

Thermische Grubenwassernutzung zur Gebäudebeheizung am Neuhoffnungsstollen in Bad Ems



30. Mai 2008
Bingen am Rhein

Mit freundlicher Unterstützung des:



Rheinland-Pfalz

Ministerium für Umwelt, Forsten
und Verbraucherschutz

Institut für geothermisches
Ressourcenmanagement

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

Internet www.igem-energie.de

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

Prof. Dr. Ralf Simon
Tel.: 06721 / 98 424 0
simon@igem-energie.de

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

Dipl. Geol. Christiane Ofner
Tel.: 06131 / 3920293
ofner@uni-mainz.de

JOHANNES
GUTENBERG
UNIVERSITÄT
MAINZ



TSB
Transferstelle Bingen

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.	Veranlassung	S. 02
2.	Geologie und Hydrogeologie	S. 04
3.	Beschaffenheit der Wässer	S. 07
4.	Durchgeführte Untersuchungen	S. 11
4.1.	Chemische Analytik	S. 11
4.2.	Pumpversuch	S. 23
4.3.	Standsicherheit	S. 26
5.	Möglichkeiten zur Entnahme von Geowärme und Rückführung genutzter/abgekühlter Wässer	S. 27
5.1.	Wärmetauscher in Nebenschacht II	S. 28
5.2.	Wärmetauscher in Nebenschacht II + Pumpe	S. 29
5.3.	Pumpe in Nebenschacht II + Platten-/Abwasserwärmetauscher	S. 29
5.4.	Rückführung der Wässer	S. 30
6.	Geochemische Modellierung und Abschätzung des Schlammvolumens	S. 31
6.1.	Geschlossenes System gegenüber der Atmosphäre	S. 31
6.2.	Offenes System gegenüber der Atmosphäre	S. 32
6.3.	Carbonatphasen	S. 33
7.	Ist-Analyse des Gebäudebestandes	S. 35
8.	Variantenauswahl zur vergleichenden Machbarkeitsbetrachtung	S. 39
8.1.	Geothermische Wärmeversorgung	S. 39
8.2.	Variantenauswahl	S. 39
9.	Energiebilanz	S. 42
10.	Kohlenstoffdioxidemissionsbilanz	S. 44
11.	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	S. 47
12.	Fazit	S. 59
13.	Literaturverzeichnis	S. 62
14.	Anlagenverzeichnis	S. 63

1. Veranlassung

Das Forschungsprojekt „Geowärme Bad Ems“ wird durch das Institut für Geothermisches Ressourcenmanagement (igem) bearbeitet. Das gesamte Projekt umfasst zwei Teilbereiche, die auf Grund terminlicher Vorgaben zweigeteilt bearbeitet werden:

- Energetische Nutzung der Grubenwässer
- Minimierung des Schadstoffaustrags

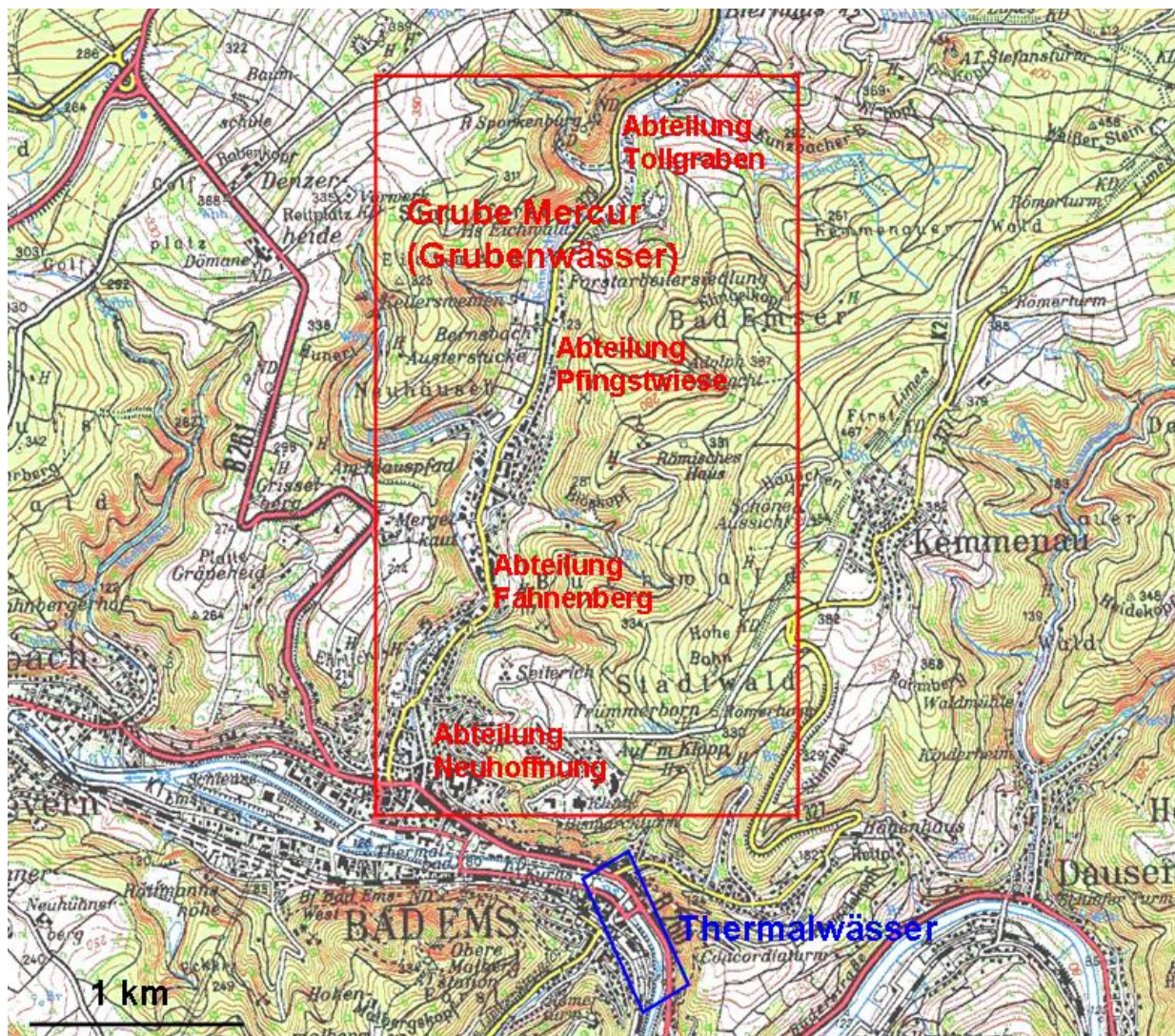


Abb. 01: Lageplan der Untersuchungsgebiete in Bad Ems (TK 1:50.000 Rheinland-Pfalz/Saarland)

Die Bearbeitung betrifft jeweils die Bereiche des Stadt- und Neuhoffnungsstollens der Grube Mercur / Bad Ems. Der vorliegende Bericht bezieht sich auf die Prüfung, ob eine Nutzung von Geowärme am Stollenmundloch des Neuhoffnungsstollens (Abb. 01) möglich ist. Die Untersuchungen bauen auf der Studie zur „Erfassung und Quantifizierung des Wärmeflusses warmer Grund- und Grubenwässer im Stadtgebiet von Bad Ems und Abschätzung des geothermischen Potentials“ des gemeinsamen Forschungsprojekts der Verbandsgemeinde Bad Ems und der Universität Mainz, Angewandte Geologie in der Fassung des Endberichtes von November 2007 auf. Der Inhalt des Berichtes wird als bekannt vorausgesetzt.

Bei den anstehenden Gesteinen handelt es sich um Ablagerungen des Oberen Unterdevon, des sogenannten Emsium (Tab. 01). Das Alter der Gesteine beträgt rund 390 Millionen Jahre.

Tab. 01: Stratigraphische Gliederung des Unterdevon (aus MALM 2007, nach STD 2002)

Zeit [Ma]	Epoche	Regional- Stufe	Unterstufe	Einheit	
				Hunsrück	Taunus
392,0	Unterdevon	Oberemsium	Kondel	Kieselgallenschiefer	
393,0					Flaserschiefer
394,0			Laubach	Warmstroth-Schichten	Laubach-Schichten
397,5			Lahnstein		Hohenrhein-Schichten
398,0					Emsquarzit
398,5				Walderbach-Schichten	
400,5		Unteremsium	Singhofen	Singhofen-Schichten	
402,0			Ulmen	Hunsrück-Schiefer	
404,5		Siegenium		Darustwald-Schichten	
405,5				Taunusquarzit	
409,5				Hermeskeil-Schichten	
411,5		Gedinnium		Bunte Schiefer	
417,5		Pridoli (Silur)		Pridolium	Graue Phyllite

Auf Grund der hohen Anteile von Ton, Silt und Feinsand der Hohenrhein- und Laubauch-Schichten sowie des Flaserschiefers lassen diese nur eine geringe Grundwasserneubildung zu, besitzen ein geringes Wasserspeichervermögen und stellen somit hydrogeologische Barrieren dar.

Im Lahntal treten zahlreiche Mineralwasserquellen auf. Zu den bekanntesten zählen die Emser Thermen. Das Wasser steigt hier durch die faltungsbedingt hohen Durchlässigkeiten im Bereich der Achse des Emser Quellensattels auf. Die überlagernden Ton-, Silt-, und Feinsandsteine des Unterdevons stellen eine natürliche hydrogeologische Barriere dar und verhindern den Aufstieg von Kohlensäure und Tiefenwasser in größerem Umfang. Ein Aufstieg von kohlensäurehaltigem Wasser ist nur in tief eingeschnittenen Tälern, verbunden mit hoher Gebirgsdurchlässigkeiten des Gesteins, möglich. Dies ist in dem Gebiet

gegeben, an denen der Emser Quellensattel durch die Lahn freigelegt wurde und überdeckende Ablagerungen erodiert worden sind.

Im Zusammenhang mit der Gebirgsbildung entstanden sulfidische Buntmetallerg-Lagerstätten, die bereits den Römern bekannt waren. Der Bergbau im Lahnavier wurde im Jahre 1963 mit Schließung der Grube Königsstiel bei Braubach eingestellt (WIEBER 2005) und erreichte zum Teil Tiefen von über 1000 m unter Geländeoberkante.

Die Vererzungen des Emser Gangzuges sind hydrothermal entstanden und wurden durch kompaktive Entwässerung der unterdevonischen Sedimente bei der Kontinent-Kontinent-Kollision verursacht (KIRNBAUER & SCHNEIDER 2005). Durch die Kompaktion wurden Buntmetalle aus den Sedimenten gelöst und an anderer Stelle in Klüften und Spalten ausgefällt. Die Erzbildung geschah nach HERBST & MÜLLER (1969) in drei zeitlich aufeinander folgenden Schritten, ausgehend im frühen Unterkarbon über das Oberkarbon, bis hinein in das Tertiär. Zinkblende (ZnS) und Bleiglanz (PbS) stellen zusammen mit kristallographisch an die Erze gebundenem Silber (Ag) das Hauptabbaugut der Grube Mercur dar.

Durch den tiefen Bergbau wurden an einigen Stellen die Thermalwasservorkommen angeschnitten. Bereits während der aktiven bergmännischen Tätigkeit wurde über warme Grubenwasserzutritte in den tieferen Bereichen der Grube Mercur berichtet. Die Wasserhaltung innerhalb der Gruben führte zu einem vorübergehenden Versiegen der Bad Emser Thermalquellen. Nach der kriegsbedingten Einstellung der Wasserhaltung regenerierten sich diese jedoch wieder und traten erneut frei zu Tage.

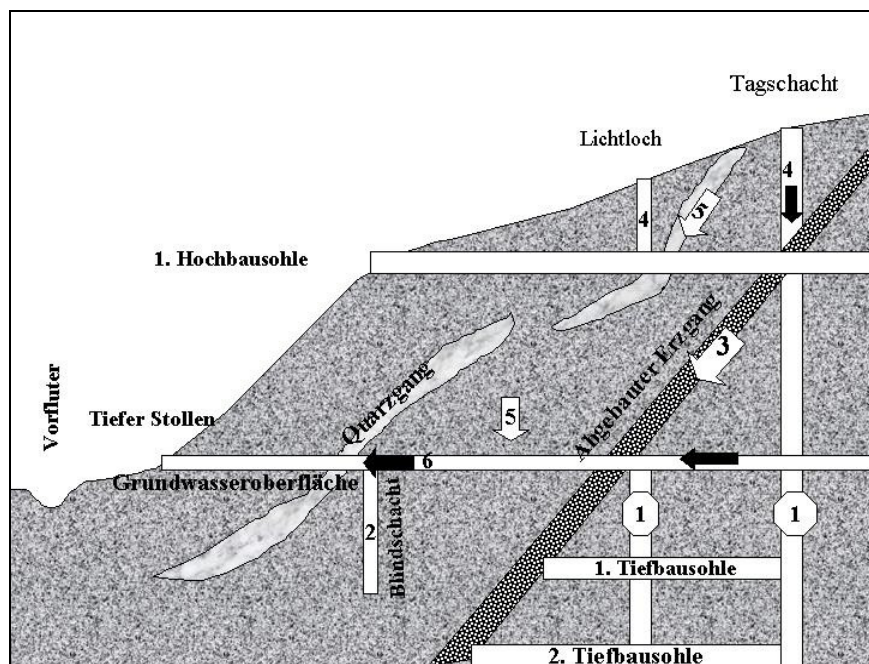
3. Beschaffenheit der Wässer

Hydrochemisch sind die Emser Thermalwässer durch hohe Temperaturen bis zu etwa 60 °C, sowie erhöhte Kohlendioxid-, Hydrogencarbonat- Chlorid- und Natriumgehalte charakterisiert. Die Thermalwässer sind farblos und klar. Bei Zutritt von Sauerstoff fallen amorphe Eisenhydroxide aus, welche eine leichte Gelbfärbung hervorrufen. Der Geschmack ist salzig und leicht säuerlich, die Wässer riechen leicht nach Schwefelwasserstoff und es tritt sichtbar Kohlensäure aus.

Die Austritte sowohl der Thermalwässer als auch der Grubenwässer lassen sich auf in mehr als 2000 m Tiefe zirkulierende Grundwässer zurückzuführen. Die minimale Herkunftstiefe von 2000 m konnte das Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz mittels Chalcedon- und Quarzthermometer im Rahmen der Neuabgrenzung des Heilquellenschutzgebietes ermitteln (HOHBERGER 2003). Den genauen Ursprung der Thermalwässer zu bestimmen gestaltet sich als schwierig. Anhand der Kohlensäureaustritte innerhalb des Lahnbettes und dem großen Anteil an Kohlensäure, welche sowohl die Heil- als auch die Grubenwässer besitzen, vermutet KOCH (1883) einen vulkanischen Einfluss auf das Thermalsystem von Bad Ems. Nach CARLÉ (1975), KOCH (1883) und WIEBER (2005) stammt ein Teil dieses Einflusses aus der Restaktivität des tertiären Westerwald-Vulkanismus. Für den hohen NaCl-Gehalt der Wässer zeichnen sich verschiedene Erklärung ab. So stellt z.B. Solemigration – von verschiedenen potentiellen Liefergebieten – eine mögliche Quelle dar (HÖLTING 1969; WIEBER 2006; VIEHMANN 2007). Eine weitere, in neuerer Zeit bevorzugte Erklärung stellen MAY et al. (1996) dar. Danach handelt es sich bei den aufsteigenden Thermalwässern um konnate Wässer, welche ihren Salzgehalt aus den marinen Ablagerungen des Unterdevon beziehen. Durch Auffaltung und Diagenese konnten Salzlösungen aus den devonischen Sedimenten gelöst und an anderer Stelle, vor allem an Klüften und Spalten, auskristallisiert werden. Diese leicht löslichen Kluftbestände stellen potentielle NaCl-Lieferanten dar (HOHBERGER 2003).

Durch den Erzbergbau wurden die hydrogeologischen Verhältnisse von Grund auf verändert. Durch das Auffahren der Bergwerke mit Stollen, Schächten und Abbaubereichen wurden hoch permeable Bereiche in dem vorher nahezu undurchlässigen Gestein geschaffen. In den abgebauten und mit Abraum verfüllten

Gebieten können große Wassermengen infiltriert werden. Eine zusätzliche Auflockerung des Gefüges geschieht durch Bergsenkung, dadurch können zusätzliche Wasserwegsamkeiten geschaffen werden. Durch den Bergbau und die damit einhergehende Wasserhaltung wurde der Grundwasserspiegel um mehrere hundert Meter gegenüber den Vorflutern abgesenkt. Nach der Einstellung der Wasserhaltung nach Beendigung der aktiven bergmännischen Tätigkeit stieg der Grundwasserspiegel nicht wieder auf das ursprüngliche Niveau an. Die Stollen, die sich durch den Berg ziehen und wie Drainagen wirken, führen dazu, dass sich das Grundwasser auf Höhe des Tiefen Stollens oder Wasserlosungsstollens einstellt. In Bad Ems geschieht die Entwässerung über den Stadtstollen in den Emsbach (Abb. 01 und 04). Aus dem Tollgrabenstollen und verschiedenen Hochbausohlen entwässern geringe Mengen Sickerwasser oder Interflow, jedoch kein tieferes Grundwasser. Die heutige hydrogeologische Situation lässt sich veranschaulicht in Abb. 03 erkennen.



- 1: in gefluteten Grubenbauen zirkul. Grundwasser
- 2: in Blindschächten eingestautes Grundwasser
- 3: Sickerwasser aus Abbaubereichen

- 4: Oberflächenwasserzutritte
- 5: Sickerwasser außerhalb von Vererzungen
- 6: In Röschen gefasste Grubenwässer

Abb. 03: Hydrogeologie gefluteter Grubenbaue (Schemadarstellung ohne Maßstab), (WIEBER 2006)

Für die Grube Mercur bedeutet dieser Sachverhalt, dass die Tiefbausohlen bis auf das Niveau des Stadtstollens (ca. 83 m NN) eingestaut sind und das Grubenwasser vollständig über diesen Stollen abfließt (Abb. 04). Dies wurde durch Messungen des Wasserstandes sowie der physiko-chemischen Parameter (Temperatur, Leitfähigkeit, etc.) im Schacht II (Abteilung Neuhoftung) sowie im Schacht I und Hilschacht (Abteilung Pflingstwiese) bestätigt. Nicht zugänglich sind die Abteilungen Fahnenberg und Tollgraben. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, dass diese Bereiche ebenfalls an das bestehende hydraulische System angeschlossen sind, wie auch durch hydrochemische Analysen belegt ist (WIEBER 2004).

