhaltlicher Berücksichtigung sowohl von Wärmeversorgung als auch Wärmeschutz der Gebäude erstellen zu lassen.

Ein neuer hydraulischer Abgleich der Heizwärmeverteilung ist nach Durchführung von Wärmeschutzmaßnahmen dringend erforderlich, da sich die Heizlast an jedem Wärmeüberträger (Heizkörper oder Flächenheizung) individuell verändert.

Die Summe der Flächen der Radiatoren stellt die Wärmeaustauschfläche dar. Um einen Wärmetausch vom Heizkörper in den Raum zu ermöglichen, bedarf es eines treibenden Temperaturgefälles. Das Gefälle wird von der Temperaturdifferenz zwischen der mittleren Oberflächentemperatur des Heizkörpers auf der einen Seite und der Raumtemperatur auf der anderen Seite bestimmt. Betrachtet man weitere Faktoren wie den Wärmedurchgangskoeffizienten der Heizkörper oder den Massenstrom des Heizwassers im Heizkörper als konstant, kann man durch Verringerung der benötigten Heizlast die Vorlauftemperaturen senken und an die Wärmequelle anpassen.

4.3.3 Thermoaktive Bauteilsysteme in Neubauten

Thermoaktive Bauteilsysteme bestehen aus Wasser führenden Rohrleitungen, die ganzjährig die Bausubstanz auf das gewünschte Temperaturniveau temperieren. Die Bausubstanz wird somit als Wärmespeicher genutzt. Durch die hohe massenspezifische

$$c_{p,Beton} = 0,88 \frac{kJ}{kg * K}$$

Speicherfähigkeit (spezifische Wärmekapazität von Beton: $c_{p,Beton}$), die große Baumasse und dem relativ trägen Wärmeübergang lässt sich die Bedarfskurve der Wärme- bzw. auch Kältelast über den Tagesverlauf glätten. Durch den Einsatz von modernem Wärmeschutz wird der Heizlastbedarf auf ein Minimum reduziert, durch die große Wärmeüberträgerfläche (Wärme abstrahlende Bauteile) reichen Vorlauftemperaturen in den Leitungen der Wärmeverteilung von wenigen Grad Celsius über der Raumtemperatur aus [Pfafferott, Kalz (2007)].

Das folgende Diagramm zeigt wie trotz erheblich schwanker Außentemperatur im Tagesablauf (ΔT von bis zu 18 K) die Temperierung der Bausubstanz und damit auch die Innenraumtemperaturen relativ konstant gehalten werden kann.

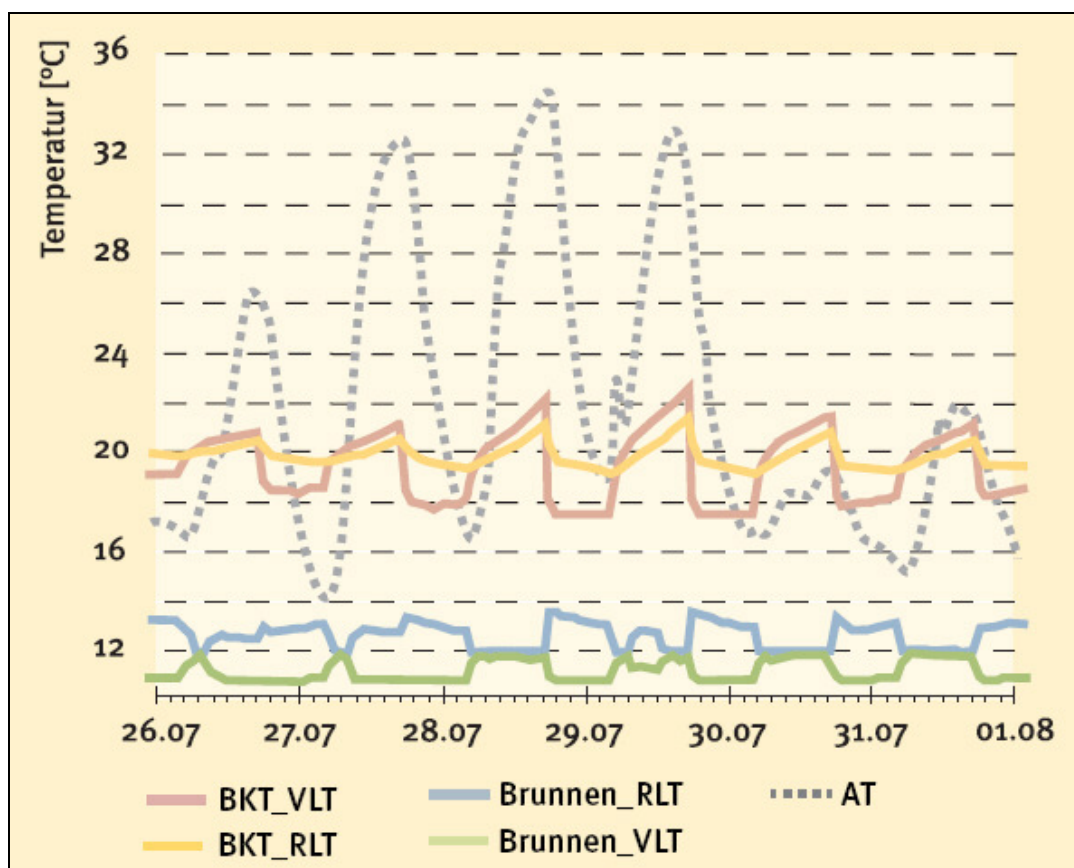


Abb. 31 Temperaturverläufe von Außentemperatur und TABS eines Gebäudes

(Kühlbetrieb). Außentemperatur (AT), Vor- und Rücklauftemperatur der BKT (Betonkerntemperierung) sowie Vor- und Rücklauftemperatur des Grundwassers (Brunnen) vor dem Kaltwasser-Wärmeüberträger [°C] für eine Woche im Juli 2005. Die BKT wird nachts mit Kälteenergie beladen. Über einen Wärmeüberträger wird der Wasserkreislauf der BKT auf eine Vorlauftemperatur von 18 bis 19 °C gekühlt. Daten: Hochschule Biberach, [Pfafferott, Kalz (2007)]

Das benötigte Temperaturniveau im Vorlauf liegt im Heizbetrieb nicht über 30 °C. Die erforderliche Wärmeleistung von etwa 30 bis 60 W_{th}/m² im Niedrigenergiehausstandard kann aufgrund einer großen Wärmetausfläche in der Geschossdecke und damit einem hohen Massenstrom an Heizwasser zur Verfügung gestellt werden. Der erforderliche Massenstrom errechnet sich aus der übertragenen Wärmeleistung und der Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf. Für den Vorlauf wurde eine Temperatur von 28 °C angenommen, für den Rücklauf 22 °C bei Raumtemperaturen von etwa 20 °C.

$$\dot{v} = \frac{\dot{q}}{c_{p,Wasser} * \Delta T * \rho_{Wasser}} = \frac{60 \frac{W_{th}}{m^2}}{4,19 \frac{kJ_{th}}{kg * K} * 6K * 1 \frac{kg}{l}} = 8,60 \frac{l}{(m^2 * h)}$$

$\dot{v}$	flächenspezifischer Volumenstrom des benötigten Heizwassers
$\dot{q}$	übertragene flächenspezifische Heizleistung
c_p	spezifische Wärmekapazität des Wassers
$\Delta T = T_{vor} - T_{rück}$	Temperaturdifferenz
T_{vor}	Temperatur des Vorlaufs
$T_{rück}$	Temperatur des Rücklaufs
ρ	Dichte des Wassers

Diese hohen Volumenströme müssen bewegt werden (Zirkulation), der Strombedarf der Umwälzpumpen ist dementsprechend nicht zu vernachlässigen.

In [Pfafferott, Kalz (2007)] ist der benötigte Strom für die Grundwasserzirkulation in einem größeren Gebäude (Post-Tower, Bonn) mit 10 kWh_{el}/(m²*a) angegeben.

Bei einer beispielhaft angenommenen Gebäudefläche von 4.600 m² würden folgende Heizleistung und folgender Heizwasservolumenstrom benötigt:

$$\dot{Q} = \dot{q} * A = 60 \frac{W_{th}}{m^2} * 4.600 m^2 = 280 kW_{th}$$

$\dot{Q}$	benötigte Heizleistung des Gebäudes
A	Gebäudefläche

$$\dot{V} = 8,60 \frac{l}{(m^2 * h)} * 4.600 m^2 = 40.000 \frac{l}{h}$$

$\dot{V}$	benötigter Heizwasservolumenstrom
-----------	-----------------------------------

Ein weiterer großer Vorteil der Bauteilaktivierung ist, dass das Leitungssystem im Sommer zur passiven Kühlung der Gebäude genutzt werden kann.

Passive Kühlung ist im Vergleich zu konventioneller Kühlung mit Split-Geräten äußerst energieeffizient, da die Temperatur einer vorhandenen Kältequelle genutzt wird und nicht die Temperatur eines Arbeitsmittels mithilfe einer Kältemaschine aktiv (unter Arbeitsaufwand) gesenkt werden muss.

4.4 Technische Komponenten der Wärmeerzeugung zur Gebäudebeheizung

Die in den Thermalwässern enthaltene Wärme kann je nach Gebäude (Temperaturniveau von Vor- und Rücklauf der Heizwärmeverteilung) direkt mit einem Wärmetauscher auf das zirkulierende Heizmedium übertragen werden, oder mittels Wärmepumpe auf einem höheren Temperaturniveau an die Heizwärmeverteilung abgegeben werden (siehe Kapitel 4.1).

4.4.1 Direkte Nutzung der Thermalwasserwärme /Rücklaufanhebung

Die Anhebung der Rücklauftemperatur des Heizkreises durch direkte Wärmeübertragung der Geowärme ist die einfachste Form der Nutzung geothermischer Energie.

Über eine Nahwärmeübergabestation, bestehend zum Beispiel aus einem Wärmetauscher, einem Wärmemengenzähler und gegebenenfalls einem kleinen Pufferspeicher wird die Wärme des Thermalwassers oder die Wärme einer zwischengeschalteten sekundäre Wärmetransportleitung direkt an den Rücklauf der Heizkreise eines Gebäudes übertragen. Sollte die übertragene Wärme nicht ausreichen, um die gewünschte Vorlauftemperatur zur Verfügung zu stellen, so heizt der Kessel nach.

Notwendig bei der Rücklaufanhebung ist, dass zwischen dem Rücklauf der Heizkreise und der Wärmequelle (Thermalwasser oder Wärmenetz) ein Temperaturgefälle besteht, damit die Wärmeübertragung ohne weiteren Aufwand (beispielsweise durch eine Wärmepumpe) vonstatten geht. Je größer die Temperaturdifferenz, desto mehr Wärme kann pro Liter eingesetztem Thermalwasser übertragen werden.

Reicht diese Temperaturdifferenz aus, um die benötigte Heizleistung zur Verfügung zu stellen, kann die gesamte Heizwärmebereitstellung nur über den Wärmetauscher, also ohne eine zusätzliche Wärmeerzeuger, geliefert werden.

Reicht diese Temperaturdifferenz nicht aus, muss die Wärme zu wenigen Zeitanteilen im Jahr mit einer zusätzlich installierten Heizwärmeerzeugungsanlage (zum Beispiel einem bereits vorhandenen Wärmeerzeuger) bereitgestellt werden.

4.4.2 Wärmepumpe

Eine Wärmepumpe ist eine Anlage zur Wärmebereitstellung. Sie nimmt unter zu Hilfenahme von einer Einheit elektrischer Energie mehrere Einheiten Umweltwärme auf und stellt diese als Heizwärme auf einem höheren Temperaturniveau zur Verfügung. Als Umweltwärme können Wasser, Luft, das Erdreich oder Abwärme aus Prozessvorgängen dienen.

Anhand der folgenden Abbildung lässt sich das Funktionsprinzip einer Wärmepumpe erläutern:

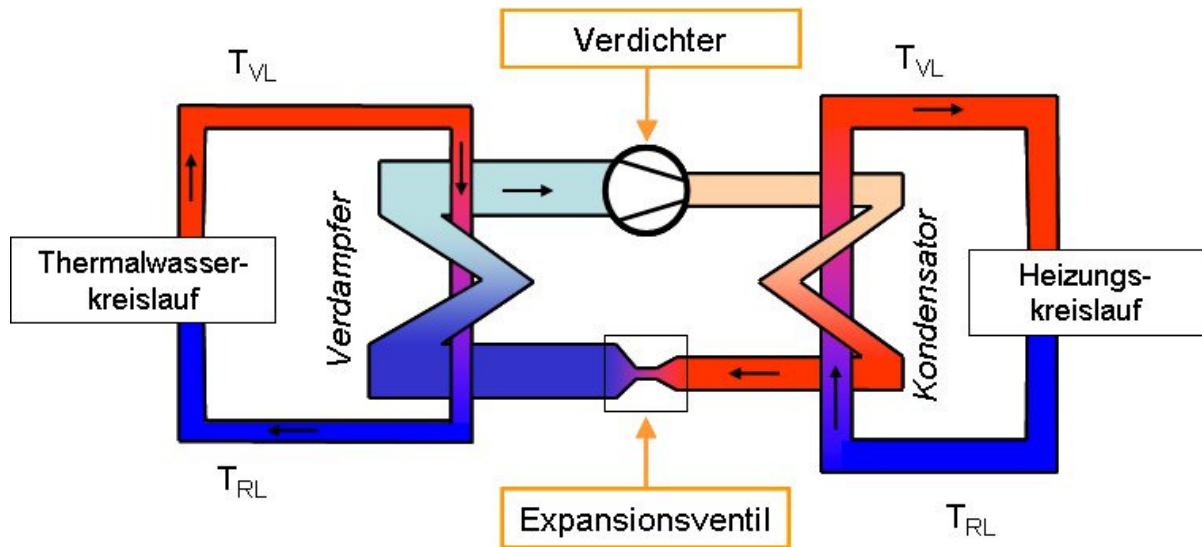


Abb. 32 Funktionsprinzip einer Wärmepumpe

Die Wärmepumpe ist mit zwei externen Wärmeträgerkreisläufen verbunden. Über den ersten (Wärmequellen-)Kreislauf wird die Umweltwärme 1 über den Verdampfer 2 an einen internen Wärmeträgerkreislauf übertragen. Am Kondensator (Verflüssiger) wird die auf ein höheres Temperaturniveau gehobene Wärme an den Heizwärmeverteilungskreislauf übertragen.

Der Arbeitsmittelkreislauf in der Wärmepumpe ist zweigeteilt: Auf der Verdampferseite finden sich eher niedrige Drücke und Temperaturen, auf der Verflüssigerseite eher hohe Drücke und Temperaturen.

Die Schnittstelle zwischen beiden Hälften sind der Verdichter und das Expansionsventil.

Das Arbeitsmittel nimmt am Verdampfer Wärme auf, am Verdichter wird der Arbeitsdruck erhöht, wodurch auch die Temperatur stark ansteigt. Am Kondensator kann die Wärme auf diesem erhöhten Temperaturniveau abgegriffen werden. Treibende Kraft ist hier die Temperaturdifferenz zwischen Arbeitsmittel und Rücklauf der Heizwärmeverteilung.

Durch anschließende Expansion im Drosselventil entspannt das Arbeitsmedium und nimmt die bei diesem Druck spezifische Temperatur an. Diese Temperatur liegt unter der Temperatur der Wärmequelle, sodass das Arbeitsmedium wieder Wärme von der Wärmequelle aufnehmen kann.

Bei den Kältemitteln handelt es sich um Fluor-organische Flüssigkeiten die bei geringen Temperaturen siedend und bereits bei Zimmertemperatur dampfförmig sind. Das in Wärmepumpen gängigste Kältemittel ist R410a. Es setzt sich je zur Hälfte aus Difluormethan und Pentafluormethan zusammen.

Die Effizienz einer Wärmepumpe, ausgedrückt durch die Leistungszahl (COP – „Coefficient of Performance“), steigt mit geringerer Spreizung zwischen Wärmequellentemperatur und der am Kondensator abgreifbaren Temperatur.

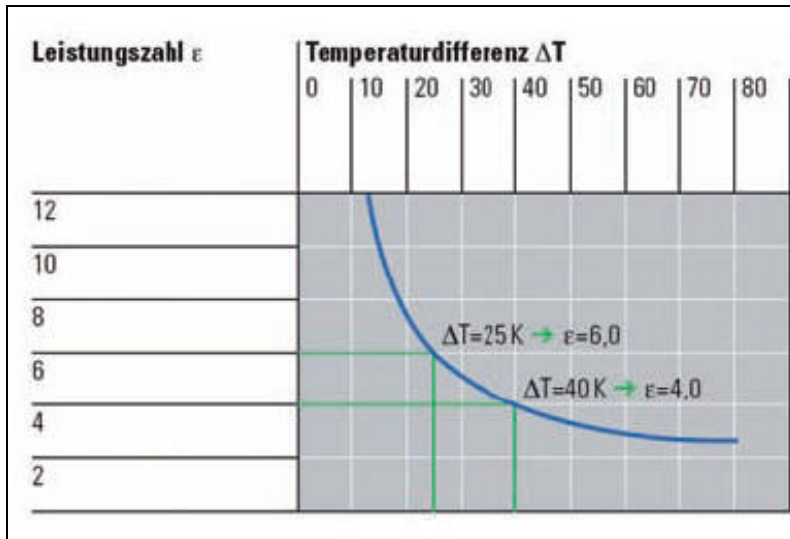


Abb. 33 Leistungszahl in Abhängigkeit der Temperaturspreizung (smul.sachsen.de)

Wärmepumpen sind für das Arbeiten mit niedrigen Wärmequellentemperaturen ausgelegt. Übliche Herstellerangaben sind Quellentemperaturen bis maximal 25 °C. Viele Wärmepumpen können auch quellenseitig Temperaturen bis 35 °C nutzen¹², dies wird von den Herstellern aber nicht angegeben (und somit gibt es auch keine Gewährleistung für einen solchen Anwendungsfall).

Wärmepumpen können im Allgemeinen die Temperatur bis auf etwa 55 bis 65°C anheben. Kurzzeitig ist auch die Wärmeerzeugung mit Temperaturen bis zu 70 °C möglich. Die Auslegungstemperatur für die Wärmepumpennutzung sollte aber 60 °C nicht überschreiten.

Während der COP lediglich die Effizienz einer Wärmepumpe bei Laborbedingungen anzeigt, stellt die Jahresarbeitszahl (JAZ, „seasonal performance ratio“) das Verhältnis zwischen abgegebener Heizwärme und aufgenommener elektrischer Arbeit dar.

$$COP = \frac{\dot{Q}_{Nenn}}{P_{el}}$$

$$JAZ = \frac{Q_{Heiz}}{W_{el}}$$

COP	Leistungszahl
$\dot{Q}_{Nenn}$	Nennwärmeleistung der Wärmepumpe
P_{el}	elektrische Leistungsaufnahme des Verdichters
JAZ	Jahresarbeitszahl
Q_{Heiz}	jährlich bereitgestellte Heizwärme
W_{el}	jährlich aufgenommene elektrische Arbeit des Verdichters

¹² Laut Telefonat mit Herrn UHLMANN vom Wärmepumpentestzentrum der Interstaatlichen Hochschule für Technik in Buchs (Schweiz)

Die Stromversorgungsunternehmen bieten Ihren Kunden in der Regel spezielle Vertragskonditionen zum Bezug von Strom für Wärmepumpen (oder Elektrospeicherheizungen) an.

Der Kunde erhält Strom zu einem günstigeren Arbeitspreis (in der Regel etwa 25 %), natürlich nur zum Betrieb der Heizanlage mit einem zweiten Stromzähler.

Für den Stromversorger sind solche Verträge positiv zu bewerten, da sie auf der einen Seite Kunden (teils auch langfristig) an sich binden, auf der anderen Seite Sperrzeiten (das heißt, dass es täglich mehrere Stunden gibt, in denen kein Strom für die Wärmepumpe zur Verfügung steht) festsetzen können. Die Sperrzeiten sind in der Regel täglich in den Stunden der maximalen Netzauslastung festgesetzt und bieten dem Netzbetreiber bessere Planungsoptionen des Lastmanagements. Durch die Konzentration der Stromabgabe für Kunden mit dem Wärmepumpentarif ist es dem Netzbetreiber ermöglicht, die Lastkurve im Tagesgang etwas zu glätten.

Für den Kunden bedeuten die Sperrzeiten eine größere Auslegung der Wärmepumpe (im monovalenten Betriebsfall), da an den Tagen des maximalen Heizleistungsbedarfs ein Defizit an Wärmeerzeugung in den Stunden des Stillstandes aufgrund der Sperrzeiten entsteht.

$$\dot{Q}_{\text{Sperrzeiten}} = \dot{Q}_{\text{theor.}} * \frac{t_{\text{Sperr}}}{24h}$$

$\dot{Q}_{\text{Sperrzeiten}}$ benötigte Heizleistung unter Berücksichtigung der Sperrzeiten des Stromversorgers [kW_{th}]

$\dot{Q}_{\text{theor.}}$ benötigte Heizlast (ohne Berücksichtigung der Sperrzeiten) [kW_{th}]

t_{Sperr} tägliche Sperrzeit [h]

Die Sperrzeiten machen zusätzlich zu der größeren Auslegung der Wärmepumpe auch noch einen Pufferspeicher notwendig, der mindestens die maximal produzierbare Wärmemenge in einem der längsten Sperrzeit gleichen Zeitraum aufnehmen kann. Das benötigte Volumen des Pufferspeichers lässt sich wie folgt berechnen:

$$V = \frac{Q_{th}}{\rho_{\text{Wasser}} * c_{p,\text{Wasser}} * \Delta T}$$

$$Q_{th} = \dot{Q}_{th} * t_{\text{sperr}}$$

V Volumen des Pufferspeichers

Q_{th} erzeugte Wärmemenge während der längsten Sperrzeit

$\dot{Q}_{th}$ Wärmeleistung der Wärmepumpe

t_{Sperr} längste Sperrzeit des EVU¹³

ΔT Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf der Heizwärmeverteilungsanlage

Für den Einsatz der Wärmepumpe zur Beheizung mit einer Fußbodenheizung kann in vielen Fällen auf einen Pufferspeicher verzichtet werden [Ochsner (2007)]. Der durch die

¹³ EVU: EnergieVersorgungsUnternehmen

Fußbodenheizung thermisch aktivierte Estrich hat oft eine genügend hohe Speicherwirkung.

4.4.3 Nahwärmeleitungen

Nahwärmeleitungen verbinden die Wärmequelle durch ein Ringsystem an wärmegeprägten Rohrleitungen mit den Wärmeabnehmern. Sie verlaufen im Erdreich oder an Bauten (zum Beispiel auch unter Brücken oder an Uferbefestigungen) angehängt. Nahwärmeleitungen bestehen in der Regel aus einer Rohrleitung für den Vorlauf und aus einer Rohrleitung für den Rücklauf. Diese Rohrleitungen (Kernrohre) befinden sich entweder in einem gemeinsamen oder in getrennten wärmegeprägten Mantelrohren. Durch einen geschlossenen Kreislauf (Zirkulation des Wärmeträgermediums) ist die aufzunehmende Arbeit (Pumpenleistung) relativ gering, da lediglich Reibungsverluste bzw. Druckverluste durch Einbauten ausgeglichen werden müssen.