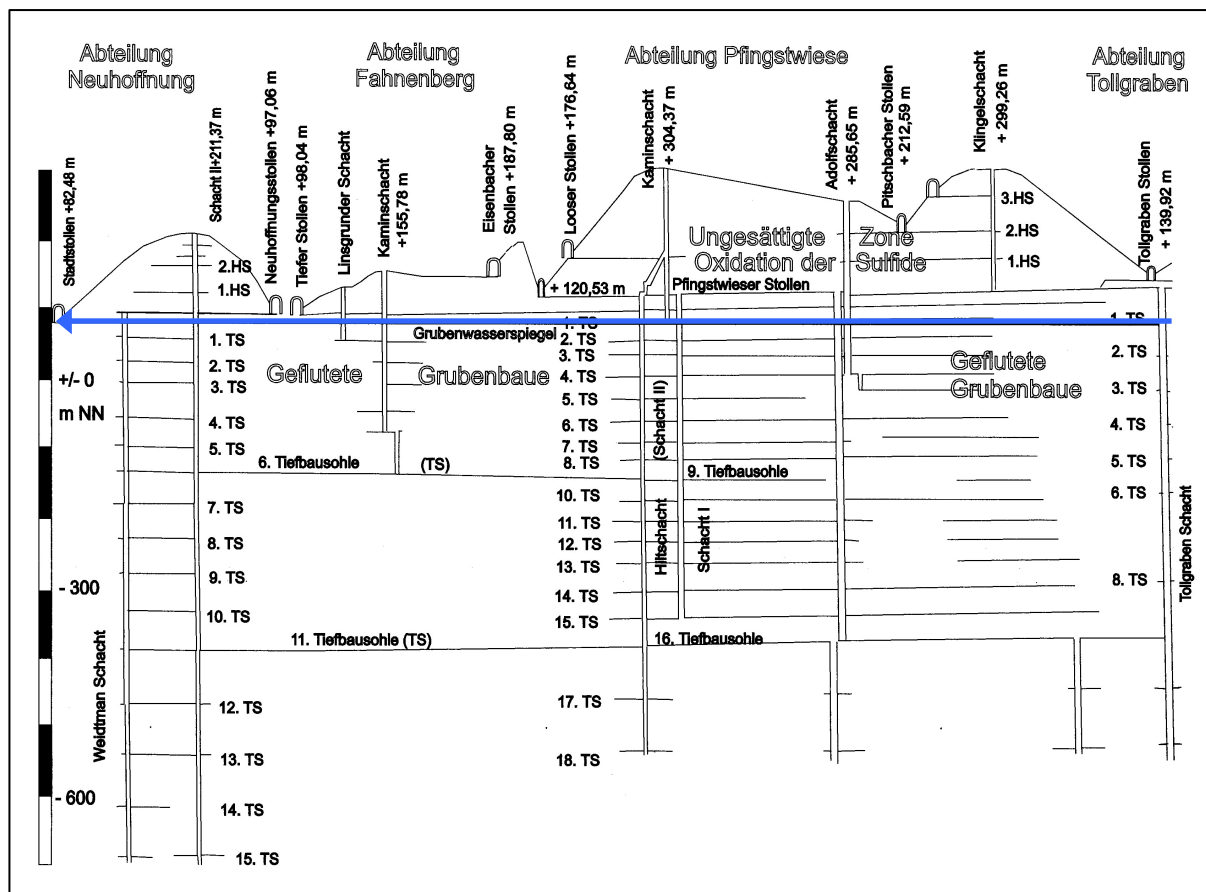


Abb. 04: Seigerriss der Grube Mercur (Länge: gekürzt)

Die Abteilung Neuhoftung der Grube Mercur (Abb. 01 und 04) ist über zwei Stollen zugänglich: den Stadtstollen und den Neuhoftungsstollen (Abb. 05). Durch den Bergbau aufgeschlossen, und für weitere Untersuchungen und eventuell anschließende geothermische Nutzungen zugänglich, sind der Schacht II, der Weidman-Schacht und die Bergesammelrolle (Abb. 01 und 05).

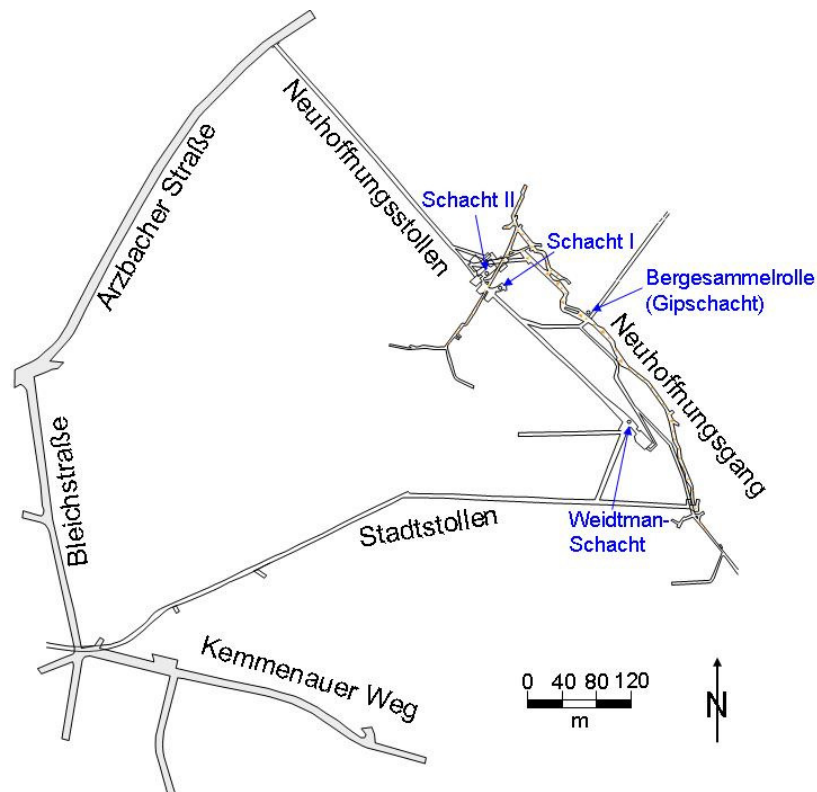


Abb. 05: Detailplan Abteilung Neuhoftung der Grube Mercur, Bad Ems

Vermauert und aus geotechnischen Gründen verfüllt ist nach Auskunft von Herrn Girmann (Verein Bergbau und Bahnen) Schacht I. Er steht somit weder für chemische Untersuchungen noch für geothermische Nutzung zur Verfügung.

Für eine geothermische Nutzung sind vor allem Wässer von Interesse, welche eine kontinuierlich hohe Schüttung oder einen annähernd gleichen Wasserstand (Tiefenschächte) aufweisen. Vorrangig und zeitlich vorgezogen soll der Firma F.I.S. sowie der Mennonitischen Gemeinde Bad Ems Geowärme bereitgestellt werden.

Auf die notwendigen technischen Umsetzungen der verschiedenen Varianten wird in Kapitel 5 gesondert eingegangen.

4. Durchgeführte Untersuchungen

Probenahmen:

- 24.11.2007: Grundwasser-Oberflächenproben von Schacht II, Weidtmanschacht und Bergesammelrolle: Vor-Ort-Parameter, Anionen, Kationen, Schwermetalle, Non-purgeable organic carbon (NPOC)
- 21.01.2008: Tiefenorientierte Probenahme in Schacht II (2 m, 50 m, 100 m, 150 m und 185 m Tiefe): Vor-Ort-Parameter, Anionen, Kationen, Schwermetalle, NPOC
- 16.02.2008: Probenahme in der Rösche des Stadtstollens (incl. Grundwasser-Oberflächenprobe Weidtmanschacht): Vor-Ort-Parameter, Anionen, Kationen, Schwermetalle, NPOC
- 07.03.2008: Probenahme in der Rösche des Stadtstollens (incl. Grundwasser-Oberflächenprobe Weidtmanschacht): Vor-Ort-Parameter, Anionen, Kationen, Schwermetalle, NPOC
- 11.04.2008: Pumpversuch in Schrägschacht zu Schacht II + Technikumsversuch für Gesamtprojekt: Vor-Ort-Parameter, Anionen, Kationen, Schwermetalle, NPOC
- 23.04.2008: Probenahme in der Rösche des Stadtstollens (incl. Grundwasser-Oberflächenprobe Weidtmanschacht): Vor-Ort-Parameter, Anionen, Kationen

Für die Untersuchung der Schwermetalle wurden die Proben jeweils mit einem 0,45 µm Membranfilter gefiltert und ungefiltert entnommen, um sowohl Aussagen über die gelöste als auch über die Schwebfracht treffen zu können.

4.1. Chemische Analytik

Im Rahmen des hier vorgestellten Teils zur Nutzung von Geowärme am Mundloch des Neuhoffnungsstollens in Bad Ems wurden Wasserproben von Schacht II, Weidtmanschacht und der Bergesammelrolle entnommen. Neben den Vor-Ort-Parametern Temperatur, Leitfähigkeit, Redoxpotential, Sauerstoffgehalt und pH-Wert

wurde die Säurekapazität bei pH-Wert 4,3 und die Basenkapazität bei pH-Wert 8,2 bestimmt. Für die Probenahme wurde insgesamt ein Wasservolumen von 450 ml benötigt. Bis auf die nicht gefilterte Probe für die Schwermetallanalytik wurden alle Proben mit 0,45 µm Membranfiltern filtriert. Dies trennt die Schwebfracht von der Lösungsfracht des Wassers. Um eine Ausfällung und Adsorption der Kationen an die Gefäßwand zu verhindern, werden die Probenflaschen angesäuert. Dies ist für die Anionenanalytik nicht notwendig. Für die Kationen- und Schwermetallproben werden 100 ml-PE-Flaschen mit 500 µl 65%-iger Salpetersäure angesäuert. Nach der ersten Probenahme am 24.11.2007 zeigte sich, dass sich der Gehalt des Gesamt-Organischen-Kohlenstoffs (total organic carbon, TOC) in nicht-angesäuerten Proben mit der Zeit vermindert. Daher wurden für alle weiteren Proben die diese Flaschen mit 0,375 µl 85%-iger Phosphorsäure angesäuert. Dies hat eine Konservierung des Kohlenstoffs zur Folge. Allerdings kann nun nicht mehr der TOC bestimmt werden, sondern lediglich der Nicht-flüchtige-Organische-Kohlenstoff (non-purgeable organic carbon, NPOC). Alle Proben wurden im Kühlschrank aufbewahrt und zeitnah analysiert.

Die Anionen- und Kationenanalytik erfolgt im Hydrochemischen Labor der Universität Mainz, Angewandte Geologie. Für die Bestimmung der Anionen F^- , Cl^- , Br^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} und PO_4^{2-} wird der Ionenchromatograph 761 Compactic der Firma Methrom verwendet. Für die Kationen Na^+ , K^+ , Li^+ und Ca^{2+} wird das Flammenphotometer Elex 6361 der Firma Eppendorf benutzt. Die Bestimmung von Mg^{2+} erfolgt im Geomorphologischen Labor der Universität Mainz und wird mit dem Atomabsorptionsspektroskop (AAS) Varian AA240FS durchgeführt. Die Schwermetalle wurden bis auf die Tiefenproben am 21.01.2008 durch das Material- und Umweltlabor MUL in Troisdorf analysiert. Die Tiefenproben wurden am ICPMS-Gerät des Landesamtes für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (LGB-RLP) gemessen.

Die Analysenergebnisse der Probenahme von oberflächennahem Grundwasser von Schacht II, Weidtmann-Schacht und der Bergesammelrolle sind in Tabelle 02 zusammengestellt.

Tab. 02: hydrochemische Beschaffenheit der Grundwässer der Grube Mercur,
Abteilung Neuhoftung, Bad Ems (Probenahme 24.11.2007)

	Weidtmann Schacht	Schacht II	Bergesammel- rolle („Gipsschacht“)
Probenahmedatum	24.11.2007	24.11.2007	24.11.2007
Temperatur [°C]	22,20	22,40	22,80
El. Leitf. [µS/cm]	2112	2260	2200
pH-Wert	6,19	6,06	6,26
Redox-Potential [mV]	n.b.	n.b.	n.b.
Sauerstoff [mg/l]	1,70	1,08	0,88
K _{S 4,3} [mmol/l]	21,7	22,4	21,9
K _{B 8,2} [mmol/l]	18,0	15,1	16,6
Ca [mg/l]	124	122	121
Mg [mg/l]	51,0	51,0	52,9
Na [mg/l]	347	332	339
K [mg/l]	8,13	7,90	8,56
Li [mg/l]	0,38	0,50	0,39
SiO ₃ [mg/l]	n.b.	n.b.	n.b.
Cl [mg/l]	83,4	100	81,6
SO ₄ [mg/l]	68,6	84,4	71,5
HCO ₃ [mg/l]	1324	1366	1336
NO ₃ [mg/l]	n.b.	n.b.	n.b.
NO ₂ [mg/l]	<0,1	<0,1	<0,1
Br [mg/l]	<0,1	<0,1	<0,1
F [mg/l]	0,63	0,77	0,80
PO ₄ [mg/l]	<0,1	<0,1	<0,1
As [µg/l]	173	282	1070
Cd [µg/l]	<1,00	<1,0	1,00
Cr [µg/l]	<10,0	<10,0	<10,0
Cu [µg/l]	<10,0	<10,0	<10,0
Fe [µg/l]	8.870	9.660	19.200
Mn [µg/l]	1.040	1.100	1.330
Ni [µg/l]	83,0	87,0	105
Pb [µg/l]	53,0	101	343
Zn [µg/l]	553	615	763
Σ Kationen [mmol(eq)/l]	25,6	24,8	25,2
Σ Anionen [mmol(eq)/l]	25,5	27,0	25,7
relativer Fehler %	0,05	-2,18	-0,48

n.n.: nicht nachweisbar

n.b.: nicht bestimmbar

Die hydrochemischen Analysen zeigen Wässer unmittelbar vergleichbarer Zusammensetzung an. Dies zeigt sich auch in den graphischen Darstellungen der Wässer als Schöller- (Abb. 06) bzw. Piper-Diagramm (Abb. 07). Die Wässer sind durch Temperaturen oberhalb von 22°C, schwach saure pH-Werte sowie hohe Mineralisationen (elektrische Leitfähigkeiten > 2.200 µS/cm) charakterisiert. Bei den Anionen dominiert HCO_3^- deutlich [>80ceq-%]. Der Äquivalentanteil von Natrium liegt höher als die Summe der Erdalkalien (Ca, Mg). Die Gehalte an Eisen (8,9 bis 19,2 mg/l) und Mangan (>1 mg/l), untergeordnet an Arsen (0,2 bis 1,0 mg/l), Blei (bis 0,34 mg/l) und Zink (0,55 bis 0,76 mg/l) sind deutlich erhöht. Die Wässer sind nach FURTAK & LANGGUTH (1967) als überwiegend hydrogencarbonatische, alkalische Wässer zu charakterisieren.

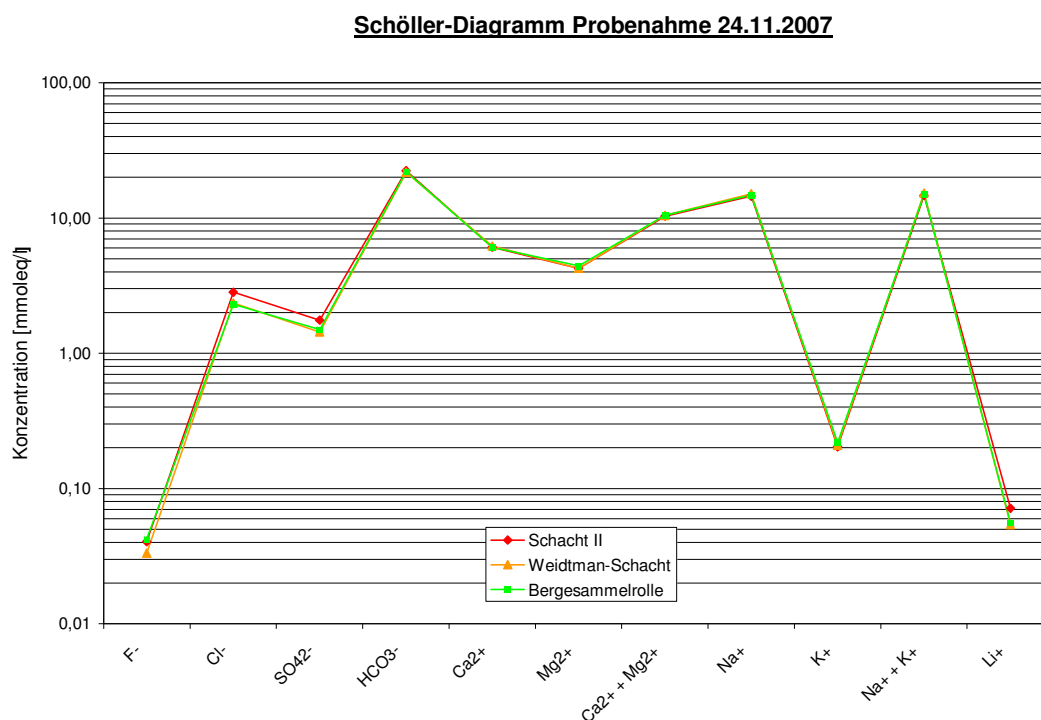


Abb. 06: Schöller-Diagramm Probenahme Schacht II, Weidman-Schacht und Bergesammelrolle am 24.11.2007

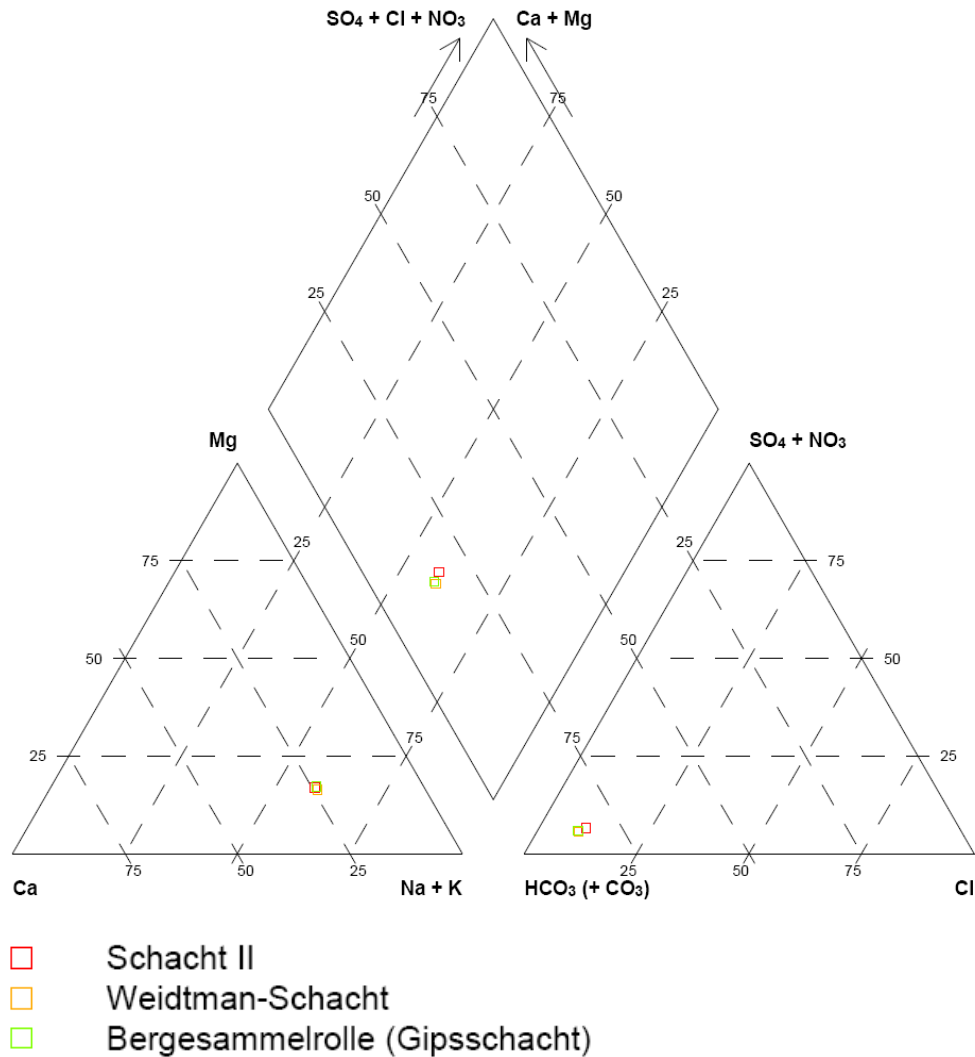


Abb. 07: Piper-Diagramm Probenahme Schacht II, Weidtmann-Schacht und Bergesammelrolle am 24.11.2007

Wegen der unmittelbar vergleichbaren Beschaffenheit der Grubenwässer und der geringeren Entfernung zum Gewerbegebiet (potentieller Verbraucher) wurden die weiteren teufendifferenzierten Probenahmen beim Schacht II durchgeführt. Die Entnahme der Proben erfolgte mittels Spezialschöpfer aus 2 m, 50 m, 100 m, 150 m sowie 185 m unter Wasseroberfläche. Der Schöpfer wurde in den vorgegebenen Tiefen wasserdicht verschlossen und die Proben anschließend mittels Winde nach über Tage befördert.

Tab. 03: hydrochemische Beschaffenheit der Grundwässer des Schachtes II der
Grube Mercur, Abteilung Neuhoftung, Bad Ems (Probenahme
20.01.2008)

Tiefe der Probenahme:	-2 m gefilt.	-2 m ungef.	-50 m gefilt.	-50 m ungef.	-100 m gefilt.	-100 m ungef.	-150 m gefilt.	-150 m ungef.	-185 m gefilt.	-185 m ungef.
Temperatur [°C]	22,5	22,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	26,0	26,0
El. Leitf. [µS/cm]	2180	2180	2160	2160	2170	2170	2160	2160	2180	2180
pH-Wert	6,40	6,40	6,26	6,26	6,27	6,27	6,28	6,28	6,27	6,27
Redox-Pot. [mV]	52	52	27	27	20	20	19	19	6	6
Sauerstoff [mg/l]	0,68	0,68	0,57	0,57	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
K _{S 4,3} [mmol/l]	22,5	22,5	22,6	22,6	22,8	22,8	22,7	22,7	23,25	23,25
K _{B 8,2} [mmol/l]	18,0	18,0	17,6	17,6	17,9	17,9	20,25	20,25	15,5	15,5
Ca [mg/l]	121	121	121	121	121	121	118	118	121	121
Mg [mg/l]	56,9	58,1	56,7	56,1	57,3	56,7	54,7	56,6	54,0	55,2
Na [mg/l]	346	346	343	343	333	333	345	345	302	302
K [mg/l]	8,66	8,66	8,55	8,55	8,81	8,81	7,98	7,98	7,98	7,98
Li [mg/l]	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
SiO ₃ [mg/l]	43,3	40,1	38,6	41,4	38,4	39,0	38,1	41,9	37,9	44,8
Cl [mg/l]	86,7	86,7	89,8	89,8	89,1	89,1	91,6	91,6	87,8	87,8
SO ₄ [mg/l]	72,3	72,3	72,7	72,7	71,9	71,9	72,0	72,0	70,6	70,6
HCO ₃ [mg/l]	1373	1373	1379	1379	1391	1391	1385	1385	1418	1418
NO ₃ [mg/l]	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
NO ₂ [mg/l]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Br [mg/l]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
PO ₄ [mg/l]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
F [mg/l]	0,87	0,87	1,44	1,44	1,2	1,23	1,70	1,70	0,86	0,86
Al [mg/l]	8,82	10,6	9,64	9,38	8,92	9,77	9,85	10,5	8,58	8,77
As [µg/l]	174	299	177	274	189	299	188	319	271	342
Cd [µg/l]	0,33	0,60	0,32	0,44	0,35	0,49	0,52	0,65	0,38	0,45
Cr [µg/l]	0,83	1,35	0,83	1,35	0,72	1,09	0,85	1,26	0,68	0,96
Cu [µg/l]	22,0	38,0	19,0	37,0	14,0	27,0	20,0	31,0	12,0	20,0
Fe [mg/l]	8,74	14,1	8,89	14,6	9,75	13,6	9,77	14,1	12,8	14,5
Mn [mg/l]	1,55	1,60	1,55	1,69	1,54	1,56	1,51	1,58	1,50	1,54
Ni [µg/l]	453	718	716	518	502	506	472	487	379	392
Pb [µg/l]	1,92	131	6,69	95,5	14,6	125	13,2	156	16,9	120
Sr [mg/l]	0,88	0,89	0,88	0,87	0,88	0,89	0,86	0,86	0,87	0,87
Zn [mg/l]	0,845	1,19	0,97	0,96	0,91	1,07	1,02	1,13	0,87	0,94
Σ Kationen [mmol(eq)/l]	26,62	26,69	26,40	26,42	26,47	26,63	26,31	26,57	26,43	26,84
Σ Anionen [mmol(eq)/l]	26,59	26,66	26,37	26,39	26,45	26,60	26,25	26,54	26,40	26,82
rel. Fehler %	0,39	0,70	-1,10	-0,91	-1,30	-0,93	-2,20	-1,16	-2,99	-1,55

n.n.: nicht nachweisbar n.b.: nicht bestimmt

Die Ergebnisse der Übersichtsbeprobung (Tab. 02) wurden hinsichtlich der physiko-chemischen Beschaffenheit bei den vertiefenden Untersuchungen (Tab. 03) bei den Wässern des Schachtes bestätigt und ändern sich auch zur Tiefe hin nur unwesentlich. Dies lässt sich graphisch gut im Schöller-Diagramm (Abb. 08) und Piper-Diagramm (Abb. 09) der Tiefenprobenahme erkennen.

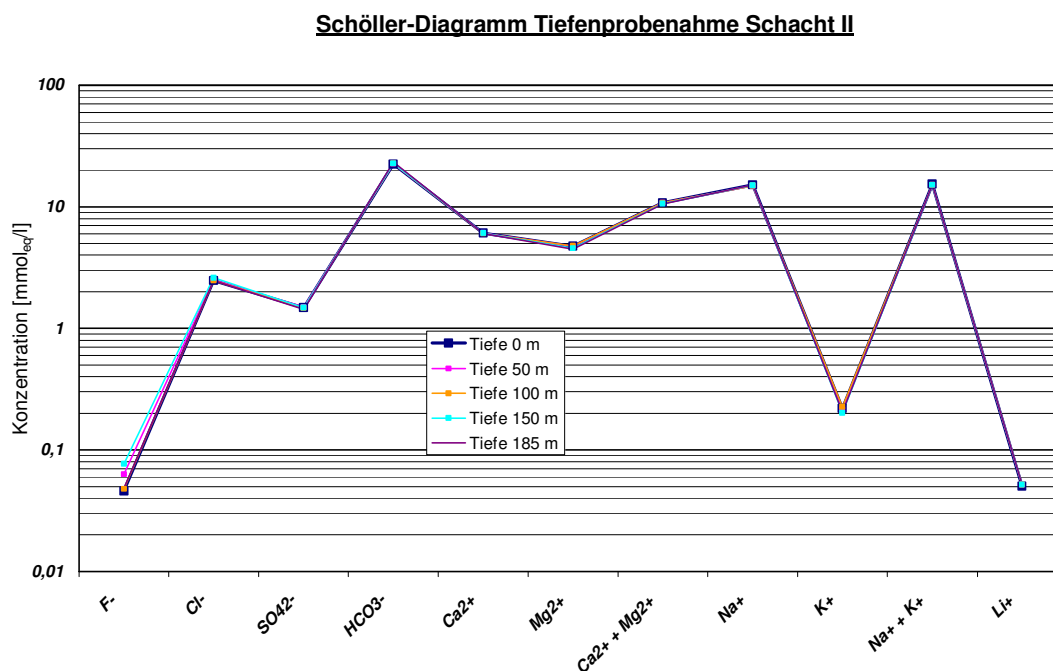


Abb. 08: Schöller-Diagramm Tiefenprobenahme Schacht II am 20.01.2008

Die Wässer sind durch Temperaturen oberhalb von 22 °C, schwach saure pH-Werte sowie hohe Mineralisationen (elektrische Leitfähigkeiten > 2.100 µS/cm) charakterisiert. Bei den Anionen dominiert HCO₃⁻ deutlich. Der Äquivalentanteil von Natrium liegt höher als die Summe der Erdalkalien (Ca, Mg). Die Gehalte an Eisen (8,74 bis 14,6 mg/l) und Mangan (>1 mg/l), untergeordnet an Arsen (0,1 bis 0,3 mg/l), Blei (bis 0,16 mg/l) und Zink (0,85 bis 1,2 mg/l) sind deutlich erhöht. Auch bei diesen Wässern handelt es sich nach FURTAK & LANGGUTH (1967) um überwiegend hydrogencarbonatische, alkalische Wässer.

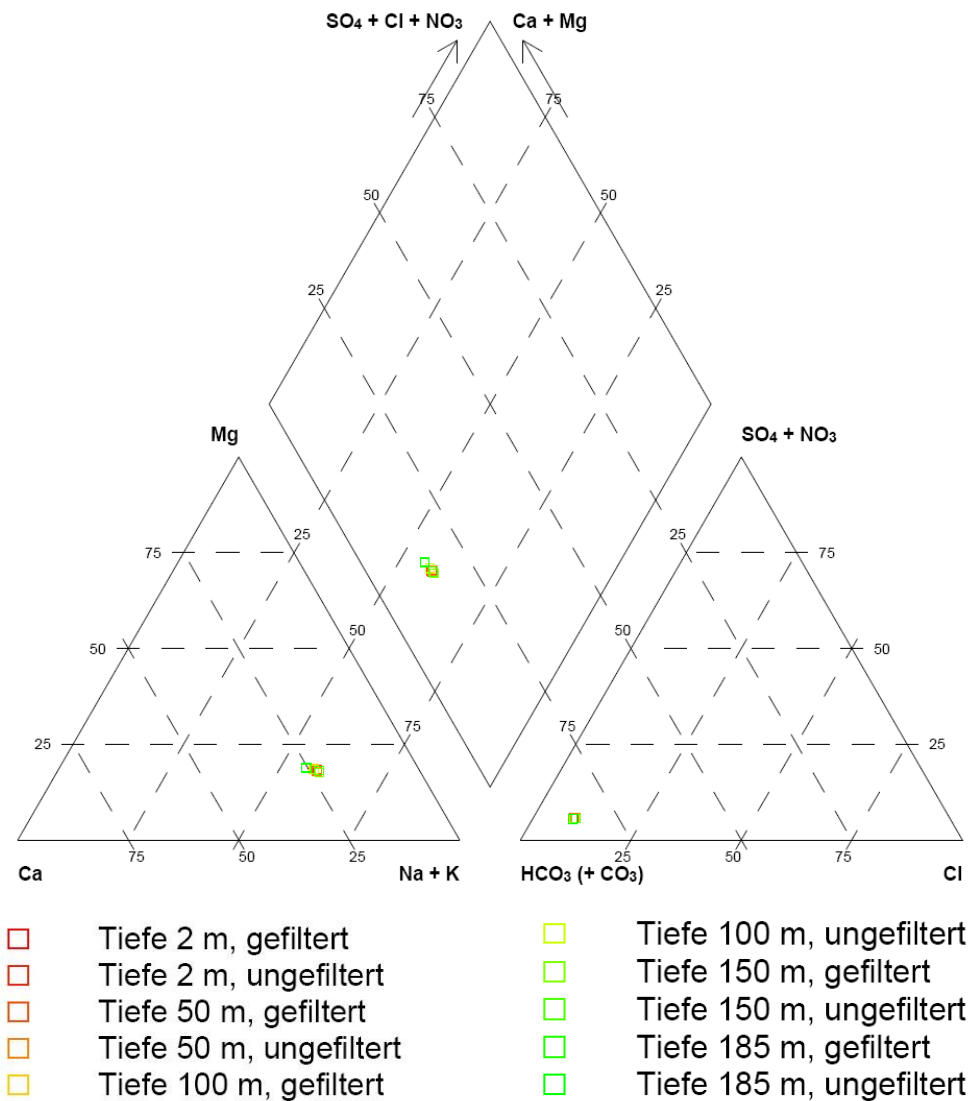


Abb. 09: Piper-Diagramme Tiefenprobenahme Schacht II am 20.01.2008

Für die geothermische Nutzung problematisch sind insbesondere die hohen Gehalte an Eisen und Mangan. Die Untersuchungen (Tab. 03) zeigen hohe Eisengehalte (13,6 bis 14,6 mg/l) in gelöster (gefiltert) wie auch als ungelöster Form (ungefiltert). Erst in größerer Tiefe (-185 m unter Wasseroberfläche) gehen die ungelösten Anteile (Schwebfracht) deutlich zurück, wobei aber immer noch 1,7 mg/l Fe ungelöst analysiert wurden (Abb. 10). Diese Aussage ist aber nur mit einer Probe belegt und bedarf der Verifizierung. Die Mangankonzentrationen kommen über die gesamt

beprobte Teufe in vergleichbarer Größe (1,50 bis 1,69 mg/l) vor und liegen überwiegend in gelöster Form vor (gefiltert ~ ungefiltert).

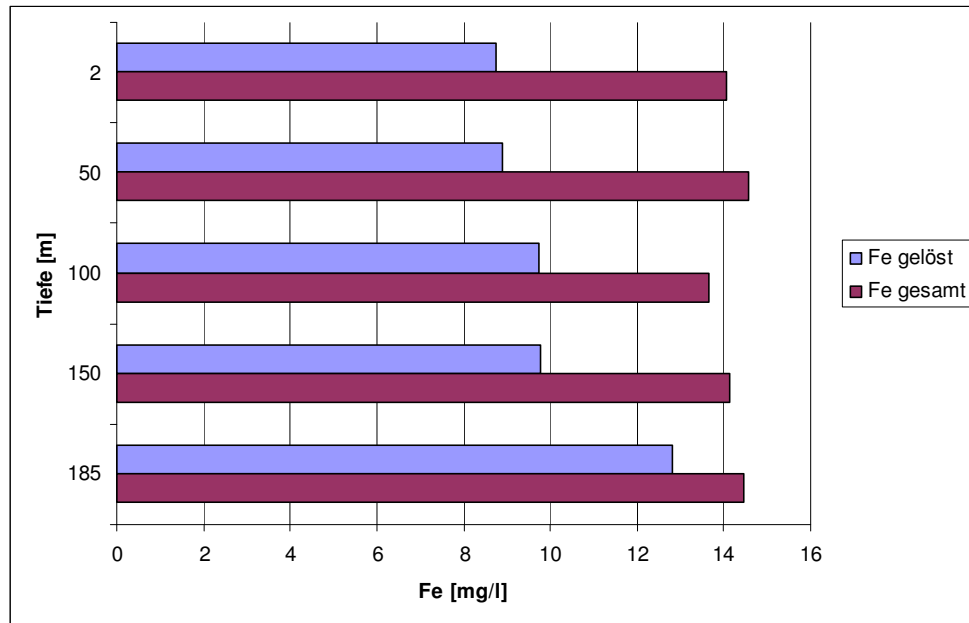


Abb. 10: Tiefendifferenzierte Eisengehalte [$\text{Fe}_{\text{gelöst}}$ und $\text{Fe}_{\text{ungelöst}}$] der Wässern des Schachtes 2

Berechnungen zum Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht zeigen, dass die Wässer nicht im Gleichgewicht stehen. Beispielhaft wurden für die Probe aus dem Schacht II, Entnahmetiefe 2 m unter Wasseroberfläche, ein Gleichgewichts-pH-Wert nach STROHECKER, LANGELIER und LARSON & BUSWELL (in HÖLTING 2005) von 6,63 bestimmt. Der Vor-Ort-Messwert beträgt jedoch 6,40. Der Sättigungs- oder LANGELIER-Index liegt damit bei -0,23. Die Wässer stehen damit nicht im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht sondern sind untersättigt an Kalk (korrosiv). Neben diesen Berechnungen wurde nach DIN 38404-10 die Calcitsättigung durch den pH-Schnelltest durchgeführt. Dabei wurde der pH-Wert des Grubenwassers des Weidtmann-Schachtes vor und nach Zugabe von rund 3 g Carbonatpulvers bestimmt. Es zeigt sich, dass der pH-Wert nach Zugabe des Pulvers um 0,04 Einheiten von 6,30 auf 6,34 ansteigt. Das Wasser ist somit calcitlösend, also untersättigt gegen Kalk. Da die Konzentration an ungebundener Kohlensäure aber nahe am Gleichgewicht liegt, sind auch temporäre Übersättigungen nicht auszuschließen.

Tab. 04: hydrochemische Beschaffenheit der Grundwässer der Grube Mercur,
Abteilung Neuhoftung, Bad Ems, Weidtman-Schacht

	Weidtman-Schacht 16.02.2008	Weidtman-Schacht 07.03.2008	Weidtman-Schacht 28.03.2008	Weidtman-Schacht 23.04.2008
Temperatur [°C]	23,9	24,7	25,1	24,9
El. Leitf. [µS/cm]	2210	2200	2230	2210
pH-Wert	6,26	6,2	6,24	6,22
Redox-Pot. [mV]	217	195	195	232
Sauerstoff [mg/l]	0,66	0,83	0,76	0,6
K _{S 4,3} [mmol/l]	23,1	23,1	25,1	22,9
K _{B 8,2} [mmol/l]	20,4	21,3	20,6	19,7
Ca [mg/l]	124	124	123	121
Mg [mg/l]	50,3	50,3	49,1	n.b.
Na [mg/l]	355	352	355	348
K [mg/l]	7,86	7,89	8,08	7,83
Li [mg/l]	0,37	0,37	0,37	0,36
SiO ₃ [mg/l]	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cl [mg/l]	88,4	86,4	88,7	88,9
SO ₄ [mg/l]	68,5	68,9	68,3	69,6
HCO ₃ [mg/l]	1409	1409	1531	1397
NO ₃ [mg/l]	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
NO ₂ [mg/l]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Br [mg/l]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
F [mg/l]	0,71	0,58	0,73	0,68
PO ₄ [mg/l]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
As [µg/l]	<30*	<30*	148*	n.b.
Cd [µg/l]	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cr [µg/l]	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Cu [µg/l]	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Fe [µg/l]	131*	1120*	8970*	n.b.
Mn [µg/l]	808*	1150*	1165*	n.b.
Ni [µg/l]	69,0*	86*	94*	n.b.
Pb [µg/l]	17,0*	19*	<10*	n.b.
Zn [µg/l]	366*	534*	536*	n.b.
Σ Kationen [mmol(eq)/l]	27,1	27,0	25,9	n.b.
Σ Anionen [mmol(eq)/l]	26,0	25,9	29,1	n.b.
rel. Fehler [%]	-3,98	-4,27	-11,57	n.b.

n.n.: nicht nachweisbar

n.b.: nicht bestimmt

*: gefilterte Probe

Die Magnesiumanalysen der Proben vom 23.04. lagen zum Zeitpunkt der Fertigstellung des Berichtes noch nicht vor, werden aber für das Gesamtprojekt ergänzt, daher konnte kein Ionenbilanzfehler bestimmt werden. Im Rahmen der

Probenahme am 23.04.2008 wurde auf Grund der bisherigen Ergebnisse auf Schwermetallproben verzichtet.

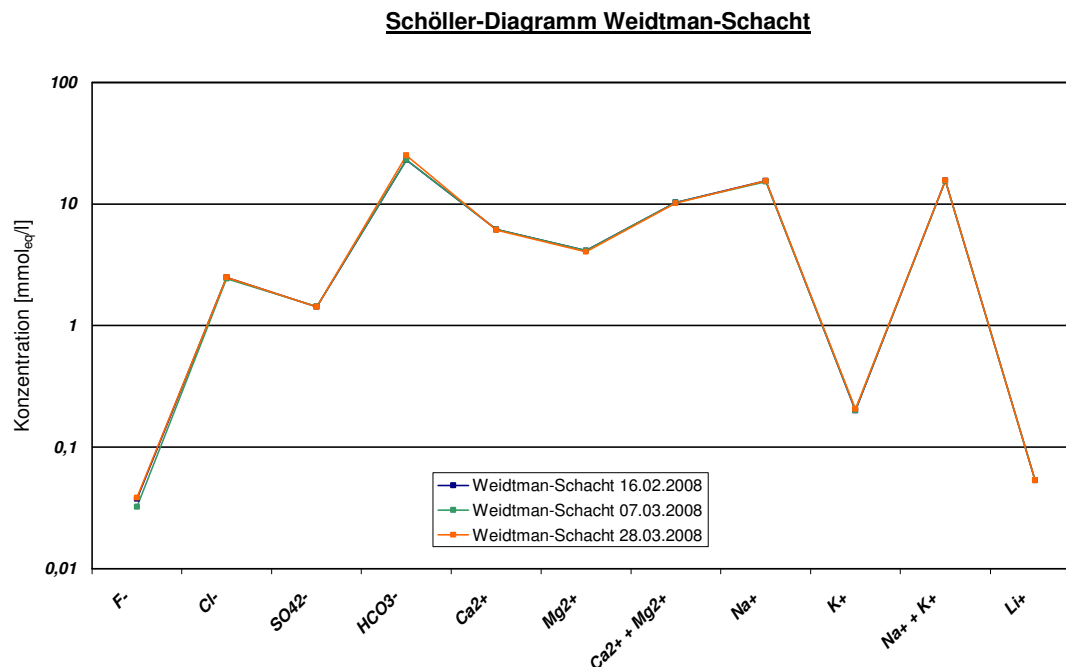


Abb. 11: Schöller-Diagramm Weidtmann-Schacht, Probenahme 16.02., 07.03. und 28.03.2008

Die wiederholt durchgeführten oberflächennahen Probenahmen des Weidtmann-Schachtes zeigen, dass sich die physiko-chemischen Parameter mit der Zeit nur minimal verändern. Dies zeigt sich graphisch gut im Schöller- (Abb. 11) und Piper-Diagramm (Abb. 12) der Proben. Die geringen Veränderungen sind nicht signifikant und haben nach derzeitigem Kenntnisstand keinen Einfluss auf eine potentielle geothermische Nutzung des Wassers.