Ein (weiterer) großer Vorteil an einer Wärmeleitung ist, dass eine Minderung der installierten Gesamtleistung erreicht werden kann. In einem System mit dezentraler Wärmeerzeugung hat jedes Gebäude eine Wärmeerzeugungsanlage, deren Heizleistung auf den Leistungsbedarf durch Wärmeverluste (Transmission und Lüftung) des Gebäudes zu Auslegungsbedingungen und auf die benötigte Heizleistung zur Brauchwassererwärmung ausgelegt ist.

5 Machbarkeitsbetrachtung geothermischer Gebäudebeheizung in Bad Ems

In diesem Kapitel wird eine Möglichkeit der Umsetzung einer geothermischen Gebäudebeheizung mittels der erfassten Daten zu geothermischen Potential, Gebäudebestand und verfügbare Flächen für Neubauten dargestellt.

Zu Beginn des Projektes fand eine Begehung aller relevanten Straßenzüge in Bad Ems statt. Die Gebäudesubstanz im Bereich des Kurviertels (Bad Ems, Thermalwässer) und im Bereich des ehemaligen Dorfes Ems ist sehr inhomogen. In beiden Bereichen überwiegt eine historisch gewachsene Bausubstanz, die ohne erhebliche Investitionen nicht mit genügender Effizienz für einen wirtschaftlichen und ökologischen Betrieb mit Wärmepumpen betrieben werden können. Neuere Baugebiete oder Neubaugebiete sind nicht vorhanden. Angaben aus der Literatur bestätigen das vgl. [Weithoener 1987].

Eine Auflistung der im Rahmen der Konzepterstellung begangenen Gebäude sind dem Anhang der Studie zu entnehmen.

Die begangenen Gebäude scheinen aufgrund Ihrer Baustruktur, der Art der Wärmeverteilung und der Entfernung zu potenziellen Wärmequellen in sehr unterschiedlichem Maße für eine geothermische Beheizung mit Wärmepumpen oder direkter Wärmeübertragung des Thermalwassers geeignet.

Da die Dokumentation der Machbarkeitsbetrachtung für die mehr als 20 Liegenschaften, die im Rahmen der Datenerfassung für diese Studie besichtigt und deren Daten ausgewertet wurden, den Rahmen sprengen würden, wird nur auf Gebäude, deren geothermische Beheizung bei der Ortsbegehung beziehungsweise der Datensichtung als möglich erschien, eingegangen. In Tab. 5 sind die Untersuchungsgebiete aufgelistet, welche in dieser Machbarkeitsstudie näher betrachtet wurden:

Tab. 5 Untersuchungsgebiete in Bad Ems

Gebiet	Gebäude	Energieträger
Auf dem Spieß	Neubaugebiet nach Bebauungsplan	Thermalwasser/Kondensate
Neuquelle	Statistisches Landesamt	Thermalwasser
Thermalbad	Thermalbad mit Kurmittel und Therapiehaus AOK-Klink Bad Ems	Thermalwasser

Stadtstollen	Rathaus der Verbandsgemeinde Bad Ems	Grubenwasser aus Entwässerungskanal
Neuhoffnungsstollen	Firma FIS GmbH	anstehende Grubenwässer

Die Machbarkeitsstudie zum Untersuchungsgebiet Neuhoffnungsstollen wurde in einer separaten Studie bearbeitet [Igem (2010)]. Zudem wurde eine eigene Studie für den Stadtstollen zum Thema „Minimierung des Schadstoffaustrag“ erstellt [Igem (2009)].

Schulzentrum Bad Ems

Einen Sonderfall stellt das Schulzentrum Bad Ems dar. Hier liegen nahe beieinander eine Reihe von öffentlichen Gebäuden wie auf folgender Abbildung ersichtlich:

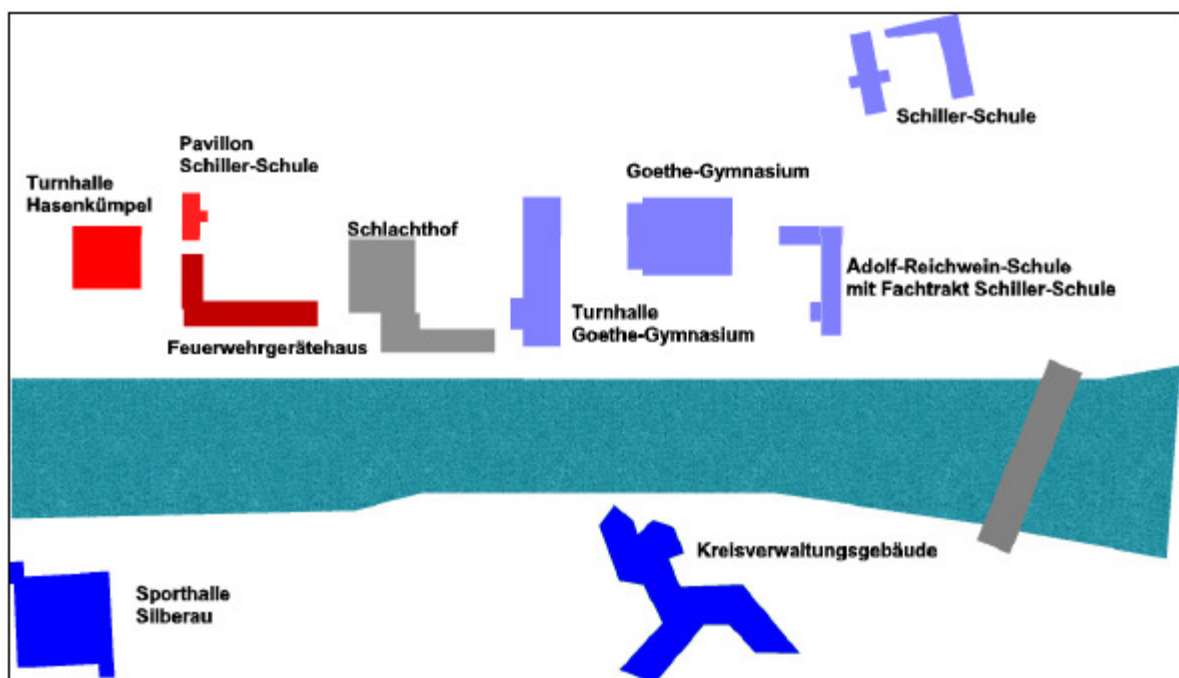


Abb. 34 Schulzentrum Bad Ems [TSB 2003]

Ausreichende geothermische Potenziale in Form thermaler Heil- und Grubenwässer liegen in diesem Bereich nicht vor. Das Thermalwasser der Bohrung 1a, welches von der Quelle bis zum Thermalbad geleitet wird sollte vorrangig zur energetischen und balneologischen Nutzung im Thermalbad verwendet werden. Die Grubenwässer die aus dem Stadtstollen überlaufen liegen in zu weiter Entfernung. Die in den Gebäuden installierte Wärmeverteilung und –übergabe lässt einen Einsatz der von einer Wärmepumpe bereitgestellten Wärme ohne erhebliche Investitionen nicht zu. Hier ist keine Aussicht auf einen wirtschaftlichen Einsatz gegeben.

Im Jahr 2003 hat die Transferstelle Bingen im Auftrag der VG Bad Ems eine Studie zur Nahwärmeversorgung in diesem Gebiet erarbeitet [TSB 2003]. Bei den damaligen Energieträgerbezugskosten für Heizöl und Erdgas ließ sich keine Wirtschaftlichkeit der zentralen Versorgungsvarianten mit Holz darstellen.

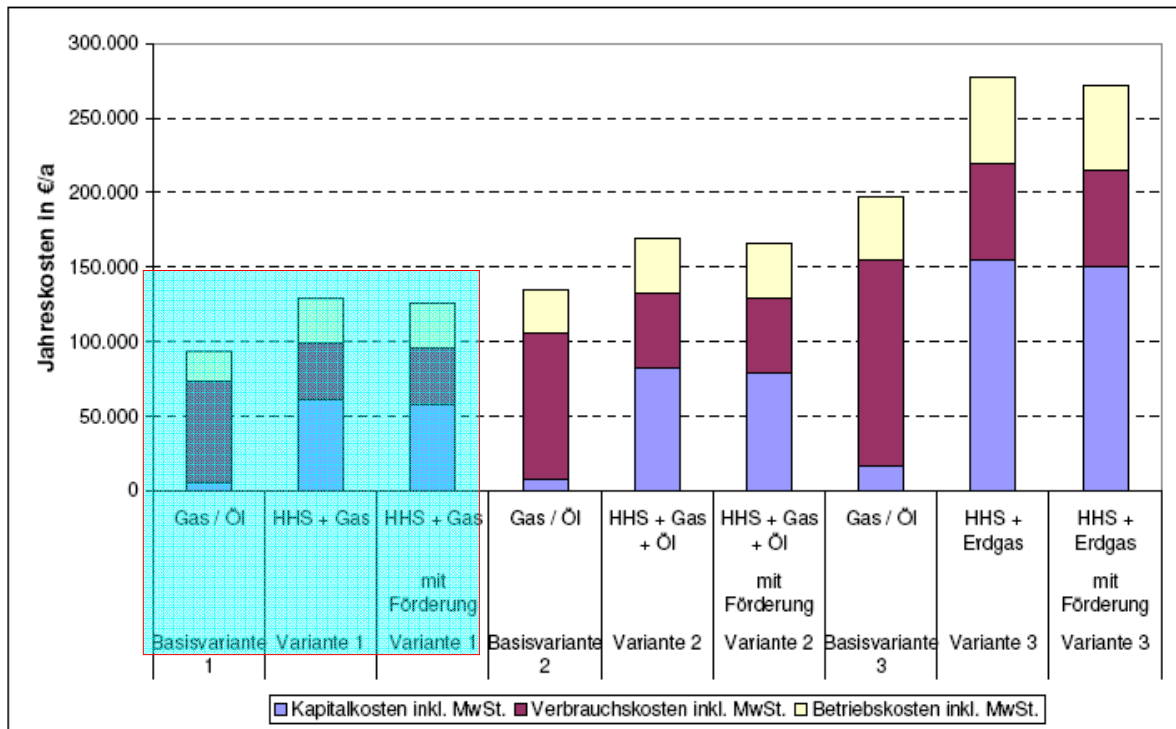


Abb. 35 Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung aus [TSB 2003]

Insbesondere die Varianten 1 der damaligen Untersuchung (Nahwärmeversorgung der Schillerschule, Adolf-Reichwein-Schule sowie des Goethe-Gymnasiums mit Wärmeerzeugung in einem zentralen Holzhackschnitzelheizwerk) könnte unter heutigen Energieträgerbezugskosten und der heutigen Förderkulisse für die Nutzung regenerativer Energien interessant sein. Hier empfehlen wir der VG Bad Ems eine Fortschreibung der Machbarkeitsstudie.

Technisch-Wirtschaftliche Machbarkeitsbetrachtung

Für jedes Untersuchungsgebiet werden zunächst anhand von vorliegenden Verbrauchsdaten zu den vorhandenen Heizwärmeerzeugungsanlagen der Wärmebedarf und die erforderliche Wärmeleistung ermittelt. Darauf basiert die anschließende Energiebilanz mit den umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen sowie eine Kohlendioxid-Emissionsbilanz für alle behandelten Varianten.

Zudem erfolgt eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die ausgewählten Wärmeversorgungsvarianten. Dabei werden die Kapitalkosten anhand von abgeschätzten Investitionskosten berechnet, die zusammen mit den Verbrauchs- und Betriebskosten die Jahreskosten bilden. Aus dem Verhältnis der Jahreskosten zum Wärmebedarf wird anschließend der Wärmepreis ermittelt. Im Wärmepreis sind jedoch keine Kosten für die Wärmequellennutzung enthalten, sodass diese bei der Umsetzung der Geowärmeversorgung mit berücksichtigt werden muss.

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten und die Wärmepreise der Anlagen anhand von Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 berechnet. Der Wärmepreis gibt das Verhältnis der Jahreskosten in Bezug auf den Jahreswärmebedarf wieder.

Zur Ermittlung der Kapitalkosten werden für die mittelfristig erneuerungsbedürftigen Heizkessel überschlägige Investitionskosten zu Grunde gelegt.

Die Erdgas- und Strompreise wurden in Anlehnung an Angebote der Energieversorger angenommen. Zur Ermittlung der Wartungs- und Instandhaltungskosten werden Investitionen für die Heizkessel nach spezifischen Kennziffern herangezogen.

Folgende Rahmenbedingungen sind bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung für jedes der Untersuchungsgebiete vereinfacht angenommen worden:

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	5 % ¹⁴
Abschreibungsdauer Demontage	15 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre
Abschreibungsdauer Maschinentechnik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Nahwärmeleitung	40 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebunden Kosten

Arbeitspreis Erdgas ¹⁵	4,50 Ct/kWh _{Hi} inkl. MwSt.
ein Leistungspreis für Erdgas entfällt	
allgemeiner Stromarbeitspreis ¹⁵	17,50 Ct/kWh _{el} inkl. MwSt.
Wärmepumpenstrompreis ¹⁵	12,29 Ct/kWh _{el} inkl. MwSt.

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung Heizkessel	4 % der Investition (Heizkessel)
Personalkosten	35 €/h zzgl. MwSt.
Emissionsüberwachung Erdgaskessel	75 €/a zzgl. MwSt.
Sonstige Kosten (Verwaltung, Versicherung Steuern, allgemeine Abgaben)	0,7 % der Gesamtinvestition

¹⁴ Annahme

¹⁵ Annahme nach RWE-SÜWAG Gruppe, Stand Oktober 2009;

Fördermittel

In die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der einzelnen Untersuchungsgebiete sind folgende Fördermittel berücksichtigt worden (Tab. 6):

Tab. 6 Fördermittel

Gegenstand der Förderung	Förderprogramm	Förderung
Nahwärmenetz	KfW	60 €/m _{Trasse}
Wärmepumpen (Gebäudebestand)	BAFA (MAP)	6.000 €
Tilgungszuschüsse	MUFV	Zinszuschuss

Wir weisen darauf hin, dass das Marktanreizprogramm (MAP; BAFA-Teil) für Erneuerbare Energien zum 03.05.2010 für den Rest des Jahres ausgesetzt wurde, da keine Bundeshaushaltsmittel mehr zur Verfügung stehen. Das KfW-Programm sowie die Tilgungszuschüsse sind von diesem Förderstopp nicht betroffen. In die Wirtschaftlichkeitsberechnung fließen jedoch alle Fördermittel in den Berechnungen ein, unter der Annahme, dass wie derzeit geplant, für das Jahr 2011 die Fördermittel aus dem MAP in gleicher Höhe wieder zur Verfügung stehen.

Fördermittel Wärmenetze

Die Förderung von Wärmenetzen durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) ist in den „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ vom 20. Februar 2009 festgeschrieben. Diese Förderung ist in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit eingerechnet. Damit Wärmenetze förderfähig sind, sind folgende Kriterien zu erfüllen:

Mehr als 50 % der zu transportierenden Wärme muss aus erneuerbaren Energien bestehen. Bei Versorgung von Nichtwohngebieten mit einer beheizten Fläche von mehr als 500 m², muss im Mittel über das gesamte Netz (bis zur Hausübergabestation) ein Mindestwärmeabsatz von 500 kWh_{th} pro Jahr und Meter Trasse nachgewiesen werden.

Fördermittel Wärmepumpen

Der Bund fördert den Ein- und Umbau einer Heizung mit einer Wärmepumpe in bestehende Gebäude oder in Neubauten. Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) hat dafür ein Marktanreizprogramm (MAP) entworfen. Damit sich die Entscheidung für die erneuerbaren Energien auch auszahlt, kann ein Förderantrag beim BAFA gestellt werden und so einen Teil der Kosten für die Wärmepumpenheizung zurückgefordert werden. Die möglichen Förderungen sind in Nr. 10 der am 17. Februar 2010 geänderten Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt vom 20. Februar 2009 (Förderrichtlinien) beschrieben.

Voraussetzungen für die Basisförderung von effizienten Wärmepumpen:

Die Basisförderung unterteilt sich in bestehende Gebäude und in Neubauten auf, die wiederum aufgeteilt sind in Häuser, für die der Bauantrag vor dem 01.01.2009 gestellt wurde und in Gebäude mit einem Bauantrag nach dem 31.12.2008. Für ältere Gebäude gibt es mehr Förderung als für Neubauten, allerdings auch nur bis zu einem bestimmten Höchstförderbetrag. So beträgt beispielsweise, wie in Tab. 7 dargestellt, die Förderung für eine Wasser/Wasser-Wärmepumpe im Gebäudebestand 20 Euro pro Quadratmeter Wohnfläche, jedoch maximal 6.000 Euro für ein Nichtwohngebäude.

Tab. 7: Basisförderung von effizienten Wasser/Wasser-Wärmepumpen

Wasser/Wasser-Wärmepumpen	Gebäudebestand
Anforderung	JAZ $\geq$ 3,7
bei Nichtwohngebäuden	20 Euro/m ² Wohn- oder Nutzfläche max. 6.000 Euro

Zinszuschussförderung – MUFV

Das Ministerium für Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz hat ein Förderprogramm entwickelt, dass „Zinszuschüsse für Investitionen im Bereich Energieeffizienz und der Energieversorgung einschließlich der Erneuerbaren Energien“ gewährt. Die Inhalte des Förderprogramms sind in der gleichnamigen Förderrichtlinie vom 03. August 2009 beschrieben. Gegenstand der Förderrichtlinie ist unter anderem die Errichtung von Wärmepumpenanlagen mit einer Arbeitszahl größer als 3,5 einschließlich der Anlagen zur Gewinnung und Übergabe der Wärme. Förderfähig sind die notwendigen Anschaffungs- bzw. Herstellungskosten des entsprechenden Investitionsvorhabens einschließlich der für die konkrete Umsetzung notwendigen Planungs- und Ingenieurleistungen ab 30.000 Euro bis zu einer Höhe von 5 Millionen Euro. Die Zinszuschüsse sind für den nach der Förderrichtlinie festgelegten Zweck zu verwenden. Die Zuwendung wird grundsätzlich in Form von Zinszuschüssen gewährt, unabhängig davon, ob tatsächlich ein Darlehensvertrag abgeschlossen wird. Die Antragsstellung muss vor Beginn der Investitionsmaßnahme erfolgen.

Die Laufzeit der Zinszuschüsse beträgt 7 Jahre und ist degressiv gestaltet. Der jährliche Zinszuschuss beginnt mit 2,5 % gerechnet auf die als förderfähig anerkannten Aufwendungen und vermindert sich jährlich um eine fiktive lineare Tilgung von 10 % auf den ursprünglich bewilligten Betrag.

5.1 „Auf dem Spieß“ - Thermalwassernutzung

Bei dem Untersuchungsgebiet „Auf dem Spieß“ handelt es sich um eine zurzeit als öffentlicher Parkplatz benutzte Fläche, süd-östlich des Bad Emser Hauptbahnhofes, von ungefähr 10.000 Quadratmetern Größe. Wie in Abb. 36 zu erkennen ist, existiert für diese Fläche ein Bebauungsplan.¹⁶ In diesem Bebauungsplan¹⁶ ist eine Fläche, von etwa 4.500 Quadratmetern, für den Neubau von größeren Gebäuden ausgewiesen. Die Art der baulichen Nutzung ist nach § 7 der Baunutzungsverordnung als Kerngebiet festgelegt. Das bedeutet, dass dort überwiegend Handelsbetriebe sowie zentrale Einrichtungen der Wirtschaft, Verwaltung und Kultur errichtet werden können.



Abb. 36 Bebauungsplan „Auf dem Spieß“

Unmittelbar an die Fläche angrenzend liegt das Werk I der Firma Siemens & Co. Diese produziert in Zusammenarbeit mit dem Staatsbad Bad Ems GmbH & Co. KG Heilwasser und Quellenprodukte. Als Wärmequellen für das Untersuchungsgebiet stehen die aus den Produktionsphasen warmen Abwässer der Firma Siemens & Co. GmbH & Co. KG und in Stillstandszeiten Heilwässer der Bohrung 1a aus der Salzgewinnungsanlage zur Verfügung. Im Untersuchungsgebiet „Auf dem Spieß“ soll die Wirtschaftlichkeit der Raumbeheizung des Nebengebäudes durch die Wärmequellen untersucht werden.

¹⁶ Stand des Bebauungsplans: 24. März 2003
5.1 „Auf dem Spieß“ - Thermalwassernutzung

Tab. 8 Wärmequellen

Wärmequelle Abwasser Firma Siemens & Co. GmbH & Co. KG			
3 Abwasserströme in Produktionsphasen			
Permeat aus der Umkehrosmose	Temperatur 1	°C	55
	Massenstrom 1	l/h	2.900
Brüdenkondensate aus Vakuumverdampfung	Temperatur 2	°C	54
	Massenstrom 2	l/h	2.700
Kondensate vom barometrischen Kondensator	Temperatur 3	°C	65
	Massenstrom 3	l/h	1.400
verfügbares Mischabwasser als Wärmequelle	Temperatur	°C	57
	Massenstrom	l/h	7.000
Wärmequelle während Produktionsstillstand			
Thermalwasser aus der Bohrung 1a - Teilstrom	Temperatur	°C	55
	Massenstrom	l/h	8.000

Ist -Zustand

Für die Bebauung der Fläche „Auf dem Spieß“ sind eine Geschossflächenzahl von 2,5 und ein Grundflächenzahl von 1,0 angegeben. Die Grundflächenzahl gibt an, welcher Anteil der ausgewiesenen Fläche bebaut werden darf und die Geschossflächenzahl gibt an, welches Verhältnis die Gesamtfläche aller Vollgeschosse zur im Bebauungsplan ausgewiesenen Grundfläche haben darf. Anhand einer im Bebauungsplan ausgewiesenen Fläche von etwa 4.500 Quadratmetern wäre beispielsweise der dreigeschossige Bau eines Bürogebäudes mit einer Grundfläche von 3.500 Quadratmetern denkbar. Das Gebäude könnte beispielsweise mit einer Nutzfläche von 10.500 Quadratmetern errichtet werden.

Das Abwasser der Firma Siemens & Co. GmbH & Co. KG sowie auch das Thermalwasser aus der Bohrung 1a steht auf unterschiedlichen Temperaturniveaus als Wärmequellen zur Verfügung. Die Firma Siemens & Co. GmbH & Co. KG möchte den eigenen Energiebedarf zur Raumbeheizung senken. Deswegen ist die Anhebung des Rücklaufes der Heizwärmeverteilung mit den anstehenden warmen Brüdenkondensaten geplant. Derzeitig ist in der Fa. Siemens & Co. GmbH & Co. KG eine Heizleistung 120 kW_{th} installiert. In Produktionsphasen fällt zusätzlich zur Wärmebereitstellung durch die Heizungsanlage Abwärme des Produktionsprozesses als Raumwärme an, daher werden 80% der installierten Heizlast als Heizlastbedarf in Produktionsphasen angenommen. Somit beträgt der Spitzenheizlastbedarf 96 kW_{th} und der Rücklauf der Heizwärmeverteilung hat im Auslegungsfall eine Temperatur von 45 °C. Beim Übertragen der erforderlichen Heizlast von den Brüdenkondensaten an den Heizungsrücklauf kühlen die Brüdenkondensate auf etwa 55 °C ab. Somit stehen nach der Nutzung der Brüdenkondensate zu Heizzwecken die in Tabelle 1 aufgeführten Wärmequellen zur Beheizung der zu errichtenden Neubauten im Untersuchungsgebiet „Auf dem Spieß“ zur Verfügung.