Die Wässer sind durch Temperaturen oberhalb von 23 °C, schwach saure pH-Werte sowie hohe Mineralisationen (elektrische Leitfähigkeiten > 2.200 µS/cm) charakterisiert. Bei den Anionen dominiert HCO₃⁻ deutlich. Der Äquivalentanteil von Natrium liegt höher als die Summe der Erdalkalien (Ca, Mg). Die Gehalte an Eisen 0,1 bis 1,1 mg/l, Mangan (0,8 bis 1,2 mg/l), und Zink (0,4 bis 0,5 mg/l) sind deutlich erhöht. Diese Wässer sind nach FURTAK & LANGGUTH (1967) als überwiegend hydrogencarbonatische, alkalische Wässer einzustufen.

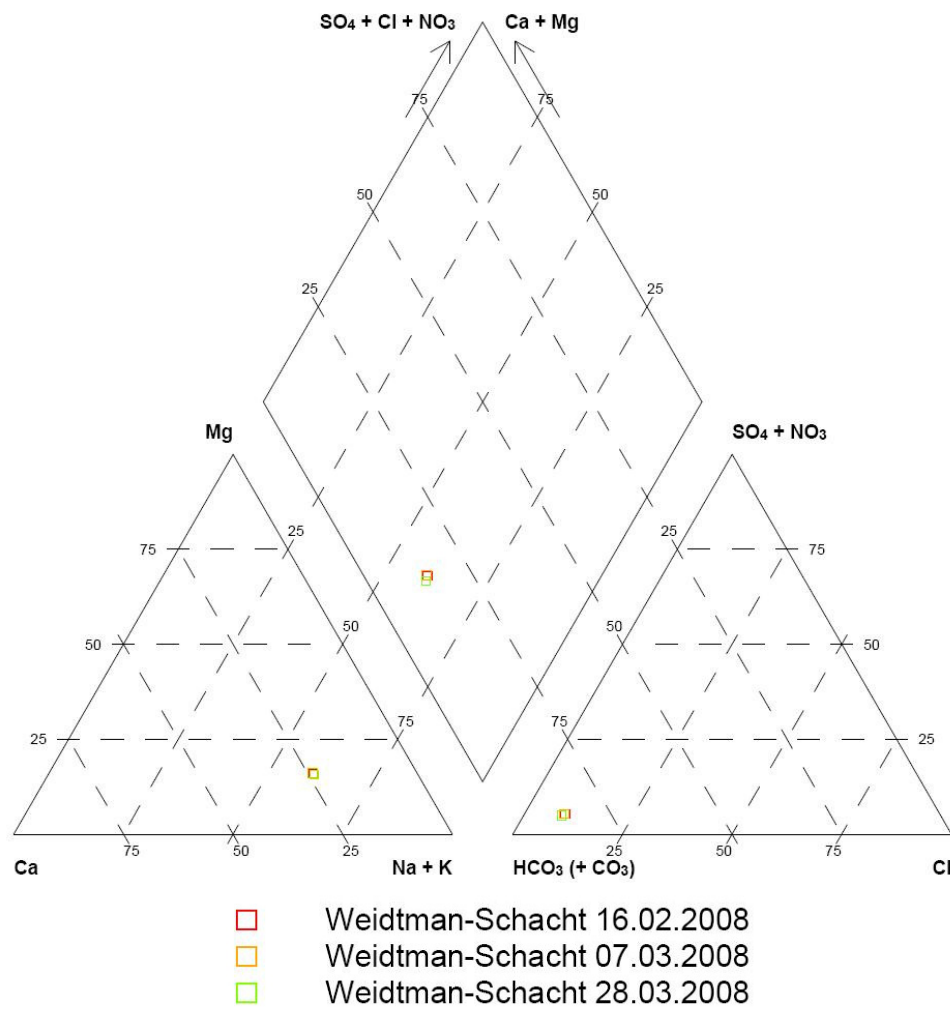


Abb. 12: Piper-Diagramm Weidtmann-Schacht, Probenahme am 16.02., 07.03. und 28.03.2008

4.2. Pumpversuch

Vom 11. bis 12.04.2008 wurde in einem Nebenschacht nördlich von Schacht II ein insgesamt etwa 12-stündiger Pumpversuch mit einer konstanten Förderleistung von 3,96 l/s durchgeführt. Diese gewählte Pumpleistung orientiert sich an der geplanten Entzugsleistung. Der Versuch diente dazu herauszufinden, ob das Grubenwasser auf Grund der Entgasung von Kohlendioxid pumpbar ist, ob sich der Grundwasserspiegel und die Temperatur des Wassers verändern. Der Nebenschacht ist etwa 15 m von Schacht II entfernt und hat einen annähernd quadratischen Querschnitt von 2 m x 2 m. In etwa 40 m Tiefe knickt er ab und führt zu Schacht II. Er wird im Folgenden als Nebenschacht II bezeichnet. Die Wasserspiegel wurden in Nebenschacht II, in Schacht II und in der Bergesammelrolle über die Zeit kontinuierlich gemessen. Die Ergebnisse (Förderleistung sowie Grundwasserspiegel in Nebenschacht II, Schacht II und Bergesammelrolle) des Pumpversuches sind graphisch in Abb. 13 dargestellt.

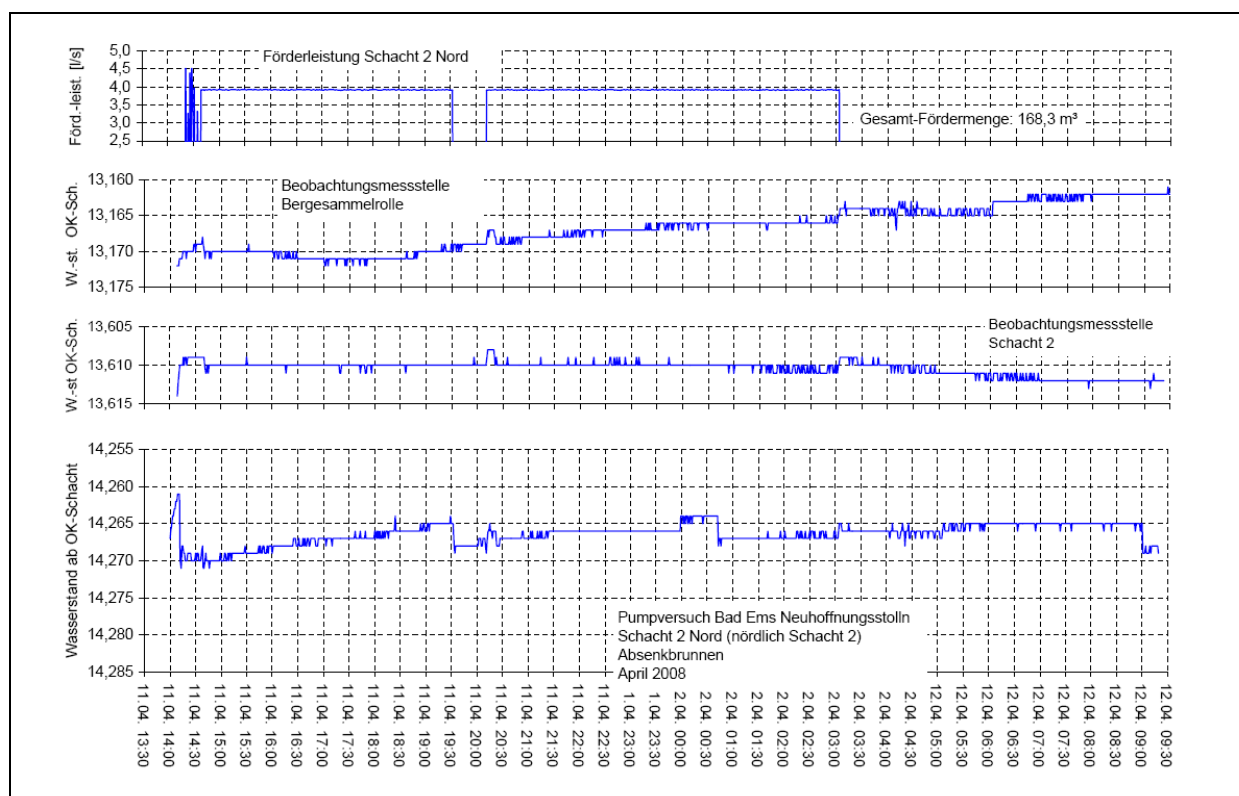


Abb. 13 Leistungsscharakteristik des Pumpversuches vom 11. bis 12.04.2008
(aus: geoconsult Pohl: Geothermische Nutzung der Wärme des Wassers über den Neuöffnungsstollen)

Das geförderte Wasser wurde in einer Versickerungsstelle rund 195 m von Nebenschacht II und etwa 10 m von der Bergesammelrolle (Abb. 14) entfernt reinfiltriert.

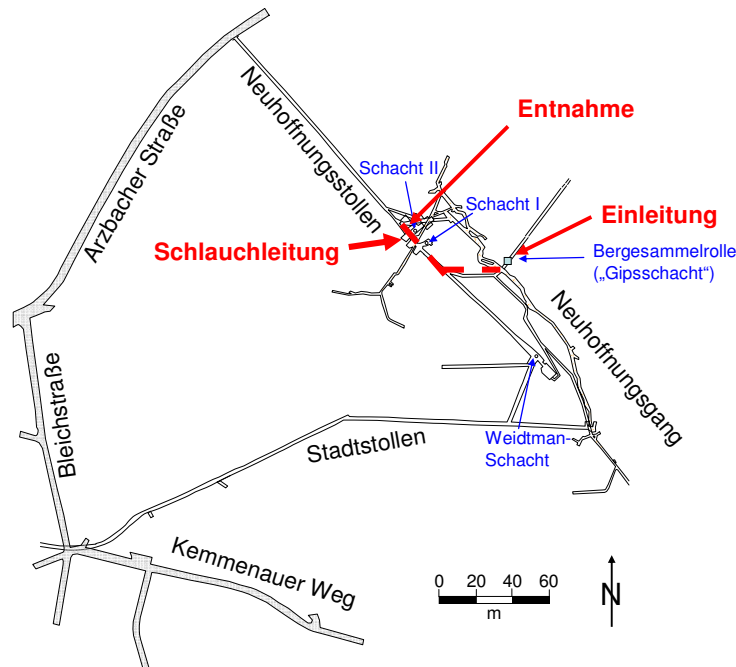


Abb. 14: Position der Grubenwasserentnahme und -einleitung während des Pumpversuchs

In einer Tiefe von 25,5 m unter Stollensohle wurde eine Fördertauchpumpe (Grundfos SP 14A-7) mit geringer Drehzahl eingebaut. Die geringe Drehzahl soll Kavitation, verbunden mit Pumpenschäden, und dem Entstehen von Taylor-Blasen verhindern. Während des Pumpversuches wurde neben den Wasserspiegeln auch die geförderte Wassermenge aufgezeichnet. Insgesamt ergibt sich eine geförderte Wassermenge von 168,3 m³. Auf die Fläche des Schachtes von 4 m² bezogen entspricht dies einer Wassersäule von etwa 42 m.

Insgesamt gesehen lieferte der Pumpversuch zahlreiche Ergebnisse. Zum Einen stellte sich das Grubenwasser als grundsätzlich pumpbar heraus. Dies war auf Grund der starken Kohlendioxid-Entgasung und der Entwicklung von Taylor-Blasen nicht sicher, konnte jedoch durch den Pumpversuch gesichert festgestellt werden. Des Weiteren konnte nachgewiesen werden, dass sich über die Dauer des Pumpversuches von rund 12 h nur eine minimale Absenkung im Schacht selbst ausbildete. Eine nennenswerte Abkühlung der Temperatur des geförderten Wassers

über die Dauer des Versuches konnte ebenfalls nicht festgestellt werden. Generell verfügt das Grubenwasser über ein immenses Regenerationsvermögen bezüglich des Wärmepotentials. Ebenfalls stellte sich heraus, dass die gewählte Versickerungsstelle günstig ist. Sie nimmt ausreichende Wassermengen auf, ohne dass ein Wasseranstieg zu verzeichnen ist. Zudem wird im Falle eines Überlaufens oder Versagens das überschüssige Wasser in die Bergesammelrolle abgeleitet. Details zur Durchführung des Pumpversuches und näherer Erläuterungen finden sich in dem anliegenden Gutachten von geoconsult Pohl (Anlage 1).

Neben dem eigentlichen Pumpversuch wurde für die Betrachtung der Schlammengen im Rahmen des Gesamtprojektes ein umfangreicher Versuch mit dem gepumpten Wasser durchgeführt. Dazu wurde an die Pumpe ein Schlauch angeschlossen, der eine konstante Wassermenge von 0,1 l/s für diesen Versuch lieferte. Diese geringe Wassermenge war notwendig, um ein Überlaufen des Versuchsaufbaus zu verhindern und einen optimalen Durchfluss zu gewährleisten. Zu Beginn und während des Versuchs wurden die Vor-Ort-Parameter des Wassers bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 05 dargestellt und bestätigen, dass sich durch die Entnahme und Reinfiltration des Wassers nur unwesentliche Veränderungen der hydrogeologischen Bedingungen ergeben.

Tab. 05: Vor-Ort-Parameter im Rahmen des Pumpversuches am Schrägschacht zu Schacht II

	Schrägschacht zu Schacht II	Schrägschacht zu Schacht II
Datum	11.04.2008	11.04.2008
Uhrzeit	14:40	19:50
Temperatur [°C]	22,8	23,7
El. Leitf. [µS/cm]	2160	2140
pH-Wert	6,25	6,20
Redox-Potential [mV]	258	204
Sauerstoff [mg/l]	0,99	0,95
K _{S 4,3} [mmol/l]	23,6	22,8
K _{B 8,2} [mmol/l]	12	15

4.3. Standsicherheit

Im Rahmen der von geoconsult Pohl (Anlage 1) durchgeführten Untersuchung wurden der Neuhoffnungsstollen, der Zugangsstollen zu Nebenschacht II, der Stollen zur Bergesammelrolle (bis zur Wasserrückführung) sowie der Neuhoffnungsstollen bis zum Weidtman-Schacht ingenieurgeologisch aufgenommen. Dies dient dazu, eine Aussage über die Standsicherheit der Stollen treffen zu können sowie notwendige Sanierungsmaßnahmen im Falle der geothermischen Nutzung abschätzen zu können. Aus den Untersuchungen ergibt sich, dass der Zustand der Stollen überwiegend als gut eingestuft werden kann und derzeit kein Handlungsbedarf hinsichtlich einer Sanierung der Stollen besteht. Es wird eine jährliche Überprüfung der Stollen und Schächte empfohlen. Neben den Stollen wurden Schacht II (bis in 220 m Tiefe) und Nebenschacht II (bis in 40 m Tiefe) mit einem Bleigewicht ausgelotet, um die Zugänglichkeit und das Vorhandensein von Hindernissen beurteilen zu können. Bei Nebenschacht II handelt es sich demnach um einen ausbetonierten Blindschacht, welcher keinen Zugang zur Geländeoberfläche aufweist. Er ist bis 40 m unter Stollensohle ohne Hindernisse und hat einen durchschnittlichen Querschnitt von 2 x 2 m. Bei Schacht II handelt es sich um einen Tagschacht, der in ca. 115 m über Stollenniveau die Geländeoberkante erreicht. Schacht II ist zwischen den Spurlatten bis 220 m unter Stollensohle ohne Hindernisse. Die Stabilität des gemauerten Schacht II ist gemäß der Beurteilung von Dipl-Geol. S. Pohl gut. Auf Grund der noch vorhandenen Einbauten von Eisenträgern und Holzbalken ist deren Absturzgefahr im Falle einer Erschließung von Schacht II zu prüfen. In Schacht II ist das Grundwasser erschlossen. Der Schacht ist ungesichert sowohl bezüglich der Absturzgefahr vom Stollenniveau aus als auch bezüglich der Einbauten aus höheren Schachtbereichen. Weitere Details zur Standsicherheit sind dem anliegenden Gutachten von geoconsult Pohl (Anlage 1) zu entnehmen.

5. Möglichkeiten zur Entnahme von Geowärme und Rückführung genutzter/abgekühlter Wässer

Die Entfernungen der verschiedenen Schächte zum potentiellen Nutzer (Gewerbegebiet/Firma F.I.S.) stellen sich wie folgt dar:

- bis Schacht II: ca. 370 m
- bis Nebenschacht II: ca. 360 m
- bis Bergesammelrolle: ca. 500 m
- bis Weidtman-Schacht: ca. 600 m

Auf Grund der geringsten Entfernungen empfiehlt sich eine Entnahme von Wärme oder warmen Grubenwasser aus Schacht II oder Nebenschacht II. Die Bergesammelrolle kommt potentiell auch in Frage. Am weitesten entfernt und u.a. daher nicht zu empfehlen ist der Weidtman-Schacht. Eine Rückführung von Wässern ist nur dann erforderlich, wenn warmes Grubenwasser gefördert und (nach Wärmeentzug z.B. über einen Wärmetauscher) wieder infiltriert werden soll. Soweit der Wärmeentzug ohne Pumpen von Grubenwasser (Einbringen eines Wärmetauschers in die wassergesättigte Zone eines Schachtes) vorgesehen wird, fällt kein wieder zu infiltrierendes Wasser an.

Bei Reinfiltration des abgekühlten Wassers sollte dies nach Möglichkeit so erfolgen, dass das Wärmepotential in den gefluteten Grubenbauen möglichst wenig vermindert wird. Unter diesen Gesichtspunkten kommt eine Rückführung in die Schächte (Schacht II, Nebenschacht II sowie Weidtman-Schacht) nicht infrage. Denkbar wäre eine Versickerung in den ehemaligen Abbaubereichen, allerdings sind bis zu einer endgültig abgesicherten Aussage die Ergebnisse der Studie zur Verminderung des Schlammaustrags erforderlich.

Bei einem Wärmeentzug aus der wassergesättigten Zone der Schächte stehen potentiell Schacht II, Nebenschacht II und der Weidtman-Schacht in zur Verfügung. Die Bergesammelrolle („Gipsschacht“) ist wegen des zu geringen Durchmessers nur stark eingeschränkt geeignet. Der Weidtman-Schacht scheidet ebenfalls aus, da durch seine Nutzung das über die Rösche des Stadtstollens auslaufende Wasser

bereits vorab abgekühlt wurde und es somit zu einer Verringerung des zur Verfügung stehenden Wärmepotentials (z.B. für die Heizung der Verbandsgemeinde) kommt.

Entscheidende Kriterien zur Wahl der Grubenwasserentnahmestandorte sind die Entfernung zum Nutzer sowie der Umfang notwendiger Bau-/Sicherungsmaßnahmen. Der Schacht II ist ein Tagschacht und reicht dementsprechend bis an die Geländeoberfläche. In dem Schacht oberhalb der Neuhoffnungsstollensohle befinden sich noch diverse Einbauten, die eine potentielle Gefahr bei Nutzung des Schachtes II zur Entnahme von Wasser oder Wärme darstellen. Sicherungsarbeiten in nicht bekanntem Umfang wären erforderlich. Hinsichtlich Infrastruktur sowie fehlender standsicherheitgefährdeter Einbauten oberhalb des Stollenniveaus ist daher der nur wenige Meter entfernt liegende Nebenschacht II besser geeignet.

Aus der Auswertung des Pumpversuches hat sich abschließend gezeigt, dass in 195 m Entfernung von Nebenschacht II eine Versickerungsstelle für das zu reinfiltrierende Wasser vorhanden ist, welche optimale Bedingungen bietet. Die folgenden technischen Varianten der Erschließung beziehen sich daher auf Nebenschacht II des Neuhoffnungsstollens.

Für die geothermische Nutzung der Grubenwässer bestehen drei grundsätzliche Verfahrenskombinationen der technischen Durchführung:

- Einbringen eines Wärmetauschers direkt in Nebenschacht II (Abschnitt 5.1.)
- Einbringen einer Pumpe zusätzlich zu dem Wärmetauscher in Nebenschacht II (Abschnitt 5.2.)
- Einbringen einer Pumpe in Nebenschacht II und Platten-/Abwasserwärmetauscher in den Neuhoffnungsstollen (Abschnitt 5.3.)

5.1. Wärmetauscher in Nebenschacht II

Bei dieser Variante wird ein Wärmetauscher direkt in den Schacht eingebaut. Zu beachten ist, dass sich bei den vorherrschenden geringen Fließgeschwindigkeiten eine Isolierschicht um den Wärmetauscher bildet, welche die Effektivität der Wärmeübertragung auf das Zwischenmedium verschlechtert. Dieses Problem lässt sich mit einer „Überdimensionierung“ des Wärmetauschers ausgleichen. Zudem müssen die Materialien den physiko-chemischen Beanspruchungen durch die

warmen und korrosiv wirkenden Grubenwässer standhalten und zudem Adsorption von Ausfällungen an den Außenwandungen verhindern. All diese Faktoren führen bei der technischen Umsetzung zu einer Erhöhung der Investitionskosten. Zudem stellt sich die Frage, ob die Tiefe von Nebenschacht II von maximal 40 m (ermittelt durch Dipl.-Geol. S. Pohl) das Wärmepotential des Grubenwassers für die Anforderungen des Nutzers ausreichend sind.

5.2. Wärmetauscher in Nebenschacht II + Pumpe im Schacht

Bei dieser Variante wird zusätzlich zum Wärmetauscher noch eine Pumpe in den Schacht eingebracht. Die Pumpe sorgt dafür, dass das Wasser in ausreichender Menge und Fließgeschwindigkeit dem Wärmetauscher zugeführt wird und sich keine „Isolierschicht“ ausbilden kann. Problem bei dieser Variante stellt unter anderem ein sehr hoher Eisengehalte in den Wässern dar, welche zu Ablagerungen in den Leitungen und weiteren Anlagenteilen führen können. Zudem kann es zusätzlich zu Kalkabscheidungen kommen, wenn die Wässer in einem offenen System geführt werden und es dadurch zu CO₂-Entgasung und damit einhergehend zu einer Verschiebung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes verbunden mit Kalkausfällungen kommen kann. Neben diesen und eventuell weiteren Problemen ergibt sich ein Vorteil, wenn das über die Pumpe geförderte Wasser noch zusätzlich über einen Wärmetauscher geleitet wird. Dann steht neben dem Wärmetauscher im Schacht eine zusätzliche Wärmequelle zur Verfügung. Diese Variante ist auf Grund des Einbaus von Wärmetauschern (im Schacht und evtl. zusätzlich im Stollen) und Pumpe mit höheren Investitionskosten gegenüber den anderen vorgestellten Möglichkeiten versehen.

5.3. Pumpe in Nebenschacht II + Platten-/Abwasserwärmetauscher im Stollen

Die dritte Variante zur Nutzung des warmen Grubenwassers stellt das Einbringen einer Pumpe in Nebenschacht II mit anschließendem Wärmeentzug durch einen oder mehrere Platten- /Abwasserwärmetauscher im Stollen dar. Bei dieser technischen Umsetzung ist darauf zu achten, dass Ausfällungen von eisenhaltigen Schlämmen im

Wärmetauscher vermieden werden. Ebenso muss bei der Wahl der Wärmetauscher darauf geachtet werden, dass das Material für den Kontakt mit korrosiven, eisen-, mangan- und carbonathaltigen Wässern nachhaltig geeignet ist. Ebenso zu beachten ist, dass in regelmäßigen Abständen die Standsicherheit von Nebenschacht II überprüft wird (vgl. Anlage 1).

5.4. Rückführung der Wässer

Bei Reinfiltration des abgekühlten Wassers sollte dies nach Möglichkeit so erfolgen, dass das Wärmepotential in den gefluteten Grubenbauen möglichst wenig vermindert wird. Außerdem wäre eine vorangehende Schadstoffentfrachtung aus Gründen des Gewässerschutzes wünschenswert. Unter diesen Gesichtspunkten kommt eine Rückführung in die Schächte (Schacht II, Nebenschacht II sowie Weidtman-Schacht) nicht infrage. Denkbar wäre eine Versickerung in den ehemaligen Abbaubereichen, allerdings sind bis zu einer endgültig abgesicherten Aussage die Ergebnisse der Studie zur Verminderung des Schlammaustrags erforderlich. Durch den Pumpversuch konnte nachgewiesen werden, dass das „Schluckloch“ bei der Bergesammelrolle hydraulisch zur Aufnahme der Wässer geeignet ist. Zudem erfolgt die Versickerung über eine größere Höhendifferenz, sodass mit einer ausreichenden Verwirbelung zu rechnen ist. Dabei ist neben der Ausfällung von Eisen-, Arsen- und Manganverbindungen auch mit Ausfällungen von Carbonaten zu rechnen. Dies führt zu einer Schadstoffentfrachtung der Wässer vor Erreichen des Grundwassers. Ein Einleitungstatbestand liegt – nach Überzeugung der Bearbeiter – nicht vor, da dem Grundwasser „nur“ Wärme entzogen wird und das Grundwasser letztlich an „gleicher“ Stelle rückgeführt wird. Die Abkühlung führt zu keinen schädlichen Veränderungen. Die Schadstoffe werden oberhalb des Grundwassers in schwer löslicher Bindungsform gefällt. Dies kann allerdings mittelfristig zu einer Kolmation des Poren-/Hohlraums führen. Dann ist an eine andere geeignete Stelle abzuleiten.

6. Chemische Modellierung und Abschätzung des Schlammvolumens

Zur Berechnung der Ausfällungen als geschlossenes System (kein Austausch mit der Atmosphäre) können die Analysenergebnisse gemäß Tabelle 02 direkt herangezogen werden.

Zur Berechnung der geochemischen Gleichgewichte in einem offenen System gegenüber der Atmosphäre werden die Analysen der Probenahme vom 20.01.2008 des Schachtes II (Tiefe: 50 m) herangezogen und mittels des geochemischen Modells PHREEQC auf die Sättigungsverhältnisse und Speziesverteilungen der einzelnen Wasserinhaltsstoffe untersucht. Darauf aufbauend werden die Spurenelemente – umgerechnet auf die relevanten Verbindungen – vollständig ausgefällt und die Masse (**Trockengewicht!**) berechnet.

Bei den Karbonaten wird iterativ das Gleichgewicht gegenüber der Atmosphäre berechnet und nur der relevante Anteil der bestimmenden Spezies zur Ausfällung gebracht (nur der rechnerisch relevante Teil), da die anorganischen Carbonatspezies den überwiegenden Anionenanteil in den Wässern darstellen und ansonsten ein deutliches zu hohes Ergebnis errechnet würde.

6.1. Geschlossenes System:

Im Wesentlichen liegen Eisenverbindungen ausgefällt bzw. kolloidal gelöst in Größenordnungen vom mehreren mg/l vor. Die anderen Spurenelemente liegen entweder in Größenordnungen von <1 mg/l vor oder weisen nur unwesentliche Unterschiede in den gefilterten und ungefilterten Untersuchungsergebnissen auf. In der Probenahme vom 20.01.2008 wurden aus 50 m Tiefe im Schacht II 14,6 mg/l Fe in der ungefilterten Probe bestimmt. Die Ergebnisse sind bis zu einer Teufe von mindestens 150 m vergleichbar. Daraus lässt sich bei einer Fördermenge von 4 l/s eine Gesamtmenge gefälltes Eisen von **3487 kg/a als $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Trockengewicht)** berechnen. Für Siderit [FeCO_3] wurde als einzige Carbonatphase eine Übersättigung [SI=0,32] ermittelt. Allerdings bedürfen die Ausfällungen keiner gesonderten

Berücksichtigung, da sie sich gewichtsmäßig nur unwesentlich von den Eisenhydroxiden (s.o.) unterscheiden und somit bereits miterfasst sind.

6.2. Offenes System gegenüber der Atmosphäre:

Mit den Wasseranalysen des Schachtes II (Probenahme 20.01.2008) wurden die Gleichgewichte gegenüber der Atmosphäre berechnet. Dabei zeigen sich gegenüber den Berechnungen im geschlossenen System deutliche Änderungen. Für eine Vielzahl von Verbindungen (v.a. Oxide, Hydroxide) wurden Übersättigungen (Sättigungsindices $SI > 0$) berechnet. Bei der folgenden Abschätzung der Ausfällungen (Gewicht) wird von einer vollständigen Ausfällung von Fe [als $Fe(OH)_3$] und von Mangan [als $MnCO_3$] ausgegangen. Die übrigen Spurenelemente besitzen nur eine untergeordnete Rolle, sie können jedoch durch Kopräzipitation mit Fe ausgefällt oder durch Ionenaustausch an Eisen- und Mangan-Oxide und -Hydroxide sorbiert werden. Sie werden in die Abschätzung mit 1000 kg/a pauschal übernommen.

Tab. 06: Abschätzung der Ausfällungen aus der Analyse vom 20.01.2008, 50 m Tiefe, ungefiltert

Element	Gehalt [mg/l]	Gehalt [mmol/l]	Fällungsprodukt	Mol.-Gewicht Fällungsprodukt	Ausfällungen [kg TS] bei Schüttungen 4 l/s	
					g/s	kg/a
Fe	14,6	0,17	$Fe(OH)_3$	107	0,11	3500
Mn	1,69	0,02	$MnCO_3$	87	0,011	336
As, Cd, Ni, Pb, Zn u.a.						1.000

6.3. Carbonatphasen

Darüber hinaus liegen in einem nach CO_2 offenen System Übersättigungen für verschiedene carbonatische Mineralphasen vor [z.B. Aragonit CaCO_3 mit $\text{SI}=2,23$; Calcit CaCO_3 mit $\text{SI}=2,37$; Dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ mit $\text{SI}=4,84$; Magnesit MgCO_3 mit $\text{SI}=1,88$; Rhodochrosit MnCO_3 mit $\text{SI}=1,65$ und Siderit FeCO_3 mit $\text{SI}=2,64$]. Wegen der unterschiedlichen Mineralphasen ist eine Abschätzung der tatsächlichen mineralogischen Zusammensetzung der Ausfällungen nur schwer möglich. Daher wird mittels PHREEQC soviel Säure zugegeben bis für keine Carbonatminerale mehr Übersättigungen vorliegen. Vereinfachend wird von einer Fällung als Calciumcarbonat (Calcit CaCO_3) ausgegangen. Bei Zugabe von 1,5 mmol Protonen (Tab. 07) lagen alle Carbonatspezies untersättigt vor. Die Ausnahmen bilden die Mangan- bzw. Eisencarbonate Siderit ($\text{SI}=0,93$) und Rhodochrosit ($\text{SI}=0,26$) welche übersättigt vorliegen. Die Löslichkeit von Gasen (CO_2) nimmt mit abnehmenden Temperaturen zu, diese Tatsache ist bei den Berechnungen (nur bei Titration) mit berücksichtigt. Eine weitere Berechnung der Carbonatausfällungen wurde so durchgeführt, dass das Wasser aus Schacht II bei einer Temperatur von 15°C ins Gleichgewicht zur Atmosphäre und zu Calcit gesetzt wurde. Dabei wurde eine Verminderung des gelösten Calciums um rund 3,0 mmol/l berechnet (Tab. 07).

Tab. 07: Abschätzung der Carbonatausfällungen

Element	Gehalt [mg/l]	Gehalt [mmol/l]	Fällungs- produkt	Mol.-Gewicht Fällungsprodukt	Ausfällungen [kg TS] bei Schüttungen 4 l/s	
					g/s	kg/a
Carbonat		Titration : 1,5	CaCO_3	100	0,6	18.922
Carbonat		Cc : $\text{SI}=0$ 3,0	CaCO_3	100	1,2	37.843

Die thermodynamischen Gleichgewichtsberechnungen zeigen jedoch, dass Rhodochrosit (MnCO_3) als Carbonatphase weiterhin übersättigt (SI 0,93) vorliegt. Die vollständige Fällung von Mangan ist jedoch schon als Oxid angesetzt, sodass die Berechnung der Carbonatfällung über das Calcitgleichgewicht realistischer erscheint. Bei Umrechnung auf das Fällungsprodukt CaCO_3 ergibt sich ein Volumen von 1,2 g/s entsprechend 37.843 kg/a (jeweils als Trockensubstanz).

Somit lassen sich die zu erwartenden Ausfällungen (bei Einstellung geochemischer Gleichgewichte) auf ca. 40 t/a bis 60 t/a Trockensubstanz quantifizieren. Dies setzt jedoch voraus, dass sämtliche Reaktionen vollständig ablaufen und es während der Reaktionen zu keinen Verschiebungen der Gleichgewichte kommt und die Reaktionen kinetisch überhaupt ablaufen können. Daher ist eine Verifizierung der Ergebnisse in einem Praxisversuch dringend notwendig.

Mit einer Ausfällung von Carbonaten ist allerdings nur bei einer sehr deutlichen Druckentlastung zu rechnen. In den Schlämmen der Rösche des Stadtstollens wurden nur maximal 5 % Carbonate nachgewiesen. Bei einer kontrollierten Reinigung der Wässer unter definierten Bedingungen ist es daher möglich, die Bildung von carbonatischen Ausfällungen zu verhindern.

7. Ist-Analyse des Gebäudebestandes

Das Mundloch des Neuhoffnungstollens grenzt unmittelbar an die östliche Seite der Arzbacher Strasse. Der Stollen verbindet das Gewerbegebiet an der Arzbacher Straße mit den im Grubengebäude anstehenden bis zu 25°C warmen Wässern.

Direkt am Mundloch des Neuhoffnungstollens liegt die Firma Finzler, Schrock & Kimmel GmbH (folgend FIS GmbH genannt), ein mittelständiges Unternehmen, das Diamantwerkzeuge (Schleifmittel, Bohrer, etc.) für verschiedene Anwendungsgebiete vom Handwerk bis zur Zahnmedizin herstellt.

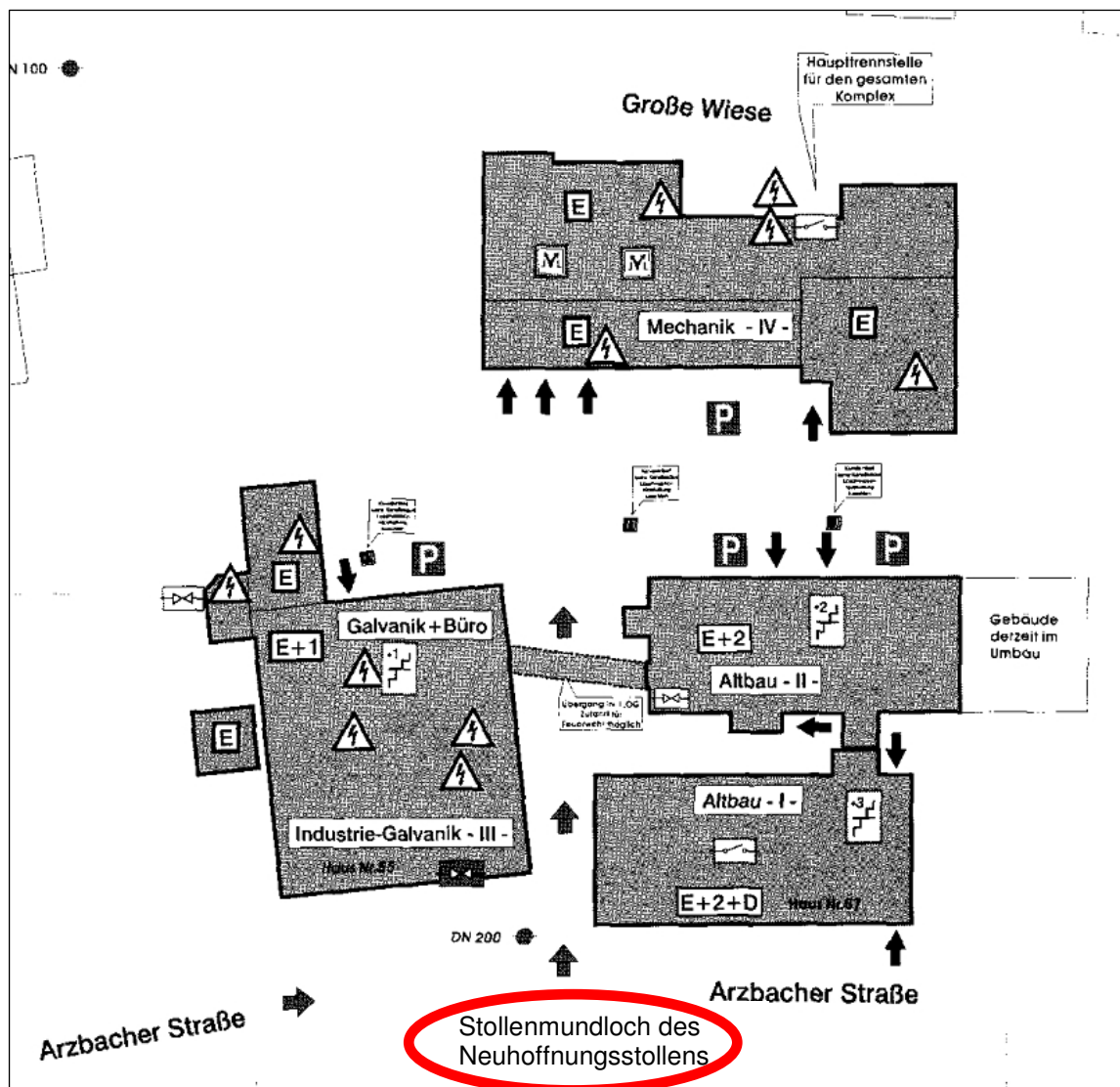


Abb. 15: Lageplan der Gebäude auf dem Firmengelände der FIS GmbH

Die Gebäude I, II und IV (Abb. 15) werden derzeit von zwei Ölkesseln beheizt, für welche bis zu 20.000 Liter Heizöl bevorratet werden können. Das Gebäude II wird mit zwei kleineren Erdgaskesseln beheizt.

Die Firma FIS lagert derzeit noch ihren Heizöltank auf dem neulich verkauften Nachbargrundstück und muss diesen kurzfristig entfernen. Dabei sollen auch die Heizölkessel ausgetauscht werden. Auch die beiden Erdgaskessel müssen aufgrund ihres Einbaudatums (vor dem 1. Oktober 1978) nach der derzeit gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519), spätestens bis zum 31.12.2008 außer Betrieb genommen werden.

Die mennonitische Glaubensgemeinschaft plant auf dem Nachbargrundstück unmittelbar an den Gebäuden der FIS GmbH den Neubau eines Gebethauses. Das Gebethaus soll nach derzeitigem Planungsstand durch eine Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Heizwärme versorgt werden, weiter ist eine Fußbodenheizung zur Heizwärmeverteilung eingeplant.

Im Untersuchungsgebiet werden die geothermische Beheizung der Firmengebäude der FIS GmbH sowie das neu zu errichtende Gebethaus der Mennonitischen Glaubensgemeinschaft betrachtet.

Als Wärmequelle stehen die warmen Grubenwässer im Grubengebäude der Grube Mercur, Abteilung Neuhoftnung, erschließbar durch den Neuhoftnungsstollen, zur Verfügung.

Die Grubenwärme kann durch einen Betreiber, beispielsweise die Verbandsgemeindewerke, erschlossen werden und an der jeweiligen Grundstücksgrenze den Wärmeabnehmern an einen Hausanschluss mit Wärmemengenzähler (Wärmetauscher und Wärmezähler) geliefert werden.

Die Gebäude der FIS GmbH sind von einem hohen Temperaturniveau der Wärmelieferung abhängig. Die Bauten der mennonitischen Gemeinde hingegen sind mit einer Fußbodenheizung geplant und kommen mit niedrigeren Vorlauftemperaturen aus.

Die beiden potentiellen Wärmeabnehmer (FIS GmbH und mennonitische Glaubensgemeinde) wünschen getrennte Wärmeübergabestationen und Abrechnung mit den Betreibern der Grubenwasserwärmanlage.