Dimensionierung der Geowärmeversorgungsanlage

Für den Neubau eines Büro- oder Verwaltungsgebäude auf der auf dem Bebauungsplan „Auf dem Spieß“ ausgewiesenen Fläche bietet sich die Nutzung von Geowärme mit thermoaktivierten Bauteilsystemen (TABS) an.



Abb. 37 Rohrregister von TABS¹⁷

So kann in Zeiten der Produktionsphase dem 57 °C warmen Abwasserstrom von der Firma Siemens & Co. GmbH & Co. KG über einen Wärmetauscher Wärme von etwa 26 °C entzogen werden und diese danach über eine Wärmeleitung direkt zu den Neubauten transportiert werden. Bei Produktionsstillstand wird das ungenutzte Thermalwasser von 55 °C aus der Bohrung 1a ebenfalls über einen Wärmetauscher direkt zu den Neubauten mit Hilfe eines Wärmenetzes geleitet. Dort werden die thermoaktiven Bauteile mit den warmen Wässern durchströmt wobei sich die Betonteile der Gebäude aufheizen und die Wärme an den Innenraum abgeben.

Die Wärmeversorgung auf Basis der Geowärmenutzung wird mit der Basisvariante - Beheizung auf Basis von Erdgas – verglichen. Dabei sorgt ein Brennwert-Ergaskessel für das notwendige Heizwasser, welches im Gegensatz zur Geovariante über übliche Wärmeübertragungssysteme verteilt wird. Somit werden folgende Varianten betrachtet:

Basisvariante:

Hierbei wird die Gebäudebeheizung mit Brennwert-Erdgaskesseln betrachtet.

Variante 1:

In der Variante 1 wird eine Geowärmenutzungsanlage auf Basis einer Wärmepumpe die das Thermalwasser zur Gebäudebeheizung verwendet betrachtet.

Energiebilanz

Wird die Wärme der warmen Wässer in Verbindung mit einer Heizwärmeverteilung auf Basis von TABS genutzt, kann folgende Heizleistung übertragen werden:

¹⁷ Fries Architekten (2009) Thermisch aktivierte Bauteilsysteme zum optimalen Wärmepumpeneinsatz, Vallendar / Koblenz

Tab. 9 Wärmeleistung aus den warmen Wässern

Bestimmung entziehbarer Geowärmeleistung bei TABS-Nutzung			
Vorlauf TABS	°C		26
Rücklauf TABS	°C		22
Verfügbare Geowärmeleistung Produktionsphase	kW _{th}		280
Verfügbare Geowärmeleistung Produktionsstillstand	kW _{th}		310

Da der nutzbare Wärmestrom in Produktionsphasen der Fa. Siemens & Co. GmbH & Co. KG geringer ist als die dem Thermalwasser zu entziehende Wärme, bestimmt diese verfügbare Heizlast den Auslegefall. Mit dem zur Verfügung stehenden Wärmestrom aus den Produktionsphasen, kann die Größe eines Verwaltungs- oder Büroneubau ermittelt werden.

Tab. 10 Beheizbare Fläche eines Büroneubaus

Zu beheizender Büroneubau		Basisvariante Erdgas-BW Neubau	Variante 1 TABS Neubau
Wärmebedarf (Niedrigenergiebauweise)	kWh _{th} /(m ² *a)	80	80
spezifische Heizleistung	W _{th} /m ²	60	60
Vollbenutzungsstunden	h/a	1.200	1.200
Gebäudenutzfläche über verfügbare Geowärmeleistung	m ²	4.600	4.600
Wärmebedarf Bürogebäude	kWh _{th} /a	368.000	368.000
Heizlastbedarf	kW _{th}	280	280
spez. elektr. Zirkulationsarbeit TABS	kW _{el} /m ² a		10
Strombedarf Umwälzung TABS	kWh _{el} /a		46.000
Erdgaskessel			
Leistung Erdgaskessel	kW _{th}	280	
Jahresnutzungsgrad Erdgaskessel		95%	
Erdgasbedarf	kWh _{HI} /a	387.000	
Erdgasbedarf	kWh _{HS} /a	426.000	
Hilfsstrombedarf Erdgaskessel	kWh _{el} /a	3.700	

Durch Nutzung der Geowärme aus dem Thermalwasser, bzw. durch Nutzung der warmen Abwässer der Firma Siemens & Co. GmbH & Co. KG kann ein Büro- und Verwaltungsgebäude mit einer Fläche von etwa 4.600 m² beheizt werden. Ein Vorteil der im Betonkern des Gebäudes verlegten Rohrleitungen ist, dass diese im Sommer zur passiven Kühlung verwendet werden können. Als Kältequelle könnte Oberflächenwasser beispielsweise aus der Lahn oder Wässer aus Brunnen im Uferfiltrat dienen. In der Energiebilanz ist der Aufwand an elektrischer Arbeit für die Zirkulation des Kälteträgers im Sommer bereits berücksichtigt. Als spezifischer Wert für die elektrische Zirkulationsarbeit werden 10 kWh_{el}/m² angenommen [BINE (2010)].

Kohlendioxid-äq.-Emissionsbilanz

Durch Nutzung der warmen Wässer werden im Vergleich zur Beheizung die in der Tabelle 11 und Abbildung 35 dargestellten Mengen an CO₂-äq.-Emissionen vermieden. Dem Diagramm liegt eine äußerst konservative Berechnung zugrunde. Es ist der Strombedarf für die Nutzung der TABS ganzjährig betrachtet, also auch zur Kühlung des Gebäudes im Sommer. In der Basisvariante sind lediglich die Emissionen der Heizwärmeerzeugung berücksichtigt.

Tab. 11 Kohlendioxid-äq.-Emissionsbilanz

Kohlendioxid-äq.-Emissionsbilanz		Basisvariante Erdgas-BW Neubau	Variante 1 TABS Neubau
Stromverbrauch	kWh _{el} / a	3.700	46.000
spez. CO ₂ -Emission Strom	g CO ₂ / kWh _{el}	641	641
Summe CO₂-Emission Strom	t CO₂ / a	2	29
Erdgasbedarf Heizkessel (Heizwert)	kWh _{Hi} /a	387.000	
spez. CO ₂ -Emissionen Erdgas	g CO ₂ /kWh _{Hi}	254	254
CO₂-Emissionen Heizkessel	t CO₂/a	98	0
CO₂-Emissionen Gesamt	t CO₂/a	101	29
Einsparung CO₂-Emissionen	t CO₂ / a		71
Einsparung CO₂-Emissionen			71%

Kohlendioxid-äq.-Emissionsbilanz - "Auf dem Spieß"

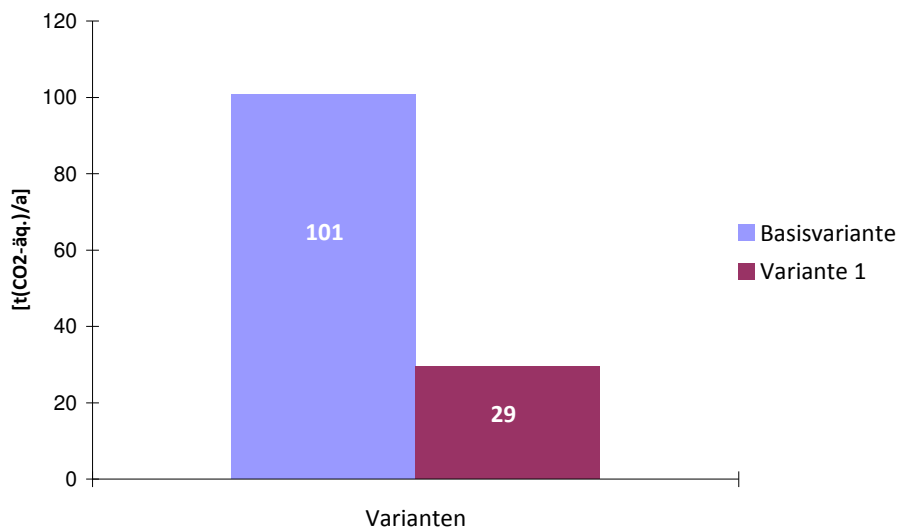


Abb. 38 Kohlendioxid-äq.-Emissionsbilanz

Aus der Kohlendioxid-äq.-Emissionsbilanz ist zu erkennen, dass bei der Geowärmenutzungsvariante 1 deutlich weniger Emissionen klimawirksamer Schadgase entstehen als bei der Basisvariante. Im Vergleich zur Basisvariante bei der im Jahr 101 Tonnen CO₂-äq. entstehen, werden bei der Variante 1 lediglich 29 Tonnen CO₂-äq. emittiert. Das entspricht einer relativen Einsparung von 71 %.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit werden nur die Verbrauchskosten der beiden Varianten gegenübergestellt, da über Investitionskosten auf Grund ungewisser Gebäudeerrichtung keine Aussagen getroffen werden können. Die Verbrauchskosten der Variante 1 beinhalten auch schon Stromkosten für die Zirkulation eines Kältemittels im Sommer. Kosten für einen konventionellen Kühlbetrieb sind in der Basisvariante nicht enthalten.

Tab. 12 Wirtschaftlichkeit - Energieversorgungskosten

Wirtschaftlichkeit		Basisvariante Erdgas-BW	Variante 1 TABS
Energieverbrauch			
Erdgasbedarf	kWh _{Hs} /a	387.000	0
Strombedarf	kWh _{el} /a	0	46.000
Leistung Erdgasbezug	kW _{Hs}	324	0
Leistung Strombezug	kW _{el}		38
Energieversorgungskosten			
Leistungspreis Erdgas	€/ (kW _{Hs} *a)	5,1	5,1
Leistungspreis Erdgas	€/a	1.700	
Arbeitspreis Erdgas	Ct/kWh _{Hs}	4,72	4,72
Grund- / Leistungspreis Strom	€/a		72
Arbeitspreis Strom	Ct/kWh _{el}	17,50	17,50
Energieversorgungskosten	€/a	20.000	8.100
Energieversorgungskosten inkl. MwSt.	€/a	23.800	9.600
Einsparung Verbrauchskosten	€		14.200
Einsparung			60%

Aus dem Vergleich der Energieversorgungskosten der beiden Varianten ist zu erkennen, dass obwohl in der Variante 1 die Stromkosten für eine Kühlung mit in den Verbrauchskosten enthalten sind, deren Energieversorgungskosten nur 9.600 Euro betragen und somit um 60 % günstiger sind als die Verbrauchskosten der Basisvariante mit 23.800 Euro.

Jedoch ist in der Wirtschaftlichkeitsberechnung keine Kosten für den eventuellen Ankauf der Abwärme bzw. des Thermalwassers enthalten.

Fazit

Der Einsatz der Abwasser- bzw. der Thermalwasserwärme für die Raumbeheizung im Untersuchungsgebiet „Auf dem Spieß“ stellt sich beim Vergleich der Energieversorgungskosten als sehr wirtschaftlich dar. Dies resultiert vor Allem daraus, dass durch gezielte Berücksichtigung der Thermalwasserwärmenutzung sowohl bei den Architekten als auch den Haustechnik-Planern im Planungsprozess das Gebäude optimiert auf die Bedürfnisse der Thermalwasserwärmenutzung ausgelegt werden kann. Jedoch sind hier keine Kapital- und Betriebskosten angesetzt worden. Die Einsparung die sich aus der Differenz Verbrauchskosten der beiden Varianten ergibt, können dazu genutzt werden, um bei Durchführung der Variante 1 entstehende Kapital- und Betriebskosten zu decken.

Im Hinblick auf den § 3 des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) vom 01. Januar 2009, ergibt sich die Pflicht für Eigentümer von Neubauten ab einer Nutzfläche von 50 Quadratmetern, einen Teil ihrer Wärmeenergie durch einen vorgeschriebenen Prozentsatz mit erneuerbaren Energien zu versorgen. Demnach muss nach §5 Abs. 4 EEWärmeG bei Verwendung von Geothermie und Umweltwärme der Anteil am Gesamtverbrauch mindestens 50 % betragen. Das bedeutet für das geplante Bauvorhaben, dass die Möglichkeit der Raumbeheizung durch Geowärme der Variante 1 für interessierte Bauherren ein Anreiz sein kann „Auf dem Spieß“ zu bauen und gleichzeitig dieser Pflicht nachzukommen.

Weiterer Vorteil: Zudem bietet die Wärmeübertragung mit TABS eine einfache Einbindung kostenarmer, passiver Kühlung, beispielsweise auf Basis von Grundwasser oder Uferfiltrat.

5.2 Neuquelle - Thermalwassernutzung

Im Untersuchungsgebiet der Neuquelle (Quellenturm) wird die Wirtschaftlichkeit der Raumbeheizung des Statistischen Landesamtes mit den thermalen Wässern der Neuquelle IV im Quellenturm untersucht. Dort konnten in der Vergangenheit durch Pumpen etwa 320 Liter Thermalwasser pro Minute auf einem Temperaturniveau von etwa 45 °C gefördert werden.

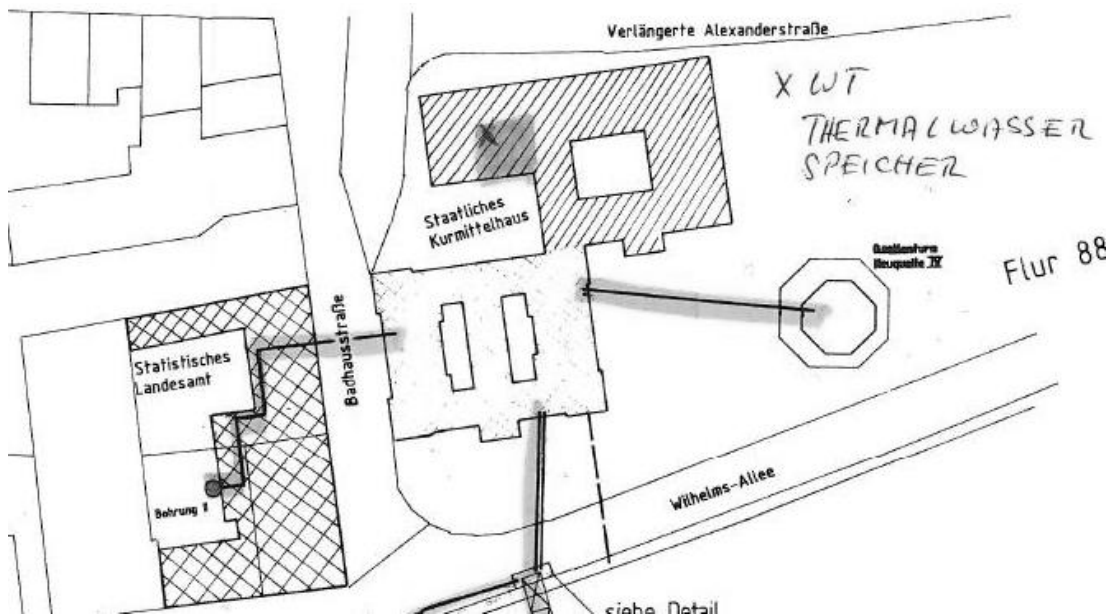


Abb. 39 Katasterplan der Gebäude

Ist-Zustand

Die Büroräume des Statistischen Landesamtes liegen in zwei Gebäuden beidseitig an der Badhausstraße. Westlich der Badhausstraße ist das Statistische Landesamt im 6.812 m² großen, grundlegend sanierten, ehemaligen Kurmittelhaus untergebracht. Auf der östlichen Straßenseite nutzt das Statistische Landesamt einen Gebäudekomplex mit einer Nettogrundfläche von 7.272 m². Dort steht auch eine Heizungsanlage, bestehend aus zwei Erdgas-Brennwertkesseln aus dem Jahr 1996 mit jeweils 370 kW_{th} Heizleistung. Das ehemalige Kurmittelhaus wird von einem Brennwert-Erdgaskessel mit einer Heizleistung von 370 kW_{th} aus dem Baujahr 2001 beheizt. Die beiden Gebäude des Statistischen Landesamtes sind über eine Fußgängerbrücke über der Badhausstraße verbunden.

In Tab. 13 sind die Verbrauchsdaten des Statistischen Landesamtes im Ist-Zustand dargestellt.

Tab. 13 Verbrauchsdaten

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz		
Erdgasverbrauch ¹⁸	1.280.000	kWh _{Hi} /a
witterungsbereinigter Heizwärmebedarf	1.220.000	kWh _{th} /a
derzeit installierte Heizleistung	3*370	kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.150	h/a
NGF Kurmittelhaus	6.812	m ²
NGF Statistisches Landesamt (östlich der Badhausstraße)	7.272	m ²
NGF Summe ¹⁸	14.084	m ²
Spezifischer Heizenergieverbrauch	91	kWh _{HS} /(m ² *a)
Spezifischer Wärmeverbrauch	87	kWh _{th} /(m ² *a)
Spezifische Heizleistung	79	W _{th} /m ²
Gebäudetypische Werte für Verwaltungsgebäude		
Spezifischer Heizenergieverbrauch ¹⁹	103	kWh _{HS} /(m ² *a)
Vollbenutzungsstunden ²⁰	1.500 – 2.400	h/a
Spezifische Heizleistung ²⁰	70 bis 110	W _{th} /m ²

Die eher niedrigen Vollbenutzungsstunden und die spezifische Heizleistung weisen auf eine bedarfsgerechte Dimensionierung der Wärmeerzeuger hin. Die Energieverbrauchskennwerte sind vergleichbar mit den gebäudetypischen Werten für Verwaltungsgebäude.

Vom Quellturm besteht aus einer früheren Nutzung eine Thermalwasserleitung zum Kurmittelhaus. Dort stehen ein Wärmetauscher sowie ein Thermalwasserspeicher die jedoch nicht mehr im Betrieb sind. Im Quellturm sind noch die Pumpen aus der früheren Nutzung zu Heizzwecken installiert. Der Zustand der Anlagenteile ist unbekannt. Es wird angenommen, dass der Wärmetauscher im Statistischen Landesamt erneuerungsbedürftig ist und die Förderpumpen hingegen funktionstüchtig. Für die Umsetzung sollte jedoch die Effizienz der vorhandenen Pumpen ermittelt und gegebenenfalls ein Austausch veranlasst werden. Weiterhin ist in dem Gebäude östlich der Badhausstraße aus einer ehemaligen Nutzung zur Abwärmespeicherung aus einem Rechenzentrum ein Pufferspeicher mit einem Speichervolumen von 5.000 Litern vorhanden.

¹⁸ Mitteilung Statistisches Landesamt

¹⁹ EnEV (2009), Verordnung zur Änderung der Energieeinsparung, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 01. Oktober 2009

²⁰ KUBESSA (1998), „Handbuch für Beratung, Planung und Betrieb“, Zukunftsagentur Brandenburg GmbH

Dimensionierung der Wärmeversorgungsanlagen

Neben der bestehenden Beheizung durch die Brennwert-Erdgaskessel, wird die Wärmeversorgung der Gebäude des Statistischen Landesamtes auf Basis der Thermalwässer betrachtet. Dafür wird die Annahme getroffen, dass die spezifische Heizlast von $79 \text{ W}_{\text{th}}/\text{m}^2\text{NGF}$ in etwa gleich bleibt und somit für weitere Berechnungen weiterhin ein Heizwärmeleistungsbedarf von etwa $1.000 \text{ kW}_{\text{th}}$ besteht.

So werden folgende Wärmeversorgungsanlagen miteinander verglichen:

Basisvariante:

Hierbei wird der Ist-Zustand, also die derzeitige Beheizung mit den vorhandenen Brennwert-Erdgaskesseln betrachtet.

Variante 1:

In Variante 1 handelt es sich um eine bivalente Heizungsanlage bestehend aus einer Wärmepumpe zur Grundlastabdeckung und zwei der drei bestehenden Brennwert-Erdgaskessel für die Spitzenlast.

In Abb. 40 ist die Jahresdauerlinie der Variante 1 abgebildet.

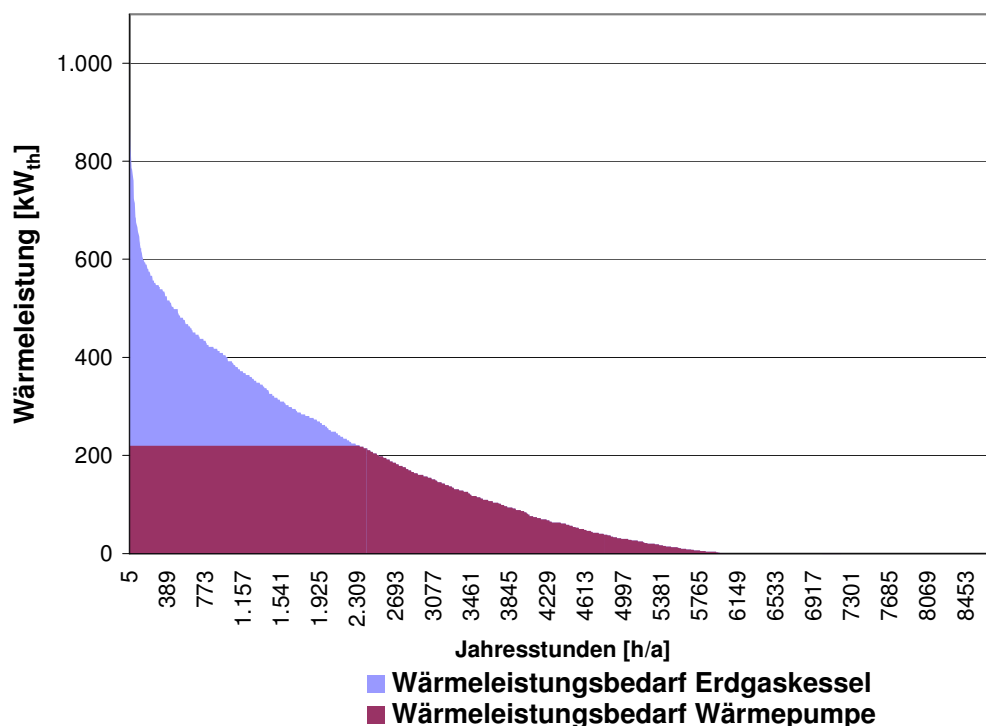


Abb. 40 Jahresdauerlinie Variante 1

Aufgrund des vergleichsweise niedrigen Heizwärmeleistungsbedarfs wird davon ausgegangen, dass mit den bisherigen Wärmeverteileinrichtungen, mit eventuellen Anpassungen, der gesamte Heizleistungsbedarf im Auslegungsfall auf einem Temperaturniveau von 55°C (Vorlauftemperatur) verteilt werden kann.

Voraussetzung für die Nutzung der Thermalwasserwärme ist ein niedriges Temperaturniveau der Heizwärmeverteilung in den Gebäuden. Die installierte Brennwerttechnik sowie die moderaten Verbrauchswerte geben Grund zu der Annahme,

dass der Temperaturbedarf der Wärmeverteilung eher gering ist. Das derzeit „gefahrne“ Temperaturniveau lässt sich ggf. aus der installierten Gebäudeleittechnik auslesen. Bei einer Konkretisierung der Projektidee ist dies zu prüfen. Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde mit einer Vorlauftemperatur von 55°C gerechnet. Dieser Wert ergibt sich als Kompromiss zwischen einerseits einem hohen Temperaturniveau (es können Umbaumaßnahmen / Heizkörperaustausch erforderlich sein) und andererseits einer angemessenen Effizienz der Wärmepumpe (diese nimmt mit höherem Temperaturniveau ab). Die Kosten für die Anpassung der Gebäude und der Wärmeverteilung und -übergabe an das Temperaturniveau können im Rahmen dieser Betrachtung nicht eingerechnet werden. Diese sind zu ermitteln und müssen von den Einsparungen durch Nutzung der Geowärme getragen werden können.