Die Gebäude der FIS GmbH werden derzeit mit zwei Heizöl- sowie zwei Erdgaskesseln beheizt (Tab. 08).

Tab. 08: Übersicht über die Heizungsanlagen der FIS GmbH

FIS GmbH	Kessel 1	Kessel 2	Kessel 3	Kessel 4
Brennstoff	Heizöl	Heizöl	Erdgas	Erdgas
Hersteller / Model	Klöckner	Klöckner	Viessmann	Viessmann
Baujahr	1986	1986	1971	1976
Nennwärmeleistung	105 kW _{th}	105 kW _{th}	63 kW _{th}	63 kW _{th}
Abgasverluste (2007)	9%	9%	4%	4%
Hersteller/Model Brenner	Klöckner	Klöckner	Weishaupt	Weishaupt
Baujahr Brenner	1986	1986	1977	1979
Beheizte Gebäude	Altbau I, Altbau II, Mechanik		Galvanik, Büro	

Die Auswertung der Erdgas- und Heizölrechnungen der letzten 5 Jahre ergab folgenden Heizwärmebedarf (Tab. 09)

Tab. 09: Verbrauchsdaten im Ist-Zustand der FIS GmbH

FIS GmbH		
Erdgasverbrauch, gemittelt	196.400	kWh _{Ho} /a
Heizölverbrauch, gemittelt	346.500	kWh _{Hu} /a
witterungsbereinigter Heizwärmebedarf	440.100	kWh _{th} /a
derzeit installierte Heizleistung	336	kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.310	h/a
Beheizte Fläche	2.308	m ²
Spezifischer Heizenergieverbrauch	191	kWh _{th} /(m ² *a)
Spezifische Heizleistung	146	W _{th} /m ²

Die relativ hohen flächenspezifischen Verbrauchs- und Leistungsdaten sind auf den bautechnischen Standard und die sehr alten Kesselanlagen der Gebäude zurückzuführen.

Für den Neubau des Gebethauses liegt ein Energieeinsparnachweis (nach EnEV), erstellt durch die Ingenieurgesellschaft BPK, Plaidt, vor.

Tab. 10: Verbrauchsdaten der Neubauten der mennonitischen Glaubensgemeinde¹

Mennonitisches Gebethaus	
Heizwärmebedarf	31.600 ¹ kWh _{th} /a
benötigte Heizleistung	30 ² kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.310 h/a
Beheizte Fläche	600 ² m ²
Spezifischer Heizenergiebedarf	53 kWh _{th} /(m ² *a)
Spezifische Heizleistung	50 ² W _{th} /m ²

In Abbildung 16 werden verschiedene Jahresdauerlinien des Wärmeleistungsbedarfs dargestellt. In der rechten Grafik wird die Jahresdauerlinie des Wärmeleistungsbedarfs des mennonitischen Gebethauses und in der linken Grafik die Jahresdauerlinie der Gebäude der Firma FIS GmbH im Ist-Zustand dargestellt.

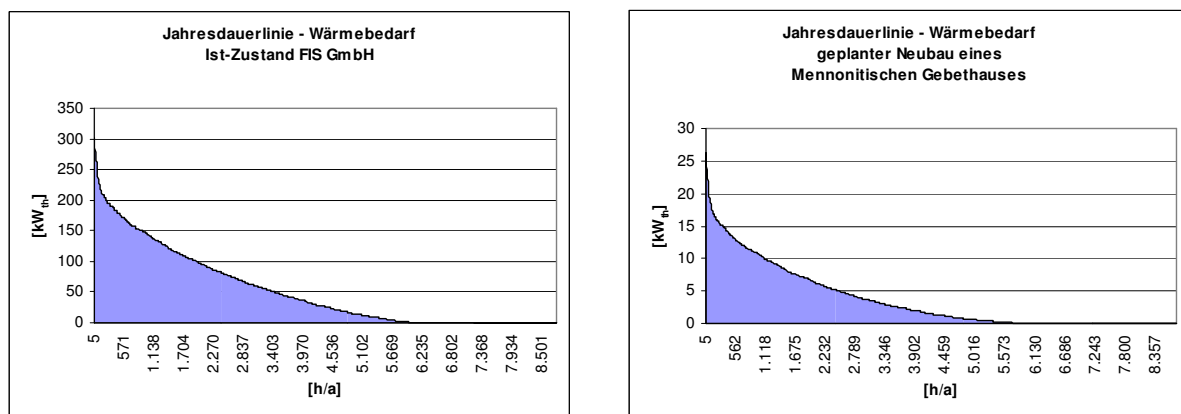


Abb. 16: Jahresdauerlinien der benötigten Wärmeleistung im Ist-Zustand

Der Spitzenleistungsbedarf an Heizwärme für die Gebäude der Firma FIS GmbH bezieht sich auf die derzeit installierte Nennwärmeleistung der Kesselanlagen von 336 kW_{th}. Das mennonitische Gebethaus benötigt eine Heizwärmeleistung von etwa 30 kW_{th}.

¹ Laut Energieeinsparnachweis, ausgestellt durch Ing.Ges. BPK, Plaidt am 7. Sept. 2007

² Telefonisch von Herrn Friesen (Vertreter der mennonitischen Gemeinde) mitgeteilt

8. Variantenauswahl zur vergleichenden Machbarkeitsbetrachtung

8.1. Geothermische Wärmeversorgung

Die Grubenwässer können mit einer Tauchpumpe auf das Niveau der Geländeoberkante im Neuhoftstollen gehoben werden. Dort wird den Wässern in einem Plattenwärmetauscher die Wärme entzogen. Diese kann über eine Wärmeleitung durch den Stollen an die Grundstücksgrenze der Wärmeabnehmer geliefert werden. Dazu muss die Arzbacher Strasse unterquert werden. Für die Unterquerung der Strasse bietet es sich an, ein Leerrohr zu verlegen, so dass es auch in der Zukunft für mögliche weitere Wärmebezieher genutzt werden kann. Der Rücklauf der Wärmeleitung kann durch ein nicht-isoliertes PE-Rohr verwirklicht werden, da das Rücklauftemperaturniveau nach der Wärmepumpe etwa auf dem Niveau der Lufttemperatur im Stollen liegt und so keine größeren Wärmeverluste zu erwarten sind.

Das Einholen von Angeboten und der Kontakt zu den Herstellern der Wärmetauscher sowie ein durchgeführter Pumpversuch haben ergeben, dass ein Heben der Wässer und der Wärmeentzug in einem Plattenwärmetauscher, der in einem ungefluteten Grubenabschnitt im Bereich des Entnahmeschachtes liegt, möglich ist.

Aufgrund energetischer Vorteile dieser Variante wird der Wärmeentzug im Schacht (ohne Förderung der Wässer) nicht mehr verfolgt.

8.2. Variantenauswahl

Die Wärmeversorgung auf Basis von Grubenwärme wird mit der Basisvariante (Variante 0 – Beheizung auf Basis von Erdgas bei der FIS GmbH bzw. Beheizung mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe beim Mennonitischen Gebethaus) verglichen.

Betrachtete Varianten:

- Variante 0: Austausch der bestehenden Kessel der Firma FIS GmbH, Beheizung des Gebethauses mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe,
- Variante 1: Eine für den Grundlastbedarf dimensionierte Wärmepumpe (Grubenwasser) und ein Spitzenlastkessel (Erdgas) beheizen die Gebäude der FIS GmbH. Der Neubau des mennonitischen Gebethauses wird mit einer monovalent betriebenen Wärmepumpe (Grubenwasser) beheizt.

Zum Entzug der Wärme aus dem Grubenwasser wurde für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit einem Plattenwärmetauscher gerechnet. Im Kontakt mit den Herstellern wurde die Verwendbarkeit des Plattenwärmetauschers im Einsatz mit den Grubenwässern bestätigt. Da es auf diesem Gebiet kaum Betriebserfahrungen gibt, könnte es mit nur geringer Wahrscheinlichkeit zu unvorhersehbaren Verschmutzungsproblemen kommen. In diesem Fall könnte ein weiterer Plattenwärmetauscher eingebaut werden, der redundant zum ersten arbeitet, so dass die Wartung beziehungsweise Reinigung der Anlage in Betrieb möglich wird.

Zur Verwirklichung der Variante 1 müssen die Gebäude der FIS GmbH so saniert werden, dass das zur Verfügung gestellte Temperaturniveau von etwa 55°C ganzjährig ausreicht, um die benötigte Wärme zu verteilen.

Die Kosten der Gebäudesanierung fließen nicht in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit ein.

Zur Beheizung der Gebäude der FIS GmbH muss ein Pufferspeicher von etwa 3.000 Litern installiert werden. Das mit einer Fußbodenheizung ausgestattete Gebethaus kann aufgrund der Speicherwirkung des Estrichs auf einen Pufferspeicher verzichten³.

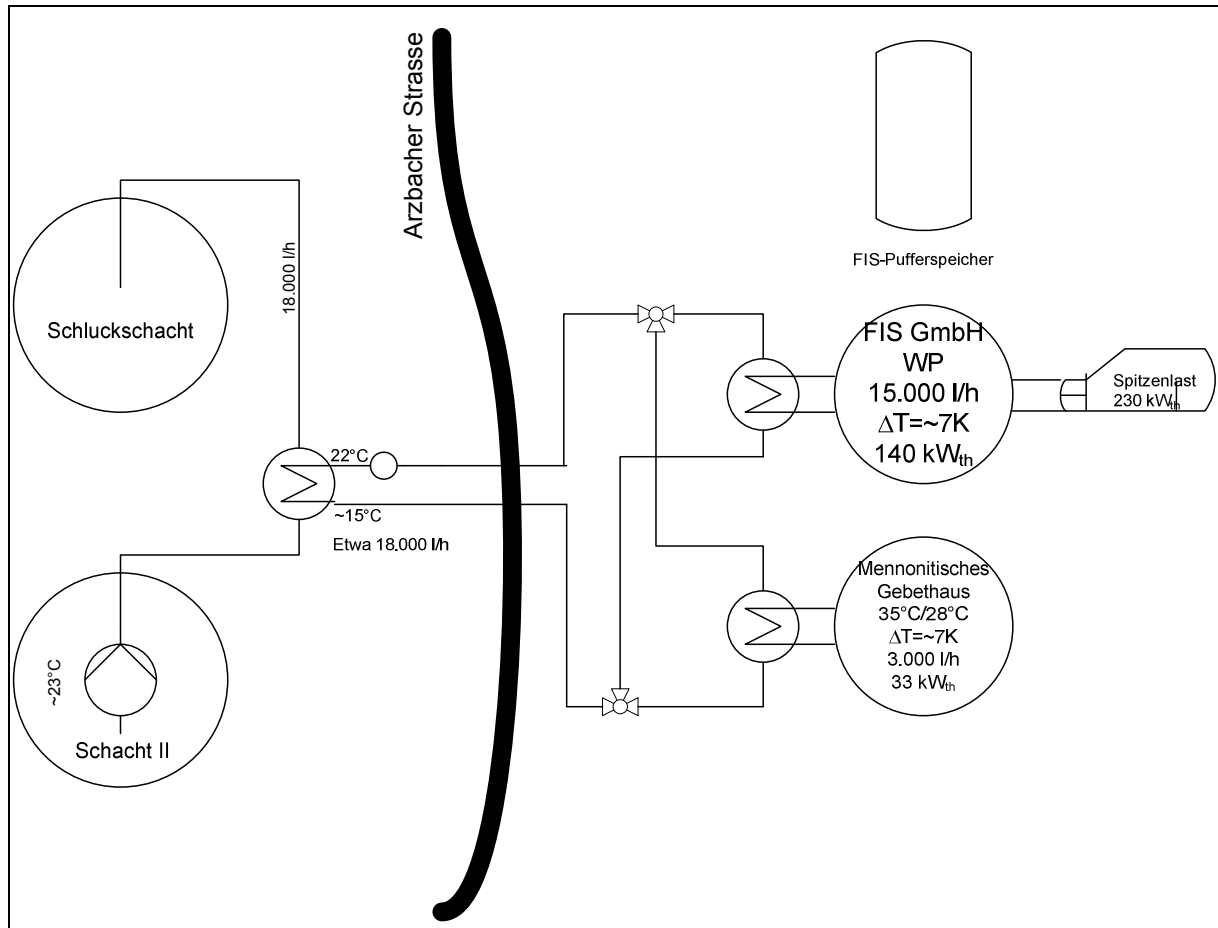


Abb. 17: Schema der Anlagentechnik Variante 1

Abbildung 17 zeigt, dass der größte Teil der erzeugten Wärme von der Wärmepumpe stammt. Der größer dimensionierte Erdgas-Spitzenlastkessel arbeitet nur in Zeiten maximalen Wärmebedarfs.

³ Vgl. OCHSNER (2007): „Wärmepumpen in der Heizungstechnik – Praxishandbuch für Installateure und Planer“, 4., überarbeitete und erweiterte Auflage, C.F. Müller Verlag, Heidelberg

9. Energiebilanz

In der Energiebilanz sind die umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen für die einzelnen Wärmeversorgungsvarianten (Tab. 11 und 12) aufgeführt. Abbildung 18 zeigt die Jahresdauerlinie der Wärmeerzeugung mittels Variante 1 für die Firma FIS.

Tab. 11: Tabelle: Energiebilanz der FIS GmbH

FIS GmbH		Variante 0 Erdgas	Variante 1 Geowärme
Wärmebedarf	kWh _{th} /a	457.000	343.000
Wärmeleistungsbedarf	kW _{th}	336	270
Nennwärmeleistung Erdgaskessel	kW _{th}	335	230
Nennwärmeleistung Wärmepumpe	kW _{th}		140
Anrechenbare Leistung Wärmepumpe	kW _{th}		105
Abdeckung Leistung Erdgaskessel	%	100	85
Abdeckung Wärmebedarf Erdgaskessel	%	100	10
Abdeckung Leistung Wärmepumpe	%		39
Abdeckung Wärmebedarf Wärmepumpe	%		90
Vollbenutzungsstunden Erdgaskessel	h/a	1.364	157
Vollbenutzungsstunden Wärmepumpe	h/a		2.924
Jahresnutzungsgrad Erdgaskessel	%	90	90
Jahresarbeitszahl Wärmepumpe			4,4 ⁴
Wärmeerzeugung Erdgaskessel	kWh _{th} /a	457.000	36.000
Wärmeerzeugung Wärmepumpe	kWh _{th} /a		307.000
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh _{Hu} /a	508.000	40.000
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh _{Ho} /a	559.000	44.000
Wärmepumpenstrombedarf	kWh _{el} /a		70.000
Hilfsenergiebedarf Strom	kWh _{el} /a	9.150	6.850

⁴ Annahme (basierend auf Wertangaben verschiedener Hersteller bzgl. COP von Wasser/Wasser-Wärmepumpen bei (W25/W55))

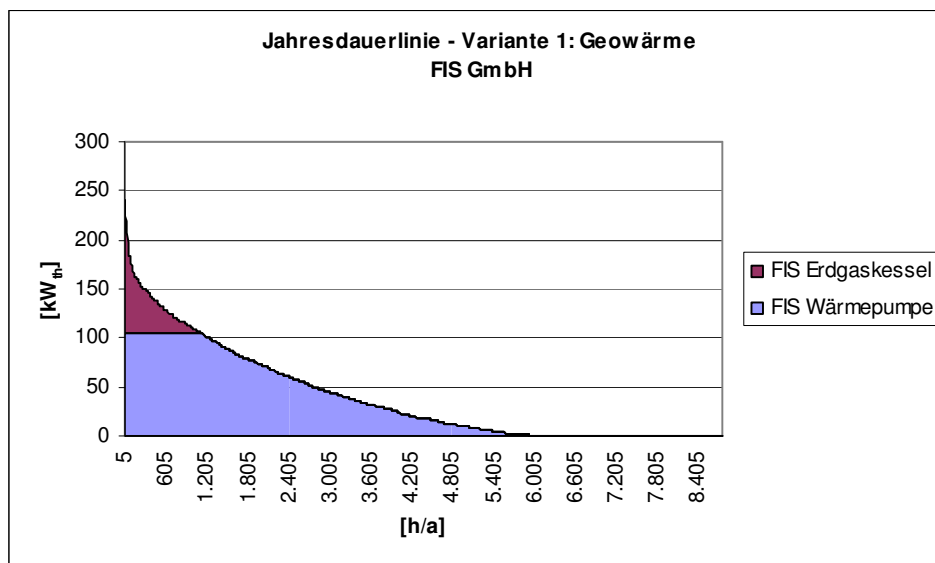


Abb. 18: Jahresdauerlinie Wärmezeugung Variante 1, FIS GmbH

Tab. 12: Energiebilanz Mennonitisches Gebethaus

Mennonitisches Gebethaus		Variante 0 L/W-WP	Variante 1 Geowärme
Wärmebedarf	kWh _{th} /a	31.500	31.500
Wärmeleistungsbedarf	kW _{th}	30	30
Nennwärmeleistung Wärmepumpe	kW _{th}	33	32,4
Anrechenbare Leistung Wärmepumpe ⁵	kW _{th}	25	24
Vollbenutzungsstunden Wärmepumpe	h/a	633	633
Jahresarbeitszahl Wärmepumpe ⁶		3,5	4,4
Wärmepumpenstrombedarf	kWh _{el} /a	9.038	6.590

⁵ Aufgrund Sperrzeiten des Wärmepumpenstroms durch das Energieversorgungsunternehmen

⁶ Schätzwert

10. Kohlenstoffdioxidemissionsbilanz

Eine ökologische Bewertung der zentralen Wärmeversorgung erfolgt mithilfe einer Kohlendioxid-Emissionsbilanz. Dazu wird aus der eingesetzten Brennstoffmenge und der spezifischen CO₂-Emission nach GEMIS⁷ bezogen auf den unteren Heizwert des eingesetzten Brennstoffs der jährliche Kohlendioxid-Ausstoß berechnet.

Die spezifische CO₂-Emission von Erdgas beträgt 254,1 g(CO₂)/kWh_{Hu} und die von Strom 682,6 g(CO₂)/kWh_{el}.

Tab. 13: Kohlenstoffdioxidäquivalentemissionsbilanz

		FIS Erneuerung Erdgas	FIS Geowärme	Mennonit. Gebethaus L/W-WP	Mennonit. Gebethaus Geowärme
Brennstoffbedarf (Erdgas)	kWh _{Hu} /a	507.978	40.077	0	0
Strom (Hilfsenergie)	kWh _{el} /a	9.144	6.858	633	633
Wärmepumpen- strombedarf	kWh _{el} /a	0	69.731	9.038	6.590
CO ₂ -Emission Brennstoff	kg(CO ₂)/a	128.800	10.200	0	0
CO ₂ -Emission Strom	kg(CO ₂)/a	5.900	49.100	6.200	4.600
Summe CO₂-Emission	kg(CO₂)/a	134.700	59.300	6.200	4.600
Einsparung CO₂-Emission	kg(CO₂)/a		75.400		1.600
Einsparung CO₂-Emission	%		56%		25%

⁷ GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme) - Version 4.2, 2004

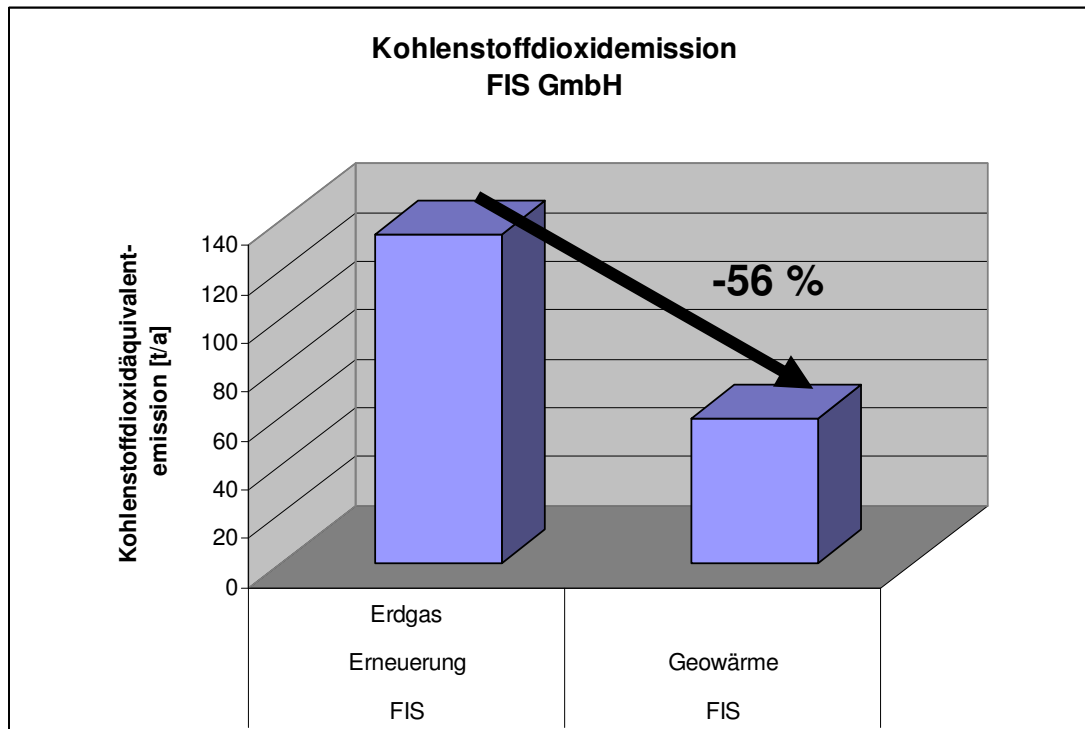


Abb. 19: Kohlenstoffdioxidäquivalentemission Firma FIS GmbH

Die enorme Einsparung (Abb. 19) an der Emission von klimarelevanten Schadgasen (als CO₂-Äquivalente) bei der FIS GmbH liegt zum einen an der betrachteten Nutzung der regenerativen Grubenwärme und zum anderen an der dafür notwendigen Gebäudesanierung, durch welche eine angenommene Verminderung des Jahreswärmebedarfs von angenommenen 40 % erreicht wird.