Beschreibung der Geowärmeversorgung Variante 1

Die Raumbeheizung durch Thermalwassernutzung könnte wie folgt erfolgen. Im Quellturm werden aus der Neuquelle IV über die vorhandenen Förderpumpen das bis zu 45 °C warme Thermalwasser zu einem ortsnahe Plattenwärmetauscher gefördert. Dieser entzieht dem Thermalwasser Wärme und gibt diese an ein Wärmenetz ab. Das Wärmenetz verläuft neben der vorhandenen Thermalwasserleitung vom Quellturm aus zum Gebäude des Kurmittelhauses. Dort befindet sich die Übergabestation mit Heizwärmeverteilung. Die bivalent betriebene Heizungsanlage besteht aus der Wärmepumpe und aus zwei der vorhandenen drei Erdgaskessel. Von der Wärmepumpe aus wird die Wärme an das Wärmeverteilungsnetz der Gebäude geleitet. Über die Fußgängerbrücke zwischen den beiden Gebäuden ist die Anbindung zur Wärmeverteilung des Statistischen Landesamtes angedacht. Die Wärmepumpe sorgt für die Grundlastversorgung und in Spitzenlastzeiten werden die Erdgaskessel hinzugeschaltet. Das Einrichten einer gemeinsamen Heizzentrale der beiden Gebäude ist notwendig. Kosten hierfür sind nur in Form einer zu verlegenden Wärmeleitung berücksichtigt.

Energiebilanz

Tab. 14 Energiebilanz

Energiebilanz		Basisvariante Erdgas	Variante 1 Wärmepumpe + Erdgas
Wärmeleistungsbedarf Gesamt	kW_{th}	1.000	1.000
Jahreswärmebedarf	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	1.220.000	1.220.000
Zu installierende Leistung Wärmepumpe	kW_{th}	0	220
Zu installierende Leistung Erdgaskessel	kW_{th}	1.110	740
Gesamt installierte Leistung	kW_{th}	1.110	960
Erdgaskessel			
Auswahl Leistung Erdgaskessel	kW_{th}	1.110	740
Wärmeerzeugung Erdgaskessel	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	1.220.000	398.000
Erdgasverbrauch (Heizwert)	$\text{kWh}_{\text{Hl}}/\text{a}$	1.280.000	420.000
Erdgasverbrauch (Brennwert)	$\text{kWh}_{\text{HS}}/\text{a}$	1.410.000	460.000
Deckungsgrad Wärmeerzeugung	%	100%	77%
Deckungsgrad Wärmeerzeugung	%	100%	33%
Jahresnutzungsgrad	%	95%	95%
Heizwert Erdgas	$\text{kWh}_{\text{Hl}}/\text{m}^3$	10	10
Brennwert Erdgas	$\text{kWh}_{\text{HS}}/\text{m}^3$	11	11
Erdgasmenge Heizkessel	m^3/a	128.000	42.000
Wärmepumpe			0,74
Auswahl Leistung Wärmepumpe	kW_{th}		220
Wärmeerzeugung Wärmepumpe	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$		823.000
Deckungsgrad Wärmeleistungsbedarf	%		23%
Deckungsgrad Wärmeerzeugung	%		67%
Leistungszahl Wärmepumpe (COP)			5,1
Jahresarbeitszahl der WP (JAZ)			3,8
Arbeit W_{el} Jahresstrombedarf WP	$\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$		214.000
Thermalwasserwärmeverbrauch der WP	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$		610.000
Strom			
Wärmepumpenstrombedarf	$\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$		214.000
Hilfsenergiebedarf Strom	$\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$	12.200	12.200
Strombedarf Umwälzpumpe Wärmenetz	$\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$		2.500
Strombedarf Förderpumpe Thermalwasser	$\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$		5.400

Kohlendioxid-äquivalente-Emissionsbilanz

Tab. 15 Kohlendioxid-äq.-Emissionsbilanz

CO₂-Emissionsbilanz IST		Basisvariante	Variante 1
		Erdgas	Platten-WT Wärmepumpe
Erdgasbedarf Heizkessel (Heizwert)	kWh _{Hi} /a	1.280.000	420.000
spez. CO ₂ -Emissionen Erdgas	g CO ₂ /kWh _{Hi}	254	254
CO₂-Emissionen Heizkessel	t CO₂/a	320	110
Strombedarf Wärmepumpe	kWh _{el} /a		214.000
CO₂-Emissionen Strom Wärmepumpe	t CO₂/a		137
Hilfsenergiebedarf Strom	kWh _{el} /a	12.800	4.200
spez. CO ₂ -Emissionen Strom	g CO ₂ /kWh _{el}	641	641
CO₂-Emissionen Hilfsenergiebedarf	t CO₂/a	8	3
Strombedarf Umwälzpumpe Wärmenetz	kWh _{el} /a		2.500
CO₂-Emissionen Umwälz Wärmenetz	t CO₂/a		2
Strombedarf Förderpumpe	kWh _{el} /a		5.400
CO₂-Emissionen Förderpumpe	t CO₂/a		3
CO₂-Emissionen Gesamt	t CO₂/a	328	255

Kohlendioxid-äq.-Emissionsbilanz

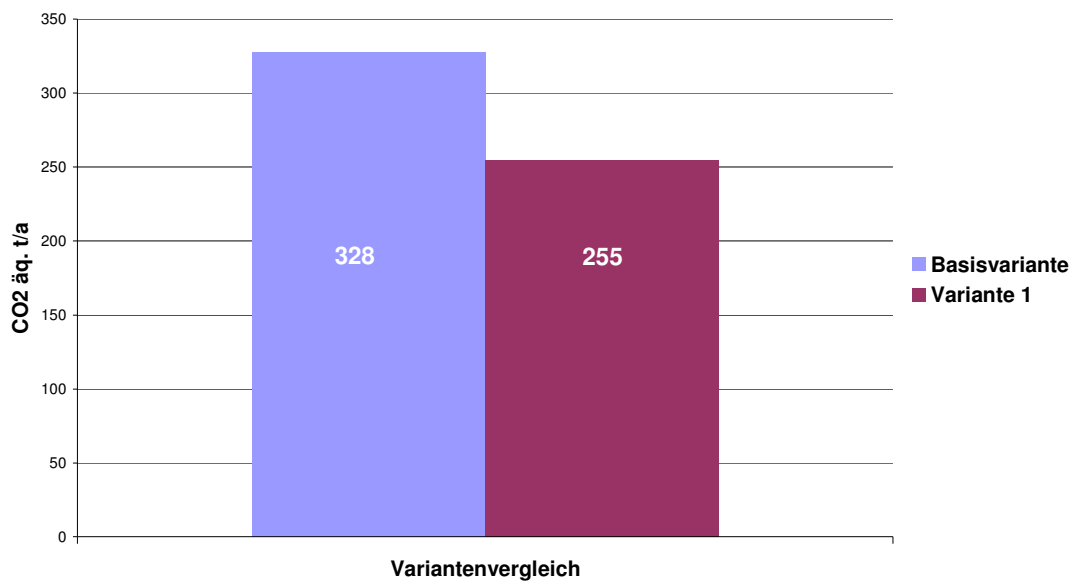


Abb. 41 Kohlendioxid-äq.-Emissionsbilanz

Aus Tab. 15 und Abb. 41 ist zu erkennen, dass mit der Geowärme der Variante 1 etwa 73 Tonnen an Emission klimawirksamer Schadgase im Gegensatz zur Basisvariante eingespart werden.

Wirtschaftlichkeit

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung fließen lediglich die Kosten für die Wärmeerzeugung und Wärmeerschließung ein. Bei der Basisvariante werden fallen keine Investitionskosten an, da dort der IST-Zustand betrachtet wird. Weiterhin sind für Variante 1 Fördermittel der BAFA für die Wärmepumpe in Höhe von 6.000 Euro, Fördermittel der KfW für das Wärmenetz sowie Zinszuschüsse durch das Zinszuschussprogramm des Landes Rheinland-Pfalz mit eingerechnet.

Tab. 16 Investitionskosten

Investitionen		Basisvariante	Variante 1
			Wärmepumpe
		NT-Erdgaskessel	NT-Erdgaskessel
Wärmeerzeuger			
Erdgaskessel	€		0
Wärmepumpe	€		41.100
Fördermittel für Wärmepumpe BAFA	€		-6.000
Anteil Zinszuschüsse für Wärmepumpe	€		-4.600
Summe Wärmeerzeuger	€		41.100
Summe Wärmeerzeuger inkl. Fördermittel	€		30.500
Wärmeerschließung			
Wärmenetz	€		41.500
Fördermittel Wärmenetz KfW	€		-3.600
Anteil Zinszuschüsse für Wärmenetz	€		-4.900
Wärmetauscher	€		8.000
Anteil Zinszuschüsse für Wärmetauscher	€		-1.000
Summe Wärmeerschließung	€		49.500
Summe Wärmeerschließung inkl. Fördermittel	€		40.000
Planung, Unvorhergesehenes (15%)	€		10.600
Anteil Zinszuschüsse für Planung	€		-1.400
Summe Planung, Unvorhergesehenes	€		10.600
Summe Planung, Unvorher. Inkl. Förderung	€		9.200
Gesamtinvestition	€	0	101.200
Gesamtinvestition inkl. MwSt.	€	0	120.000
Gesamtinvestition inkl. Fördermittel	€	0	79.700
Gesamtinvestition inkl MwSt. und Fördermittel	€	0	95.000

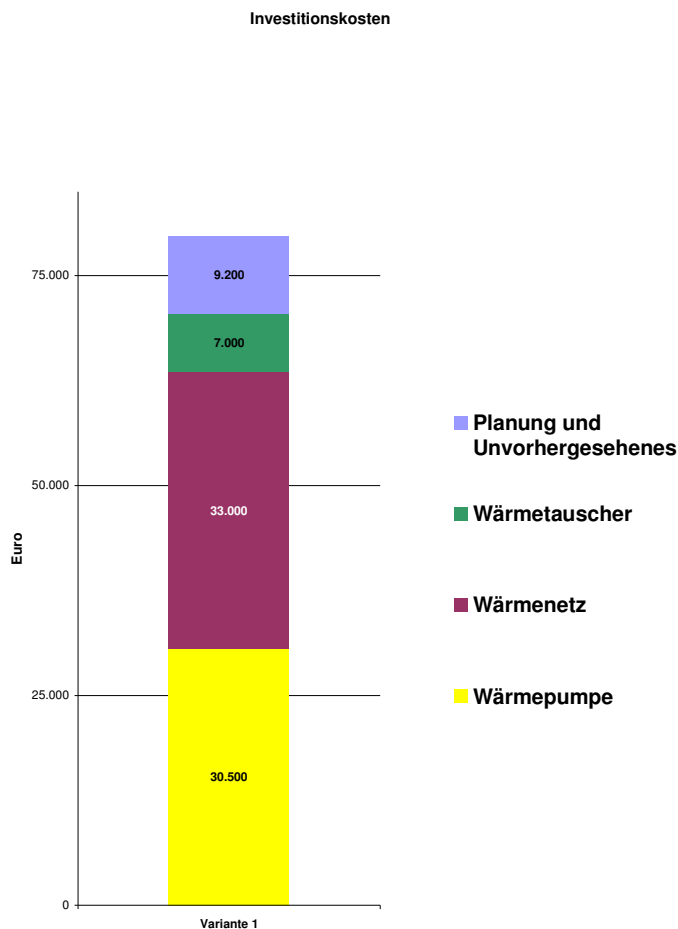


Abb. 42 Investitionskosten

Da die Brennwert-Erdgaskessel in der Basisvariante bestehen bleiben, entstehen für diese Variante keine Investitionskosten. Wie in Tab. 16 und Abb. 42 abgebildet, betragen die Investitionskosten für Variante 1 inklusive Mehrwertsteuer und Fördermittel 95.000 Euro.

Tab. 17 Wirtschaftlichkeit

Wirtschaftlichkeit		Basisvariante	Variante 1
inkl. MwSt			Wärmepumpe
		BW-Erdgaskessel	BW-Erdgaskessel
Gesamtinvestition	€		120.000
inkl. Förderung	€		95.000
Kapitalkosten	€/a		8.800
Kapitalkosten inkl. Förderung	€/a		7.200
Verbrauchsdaten	€/a	87.000	61.000
Betriebskosten	€/a	4.300	6.200
Jahreskosten	€/a	91.300	76.000
inkl. Förderung	€/a	91.300	74.400
Anteil Kapitalkosten an Jahreskosten	%	0%	10%
Anteil Verbrauchsdaten an Jahreskosten	%	95%	82%
Anteil Betriebskosten an Jahreskosten	%	5%	8%
Wärmepreis	Ct/kWh	7,48	6,23
inkl. Förderung	Ct/kWh	7,48	6,10

Aus der Tab. 17 ist ersichtlich, dass, obwohl für die Basisvariante keine Kapitalkosten anfallen, der Wärmepreis der Basisvariante mit 7,48 Ct/kWh_{th} um 23 % höher ist als der Wärmepreis der Variante 1 mit 6,10 Ct/kWh_{th} (beide inklusive Mehrwertsteuer und Fördermittel). Das liegt vor allem an den sehr hohen Verbrauchskosten der Basisvariante, die 95 % der Jahreskosten ausmachen.

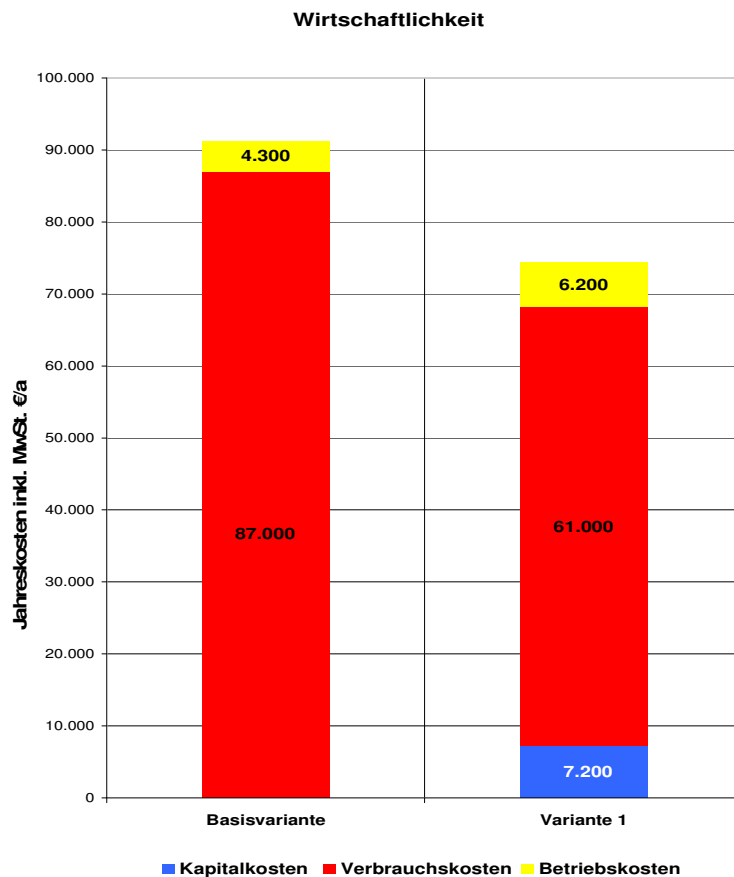


Abb. 43 Wirtschaftlichkeit

Wie in Abb. 43 deutlich zu erkennen ist, dominieren in beiden Varianten die Verbrauchskosten. Weiterhin ist festzustellen, dass die Jahreskosten für die Variante 1 in Höhe von 74.400 Euro geringer ausfallen, als die Jahreskosten der Basisvariante mit 91.300 Euro. Daraus ergibt sich eine Einsparung von 16.900 Euro pro Jahr.

Setzt man die Gesamtinvestitionskosten der Variante 1 von 120.000 Euro ins Verhältnis zu den jährlichen Einsparungen an Betriebs- und Verbrauchskosten, erhält man daraus eine Amortisationsdauer von etwa 4 Jahren. Das bedeutet, dass die Investitionssumme der Geowärmeanlage in etwa 4 Jahren wiedergewonnen wird.

Fazit

Der Einsatz der Thermalwasserwärme aus der Neuquelle stellt sich als wirtschaftlich dar. Die bivalente Gebäudebeheizung mittels der Geowärme ist günstiger im Vergleich zur Wärmeversorgung auf Basis des Energieträgers Erdgas. Das liegt vor allem daran, dass die Basisvariante sehr verbrauchskostenabhängig vom Erdgas ist. Von Vorteil für das Untersuchungsgebiet Neuquelle ist vor allem die geringe Entfernung der Wärmequelle aus dem Quellenturm zum Statistischen Landesamt. Denn im Vergleich zu anderen Untersuchungsgebieten fallen hier geringe Kosten für eine Wärmeleitung an, sodass auch die Kapitalkosten relativ niedrig sind. Selbst ohne die Gewährung von Fördermitteln sind

die Jahreskosten und der Wärmepreis der Variante 1 geringer als bei der Basisvariante. Diese jährlichen Einsparungen könnte man Nutzen, um eine zukünftig anstehende Gebäudesanierung oder einen notwendigen Heizkörperaustausch zu finanzieren.

5.3 Thermalbad - Thermalwassernutzung

Direkt an der Lahn liegt das Thermalbad „Emser Therme“. Die Staatsbad GmbH plante das alte Thermalbad mit Kur- und Therapiezentrum gegen einen Neubau zu ersetzen. Aus dem Grund wurde im Mai 2007 eine europaweite Ausschreibung gestartet, um einen neuen Bauherrn und Betreiber für das neue Thermalbad zu suchen. Die Ausschreibung endete erfolgreich im Herbst 2007. Die neue Emser Therme soll 2011 eröffnet werden. In Abb. 44 ist die Lage des zurzeit bestehenden Gebäudes des Thermalbades und der AOK-Klinik gekennzeichnet.

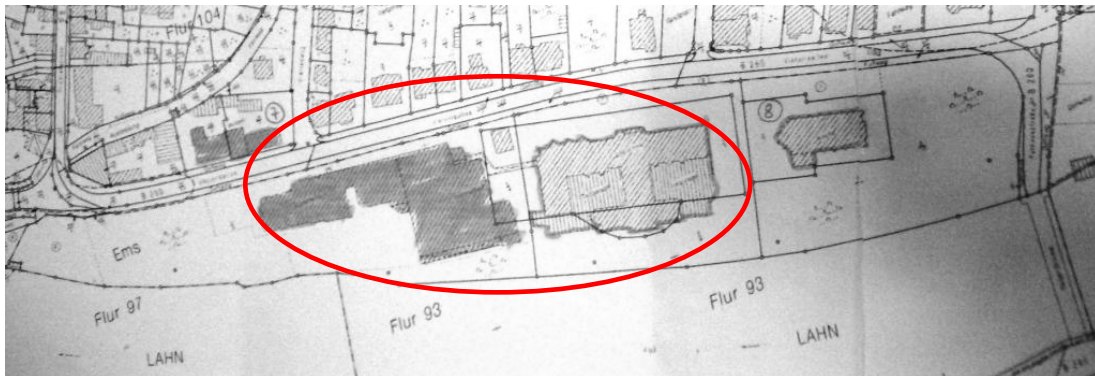


Abb. 44 Katasterplan Thermalbad und AOK-Klinik

Ist Zustand

Im Auftrag der Staatsbad GmbH Bad Ems wurde im Dezember 2007 durch die Beratungs- und Ingenieurgesellschaft mbH EBE ein Gutachten zur Wirtschaftlichkeit verschiedener Varianten einer neuen Wärmeversorgung mit Wärmelieferung an den neuen Betreiber des Thermalbades und die ortsnahe AOK-Klinik erstellt. Aus dieser Studie wurden die Daten für den Bedarf an Wärme und Wärmeleistung des Thermalbades und der AOK-Klinik genommen, siehe Tab. 18.

Tab. 18 zukünftiger Wärmebedarf Thermalbad

Thermalbad (Neubau)		
Wärmebedarf ²¹	2.400.000	kWh _{th} /a
benötigte Heizleistung ²¹	1.200	kW _{th}
Vollbenutzungsstunden ²²	2.000	h/a
Bezugsgebäudefläche	k.A.	m ²
spez. Wärmeverbrauch	-	kWh _{th} /(m ² a)
spez. Heizleistung	-	W _{th} /m ²

²¹ Laut EBE, Daten der Wärmelieferung Januar 2006 bis Oktober 2007

²² Staatsbad GmbH

Tab. 19 Heizenergiebedarf AOK-Klinik

AOK-Klinik Gemeinsame Wärmeversorgung mit Thermalbad durch Staatsbad GmbH		
Witterungsbereinigter Wärmebedarf	1.055.000	kWh _{th} /a
benötigte Heizleistung	690	kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.529	h/a
Bezugsgebäudefläche	k.A.	m ²
spez. Wärmeverbrauch	-	kWh _{th} /(m ² a)
spez. Heizleistung	-	W _{th} /m ²

Thermalbäder benötigen für verschiedene Anwendungen Wärme:

- Raumwärmeerzeugung (Raumtemperaturen liegen etwas höher als Wassertemperaturen)
- Beckenwassererneuerung (Thermalwasser)
- Beckenwassererwärmung
- Duschwassererwärmung (Brauchwarmwasser)

Derzeit wird die neben dem Thermalbad liegende AOK-Klinik durch die Heizungsanlage des Thermalbades mit Wärme versorgt. Die AOK-Klinik benötigt Wärme auf einem höheren Temperaturniveau. Da keine gegenteiligen Angaben vorliegen, wird davon ausgegangen, dass die AOK-Klinik weiter vom Thermalbad mit Wärme versorgt wird.

Es wird angenommen, dass sich der Wärmebedarf auf folgende Anwendungen wie folgt aufteilt:

Tab. 20 Aufteilung Wärmeverbrauch Thermalbad und AOK-Klinik ²³

Nr.	Anwendung	Temperatur	Anteil ²⁴	Wärmebedarf [kWh _{th} /a]
1	Beckenwassererwärmung / -austausch	34 °C	28 %	960.000
2	Flächenheizung	45 °C	20 %	686.400
3	BWW-Erwärmung	60 °C	15 %	513.600
4	Lüftung	70 °C	7 %	240.000
5	AOK-Klinik	70 °C	30 %	1.055.000

²³ Die Annahmen sind so getroffen, dass sich ein großer Teil der benötigten Wärme geothermisch zur Verfügung stellen lässt. Durch geeignete bauliche und gebäudetechnische Konzeption des Thermalbades lassen sich die Anteile der möglichen Wärmeverteilung in einer weiten Spanne variieren.

²⁴ Am Gesamtjahreswärmebedarf von Neubau des Thermalbades und AOK-Klinik; geschätzt

Anhand dieser Daten wurde eine Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs abgeschätzt.