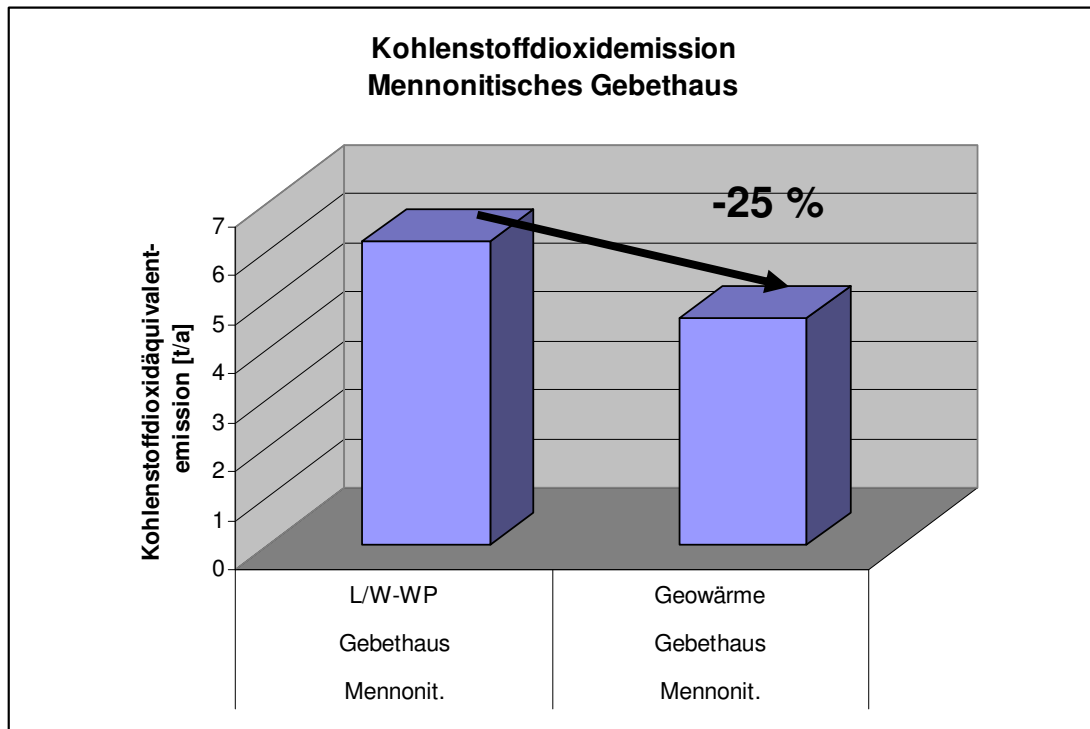


Abbildung 20: Kohlenstoffdioxidäquivalentemission Mennonitisches Gebethaus

Durch Verwirklichung der Beheizung des mennonitischen Gebethauses auf Basis der Grubenwasserwärmenutzung kann selbst im Vergleich mit einer effizienten Luft-/Wasser-Wärmepumpe noch eine Emissionsverminderung in Höhe von 25 % erreicht werden (Abb. 20). Dies resultiert aufgrund des wesentlich effizienteren Betriebs einer Wärmepumpe mit der ganzjährig temperaturkonstanten Wärmequelle Grubenwasser.

11. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Geowärmenutzung wird anhand der Rentabilitätsrechnung in Anlehnung an die VDI 2067 durchgeführt. Ergebnis der Betrachtung ist die Gegenüberstellung der Aufwendungen für den Bau und Betrieb einer Geowärmenutzung im Stollen und dem Einsatz der erschlossenen Wärme zur Gebäudebeheizung gegen die konventionelle Beheizung der Gebäude auf Basis des fossilen Energieträgers Erdgas.

Diese Rechnung ist wie folgt aufgebaut:

Investitionskosten

Die Investitionskosten beinhalten alle für den Bau erforderlichen Positionen einschließlich Planungsaufwendungen.

Dazu sind unter Anderem folgende Punkte heranzuziehen:

- Maschinen- und Bautechnik
- Montage
- Planung, Unvorhergesehenes

In dieser Position werden auch anzusetzende Fördermittel angegeben, die als Gutschrift in die Kostenaufstellung eingehen.

Fördermittel

In die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind folgende Fördermittel mit eingerechnet (Tab. 14):

Tab. 14: Fördermittel

Gegenstand der Förderung	Förderprogramm	Förderung
Nahwärmenetz ⁸	KfW ⁹	80 €/m _{Trasse}
Wärmepumpen (Gebäudebestand)	BAFA	15 % der Nettoinvestition
Wärmepumpen (Neubau)	BAFA	10 % der Nettoinvestition

Die Förderung von Nahwärmenetzen durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) ist in den „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ vom 5. Dezember 2007 festgeschrieben. Diese Richtlinie wird mit der Genehmigung durch die EU-Kommission gültig, nach telefonischer Aussage eines Mitarbeiters des KfW-Infocenters wird die Genehmigung Mitte diesen Jahres (2008) erwartet. Diese Förderung ist in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit eingerechnet.

Die Förderberechtigung für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) nach Definition der Europäischen Gemeinschaft wird derzeit durch die EU-Kommission geprüft. Es ist von einer Förderberechtigung auszugehen, daher ist die Förderung der Wärmepumpenanlage zur Beheizung der Gebäude der FIS GmbH mit in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eingerechnet.

⁸ Förderung von Nahwärmenetzen die zu >50% mit Wärme aus erneuerbaren Energien arbeiten. Versorgung von Nichtwohngebäuden mit einer beheizten Fläche von > 500 m², Mindestwärmeabsatz von 500 kWh_{th}/(m_{Trasse}*a)

⁹ Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW); „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ vom 5. Dezember 2007

Jahreskosten

Die Jahreskosten setzen sich aus den kapitalgebundenen, den verbrauchsgebundenen, den betriebsgebundenen und den sonstigen Kosten zusammen.

Kapitalgebundene Kosten:

Für die Berechnung der kapitalgebundenen Kosten ist, abhängig von der gewählten Berechnungsmethode, der Zinssatz und entweder die rechnerische Nutzungsdauer nach VDI 2067 oder die betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer nach AfA-Tabelle für die entsprechenden Investitionen zu bestimmen. Außerdem ist zu prüfen, ob Fördermittel oder ein Teilschulderlass nach entsprechenden Förderprogrammen angerechnet werden können. Hier wird jeweils mit der rechnerischen Nutzungsdauer gerechnet.

Verbrauchsgebundene Kosten:

Diese sind Energiekosten, Hilfsenergiekosten und Kosten für Betriebsstoffe. Hier werden insbesondere Kosten für den Strombedarf der Wärmepumpenanlagen und in der Vergleichsvariante Kosten für den Bezug des Erdgases angesetzt.

Betriebsgebundene Kosten:

Dies sind Wartungs- und Personalkosten. Für die Wartungskosten in den betriebsgebundenen Kosten ist der prozentuale Aufwand bezogen auf die Investition in der VDI 2067 angegeben. Hier werden abweichend davon Wartungskosten für die Wärmeerschließung getrennt berechnet und ein Stundensatz für die Überwachung und den Betrieb der Anlage angesetzt.

Sonstige Kosten:

Hierunter fallen Kosten für Versicherung, Steuern, allgemeine Abgaben und Aufwendungen für die Verwaltung. Die sonstigen Kosten werden in den Betriebskosten verrechnet.

Alle aufgeführten Beträge sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer von derzeit 19 %.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten:

Allgemeiner Zinssatz 5 %

Abschreibedauer 15 Jahre

- Wärmetauscheranlage im Stollen
- Pumpen
- Planung und Unvorhergesehenes (15 % der Investition)

Abschreibungsdauer 20 Jahre

- Heizkessel
- Wärmepumpen
- Pufferspeicher

Abschreibungsdauer 30 Jahre

- Bautechnik
- Wärmeleitungen

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten:

Arbeitspreis Erdgas 4,38 Ct/kWh_{H0} zzgl. MwSt.

Grundpreis Erdgas 202 €/a incl. 25 kW Anschlussleistung zzgl. MwSt.

Leistungspreis Erdgas 8,28 €/kW für jedes weitere kW Anschlussleistung

Allgemeiner Strompreis 16,7 Ct/kWh_{el} zzgl. MwSt.

Wärmepumpenstrom Arbeitspreis 11,8 Ct/kWh_{el} zzgl. MwSt.

Wärmepumpenstrom Grundpreis 52 €/a zzgl. MwSt.

Bestimmung betriebsgebundene Kosten:

Wartung / Instandhaltung Heizkessel (Heizkessel)	2 % der Investition
Wartung / Instandhaltung Wärmepumpe (Wärmepumpe)	2 % der Investition
Wartung / Instandhaltung Wärmetauscheranlage	4 % der Investition
Wartung / Instandhaltung Wärmeleitungen	1% der Investition
Personalkosten	30 €/h zzgl. MwSt.
Emissionsüberwachung Erdgaskessel	100 €/a zzgl. MwSt.
Sonstige Kosten (Verwaltung, Versicherung Steuern, allgemeine Abgaben)	pauschal

Die abgeschätzten Investitionskosten sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer (19 %) angegeben.

Zunächst werden die Jahresgesamtkosten der Wärmeerschließung im Stollen berechnet. Darin sind die nach der Annuitätenmethode auf die Abschreibedauer der Komponenten umgelegten Investitionskosten sowie die Betriebskosten enthalten. Nicht berücksichtigt ist eine Gewinnmarge, welche ein möglicher Betreiber der Anlage berücksichtigen muss.

Nach der gleichen Methode werden die Jahresgesamtkosten der Variante 0 und der Variante 1 für die Gebäudebeheizung der Firma FIS GmbH sowie des mennonitischen Gebethauses ermittelt.

Investitionskosten

Wärmeerschließung im Stollen:

Tab. 15: Investitionskosten Wärmeerschließung

Wärmetechnik	61.700 €
Wärmetauscher, Pumpen, Wärmeleitungen, inkl. Zubehör, Montage und Inbetriebnahme	
Bautechnik	9.900 €
Betonsockel, Baustelleneinrichtung, Leerrohrtrasse unter Arzbacher Str.	
Planung/ Unvorhergesehenes	10.800 €
15% der Gesamtinvestition	

Gebäudebeheizung (Varianten 0 & 1):

Tab. 16: Investitionskosten Gebäudebeheizung Varianten 0 & 1

	FIS Erneuerung Erdgas	FIS Geowärme	Mennonit. Gebethaus L/W-WP	Mennonit. Gebethaus Geowärme
Wärmetechnik	31.400 €	53.000 €	22.800 €	16.000 €
Wärmepumpe, Erdgaskessel, Pufferspeicher, inkl. Zubehör, Montage und Inbetriebnahme				
Bautechnik	0 €	0 €	0 €	0 €
Demontage bestehender Heizkessel				
Planung/ Unvorhergesehenes	4.700 €	7.900 €	3.400 €	2.400 €
15% der Gesamtinvestition				

In den Investitionskosten wurde für die Gebäude der FIS GmbH die Demontage der bestehenden Kessel sowie die Zusammenlegung der getrennten Heizkreise (derzeitige Erdgas- und Heizölkessel) vernachlässigt, da in allen betrachteten Varianten ein identischer Aufwand zu tätigen wäre.

Jahresgesamtkosten

Wärmeerschließung:

Tab. 17: Jahresgesamtkosten der Wärmeerschließung

Jahresgesamtkosten		Wärmeerschließung
Kapitalkosten inkl. Förderung und MwSt.	€/a	3.500
Verbrauchsdaten inkl. MwSt.	€/a	1.800
Betriebskosten inkl. MwSt.	€/a	5.100
Anteil Kapitalkosten an Gesamtkosten		28%
Anteil Verbrauchskosten an Gesamtkosten		15%
Anteil Betriebskosten an Gesamtkosten		42%
Jahresgesamtkosten	€/a	10.300
Jahresgesamtkosten inkl. MwSt.	€/a	12.300
Jahresgesamtkosten inkl. Förderung	€/a	8.400
Jahresgesamtkosten inkl. MwSt. und Förderung	€/a	10.400

Diese Kosten werden im nächsten Schritt anteilig der Menge der Jahreswärmeabnahme auf die Wärmebezieher FIS GmbH und Mennotisches Gebethaus umgelegt. Die anteilige Umlage stellt die Jahreskosten für den Betreiber der Wärmeerschließungsanlage dar.

Tab. 16: Spezifische Wärmeerschließungskosten

Jahreswärmeabgabe	kWh _{th} /a	262.000
Jahresgesamtkosten	€/a	10.400
Spez. Wärmeerschließungskosten ¹⁰	Ct/kWh _{th}	3,97

Für die Gebäudebeheizung werden die Jahresgesamtkosten aus den jeweiligen Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten zzgl. der der anteiligen Umlage aus den Wärmeerschließungskosten jeweils für beide Wärmeabnehmer und beide Varianten ermittelt.

¹⁰ ohne Gewinnmarge des Anlagenbetreibers

Gebäudebeheizung FIS GmbH:

Tab. 19: Jahresgesamtkosten der Gebäudebeheizung der FIS GmbH

Jahresgesamtkosten zur Gebäudebeheizung FIS GmbH		FIS Erneuerung Erdgas	FIS Geowärme
Jahresgesamtkosten			
Kapitalkosten inkl. Förderung und MwSt.	€/a	2.500	3.700
Verbrauchsdaten inkl. MwSt.	€/a	34.200	15.800
Betriebskosten inkl. MwSt.	€/a	3.200	3.700
Umgelegte Wärmeerschließungskosten inkl. MwSt.	€/a		9.400
Anteil Kapitalkosten an Gesamtkosten		6%	16%
Anteil Verbrauchskosten an Gesamtkosten		86%	67%
Anteil Betriebskosten an Gesamtkosten		8%	16%
Jahresgesamtkosten	€/a	33.600	19.900
Jahresgesamtkosten inkl. MwSt.	€/a	39.900	23.700
Jahresgesamtkosten inkl. Förderung	€/a	33.600	19.400
Jahresgesamtkosten inkl. MwSt. und Förderung	€/a	39.900	23.200
Umlage Jahresgesamtkosten Wärmeerschließung			
Anteilige Wärmeabnahme aus dem Stollen			90%
Umlage Wärmeerschließungskosten netto			7.600
Umlage Wärmeerschließungskosten inkl. 19 % MwSt.			9.400
Jahresgesamtkosten inkl. Wärmeerschließung und Förderung			
Jahresgesamtkosten inkl. Wärmeerschließung Förderung	€/a	33.600	27.000
Jahresgesamtkosten inkl. MwSt., Wärmeerschließung und Förderung	€/a	39.900	32.500
Einsparung inkl. MwSt. und Förderung	€/a		7.400
Einsparung relativ			19%

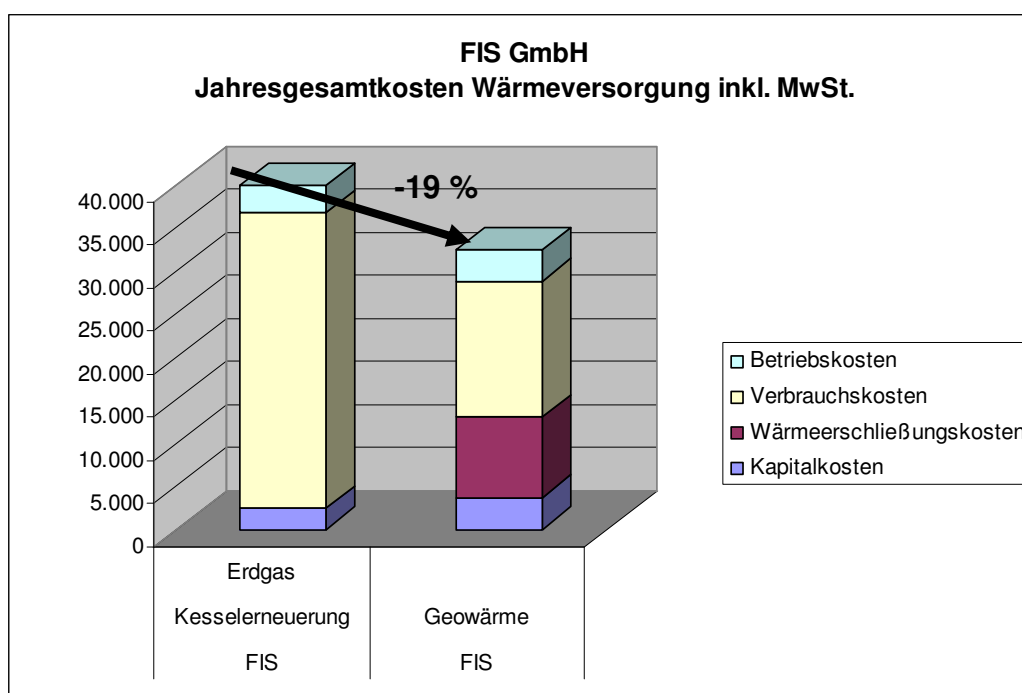


Abb. 21: Jahresgesamtkosten / Wirtschaftlichkeit

Das folgende Diagramm (Abb. 22) zeigt als Ergebnis der Sensitivitätsanalyse die Abhängigkeit der beiden Varianten von einer Änderung der Energieversorgungspreise. Für diese Darstellung wird angenommen, dass sich die Versorgungskosten für Strom, Wärmepumpenstrom und Erdgas gleichermaßen ändern. Die Steigung der Kurve ist ein Maß für die Anfälligkeit der Beheizungskosten für Preisänderungen der Energieversorgung.