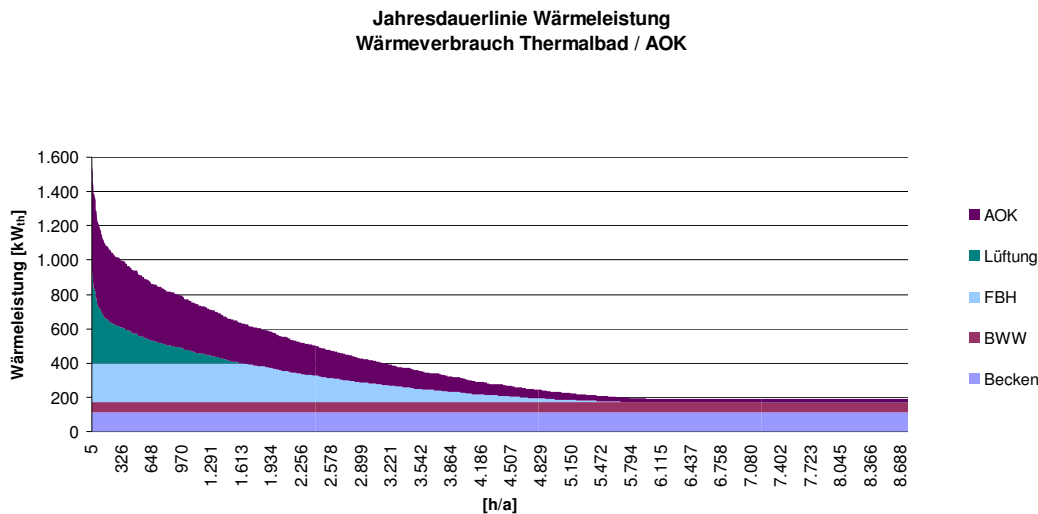


Abb. 45 Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs Thermalbad und AOK-Klinik
AOK=AOK-Klinik; FBH=Fußbodenheizung; BWW=Brauchwarmwasser

Die in der Abb. 45 dargestellten Flächen zeigen den für die jeweils betrachteten Anwendungen benötigten Jahreswärmebedarf.

Zur Versorgung des Thermalbades mit Thermalwasser steht ein Teilstrom von stündlich 21.000 Litern Thermalwasser aus der Bohrung 1a auf einem Temperaturniveau von 55 °C zur Verfügung. Dieser Teilstrom wird derzeit bereits durch eine wärmegeämmte Rohrleitung zum Thermalbad geliefert, so dass keine weiteren Investitionen für die Erschließung des Transportweges für das Thermalwassers anfallen. Zur Beckenwassererneuerung werden etwa täglich 100.000 Liter²⁵ des Thermalwasserstromes verwendet, dass zuvor jedoch von Eisen und Mangan gereinigt wird.

Derzeit wird das nicht oder nicht weiter benötigte Thermalwasser vor Einleitung in die Lahn im Thermalbad mittels eines elektrisch betriebenen Luftkühlers auf etwa 30 °C heruntergekühlt. Grund dafür ist die Süßwasserqualitätsverordnung vom 09. Juli 1997, welche die Qualitätsanforderungen für die Gewässerbenutzung regelt. Daraus leitet sich der Emissionsgrundsatz, dass Kühlwässer bei Einleitung in ein Fließgewässer maximal 30 °C warm sein dürfen. Der hierfür aufzuwendende Strom vermindert sich mit steigender Auslastung der geothermischen Nutzung der Thermalwässer. Dennoch kann nicht die gesamte Wärme des Thermalwasserstromes verwendet werden, daher muss auch weiterhin das in die Lahn bzw. in den Emsbach einzuleitende Thermalwasser aktiv gekühlt werden. Die Abschätzung des Kühlaufwandes ist nicht Bestandteil dieser Arbeit.

Dimensionierung der Wärmeversorgungsanlagen

Nachfolgend wird die geothermische Wärmeversorgung in den Varianten 1 und 2 mit der Basisvariante: „Beheizung des Thermalbades und der AOK-Klinik mit Erdgas-Brennwärtekesseln“ verglichen.

²⁵ Staatsbad GmbH: „Wissenswertes über das Thermalquellwasser der Emser Therme“ daraus: derzeit 120.000 l/d Beckenwassererneuerung, Annahme Neubau: 100.000 l/d

Basisvariante

In der Basisvariante, werden der Austausch und die Erwärmung des Beckenwassers mit dem Thermalwasser und die Bereitstellung der Wärme für Raumheizung und Brauchwarmwasser mit Erdgas-Brennwertkesseln betrachtet.

Variante 1

Die Thermalwässer der Bohrung 1a werden über eine Thermalwasserleitung zum Thermalbad geleitet und dort direkt zur Raumheizung und Brauchwarmwasser-Vorerwärmung genutzt. Die Bereitstellung der restlichen Wärme auf einem höheren Temperaturniveau wird durch einen Erdgas-Brennwertkessel gewährleistet.

Variante 2

Die Variante 2 ist identisch mit Variante 1. Jedoch wird ein Teil der benötigten Wärme neben der Direktnutzung der Thermalwässer durch eine Wärmepumpe bereitgestellt. Die Wärmepumpe dient somit zur Grundlastversorgung mit Wärme. Die Deckung des Wärmebedarfs in Spitzenlastzeiten wird wie in Variante 1 durch einen Erdgas-Brennwertkessel gewährleistet. Durch diese Art der Verschaltung kann ein höherer Anteil an der Geowärmebereitstellung im Vergleich zur Varianten 1 ermöglicht werden.

In Abb. 46 ist eine schematische Darstellung der Geowärmeversorgung dargestellt. Denkbar wäre es, die Raumwärmeerzeugung in der Grundlast über Flächenheizungen in den Fußböden und/oder in den Wänden zu errichten. Hier wären eine maximale Vorlauftemperatur von etwa 45 °C und eine Rücklauftemperatur von etwa 38 °C denkbar. Die in der Heizperiode zusätzlich benötigte Wärmeleistung zur Raumbeheizung könnte durch ein Heizregister in der Lüftungsanlage zur Verfügung gestellt werden. Das Heizregister benötigt höhere Vorlauftemperaturen und könnte so ausgelegt werden, dass es von einem Erdgaskessel mit Wärme versorgt wird und lediglich für die Spitzenlast benötigt wird.

Das Brauchwarmwasser zum Duschen könnte in einem Speicher durch das Thermalwasser auf bis zu etwa 55 °C vorgewärmt werden und durch den Spitzenlastkessel auf die benötigte Temperatur erhitzt werden. Für diese Betrachtung wird angenommen, dass etwa 50 % der Wärmebereitstellung für das Brauchwarmwasser durch Direktübertragung von Geowärme zur Verfügung gestellt werden kann.

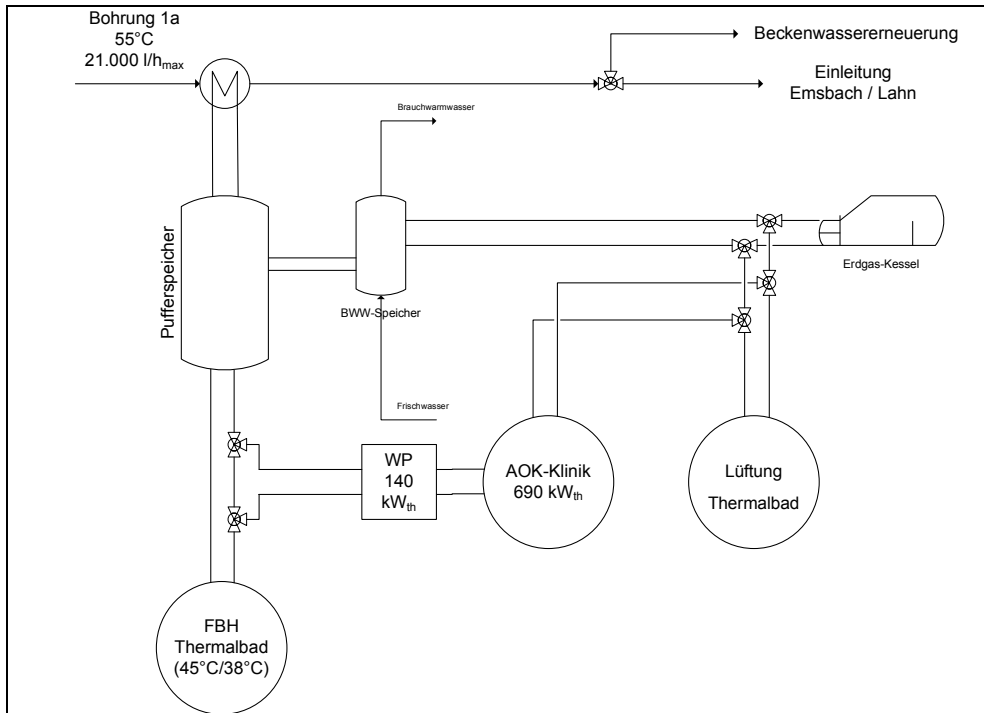


Abb. 46 Auswahl zu installierenden Technik Variante 2 Thermalbad
Variante 1 entsprechend ohne WP inkl. Zu- / Ableitungen (schematische Darstellung)

In Abb. 47 ist die Aufteilung der Wärmeerzeugung auf die verschiedenen Wärmeerzeuger in einer Jahresdauerlinie dargestellt.

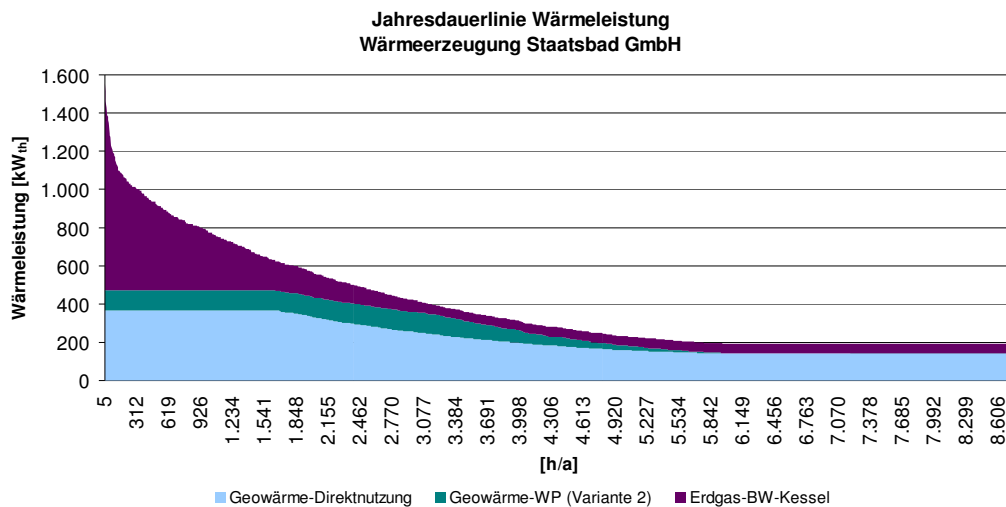


Abb. 47 Jahresdauerlinie Variante 2 Thermalbad und AOK-Klinik (Variante 2)

In Abb. 47 zeigt sich, dass die Wärmeerzeugung für die Spitzenlast (sowie Lüftungsanlage und teilweise AOK-Klinik) zwar mit einer großen Nennwärmeleistung (etwa 1.200 kW_{th}) bereitgestellt werden muss, diese aber nur einen relativ kleinen Anteil an der Gesamtwärmeerzeugung hat. Die Wärmeerzeugung auf Basis der Direktnutzung der Thermalwässer (verwendbar für Beckenwasseraustausch, Flächenheizung und Brauchwarmwasser-Vorerwärmung) könnte in der Nennwärmeleistung kleiner als die Spitzenlast dimensioniert werden, stellt aber einen weit größeren Anteil der Wärme zur Verfügung. Diese Betriebsweise stellt sich als günstig dar, da die Betriebskosten für die Geowärme-Direktnutzung wesentlich günstiger als für den Erdgaskessel sind. Die in der

Variante 2 durch die Wärmepumpe abgedeckte Wärmeleistung wird in der Variante 1 durch den Spitzenlastkessel abgedeckt.

Energiebilanz

In der Energiebilanz sind die umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen für die Wärmeversorgung des Thermalbades und der AOK-Klinik aufgeführt.

Tab. 21 Energiebilanz

Energiebilanz		Basisvariante Erdgas zentral	Variante 1	Variante 2
			Direkt-Geo	Direkt-Geo
			Erdgas	WP
				Erdgas
Jahreswärmebedarf Thermalbad und AOK-Klinik	kWh _{th} /a	3.455.000	3.455.000	3.455.000
Wärmenutzung Geowärme Direkt	kWh _{th} /a	967.000	2.021.000	2.021.000
Deckungsgrad Wärmenutzung Geowärme Direkt (Beckenwasseraustausch)		28%	58%	58%
Leistung GeowärmeWP	kW _{th}			105
Deckung Heizlast durch Geowärme WP				6%
Vollbenutzungsstunden Geowärme WP	h/a			2.057
Hilfsenergie Strom Geowärme WP	kWh _{el} /a			49.000
Wärmeerzeugung Geowärme WP	kWh _{th} /a			216.000
Deckungsgrad Wärmeerzeugung Geowärme WP				6%
Leistung Spitzenlastkessel	kW _{th}	1.618	1.351	1.246
Deckung Heizlast durch Spitzenlast		94%	78%	72%
Vollbenutzungsstunden Spitzenlast	h/a	1.538	1.062	978
Wärmeerzeugung Spitzenlast	kWh _{th} /a	2.488.000	1.434.000	1.218.000
Deckungsgrad Wärmeerzeugung Spitzenlast		72%	42%	35%

Tab. 22 Kohlendioxid-äq.-Emissionsbilanz

Kohlendioxid-äq.-Emissionsbilanz		Basisvariante Erdgas	Variante1 Direkt-Geo Erdgas	Variante2 Direkt-Geo WP Erdgas
Spezifische CO ₂ -Emission Erdgas	g(CO ₂)/kWh _{Hi}	254	254	254
Spezifische CO ₂ -Emission Strom	g(CO ₂)/kWh _{el}	641	641	641
Einsatz Erdgas	kWh _{Hi} /a	2.619.000	1.509.000	1.282.000
CO₂-Emission Erdgas	t(CO₂)/a	665	383	326
Einsatz elektrische Energie Erdgaskessel	kWh _{el} /a	24.900	14.300	12.200
Einsatz elektrische Energie Wärmepumpe	kWh _{el} /a			49.000
CO₂-Emission Gesamt-Strom	t(CO₂)/a	6	4	16
CO₂-Emission gesamt	t(CO₂)/a	672	387	341
CO ₂ -Emission Einsparung	t(CO ₂)/a		285	330
relative Einsparung			42%	49%

Kohlendioxid-äq.-Emissionsbilanz

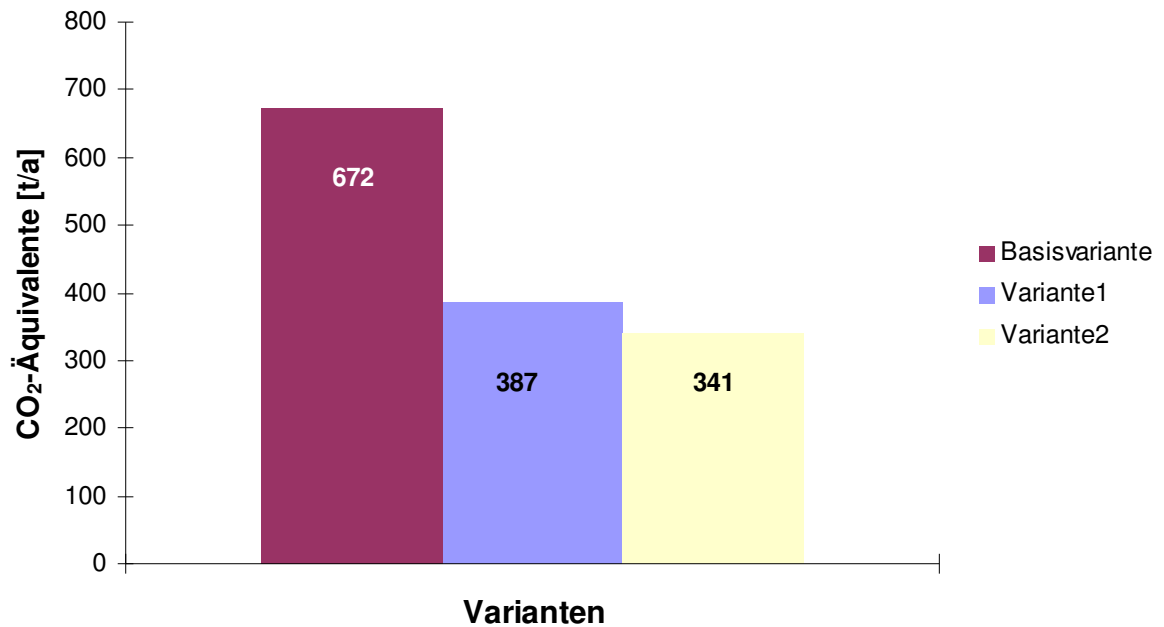


Abb. 48 Kohlendioxid-äq.-Emissionsbilanz

Durch die Geowärmenutzung der Variante 1 können 42 % klimawirksamer Schadgase im Vergleich zur Basisvariante eingespart werden. Bei der Variante 2 sind es 57 %. Das entspricht einer jährlichen Einsparung für Variante 1 von 284 Tonnen CO₂ und für Variante 2 einer Einsparung von 331 Tonnen CO₂ (siehe Tab. 22 und Abb. 48).

Wirtschaftlichkeit

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden die Kosten für die zu installierenden Wärmeverteilungseinrichtungen nicht berücksichtigt. Es fließen lediglich die Kosten für die Wärmeerzeugung und Wärmeerschließung ein. Weiterhin sind Fördermittel der BAFA für die Wärmepumpe in Höhe von 6.000 Euro sowie Zinszuschüsse durch das Zinszuschussprogramm des Landes Rheinland-Pfalz mit eingerechnet.

Tab. 23 Investitionen

Investitionen		Basisvariante Erdgas	Variante1 Direkt-Geo Erdgas	Variante2 Direkt-Geo Wärmepumpe Erdgas
Wärmeerzeugung				
Erdgaskessel	€	77.000	77.000	77.000
Wärmepumpe	€	0	0	27.400
Fördermittel Wärmepumpe BAFA	€	0	0	-6.000
Anteil Zinszuschüsse Wärmepumpe	€			-2.800
Pufferspeicher	€	0	12.000	12.000
Anteil Zinszuschüsse Pufferspeicher	€			-1.600
BWW-Speicher	€	9.000	9.000	9.000
Summe Wärmeerzeugung	€	86.000	98.000	125.000
Summe Wärmeerzeugung inkl. Fördermittel	€	86.000	98.000	115.000
Wärmeerschließung				
Wärmetauscher	€		14.500	14.500
Anteil Zinszuschüsse Wärmetauscher	€			-1.900
Summe Wärmeerschließung	€		14.500	14.500
Summe Wärmeerschließung inkl. Fördermittel KfW	€		14.500	12.600
Planung, Unvorhergeheenes				
Planung, Unvorhergeheenes (15%)	€	12.900	16.900	21.000
Anteil Zinszuschüsse Planung, Unvorherg.	€			-2.700
Summe Planung, Unvorherg.	€	12.900	16.900	21.000
Summe Planung, Unvorherg. inkl. Fördermittel	€	12.900	16.900	18.300
Gesamtinvestition	€	98.900	129.400	160.500
Gesamtinvestition inkl. MwSt.	€	118.000	154.000	191.000
Gesamtinvestition inkl. aller Fördermittel	€	98.900	129.400	145.900
Gesamtinvestition inkl MwSt. und Fördermittel	€	118.000	154.000	174.000

Betrachtet man die Tabelle 6 erkennt man, dass die Investitionskosten der Wärmeerzeugung durch Thermalwasser zwischen 154.000 Euro und 174.000 Euro inklusive Mehrwertsteuer und Fördermittel liegen.

Tab. 24 Jahreskosten

Jahreskosten inkl. MwSt.		Basisvariate Erdgas	Variante1 Direkt-Geo Erdgas	Variante2 Direkt-Geo Erdgas Wärmepumpe
Jahresgesamtkosten / Wärmepreis				
Kapitalkosten	€/a	9.700	13.000	16.100
Kapitalkosten inkl. Förderung	€/a	9.700	13.000	15.200
Verbrauchskosten	€/a	166.700	97.100	89.800
Betriebskosten	€/a	6.700	6.700	7.400
Anteil Kapitalkosten an Gesamtkosten		5%	11%	14%
Anteil Verbrauchskosten an Gesamtkosten		91%	83%	80%
Anteil Betriebskosten an Gesamtkosten		4%	6%	7%
Jahresgesamtkosten	€/a	183.100	116.800	113.300
Jahresgesamtkosten inkl. Förderung	€/a	183.100	116.800	112.400
jährliche Einsparung	€/a		66.300	70.700
Wärmepreis (gemittelt)	Ct/kWh _{th}	5,30	3,38	3,28
Wärmepreis inkl. Förderung	Ct/kWh_{th}	5,30	3,38	3,25

Jahresgesamtkosten

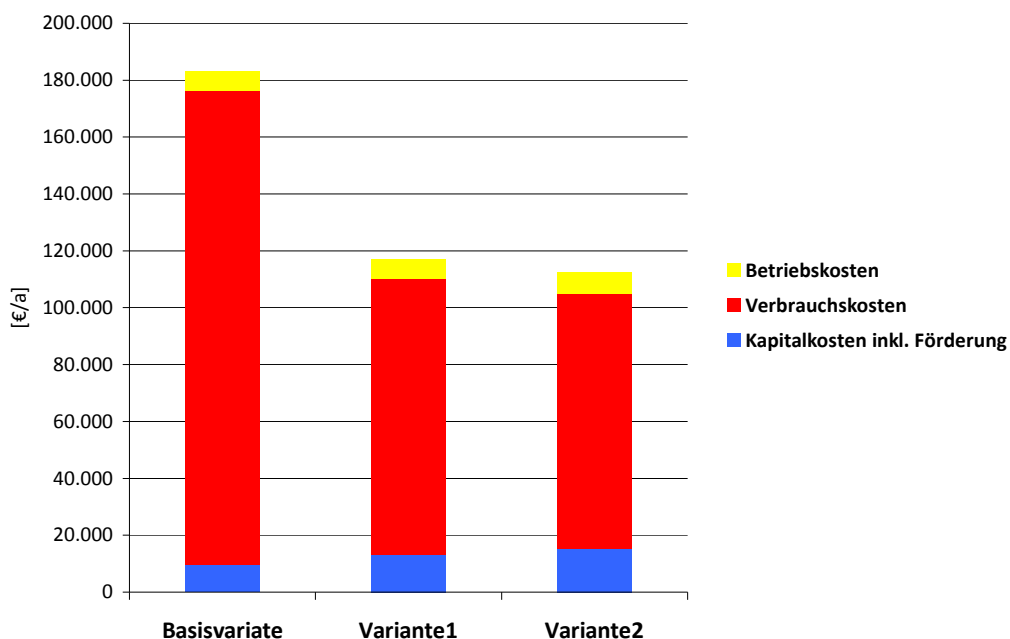


Abb. 49 Jahreskosten

zu erkennen, erzielt die Wärmeversorgung für beide Geowärmevarianten die gewünschte Kosteneinsparung. Die Jahreskosten der Variante 2 sind mit 104.200 Euro am niedrigsten. Danach folgt die Variante 1 mit Jahreskosten in Höhe von 116.800 Euro. Im Gegensatz dazu sind die Jahreskosten der Basisvariante mit 183.100 Euro am höchsten. Das bedeutet, dass sich bei einem Vergleich der Basisvariante und der Variante 2 eine jährliche Einsparung von 78.900 Euro ergibt.