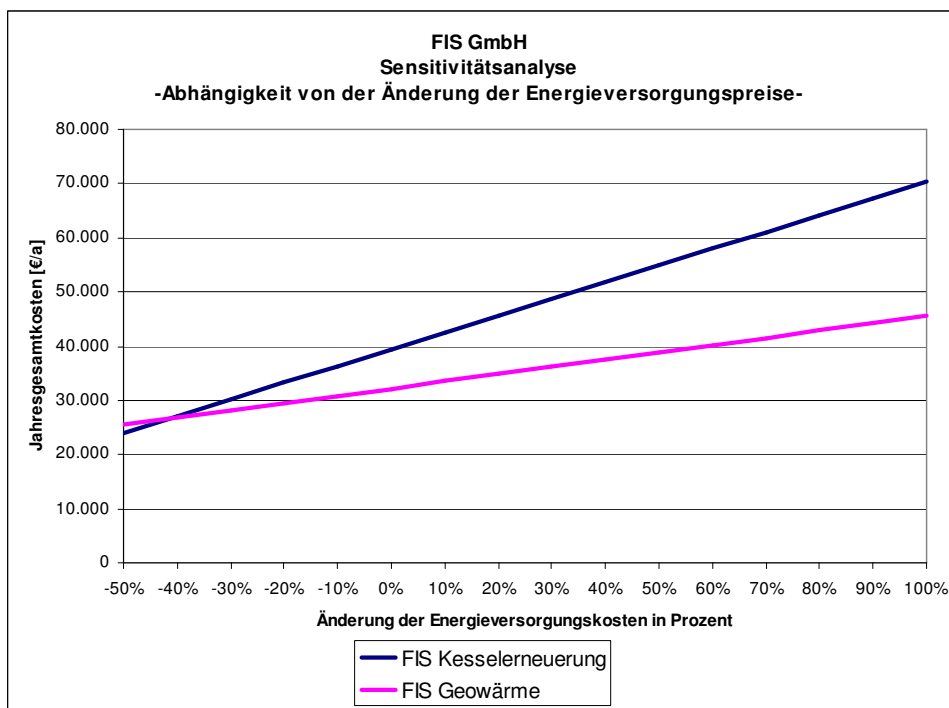


Abb. 22: Sensitivitätsanalyse FIS GmbH

Das Diagramm zeigt, dass die Geowärme-Variante 1 weit weniger anfällig für Preisänderungen der Energieversorgungskosten ist. Das liegt daran, dass ein großer Teil der Jahresgesamtkosten dieser aus den als Kapitalkosten umgelegten Investitionskosten besteht. Die weitaus in größerem Maße verbrauchskostenabhängige Erdgas-Variante 0 ist sehr anfällig auf Preissteigerungen der Versorgung mit dem fossilen Energieträger Erdgas. Durch Verwirklichung der Geowärmeversorgung der Gebäude der Firma FIS GmbH können nach unserer Schätzung jährlich etwa 7.400 € eingespart werden.

Dafür müssen die Gebäude modernisiert werden (um mit dem verfügbaren Temperaturniveau einer Wärmepumpe auszukommen).

Die ermittelte Einsparung kann dazu beitragen, die energetischen Mehrkosten zu den Bauunterhaltsinvestitionskosten bei der Gebäudemodernisierung aufzubringen.

Gebäudebeheizung Mennonitisches Gebethaus:

Tab. 20: Jahresgesamtkosten der Gebäudebeheizung des Menn. Gebethauses

Jahresgesamtkosten zur Gebäudebeheizung Mennonitisches Gebethaus		Mennonit. Gebethaus L/W-WP	Mennonit. Gebethaus Geowärme
Jahresgesamtkosten			
Kapitalkosten inkl. Förderung und MwSt.	€/a	1.830	1.180
Verbrauchsdaten inkl. MwSt.	€/a	1.580	1.120
Betriebskosten inkl. MwSt.	€/a	590	410
Umgelegte Wärmeerschließungskosten inkl. MwSt.	€/a		990
Anteil Kapitalkosten an Gesamtkosten		46%	42%
Anteil Verbrauchskosten an Gesamtkosten		40%	40%
Anteil Betriebskosten an Gesamtkosten		15%	14%
Jahresgesamtkosten	€/a	3.350	2.360
Jahresgesamtkosten inkl. MwSt.	€/a	3.990	2.800
Jahresgesamtkosten inkl. Förderung	€/a	3.350	2.250
Jahresgesamtkosten inkl. MwSt. und Förderung	€/a	3.990	2.700
Umlage Jahresgesamtkosten Wärmeerschließung			
Anteilige Wärmeabnahme aus dem Stollen			10%
Umlage Wärmeerschließungskosten netto			810
Umlage Wärmeerschließungskosten inkl. 19 % MwSt.			990
Jahresgesamtkosten inkl. Wärmeerschließung und Förderung			
Jahresgesamtkosten inkl. Wärmeerschließung Förderung	€/a	3.350	3.050
Jahresgesamtkosten inkl. MwSt., Wärmeerschließung und Förderung	€/a	3.990	3.690
Einsparung inkl. MwSt. und Förderung	€/a		310
Einsparung relativ			8%

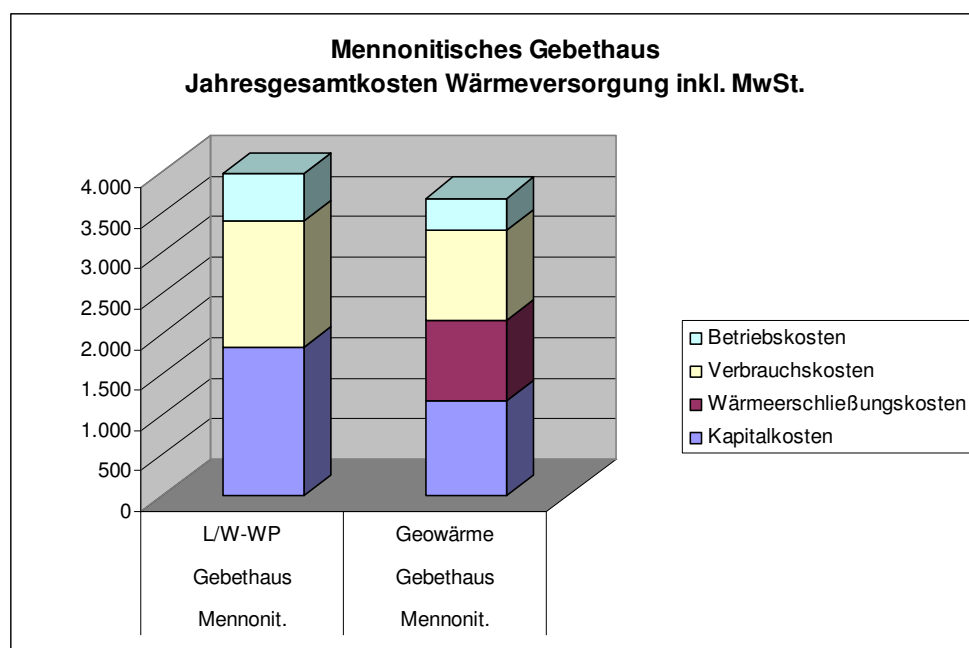


Abb. 23: Jahresgesamtkosten der Gebäudebeheizung des Mennonitischen Gebethauses

Die Verwirklichung der Geowärmeversorgung für das mennonitische Gebethaus würde Einsparungen von etwa 8 % der Jahresgesamtkosten erreichen.

Dies liegt, wie in Abbildung 23 ersichtlich, vor allem daran, dass die Verbrauchskosten auf Grund der höheren Effizienz des Wärmepumpenbetriebes mit dem Grubenwasser als Wärmequelle erwartungsgemäß niedriger liegen als bei der Variante 0 (Luft/Wasser-Wärmepumpe).

Abbildung 24 zeigt das Ergebnisdiagramm der Sensitivitätsanalyse:

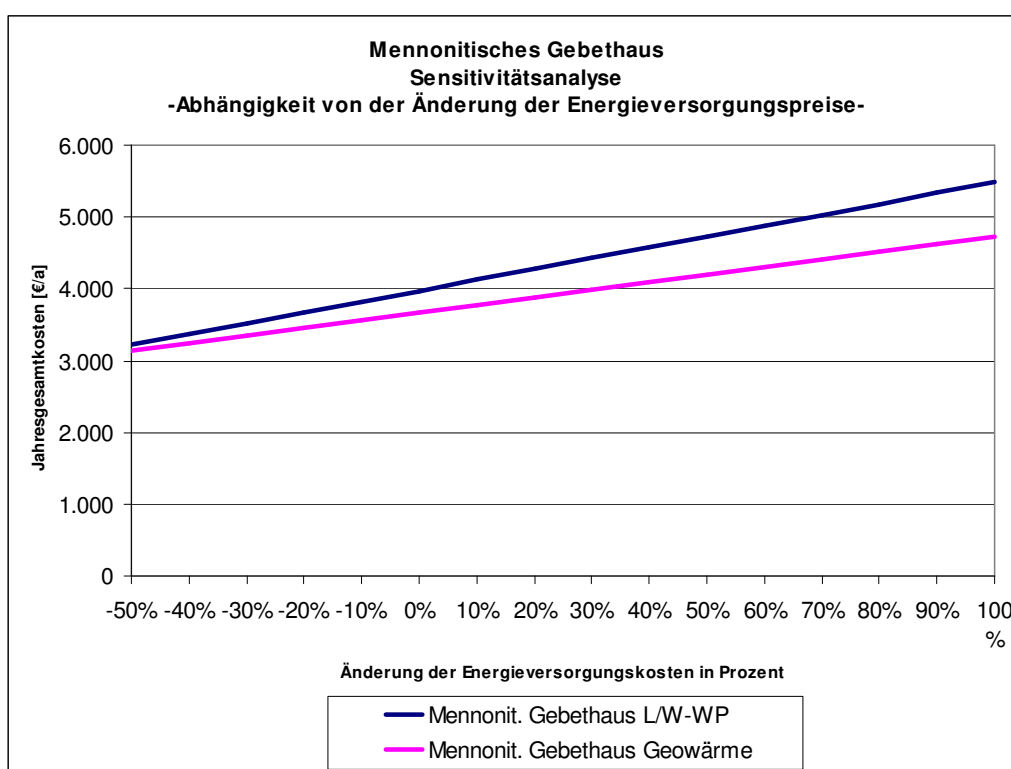


Abbildung 24: Sensitivitätsanalyse Mennonitisches Gebethaus

Die Variante 1 (Grubenwasser als Wärmequelle für den Wärmepumpenbetrieb) liegt im ganzen Spektrum der betrachteten Energieversorgungskostenänderung günstiger als die Variante 0.

12. Fazit

Die durchgeführten Untersuchungen belegen, dass das Grubenwasser des Neuhoffnungsstollens der Grube Mercur / Bad Ems für eine geothermische Nutzung geeignet ist. Die hydrochemischen Untersuchungen haben ergeben, dass das Grubenwasser mit Temperaturen von $> 22^{\circ}\text{C}$ ein ausreichendes Wärmepotential für die Nutzung mittels Wärmetauscher zur Verfügung stellt. Die Zusammensetzung der Grubenwässer ist auf Grund der Eisen- und Manganausfällungen im Kontakt mit Sauerstoff und der möglichen Ausfällungen von Carbonaten bei Druckentlastung (und starker Turbulenz) bei der technischen Umsetzung zu beachten, jedoch durch die Wahl geeigneter Anlagen zu bewältigen. Für die Auswahl der Wärmetauscher stellt die chemische Zusammensetzung nach Herstellerangaben keine Probleme dar. Durch den Pumpversuch konnte nachgewiesen werden, dass eine geothermische Nutzung der warmen Grundwässer auf der Neuhoffnungsstollensohle mittels Pumpbetrieb möglich ist. Außerdem bewirken Entnahme und Rückführung der Wässer (4 l/s) nur eine unerhebliche Abkühlung und Absenkung des Grundwassers. Die Standsicherheit der Grubengebäude dient als wichtiges Hilfsmittel, um einen geeigneten Standort für eine geothermische Nutzung zu finden. Aus Kombination aller Ergebnisse ist eine Nutzung des Grubenwassers aus Nebenschacht II des Neuhoffnungsstollens zu empfehlen. Die anderen Schächte sind entweder auf Grund der relativ hohen Entfernung zum möglichen Verbraucher oder auf Grund der nicht zu garantierenden Stand- bzw. Absturzsicherheit (ohne zusätzliche Maßnahmen wie z.B. Beräumungen, Sicherungen, usw.) auszuschließen. Bei der Auswahl der technischen Umsetzung kommt auf Grund der Chemie und Förderbarkeit der Wässer und damit einhergehenden energetischen Vorteilen nur eine Variante in Frage. Bei der empfohlenen Variante wird das Grubenwasser aus Nebenschacht II auf das Niveau des Neuhoffnungsstollens gepumpt und von dort aus durch einen Platten- oder Abwasserwärmetauscher geleitet. Dabei ist zu beachten, dass es zu keinem Kontakt mit Sauerstoff und keiner weiteren Druckentlastung (und damit verbunden CO_2 -Entgasung) kommt, um störende und mitunter für die Anlage schädliche Ablagerungen zu verhindern.

Durch die Nutzung der Geowärme zur Beheizung der Gebäude der FIS GmbH sowie des mennonitischen Gebethauses können jährlich etwa 77 Tonnen klimarelevanter

Schadgase (Summenparameter als CO₂-Äquivalente angegeben) eingespart werden.

Der Einsatz der Grubenwärme zur Gebäudebeheizung stellt sich nach Abschätzung der Bearbeiter im untersuchten Gebiet als wirtschaftlich dar. Durch die besondere Effizienz der Wärmepumpe im Einsatz mit den Grubenwässern als Wärmequelle können die jährlichen Einsparungen der Verbrauchskosten die Kapitalkosten der Wärmeerschließung und die Mehrkosten der Wärmepumpenanlagen gegenüber der Vergleichsvarianten decken. Bei den Gebäuden der Firma FIS GmbH wurde eine Einsparung durch Umsetzung der Geowärmenutzung von etwa 7.400 € jährlich ermittelt. Allerdings müssen für die Geowärmenutzung die Gebäude auf einen besseren energetischen Standard saniert werden. Um eine Wirtschaftlichkeit der energetischen Gebäudesanierung zu erreichen, müssen die jährlichen Einsparungen durch die Geowärmenutzung die Kapitalkosten der Mehrinvestitionen der energetischen Gebäudesanierung zu den üblichen Bauinstandhaltungskosten decken. Sollte dies nicht der Fall sein, könnte die geothermisch erschlossene Wärme im entsprechenden Maße günstiger an die Abnehmer verkauft werden.

Damit der Betreiber der Wärmeerschließungsanlage die Wärme günstiger zur Verfügung stellen kann, wäre es hilfreich, wenn weitere Fördermittel zur Umsetzung eines Pilotprojektes „Geowärmenutzung im Neuhoffnungsstollen Bad Ems“ zur Verfügung gestellt werden.

Der Einsatz der Geowärme zur Beheizung des mennonitischen Gebethauses stellt sich als wirtschaftlich dar. Die Berechnung erfolgte für die gemeinsame Umsetzung der Grubenwassernutzung für beide Wärmeabnehmer.

Aufgrund der früheren umfangreichen bergbaulichen Aktivitäten in RLP besteht in vielen Gebieten die Möglichkeit der Nutzung der Erdwärme aus alten Bergwerken. Wichtig ist in diesem Zusammenhang insbesondere die kurze Entfernung zum potentiellen Nutzer. An vielen Orten befinden sich die Bergwerke inmitten der Bebauung. Neubaugebiete werden z.T. im Nahbereich ehemaliger Tagschächte oder Stolleneingänge errichtet.

Die Wassertemperatur variiert zwischen rund 10 °C und rund 25 °C. Demnach steht ein unterschiedliches Potential an Wärme zur Verfügung. Bei den geringeren Temperaturen besteht zusätzlich die Möglichkeit der Kühlung. Bei geeigneten geologischen Standortbedingungen können Bergwerke auch zur Speicherung der Wärme genutzt werden (z.B. Einspeisung der überschüssigen Wärme von Solarthermie im Sommer und Entnahme der Wärme zur Heizung im Winter).

Weitere Untersuchungen der Nutzungspotentiale in RLP sind kurzfristig zu empfehlen z.B. im Lahnrevier, Siegerland, Rheintal. Das Hauptaugenmerk ist zunächst auf die geografisch am günstigsten gelegenen Bergwerke zu richten. Darüber hinaus kann auch außerhalb der derzeitigen Bebauung eine Erschließung der Erdwärme aus Bergwerken wirtschaftlich sinnvoll sein bei der Ansiedlung von industriellen Nutzern. Dieser Aspekt kann durchaus ein nicht zu unterschätzender Standortvorteil sein.

Nicht zuletzt aus Gründen der Übertragbarkeit auf weitere Bergbaugebiete ist eine Umsetzung der Geowärmenutzung am Neuhoffnungsstollen sehr zu befürworten. Die Anlage könnte Leuchtturmcharakter zur Erschließung weiterer Wärmequellen in gefluteten Gruben des Altbergbaus haben und so zu einer verstärkten thermischen Grubenwassernutzung in Rheinland-Pfalz führen.

13. Literaturverzeichnis

- CARLÉ, W. (1975): Die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa: Geologie, Chemismus, Genese: 643 S.; Stuttgart (Wiss. Verlagsges. mbH).
- DENNER, J. (1956): Geologie der Emser Thermen und die Emser Quellen – Berkwerksfrage.- Heilbad u. Kurort, **6**: 1-20; Gütersloh.
- DIN 38404-10 (1995): Physikalische und physikalisch-chemische Stoffkenngrößen (Gruppe C), Teil 10: Calcitsättigung eines Wassers (C10).
- EHRENDREICH, H. (1958): Stratigraphie, Tektonik und Gangbildung im Gebiet der Emser Blei-Zinkerzgänge.- Z. dt. geol. Ges., **110**: 561-582; Hannover.
- FURTAK H. & LANGGUTH, H.R. (1967): Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen, Mem. IAH-Congress, 1965, **VII**: 86-96, 5 Fig., Hannover.
- HERBST, F. & MÜLLER, H.-G., (1969): Raum und Bedeutung des Emser Gangzuges Teil 1.- Bad Emser Hefte **115**: 1-39; Bad Ems.
- HERBST, F. & MÜLLER, H.-G., (1969): Raum und Bedeutung des Emser Gangzuges Teil 2.- Bad Emser Hefte **116**: 40-77; Bad Ems.
- HOHBERGER, K.-H. (2003): Neuabgrenzung des Heilquellenschutzgebietes für das Staatsbad Bad Ems: 25 S.; Mainz (Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz).
- HÖLTING, B. (1969): Die Ionenverhältnisse in den Mineralwässern Hessens.- Notizbl. Hess. L.-Amt Bodenforsch. **97**: 333-351; Wiesbaden.
- HÖLTING, B. & COLDEWEY, W.C. (2005): Hydrogeologie – Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie, 6. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag.
- KIRNBAUER, T. & SCHNEIDER, J. (1998): Submarin-hydrothermale Mineralisationen in Sedimenten.- Jb. Nass. Ver. Naturkd., So.-Bd. **1**: 97-105; Wiesbaden.
- KOCH, C. (1883a): Vorläufiges Gutachten des Königlichen Landesgeologen Dr. Carl Koch über das Thermalquellen-Gebiet von Ems.- Jahrb. nass. Ver. Nat. **36**: 21-31; Wiesbaden.

- MALM, F. (2007): Geothermische Szenarienmodellierung im Raum Bad Ems – Vorstudie im Rahmen eines neuen städtischen Energiekonzepts. Diplomarbeit Universität Mainz, unveröff.
- MAY, F., HOERNES, S. & NEUGEBAUER, H.-J. (1996): Genesis and distribution of mineral waters as a consequence of recent lithospheric dynamics: the Rhenish Massif, Central Europe.- Geol. Rundsch. **85**: 782-799.
- VIEHMANN C. (2007): Hydrogeologie im Gebiet von Bad Ems / Lahn und Möglichkeiten zur Nutzung des geothermischen Potentials. Diplomarbeit Universität Koblenz, unveröff.
- WIEBER, G. (2004): Die Hydrogeologie der ehemaligen Grube Mercur, Untere-Lahn Revier: 26 S.; Koblenz (unveröff.).
- WIEBER, G. (2005): Die Geologie des Emser Gangzuges.- Bad Emser Hefte **244**: 1-43; Bad Ems.
- WIEBER, G. (2006): Mineralwasservorkommen im Lahn-Gebiet: Geologische Voraussetzungen und hydrochemische Beschaffenheit am Beispiel der Emser Thermen: 6 S.; Koblenz (unveröff.).

Karten:

Topographische Karte 1:50.000 Rheinland-Pfalz/Saarland. Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation, Rheinland-Pfalz, 2001.

14. Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Grube Mercur Bad Ems „ Geowärme Bad Ems“ – Geothermische Nutzung der Wärme des Wassers über den Neuhoffnungsstollen.
Geoconsult Pohl