Setzt man nun die Gesamtinvestitionen inkl. MwSt. und Förderungen ins Verhältnis zu den jährlichen Einsparungen an Betriebs- und Verbrauchskosten, so ergeben sich folgende Amortisationszeiten: Die Investition von Variante 1 amortisiert sich in etwa 2,2 Jahren und bei Variante 2 in ungefähr 2,4 Jahren.

Die Jahreskosten der Basisvariante bestehen zu 91 % aus Verbrauchskosten. Das bedeutet, dass die Wärmeversorgung der Basisvariante sehr abhängig von Preissteigerungen des Erdgases ist.

Der Wärmepreis aller Varianten liegt zwischen 5,30 Ct/kWh_{th} und 3,02 Ct/kWh_{th}. Bei der Variante 2 fällt der Wärmepreis mit 3,02 Ct/kWh_{th} um 76 % geringer aus als bei der Basisvariante. Das liegt vor allem daran, dass die Verbrauchskosten der Geowärmevariante sehr viel niedriger sind als die der Basisvariante.

Fazit

Der Einsatz der Thermalwasserwärme nach balneologischer Nutzung zur energetischen Wärmenutzung hat sich unter den zu Grunde gelegten Annahmen als wirtschaftlich herausgestellt. Eine der beiden Geowärmevarianten sollte demnach beim Neubau des Thermalbades und der AOK-Klinik in Betracht gezogen werden. Hierfür ist ein interdisziplinärer Planungsprozess mit den Beteiligten Architekten, Haustechnik-Planern und Schwimmbadtechnik-Planern notwendig. Der Planungsprozess könnte in Form eines „Energiedesigns“ von unserem Institut begleitet werden.

5.4 Stadtstollen - Grubenwassernutzung

Im Untersuchungsgebiet des Stadtstollens wird die geothermische Wärmeversorgung des Rathauses der Verbandsgemeinde Bad Ems näher betrachtet. Das Gebäude des Rathauses befindet sich an der Bleichstraße 1. Als Wärmequelle steht das frei auslaufende Grubenwasser des Stadtstollens zur Verfügung. Dort fließen relativ konstant 35 Liter Grubenwasser pro Sekunde aus dem Entwässerungskanal auf einem Temperaturniveau von 23 °C ungenutzt in den Emsbach.

Ziel der Untersuchung ist ein wirtschaftlicher und ökologischer Vergleich einer Grubenwasserwärmeversorgung mit dem bestehenden Heizsystem, bzw. Erneuerung durch ein Heizsystem gleicher Art.

Es wird eine Minderung des Heizwärmebedarfs durch Modernisierung des Gebäudes angenommen.

Zum besseren Vergleich der Wirtschaftlichkeit wird beim Variantenvergleich davon ausgegangen, dass im Rahmen einer Gebäudemodernisierung der Wärmeschutzstandard verbessert wird und damit der Jahreswärmeverbrauch in der Zukunft abnimmt. Dies ist für den Einsatz der Geowärme zwingend notwendig. Investitionskosten für die Gebäudemodernisierung können im Rahmen dieser Studie nicht abgeschätzt werden.

Ist-Analyse

Tab. 25 Datenbasis

Quelle	Datum	
Schornsteinfegerprotokoll	2005	Bezirksschornsteinfegermeister Bernd Holl
Erdgasverbrauch	2001 - 2008	VG Bad Ems

In der Ist-Analyse werden zunächst die energierelevanten Verbrauchsdaten und die Kenngrößen der installierten Anlagentechnik des Rathauses ausgewertet und mit gebäudetypischen Werten aus der Literatur verglichen. Die erhaltenen Daten und Angaben wurden von der Verbandsgemeindeverwaltung Bad Ems zur Verfügung gestellt und wurden ungeprüft übernommen.

Wärmeversorgung

Die Wärmeversorgung der öffentlichen Liegenschaft erfolgt derzeit durch zwei Erdgas-Niedertemperaturkessel. Das Hauptgebäude des Rathauses hat eine Fläche von etwa 2.690 Quadratmetern und wird von einem Erdgaskessel mit einer Heizleistung von 230 kW_{th} beheizt. Das angrenzende Nebengebäude besitzt eine Fläche von 570 Quadratmetern und wird von einem Erdgaskessel mit einer Heizleistung von 150 kW_{th} beheizt. Mittelfristig besteht Erneuerungsbedarf der Heizungsanlagen.

Tab. 26 Ist-Daten Rathaus

Wärmeerzeuger	1	2
Kessel		
Fabrikat	Fröling	Fröling
Bezeichnung	FSM 130	FSM 200
Wärmeleistung kW _{th}	150	230
Baujahr	1991	1991
Abgasverluste (2005)	4 %	4 %

Heizenergieverbrauch

Mit dem Erdgasverbrauch²⁶ wird der Jahresheizwärmeverbrauch des Rathauses überschlägig ermittelt.

Tab. 27 Verbrauchsdaten Ist-Zustand Rathaus

Brennstoffverbrauch		
Erdgasverbrauch, gemittelt, witterungsbereinigt 2001 bis 2008	320.000	kWh _{Hi} /a
witterungsbereinigter Heizwärmebedarf	288.000	kWh _{th} /a
installierte Heizleistung	380	kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	760	h/a
Beheizte Fläche	3.257	m ²
Spezifischer Heizenergieverbrauch	98	kWh _{th} /(m ² *a)
Spezifische installierte Heizleistung	117	W _{th} /m ²
gebäudetypische Vergleichswerte für Verwaltungsgebäude		
Spezifischer Heizenergieverbrauch	80	kWh _{th} /(m ² *a)
spezifische Wärmeleistung	70 bis 110	W _{th} /m ²
Vollbenutzungsstunden	1.500 bis 2.400	h/a

Die niedrigen Vollbenutzungsstunden von 760 h/a und die vergleichsweise hohe spezifische installierte Heizwärmeleistung deuten auf eine Überdimensionierung der installierten Wärmeerzeugungsanlage hin.

Dimensionierung der Wärmeversorgungsanlagen

Für den Einsatz der Geowärme muss sich im Rahmen einer Gebäudemodernisierung der Wärmeschutzstandard verbessern und damit würde auch der Jahreswärmeverbrauch in der Zukunft abnehmen. Zudem wird es notwendig sein einige Heizkörper gegen größere auszutauschen. Für die folgenden Berechnungen wird davon ausgegangen, dass durch die

²⁶ Verbandsgemeinde Bad-Ems, Erdgasrechnung Süwag Energie AG, 2001 bis 2008
5.4 Stadtstollen - Grubenwassernutzung

Verbesserung des Wärmeschutzstandards der Jahreswärmeverbrauch um 15 % reduziert wird und nur noch 245.000 kWh_{th}/a beträgt. Aus diesem Grund wird für weitere Berechnungen für das Gebäude eine Wärmeleistung rund 270 kW_{th} angesetzt. Im Rahmen einer Umsetzungsplanung sollte dieser Wert exakt bestimmt werden.

Als eine Alternative zur bestehenden dezentralen Wärmeversorgung auf Basis des Energieträgers Erdgas, der Basisvariante, werden zwei Varianten der Geowärmeversorgung verglichen.

Basisvariante

Auf Grund des verminderten Wärmeleistungsbedarfs und der Notwendigkeit, dass die Erdgaskessel mittelfristig zu erneuern sind, werden die bestehenden Erdgaskessel durch kleinere Leistungsgrößen ersetzt. Die Erdgasheizung ist allein für die Wärmebereitstellung zuständig.

Geowärmenutzungsvarianten

In Abb. 50 ist ein Verfahrensschema dargestellt, dass für beide Geowärmevarianten gilt.

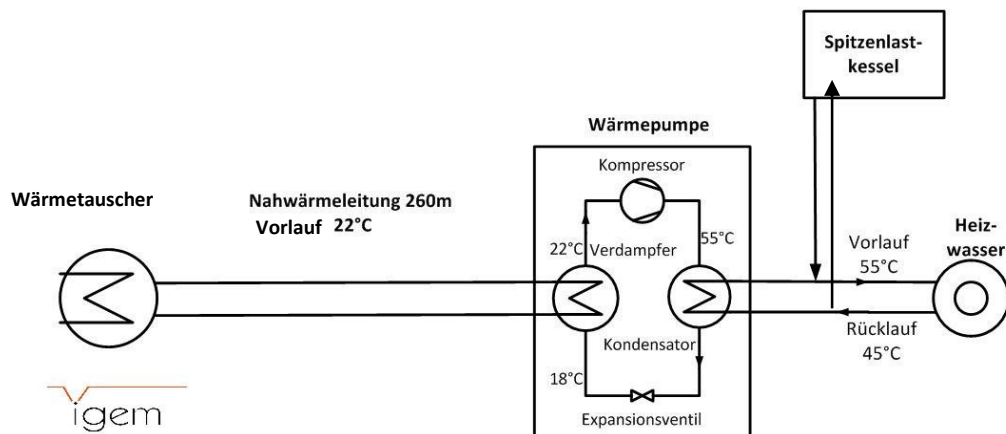


Abb. 50 Verfahrensschema Geowärmevariante 1 und 2 Rathaus

Die Wärmeversorgung der Geowärmenutzungsvarianten erfolgt mit einer Wärmepumpe unter Nutzung der Wärmequelle Grubenwasser. Wesentliche Bauteile dieser Anlage sind die Wärmepumpe und der Wärmetauscher. Die mit Hilfe der Wärmetauscher aufgenommene Wärme (23°C) wird an eine Wärmeleitung abgegeben und zur Wärmepumpe im Rathaus transportiert. Das auf 22°C erwärmte Wärmeträgermedium fließt durch die Wärmeleitung an den Verdampfer der Wärmepumpe. Dort nimmt ein Wärmepumpenarbeitsmedium die Wärme auf und bringt sie mit Hilfe eines Kompressors unter Aufnahme elektrischer Antriebsenergie auf ein Temperaturniveau von 55°C. Am Kondensator wird die entstandene Wärme an den Kreislauf des Heizsystems abgeben. Das auf die Vorlauftemperatur erwärmte Heizwasser gibt dann mittels Heizkörper die Wärme an die Innenräume ab. In Spitzenlastzeiten schaltet sich der bestehende Erdgaskessel dazu.

Unterschiede der Geowärmevarianten

Die Unterschiede der Varianten 1 und 2 liegen in der Art des Wärmetauschers.

Variante 1

In der Variante 1 werden als Wärmetauscherelemente Rinnenwärmetauscher in den Entwässerungskanal des Stadtstollens eingesetzt. Diese Technik kommt ursprünglich aus dem Kanalbau, dabei wird die im Abwasser enthaltene Wärme durch Abwasserwärmetauscher entzogen und zu Heizzwecken genutzt. Dieses Vorhaben lässt sich gut auf den Bereich Grubenwasser übertragen. Denn Grubenwasser das über einen Entwässerungskanal frei überläuft, steht im Gegensatz zum Abwasser kontinuierlich, das ganze Jahr über auf einem kontinuierlichen Temperaturniveau als Wärmequelle zur Verfügung. Es stellt daher eine geeignete Wärmequelle dar. Zudem ist dies eine Technik, die wartungsarm und unempfindlich gegenüber Verschmutzungen ist.

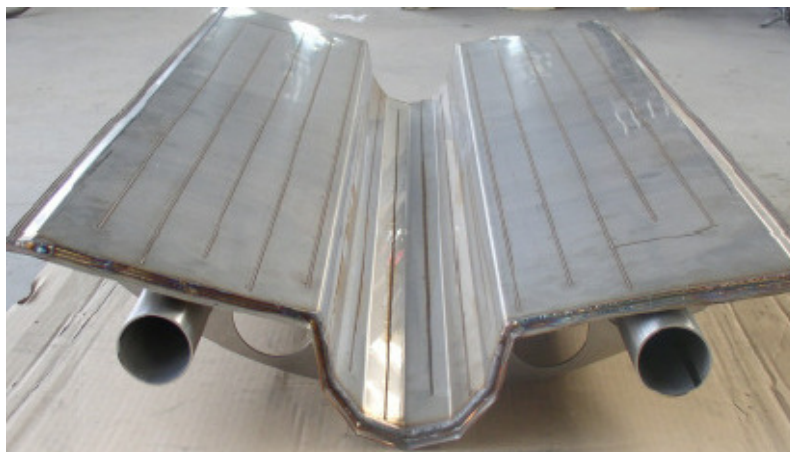


Abb. 51 Rinnenwärmetauscherelement [Uhrig-Bau GmbH]

Variante 2

Die Wärmeversorgung der Variante 2 erfolgt im Wesentlichen wie bei der Variante 1. Allerdings wird als Wärmetauscher kein Rinnenwärmetauscher eingesetzt. Stattdessen werden Wärmesonden mit jeweils einer Länge von etwa 400 Metern in den Entwässerungskanal des Stadtstollens eingelassen, die die Wärme des Grubenwassers entziehen. Eine Wärmesonde ist ein geschlossenes System und besteht aus mehreren PE-Rohren, in denen eine Wärmeträgerflüssigkeit zirkuliert. Durch die Rohrleitung zirkuliert ein Wärmeträgermedium, das sich im Verlauf der Rösche aufwärmt und sich der Grubenwassertemperatur annähert. Vor einer Umsetzung dieser Variante müsste die Materialverträglichkeit der Sonden geprüft werden und die spezifische Wärmeentzugsleistung messtechnisch bestimmt werden. Für die Auslegung der Wärmesonden wurde die spezifische Entzugsleistung von $100 \text{ W}_{\text{th}}/\text{m}$ in Anlehnung an die VDI 4640, Blatt 1 für wassergesättigte Bodenhorizonte herangezogen.

Die Umsetzung der Grubenwasserwärmenutzung der Varianten 1 und 2 wird als bivalente Wärmeerzeugung mit einem konventionell befeuerten Heizkessel empfohlen. Die Wärmepumpe mit einer Heizleistung von etwa $50 \text{ kW}_{\text{th}}$ übernimmt die

Grundlastversorgung und zur Abdeckung von Wärmebedarfsspitzen der bestehende Erdgas-Niedertemperaturkessel mit der Heizleistung von 230 kW_{th} zugeschaltet. Wenn genügend Platz vorhanden ist, kann der zweite kleinere bestehende Erdgaskessel als Redundanz beibehalten werden. Mit dem Spitzenlastkessel kann die Betriebssicherheit der Heizungsanlage erhöht (quasi-redundant) und die Wärmepumpe wirtschaftlich betrieben werden, da sie mit einer guten Auslastung betrieben und kleiner dimensioniert werden kann. Die Abb. 52 zeigt die Jahresdauerlinie der Variante 1. Diese Jahresdauerlinie gilt ebenfalls für die Variante 2.

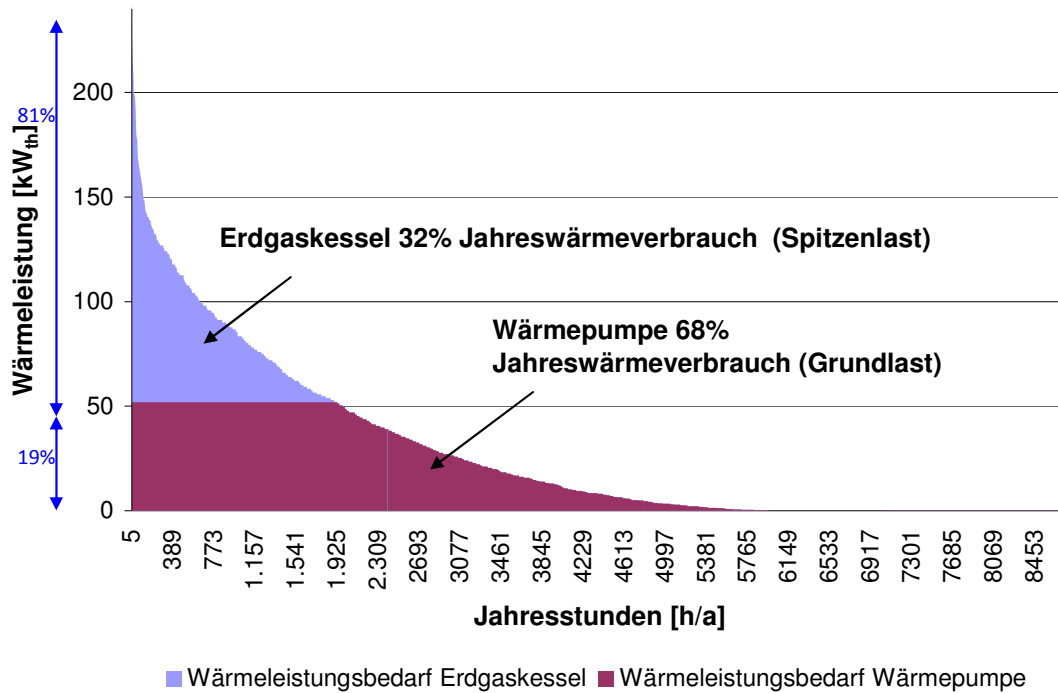


Abb. 52 Jahresdauerlinie für Variante 1

Wärmenetz

Für die Geowärmeerschließung muss ein Wärmenetz gebaut werden. Dieses Wärmenetz verbindet auf 260 m Trassenlänge den Stadtstollen mit dem Rathaus in der Bleichstraße 1. In der Abb. 53 ist die ausgewählte Trassenführung der Wärmeleitung zu sehen.



Abb. 53 Wärmeleitung Rathaus

Im Folgenden wird die Wärmeversorgung des Ist-Zustands, der Basisvariante und der Varianten 1 und 2 hinsichtlich wirtschaftlicher und ökologischer Kriterien miteinander verglichen.

Energiebilanz

In der Energiebilanz sind die umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen für die Wärmeversorgung der Liegenschaft aufgeführt. Für die Erneuerung der Erdgasheizungsanlage werden Niedertemperaturkessel zu Grunde gelegt.

Tab. 28 Energiebilanz

Energiebilanz		Ist Variante Erdgaskessel	Basisvariante Erneuerung NT-Erdgaskessel Gebäude- modernisierung	Variante 1 Wärmepumpe NT-Erdgaskessel Rinnen-WT Gebäude- modernisierung	Variante 2 Wärmepumpe NT-Erdgaskessel Wärmesonden Gebäude- modernisierung
Wärmeleistungsbedarf geschätzt	kW _{th}	380	270	270	270
Wärmebedarf	kWh _{th} /a	288.000	245.000	245.000	245.000
Wärmeleistung Erdgaskessel	kW _{th}	380	295	230	230
Wärmeleistung Wärmepumpe	kW _{th}			52	52
Wärmeleistung gesamt	kW _{th}	380	295	282	282
Wärmeerzeugung Erdgaskessel	kWh _{th} /a	288.000	245.000	78.000	78.000
Wärmeerzeugung Wärmepumpe	kWh _{th} /a			167.000	167.000
Wärmeerzeugung gesamt	kWh _{th} /a	288.000	245.000	245.000	245.000
Deckungsgrad Wärmeerzeugung Erdgaskessel		100%	100%	32%	32%
Deckungsgrad Wärmeerzeugung Wärmepumpe				68%	68%
Vollbenutzungsstunden Erdgaskessel	h/a		1.400	280	280
Vollbenutzungsstunden Wärmepumpe	h/a			3.500	3.500
Jahresnutzungsgrad Erdgaskessel		90%	90%	90%	90%
Jahresarbeitszahl (JAZ)				4,2	4,2
Leistungszahl Wärmepumpe (COP)				5,1	5,1
Erdgasbedarf Heizkessel (Hi)	kWh _{Hi} /a	320.000	272.000	87.000	87.000
Erdgasbedarf Heizkessel (Hs)	kWh _{Hs} /a	352.000	299.000	96.000	96.000
Erdgasmenge Heizkessel	m ³ /a		27.000	7.000	7.000
Wärmepumpenstrom	kWh _{el} /a			40.000	40.000
Strombedarf gesamt	kWh _{el} /a	2.900	2.500	6.200	6.200

Kohlendioxid-äq.-Emissionsbilanz

Eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung erfolgt mithilfe der äquivalenten Kohlendioxid-Emissionen. Dazu wird aus der eingesetzten Brennstoffmenge und der spezifischen CO₂-Äquivalent-Emission nach GEMIS bezogen auf den unteren Heizwert des eingesetzten Brennstoffs der jährliche Kohlendioxid-Äquivalent-Ausstoß berechnet.

Für Erdgas beträgt die spezifische CO₂ -Äquivalent-Emission 254 g CO_{2-äq} /kWh_{Hi} und der von Strom 641 g CO_{2-äq} /kWh_{el}.

Tab. 29 Kohlendioxid-Äquivalent-Emissionsbilanz Rathaus

Kohlendioxid-äq.-Emissionsbilanz		IST Erdgas	Basisvariante Erdgas mit und Gebäude- modernisierung	Variante 1 Wärmepumpe + Erdgas Rinnen-WT und Gebäude- modernisierung	Variante 2 Wärmepumpe + Erdgas Wärmesonde und Gebäude- modernisierung
Erdgasbedarf Heizkessel	kWh _{Hi} /a	320.000	272.000	87.000	87.000
spez. CO ₂ -Emissionen Erdgas	$\frac{g}{CO_2/kWh_{Hi}}$	253,60	253,60	253,60	253,60
CO₂-Emissionen Heizkessel	t CO₂/a	80	70	20	20
Hilfsenergiebedarf Strom	kWh _{el} /a	2.900	2.500	4.000	4.000
spez. CO ₂ -Emissionen Strom	$\frac{g}{CO_2/kWh_{el}}$	641,30	641,30	641,30	641,30
CO₂-Emissionen Hilfsenergiebedarf	t CO₂/a	2	2	3	3
Strombedarf Umwälzung Wärmenetz	kWh _{el} /a			2.200	2.200
CO₂-Emissionen Strom Wärmenetz	t CO₂/a			1	1
Strombedarf Wärmepumpe	kWh _{el} /a			40.000	40.000
CO₂-Emissionen Strom Wärmepumpe	t CO₂/a			26	26
CO₂-Emissionen Gesamt	t CO₂/a	82	72	50	50

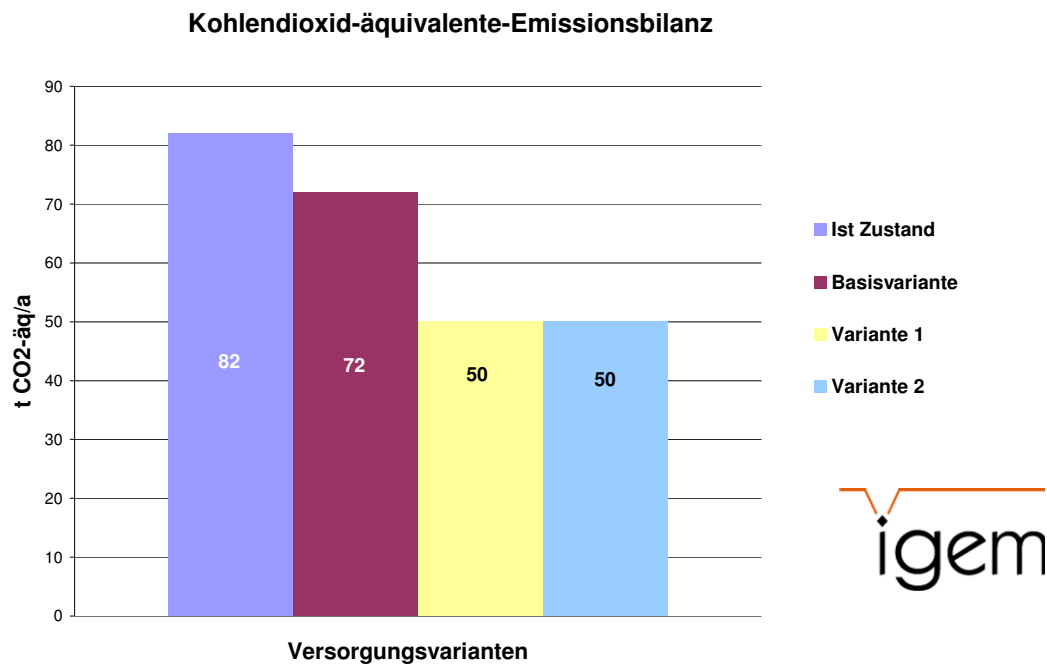


Abb. 54 Kohlendioxid-äquivalente-Emissionsbilanz

Aus der Kohlendioxidemissionsbilanz ist ersichtlich, dass durch die Variante 1 und 2 jährlich 32 Tonnen an Emission klimawirksamer Schadgase (Angabe als Summenparameter CO₂-Äquivalente (CO₂-äq.)) im Vergleich zum IST-Zustand eingespart werden können. Dies entspricht einer Einsparung von ungefähr 40 %.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Da die bestehende Heizungsanlage mittelfristig zu ersetzen ist und um über die kapitalgebundenen Kosten eine Vergleichbarkeit mit der Neuinvestition herzustellen, werden in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Basisvariante) Kosten für eine erneuerte Heiztechnik angesetzt. In der Variante 1 und 2 bleibt ein Erdgaskessel zur Spitzenlastabdeckung bestehen. Durch die niedrigen Betriebsstunden lohnt sich hier keine Neuanschaffung. Die abgeschätzten Investitions- und Wirtschaftlichkeitskosten sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

Tab. 30 Investitionen

Investitionen		IST-Zustand	Basisvariante	Variante 1	Variante 2
		NT-		Wärmepumpe	Wärmepumpe
		Erdgaskessel	NT-Erdgaskessel	NT-Erdgaskessel	NT-Erdgaskessel
			und Gebäude-	und Gebäude-	und Gebäude-
			modernisierung	modernisierung	modernisierung
				Rinnen-WT	Wärmesonde
Wärmeerzeugung					
Demontage Heizkessel	€	1.000	1.000	500	500
Erdgaskessel	€	22.400	20.400	0	0
Wärmepumpe	€			23.400	23.400
Fördermittel Wärmepumpe BAFA	€			-6.000	-6.000
Anteil Zinszuschüsse Wärmepumpe	€			-2.000	-2.000
Summe Wärmeerzeugung	€	23.400	21.400	24.000	24.000
Summe Wärmeerzeugung inkl. Fördermittel	€	23.400	21.400	15.900	15.900
Wärmeerschließung					
Wärmenetz	€			124.000	124.000
Fördermittel Wärmenetz KfW	€			-19.000	-19.000
Anteil Zinszuschüsse Wärmenetz	€			-14.000	-14.000
Wärmetauscher	€			78.000	1.000
Anteil Zinszuschüsse Wärmetauscher	€			-11.000	-400
Summe Wärmeerschließung	€			202.000	125.000
Summe Wärmeerschließung inkl. Fördermittel KfW	€			158.000	91.600
Planung, Unvorhergeheenes					
Planung, Unvorhergeheenes (15%)	€	4.000	3.000	35.000	22.000
Anteil Zinszuschüsse Planung, Unvorherg.	€			-4.600	-3.000
Summe Planung, Unvorherg.	€	4.000	3.000	35.000	22.000
Summe Planung, Unvorherg. inkl. Fördermittel	€	4.000	3.000	30.400	19.000
Gesamtinvestition	€	27.400	24.400	261.000	171.000
Gesamtinvestition inkl. MwSt.	€	33.000	29.000	310.600	203.000
Gesamtinvestition inkl. aller Fördermittel	€	27.400	24.400	204.300	126.500
Gesamtinvestition inkl MwSt. und Fördermittel	€	33.000	29.000	243.000	151.000

Die Gesamtinvestitionskosten inklusive Mehrwertsteuer und Fördermittel betragen bei 1. Variante 243.000 Euro und bei 2. Variante 151.000 Euro.

Tab. 31 Wirtschaftlichkeit

Wirtschaftlichkeit		IST-Zustand	Basisvariante	Variante 1	Variante 2
inkl. MwSt				Rinnen-WT	Wärmesonde
		NT-		Wärmepumpe	Wärmepumpe
		Erdgaskessel	NT-Erdgaskessel	NT-Erdgaskessel	NT-Erdgaskessel
			und Gebäude-	und Gebäude-	und Gebäude-
			modernisierung	modernisierung	modernisierung
Gesamtinvestition	€	33.000	29.000	310.600	203.000
inkl. Fördermittel	€	33.000	29.000	243.000	151.000
Kapitalkosten	€/a	2.600	2.300	22.900	12.200
Kapitalkosten inkl. Fördermittel	€/a	2.600	2.300	20.300	10.700
Verbrauchs-kosten	€/a	19.300	16.300	12.300	12.300
Betriebskosten	€/a	2.600	2.100	7.100	5.800
Jahreskosten	€/a	24.500	20.700	42.300	30.300
inkl. Fördermittel	€/a	24.500	20.700	39.700	28.800
Anteil der Kapitalkosten an Jahreskosten	%	11	11	51	37
Anteil der Verbrauchskosten an Jahreskosten	%	79	79	31	43
Anteil der Jahreskosten an Jahreskosten	%	11	10	18	20
Wärmepreis	Ct/kWh	8,51	8,45	17,27	12,37
inkl. Fördermittel	Ct/kWh	8,51	8,45	16,20	11,76

Die Wärmeversorgung durch die Grubenwassernutzung erzielt unter Berücksichtigung der Fördermittel nicht die gewünschte Kosteneinsparung. Der Wärmepreis inkl. Fördermittel der Variante 1 überschreitet mit 16,20 Ct/kWh_{th} zu 92% den Wärmepreis der Basisvariante mit 8,45 Ct/kWh_{th}. Die Geowärmvariante 2 ist mit 11,76 Ct/kWh_{th} nur 39 % teurer als die Basisvariante, aber immerhin günstiger im Vergleich zu Variante 1. Das liegt vor allem an den niedrigeren Investitionskosten des Wärmetauschers in Form von Wärmesonden und damit einhergehend niedrigeren Kapitalkosten.

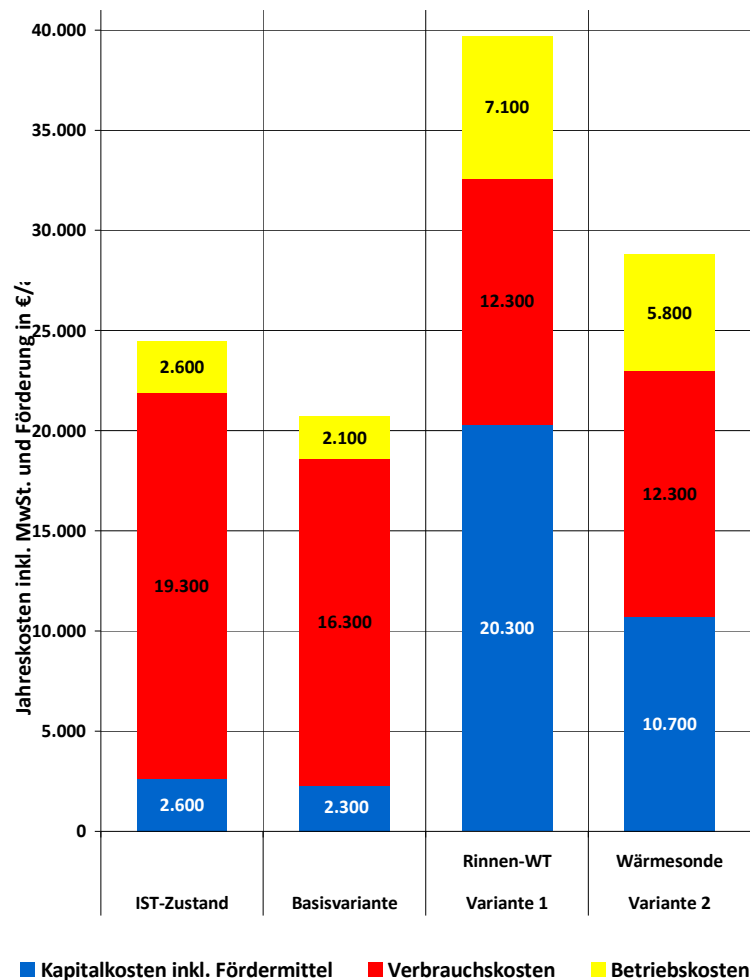


Abb. 55 Wirtschaftlichkeit

Die Jahreskosten inklusive Mehrwertsteuer und Fördermittel zur Gebäudebeheizung des Rathauses der verschiedenen Varianten liegen zwischen 20.700 Euro und 39.700 Euro, vgl. Abb. 55. Die kostengünstigste Variante, ist die Basisvariante mit 20.700 Euro. Die Verbrauchskosten bei der Nahwärmeversorgung Variante 1 betragen 31 % der Jahreskosten und bei der Basisvariante 79 % der Jahreskosten. Das bedeutet die Basisvariante ist die verbrauchskostenabhängigere Variante und damit sehr anfällig auf Preissteigerungen der Versorgung mit dem fossilen Energieträger Erdgas. Somit würde sich bei steigenden Erdgasbezugspreisen die Wirtschaftlichkeit der Varianten 1 und 2 verbessern. Der Grund für die hohen Jahreskosten bei der Varianten 1 und 2 liegt an den Investitionskosten für das Wärmenetz und die Wärmeerschließung durch die Rinnenwärmetauscher, sowie Kosten für Planung und Unvorhergesehenes. Ließen sich weitere Wärmeverbraucher anschließen, verschiebt sich die Wirtschaftlichkeit in eine für die Geowärmevarianten günstige Richtung.

Durch die Fördermittel der BAFA für die Wärmepumpe, der KfW für das Wärmenetz werden die Jahreskosten nur gering gemindert.

Der Grund für die hohen Jahreskosten bei der Variante 1 liegt an den Investitionskosten für das Wärmenetz und die Wärmeerschließung durch die Rinnenwärmetauscher, sowie Kosten für Planung und Unvorhergesehenes. Ließen sich weitere Wärmeverbraucher anschließen, verschiebt sich die Wirtschaftlichkeit in eine für die zentrale Wärmeversorgung günstige Richtung.

Betrachtet man die vergleichenden Jahreskosten der Varianten 1 und 2 in den Abb. 56 und Abb. 57 so wird noch einmal deutlich wie hoch der Anteil der Kapitalkosten des Rinnenwärmetauschers in Variante 1 im Vergleich zu den Kapitalkosten für Wärmesonden ist.

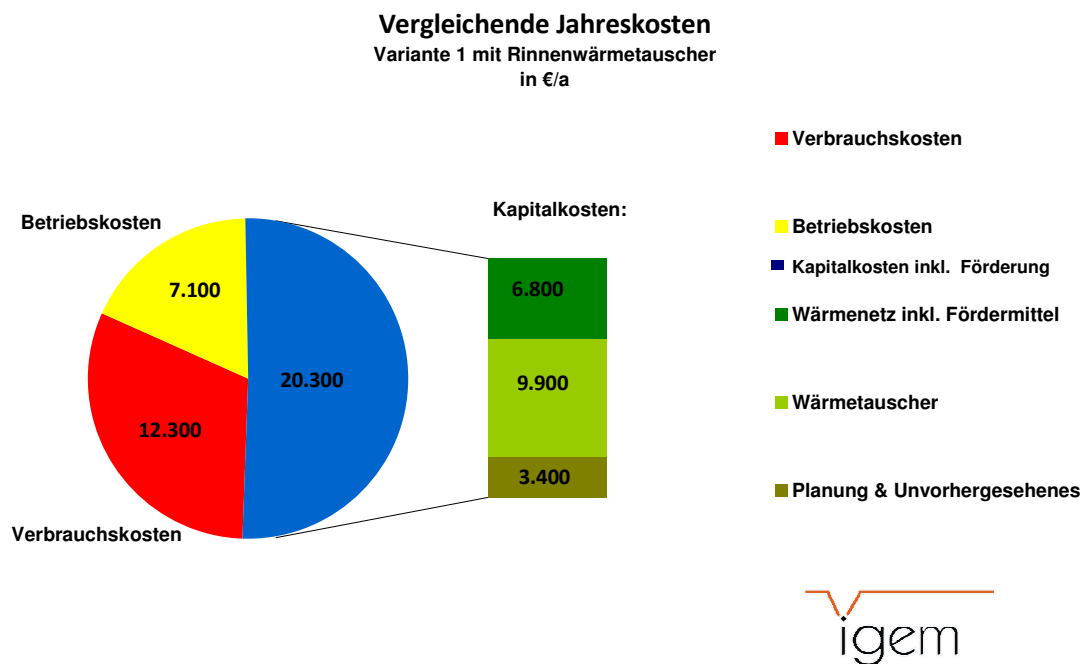


Abb. 56 Vergleichende Jahreskosten der Variante 1 in €/a

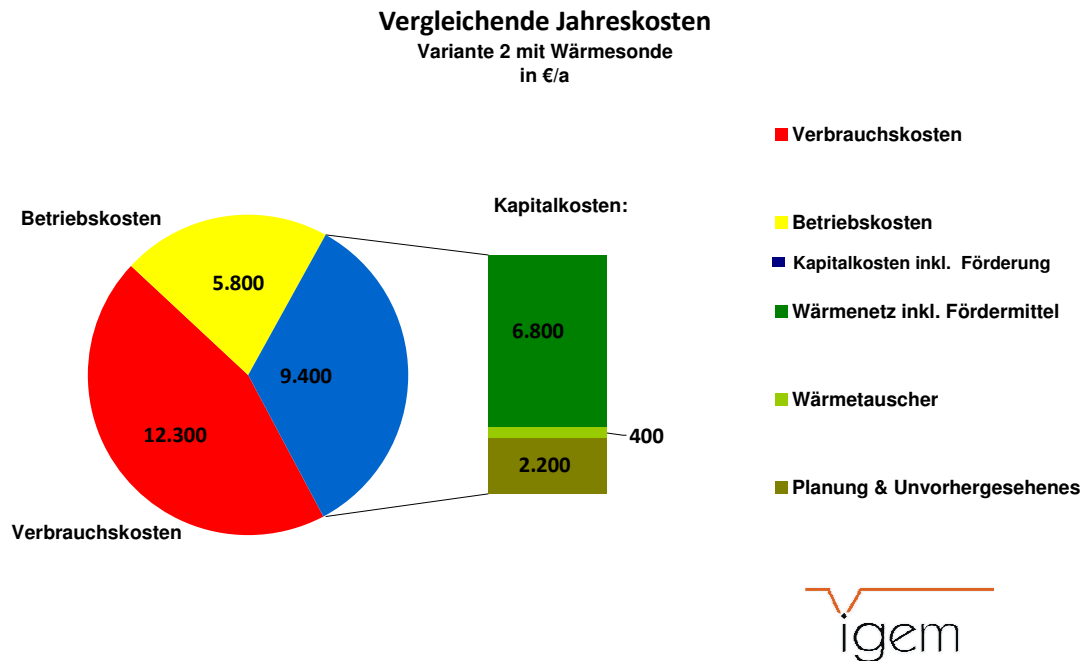


Abb. 57 Vergleichende Jahreskosten der Variante 2 in €/a

Fazit

Der Einsatz der Grubenwasserwärme des Stadtstollens stellt sich unwirtschaftlich dar. Die Gebäudebeheizung mittels Geowärme ist teurer im Vergleich zur Wärmeversorgung auf Basis des fossilen Energieträgers Erdgas. Der Grund liegt hier in den hohen Investitionskosten die durch das Wärmenetz entstehen. Da für die Entfernung vom Stollenmundloch bis zum Rathaus der Verbandsgemeinde Bad Ems ein Wärmenetz mit einer Trassenlänge von 260 Metern gelegt wird, trägt die Verbandsgemeinde als einziger Wärmeabnehmer die Kosten für das teure Wärmenetz. Zur Verwirklichung der Geowärmevarianten 1 und 2 müssen umfangreiche Investitionen für Gebäudemodernisierung in Form von Wärmeschutz und Heizkörperaustausch getätigt werden. Diese sind hier in der Wirtschaftlichkeitsberechnung nicht berücksichtigt. Zudem unterliegt das Rathausgebäude der Verbandsgemeinde Bad Ems dem Denkmalschutz, was bei der Gebäudemodernisierung zu beachten ist.

Hier bietet es sich an, vor der Umsetzung der Geowärmenutzung ein Konzept für eine energetische Sanierung des denkmalgeschützten Gebäudes mit dem Ziel der Niedertemperaturwärmebeheizung zu erstellen.

Die Wirtschaftlichkeit der Wärmebereitstellung und Verteilung über ein Wärmenetz könnte sich durch weitere Wärmeabnehmer, die sich an das Wärmenetz anschließen, verbessern.

6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Machbarkeitsstudie wurde die wirtschaftliche Durchführbarkeit eines Ausbaus und einer Optimierung der Wärmenutzung von thermalen Wässern in Bad Ems untersucht. In Bad Ems liegt ein außerordentlich großes Potential an nutzbaren Wärmequellen vor.

Auf der einen Seite finden sich Heilwässer, dass heißt thermale Mineralquellen, die mit Temperaturen bis zu 55 °C an der Erdoberfläche austreten. Teils liegen die thermalen Grundwässer gespannt vor und steigen daher artesisch auf (Schüttung). Teils müssen die Wässer im Pumpbetrieb gefördert werden. Bei der Verfügbarkeit der Wässer zur geothermischen Wärmenutzung gibt es Einschränkungen durch die rechtlich genehmigte Gesamtentnahmemenge, sowie bestehende Nutzungen der Wässer.

Auf der anderen Seite finden sich in Bad Ems offen gelassene Gruben des Altbergbaus. Diese Gruben sind seit Einstellung Ihrer Nutzung geflutet. Besonders in der Grube Mercur, nördlich der Lahn, stehen Wässer auf einem relativ hohen Temperaturniveau von 25 °C an. Durch Sicker- und Grundwassereintritte ins Grubengebäude laufen stündlich etwa 100 m³ der warmen Grubenwässer über. Dieser Grubenwasserstrom tritt am Stollenmund des Stadtstollens, mitten in Bad Ems aus. Die an den Schächten im Grubengebäude anstehenden warmen Wässer können über den Neuhoffnungstollen erschlossen werden.

Die Wärme der Heil- und Grubenwässer kann über Wärmetauscher erschlossen und über eine Wärmeleitung transportiert werden. Diese Wärmeleitung versorgt dann die Wärmeabnehmer mit Wärme auf einem Temperaturniveau, das (verlustbedingt) geringfügig unter der Quellentemperatur liegt. Dezentral, dass heißt bei den jeweiligen Wärmeverbrauchern, kann die Wärme mit einer Wärmepumpe „aufkonzentriert“ und somit auf ein höheres Temperaturniveau gehoben werden.

Die Gebäudestruktur in Bad Ems ist sehr inhomogen. Der größte Anteil der Gebäude sind Altbauten. Diese benötigen Wärme auf einem höheren Temperaturniveau als eine Wärmepumpe liefern kann.

Der Vorteil bei der Nutzung der vorliegenden Wässer mit einer Wärmepumpe besteht darin, dass die Wärmequellen ohne aufwendige Erdbohrungen für Erdwärmesonden oder Brunnen erschlossen werden können, und dass eine äußerst vorteilhafte Effizienz aufgrund hoher Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen zu erwarten ist.

Im Bearbeitungsverlauf der Studie wurden alle relevanten Straßenzüge von Bad Ems begangen, um potenzielle Wärmeinseln für den Einsatz der Geowärme zu identifizieren. Die Auswahl beschränkte sich aufgrund der vorherrschenden eher schlecht geeigneten Gebäudestruktur auf einige Untersuchungsgebiete mit öffentlichen Gebäuden oder sonstigen größeren Wärmeverbrauchern.

In allen Untersuchungsgebieten wurden technisch sinnvoll erscheinende Varianten zur Nutzung der Geowärme ermittelt und mit Basisvarianten verglichen. Die Basisvarianten sind in der Regel die Beibehaltung der derzeitigen Heizungssysteme oder die Erneuerung der derzeitigen Heizung mit konventionellen Systemen.

Die Geowärme-Varianten wurden hinsichtlich ökologischer (Kohlenstoffdioxidäquivalentemission) und wirtschaftlicher Kriterien (Annuitätenmethode in Anlehnung an VDI 2067 und Amortisationszeiten) miteinander verglichen. Folgend sind

die Ergebnisse der wirtschaftlichen Geowärme-Varianten in den betrachteten Untersuchungsgebieten kurz vorgestellt:

Wirtschaftlich umsetzbare Geowärmevarianten wurden in den Untersuchungsgebieten „Auf dem Spieß“ (Variante 1), Neuquelle (Variante 1) und Thermalbad/AOK-Klinik (Variante 2) ermittelt. Zu den wirtschaftlichsten Geowärmevarianten zählen die Varianten mit dem geringsten spezifischen Wärmepreis, bzw. vergleichenden Jahresgesamtkosten zur Gebäudebeheizung (Siehe Kapitel 5.1 bis 5.3). Wobei hier noch einmal darauf hingewiesen werden muss, dass im Wärmepreis keine eventuell anfallenden Kosten für den Thermalwasserbezug einbezogen sind. Weitere Einschränkungen und Annahmen sind den jeweiligen Kapiteln zu entnehmen. Für das Untersuchungsgebiet Stadtstollen ist zurzeit keine wirtschaftliche Umsetzung in Aussicht.

In dem Untersuchungsgebiet „Auf dem Spieß“ können, für das angenommene Mustergebäude auf der ausgewiesenen Baufläche durch Einsatz von Geowärme Energieversorgungskosten in Höhe von etwa 14.000 Euro vermieden werden. Das entspricht einer relativen Einsparung von 60 % Energieversorgungskosten zu der Vergleichsvariante Wärmeerzeugung mit konventioneller Heiztechnik.

Beim Untersuchungsgebiet Neuquelle / Einsatz der Geowärme im Statistischen Landesamt Rheinland-Pfalz ergibt sich bei der Variante 1 eine Jahreskosteneinsparung von 16.900 Euro. Der Wärmepreis der Variante 1 ist mit 6,10 Ct/kWh_{th} günstiger als bei der Basisvariante mit 7,48 Ct/kWh_{th}. Bezogen auf die Gesamtinvestitionssumme inkl. Fördermittel würde sich die Investition in etwa 4 Jahren amortisiert haben. Hier ist zu beachten, dass eventuell Investitionen für die Nutzung der Niedertemperaturwärme, welche nicht im Konzept ermittelt und berücksichtigt wurden, für die Beheizung dieses Altbaubestands notwendig werden.

Im Untersuchungsgebiet Thermalbad ergeben sich in beiden Varianten Jahreskosteneinsparungen. Für Variante 1 ergeben sich Einsparungen in Höhe von 66.300 Euro, ein Wärmepreis von 3,38 Ct/kWh_{th} und eine Amortisationsdauer von 2,21 Jahren. In Variante 2 ist die Einsparung der Jahresgesamtkosten der Beheizung und Warmwasserbereitung mit 70.700 Euro zur Basisvariante etwas höher als Variante 1 und auch der Wärmepreis ist günstiger mit 3,25 Ct/kWh_{th}. Die Amortisationszeit liegt mit 2,41 Jahren etwas höher als in Variante 1, was daran liegt, dass die Investitions- und Kapitalkosten höher sind.

Jahreskosten der wirtschaftlichen Varianten und ihre Einsparung gegenüber der Basisvariante

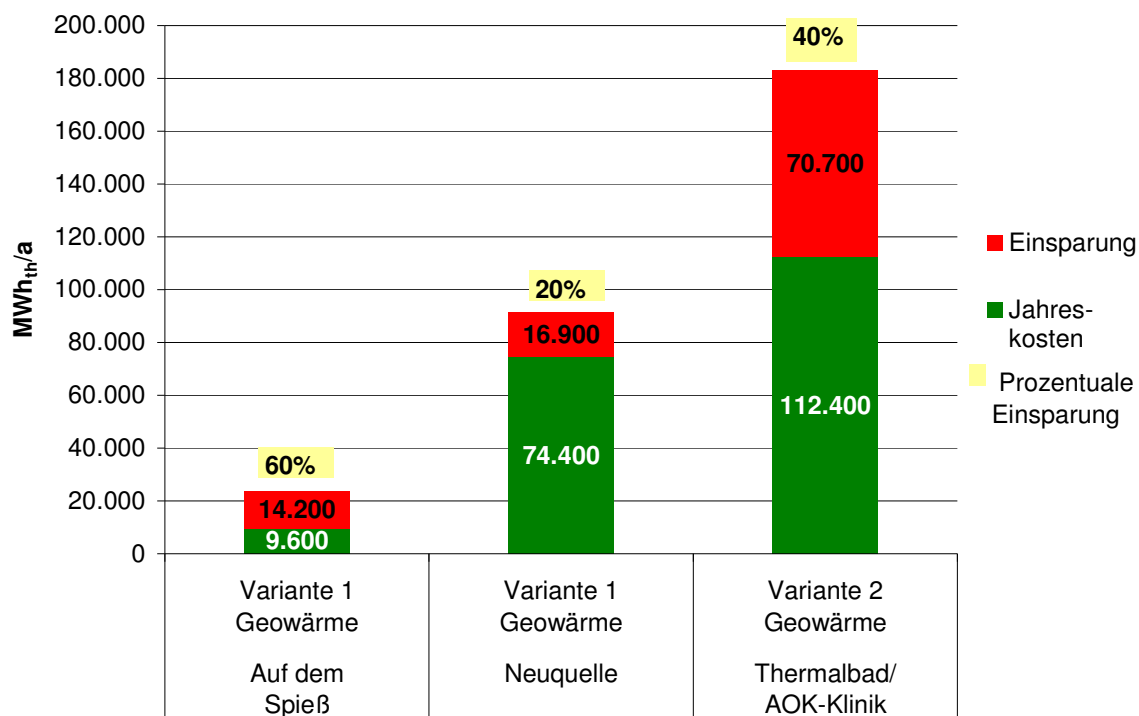


Abb. 58 Jahreskosten der wirtschaftlichen Varianten

In Abb. 59 sind die Jahreswärmeverbräuche der wirtschaftlichsten Geowärmevarianten einzelner Untersuchungsgebiete dargestellt.

Deckung des Jahreswärmeverbrauch der wirtschaftlichen Varianten durch Geowärme

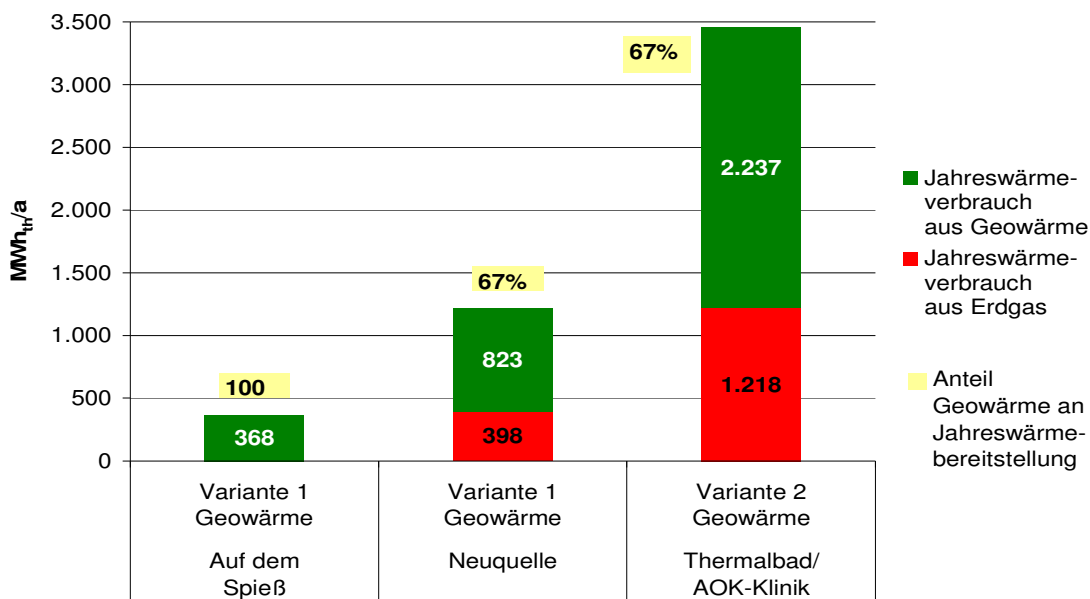


Abb. 59 Jahreswärmeverbrauch der wirtschaftlichen Varianten

Es zeigt sich, dass in allen dargestellten Einsatzbereichen der überwiegende Anteil des Jahreswärmeverbrauchs aus Geowärme gedeckt werden kann.

Das Klimaschutzpotenzial der Geowärmenutzung, ausgedrückt in absoluten Werten der Einsparung von Emissionen von klimarelevanten Schadgasen (Kohlenstoffdioxidäquivalente) ist davon abhängig, welchen Anteil die Geowärme an der Wärmesorgung eines Gebäudes hat, ob eine Direktnutzung der Thermalwasserwärme realisiert werden kann oder eine Wärmepumpe (Verbrauch elektrischer Energie) zur Temperaturerhöhung der Thermalwasserwärme eingesetzt werden muss.

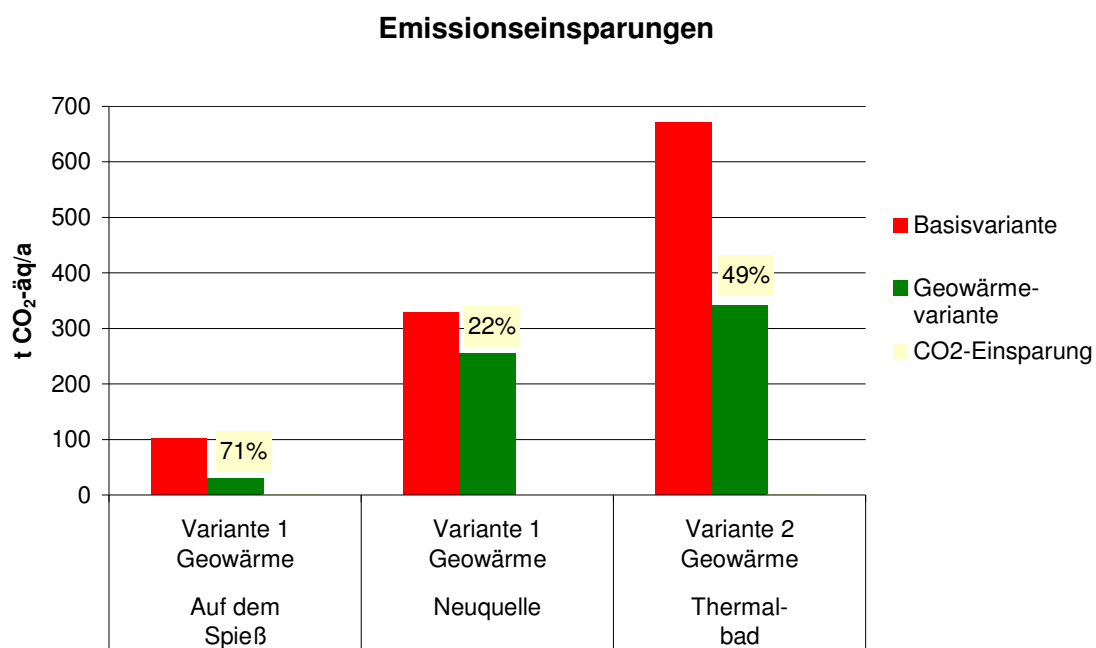


Abb. 60 Emissionseinsparungen der wirtschaftlichen Varianten

Die Abb. 60 zeigt das Ergebnis der Emissionsbilanz der wirtschaftlichen Geowärme-Varianten der einzelnen Untersuchungsgebiete. Daraus ist zu erkennen, dass bei den Untersuchungsgebieten „Auf dem Spieß“, Neuquelle sowie dem Thermalbad durch Einsatz einer geothermischen Wärmeversorgung im Vergleich zur konventionellen Wärmeversorgung (Basisvariante) klimaschädliche Emissionen eingespart werden. Im Untersuchungsgebiet „Auf dem Spieß“ ist die CO₂-Einsparung durch die Variante 1 mit 71 % zur Basisvariante am höchsten und am auffälligsten. Das resultiert daraus, dass in Variante 1 nur Thermalwasserwärme zur Wärmeversorgung vorgesehen ist, und somit kein fossiler Energieträger direkt verbraucht wird. Auch im Thermalbad ist die Einsparung relativ hoch. Diese beiden betrachteten Gebäude sind neu zu Erreichten, daher kann die Heiztechnik auf die Geowärmenutzung angepasst werden.

Die Emissionsbilanz von Wärmepumpen ist abhängig von der Zusammensetzung der Stromerzeugung im deutschen Kraftwerkspark. Zukünftig sind größere Anteile an Strom aus erneuerbaren Energieträgern im Netz zu erwarten, was die Emissionsbilanz der Geowärme-Varianten verbessert.

7 Fazit

Ziel dieser Machbarkeitsstudie war es, die Wirtschaftlichkeit einer geothermischen Gebäudebeheizung in Bad Ems zu untersuchen.

Die erläuterten Berechnungen und dargestellten Ergebnisse zeigen auf, dass eine Beheizung der Gebäude mit den Heil- und Grubenwässern in vielen, aber nicht in allen Fällen wirtschaftlich durchführbar ist. Vor allem in den Untersuchungsgebieten „Auf dem Spieß“ (Variante 1), Neuquelle (Variante 1) und Thermalbad (Variante 2) haben sich als wirtschaftlich herausgestellt.

Diese Studie soll einen Anstoß geben, die Verwirklichung der geothermischen Gebäudebeheizung in Bad Ems in den als wirtschaftlich dargestellten Varianten umzusetzen. Hierfür sind weitere konzeptionelle Schritte notwendig.

Weiter zeigt die Studie auf, dass im Stadtgebiet auch nach Umsetzung der ermittelten Varianten noch erhebliche Potenziale vorhanden sind. Hier sollte in Zukunft bei allen größeren Bau- oder Sanierungsvorhaben eine geothermische Wärmeversorgung mit in Betracht gezogen werden. Im Bereich des Rathauses / Stadtstollen müssen für eine wirtschaftliche Geowärmeversorgung weitere Abnehmer mit einem hohen Wärmeverbrauch und geeigneten Heizsystemen gefunden werden. Hier ist insbesondere bei einer Neunutzung der Liegenschaft der ehemaligen Bundeswehr-Nachrichtenschule in Verbindung mit Neubau oder Sanierung der Gebäude Geothermie in Betracht zu ziehen. Derzeit wird über die Einrichtung einer privaten Medienschule nachgedacht.

Im Bereich des Schulzentrums Bad Ems bietet sich keine geothermische Beheizung an. Einerseits liegen die potenziellen Wärmequellen in zu weiter Entfernung, andererseits ist die Heiztechnik nicht zur Übertragung der Niedertemperaturwärme geeignet. Die Transferstelle Bingen hat im Jahr 2003 [TSB 2003] eine Studie zur Nahwärmeversorgung der öffentlichen Liegenschaften in diesem Bereich erstellt. Bei den damals vergleichsweise günstigen Energieträgerbezugspreisen konnte eine zentrale Beheizung der Liegenschaften mit einem Holzhackschnitzelheizwerk nicht wirtschaftlich dargestellt werden.

A Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Entwicklung der Ölpreise und Entwicklung des weltweiten Energiebedarfs	1
Abb. 2 Das Kurhaus in Bad Ems	3
Abb. 3 Emser Quellensattel	4
Abb. 4 Lage der Emser Heilquellen in der Kaiserzeit, SCHERRER 1918, aus [Viehmann (2007)]	5
Abb. 5 Bergbau Anfang des 20. Jhd. in Bad Ems [VG Bad Ems (1991)]	5
Abb. 6 Thermalwassereintritte auf der 8. Tiefbausohle [Denner (1956)]	6
Abb. 7 Warme Wässer in Bad Ems (Vermessungs- und Katasterverwaltung Rheinland-Pfalz)	7
Abb. 8 Lage der Emser Trinkquellen, (verändert nach [LUWG RLP (1998)])	9
Abb. 9 Brunnenhalle: Emser Kränchen (Trinkkur) und Gurgelräume	13
Abb. 10 links: Quellengang unter der Brunnenhalle Mitte: Diffuse Thermalwassereintritte	14
Abb. 11 Thermalbad „Emser Therme“ (Staatsbad Bad Ems GmbH)	15
Abb. 12 Thermalwasserleitung von Bohrung 1a zu Firma Siemens & Co.	16
Abb. 13 Quellenturm und Nahwärmeleitung unter der Kurbrücke	19
Abb. 14 Temperaturmessungen im Weidtmanschacht der Abteilung Neuhoftung [Viehmann (2007)]	21
Abb. 15 Seigerriss der Grube Mercur [Wieber (2005)]	22
Abb. 16 Lage der Abteilung Neuhoftung mit Stadtstollen und Neuhoftungsstollen	23
Abb. 17 Mundloch des Stadtstollens und Überlauf in den Emsbach	24
Abb. 18 Verfärbung des Emsbaches	24
Abb. 19 Im Stadtstollen. Seitlich verläuft die mit Betonplatten abgedeckte Rösche	25
Abb. 20 Mundloch des Neuhoftungsstollens und stehende Wässer im Weidtmanschacht	25
Abb. 21 Möglichkeiten der Wärmenutzung von Grubenwässern	27
Abb. 22 Rinnenwärmetauscher zur Gebäudebeheizung [Wallstein (2010)]	28
Abb. 23 Einbau des Wärmetauschers in einen vorhandenen Kanal (nach santec-gmbh.de)	28
Abb. 24 Rösche und Sediment	29
Abb. 25 Erdwärmesonden	29
Abb. 26 mittlerer Temperaturverlauf der Jahre 2002 bis 2006 an der Wetterstation Trier-Petrisberg	34
Abb. 27 Geordnete Jahresdauerlinie der Außentemperaturen	35
Abb. 28 Regelgerät für witterungsgeführte Wärmeerzeugungsanlagen mit Heizkurvendiagramm	35
Abb. 29 Jahresdauerlinie der benötigten Vorlauftemperaturen für 3 verschiedene Gebäudestandards	36
Abb. 30 Wärmeverluste eines älteren Gebäudes (www.ludwigshafen.de)	38
Abb. 31 Temperaturverläufe von Außentemperatur und TABS eines Gebäudes	39
Abb. 32 Funktionsprinzip einer Wärmepumpe	42
Abb. 33 Leistungszahl in Abhängigkeit der Temperaturspreizung (smul.sachsen.de)	43
Abb. 34 Schulzentrum Bad Ems [TSB 2003]	47
Abb. 35 Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung aus [TSB 2003]	48
Abb. 36 Bebauungsplan „Auf dem Spieß“	52
Abb. 37 Rohrregister von TABS	54
Abb. 38 Kohlendioxid-äq.-Emissionsbilanz	56
Abb. 39 Katasterplan der Gebäude	59
Abb. 40 Jahresdauerlinie Variante 1	61
Abb. 41 Kohlendioxid-äq.-Emissionsbilanz	64
Abb. 42 Investitionskosten	66
Abb. 43 Wirtschaftlichkeit	67
Abb. 44 Katasterplan Thermalbad und AOK-Klinik	69
Abb. 45 Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs Thermalbad und AOK-Klinik	71
Abb. 46 Auswahl zu installierenden Technik Variante 2 Thermalbad	73
Abb. 47 Jahresdauerlinie Variante 2 Thermalbad und AOK-Klinik (Variante 2)	73
Abb. 48 Kohlendioxid-äq.-Emissionsbilanz	75
Abb. 49 Jahreskosten	77
Abb. 50 Verfahrensschema Geowärmevariante 1 und 2 Rathaus	81
Abb. 51 Rinnenwärmetauscherelement [Uhrig-Bau GmbH]	82
Abb. 52 Jahresdauerlinie für Variante 1	83
Abb. 53 Wärmeleitung Rathaus	84
Abb. 54 Kohlendioxid-äquivalente-Emissionsbilanz	87

Abb. 55 Wirtschaftlichkeit.....	90
Abb. 56 Vergleichende Jahreskosten der Variante 1 in €/a	91
Abb. 57 Vergleichende Jahreskosten der Variante 2 in €/a	92
Abb. 58 Jahreskosten der wirtschaftlichen Varianten	95
Abb. 59 Jahreswärmeverbrauch der wirtschaftlichen Varianten.....	95
Abb. 60 Emissionseinsparungen der wirtschaftlichen Varianten.....	96

B Quellenverzeichnis

- [Bergbaumuseum Bad Ems (2007)]: Ausstellung (besucht: September 2007)
- [BINE (2010)]: <http://www.bine.info/hauptnavigation/publikationen/publikation/thermoaktive-bauteilsysteme/grundwasser-in-der-40sten-etage>; 19.04.2010
- [Denner (1956)]: Geologie der Emser Thermen und die Emser Quellen - Bergwerksfrage. Heilbad und Kurort, Nr. 6: 20 S., 10 Abb., Gütersloh.
- [GtV (1998)]: „Energiequelle Grubenwasser – Sächsisches Schaubergwerk mit innovativer Wärmeversorgung“, Geothermische Vereinigung e.V.
- [GtV (1999)]: „Nutzung des Warmwassers im Gotthardtunnel“, Geothermische Vereinigung e.V.
- [Igem (2009)]: „Geowärme Bad Ems-Minimierung des Schadstoffaustrages“; Wieber, Prof. Dr. Georg et. Al.
- [Igem (2010)]: „Geowärme Bad Ems – Thermische Grubenwassernutzung zur Gebäudebeheizung am Neuhoffnungstollen in Bad Ems“; Wieber, Prof. Dr. Georg et. Al.
- [Jagnov, Halper, Timm]: „Optimierung von Heizungsanlagen im Bestand“
- [Kubessa (1998)]: „Energiekennwerte – Handbuch für Beratung, Planung und Betrieb“, Zukunftsagentur Brandenburg GmbH
- [LGB RLP (2003)]: „Neuabgrenzung des Heilquellenschutzgebietes für das Staatsbad Bad Ems“, Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz
- [LUWG RLP (1998)]: „Die Heilquellen des rheinland-pfälzischen Staatsbades Bad Ems – Fakten und Daten im Überblick“, Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland Pfalz
- [Loose (2006)]: „Erdwärmennutzung – Versorgungstechnische Planung und Berechnung“, 2. überarbeitete und ergänzte Auflage, C.F. Müller Verlag, Heidelberg
- [Malm (2007)]: „Geothermische Szenarienmodellierungen im Raum Bad Ems – Vorstudie im Rahmen eines neuen städtischen Energiekonzeptes“, Diplomarbeit beim Institut für Geowissenschaften Johannes Gutenberg-Universität Mainz
- [Matthes, Schreyer (2007)]: „Sanierung des WISMUT-Schachtes 302 in Marienberg und geothermische Nutzung des Grubenwassers“ in: „bergbau“ 09/2007
- [MUFV RLP (2007)]: „Leitfaden zur Nutzung von Erdwärmesonden“, Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland Pfalz, 4. Fortschreibung

- [Ochsner (2007)]: „Wärmepumpen in der Heizungstechnik – Praxishandbuch für Installateure und Planer“, 4., überarbeitete und erweiterte Auflage, C.F. Müller Verlag, Heidelberg
- [Ökoinstitut e.V. (2004)]: „Globales Emissions- Modell Integrierter Systeme“, FREIBURG
- [Pfafferoth, Kalz (2007)]: „Thermoaktive Bauteilsysteme“ BINE Themeninfo I, Fraunhofer ISE
- [Rhein-Lahn-Kreis (2010)]: <http://www.rhein-lahn-info.de>
- [Schenk, Wieber (2007)]: „Studie zur Erfassung und Quantifizierung des Wärmeflusses warmer Grund- und Grubenwässer im Stadtgebiet von Bad Ems und Abschätzung des geothermischen Potentials – Endbericht November 2007“, Institut für angewandte Geologie, Universität Mainz
- [TSB 2003]: „Machbarkeitsstudie zur Energieversorgung der öffentlichen Gebäude im Bereich Schulzentrum und Insel Silberau in Bad Ems“, Transferstelle für rationelle und regenerative Energienutzung Bingen
- [VG Bad Ems (1991)]: „Verbandsgemeinde Bad Ems – Bilder aus der Vergangenheit“, Geiger-Verlag, Horb am Neckar
- [Viehmann (2007)]: „Hydrogeologie im Gebiet von Bad Ems/Lahn und Möglichkeiten zur Nutzung des geothermischen Potentials“, Diplomarbeit an der Universität Koblenz-Landau, Fachbereich 3: Mathematik / Naturwissenschaften
- [Wallstein (2010)]: <http://www.wallstein.de/Produkt-und-Technik.40.0.html>, aufgerufen am 04.05.2010
- [Weithoener 1987]: „Bad Ems – Stadt mit Gesicht“, insbesondere Kapitel „Einführung: Überblick über die Städtebauliche Entwicklung von Bad Ems“, Weidheller Verlag Bad Ems
- [Wieber (2005)]: Die Geologie des Emser Gangzuges; Bad Emser Hefte Nr. 244, Verein für Geschichte, Denkmal- und Landschaftspflege e.V. Bad Ems
- [Wieber (2007)]: „Bad Ems – ein gut geeigneter Standort zur Nutzung geothermischer Energie“ Vortrag am 13. November 2007 in der Stadtratsitzung Bad Ems
- [Wikipedia (2009)]: http://de.wikipedia.org/wiki/Bad_Ems, aufgerufen am 31. Oktober 2009

