

Zum geothermischen Potential gefluteter Erzbergwerke

Ofner, C.¹, G. Wieber¹

¹Johannes Gutenberg Universität Mainz, Angewandte Geologie

Zusammenfassung

Im Rheinischen Schiefergebirge wurde bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts intensiver, z.T. bis in Tiefen von mehr als 1000 m reichender, Bergbau betrieben. Nach Einstellung des aktiven Betriebes wurden die Gruben geflutet. Seither fand in den Gruben eine Durchmischung von oberflächennahem, kühlerem Grundwasser mit tiefem, wärmerem (bis zu 60°C in 1000 m Tiefe) Grundwasser statt. Dieses Mischwasser tritt an den topographisch tiefsten Stollen, den sogenannten Tiefen Stollen frei zu Tage.

In verschiedenen gefluteten Bergwerken von Taunus (Lahnrevier – Grube Mercur, Bad Ems) sowie Westerwald und Siegerland (Siegerland-Wied-Distrikt) wurden physiko-chemische Untersuchungen durchgeführt. Aus den bereits vorliegenden Ergebnissen zeigt sich, dass die frei am Tiefen Stollen der Bergwerke austretenden Grubenwässer eine deutlich erhöhte Temperatur und damit ein großes geothermisches Potential aufweisen. Weiterführende Untersuchungen an verschiedenen Bergwerken sind zurzeit in Arbeit, die technische Umsetzung und Realisierung des ersten bearbeiteten Projektes läuft.

1. Geologisch-hydrogeologische Verhältnisse

1.1 Geologie

Im Devon, vor etwa 400 Millionen Jahren, befand sich der Bereich des heutigen Rheinischen Schiefergebirges in einem Meerestrog, welcher sich quer durch Europa zog. Der durch Erosion des Festlandes entstandene Abtragungsschutt wurde in diesen Ablagerungsraum transportiert und sedimentiert. In der Folge tektonischer Plattenbewegungen wurde der Ozean zunehmend geschlossen und die darin sedimentierten Ablagerungen zusammengeschoben. Es entstanden mächtige gefaltete, gegeneinander und übereinander verschobene Sedimentpakete. Die nach der Schließung des Ozeans weiter anhaltende Plattenbewegung führte vor etwa 350 Millionen Jahren dazu, dass die sich aufeinander zu bewegendenden Kontinente miteinander kollidierten. Dies führte zur Bildung des Rheinischen Schiefergebirges mit seinen mächtigen Gesteinsabfolgen. Das Rheinische Schiefergebirge ist vorwiegend aus devonischen Sedimentgesteinen aufgebaut, in die Karatophyre und Diabase intrudiert sind. Untergeordnet treten Carbonatgesteine auf. Die Sedimentgesteine des Rheinischen Schiefergebirges sind (intensiv) gefaltet, z.T. geschiefert und z.T. schwach metamorph überprägt. Der Verlauf der Sattel- und Muldenachsen entspricht dem variskischen Streichen (NE - SW). Teilweise werden die variskischen Gesteine von jüngeren Schichten überlagert.

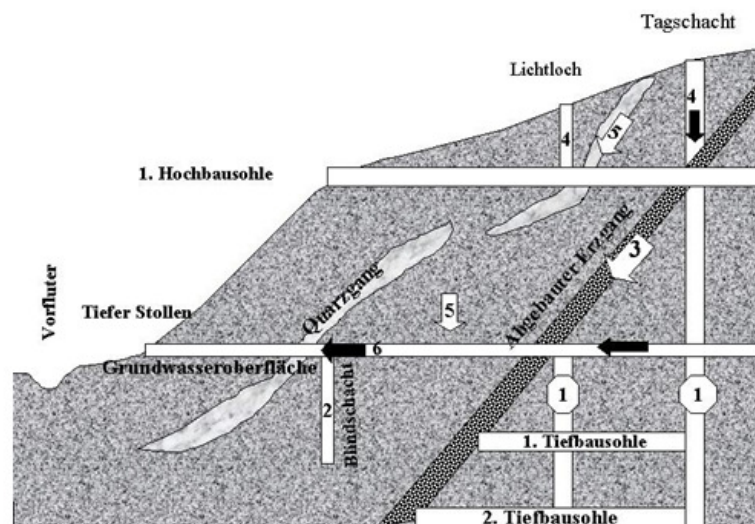
Das Rheinische Schiefergebirge besteht rechtsrheinisch neben dem Taunus aus Westerwald, Bergischem Land, sowie Sieger- und Sauerland. Auf der linksrheinischen Seite zählen neben Eifel, Hunsrück und ‚Hohes Venn‘ auch die Ardennen in Frankreich zum Rheinischen Schiefergebirge.

1.2 Hydrogeologie

Die Eisenerzgänge des Rheinischen Schiefergebirges fallen steil ein. Die dort verbreiteten devonischen Sedimentgesteine lassen zwar meist nur eine geringe Grundwasserneubildung zu, aber im Bereich ausbeißender Quarz-/Erzgänge - vor allem nach erfolgtem Abbau - können erhebliche Sickerwassermengen zutreten. In den oberen Teufen wird das „Tagwasser“ über Stollen mit Röschen nach außen abgeführt. Meist auf Vorfluterniveau wurde ein Wasserlösungs- oder Erbstollen (Tiefer Stollen) angelegt, der die Grubenbaue bis auf diese Höhenlage entwässerte. Mit dem tieferen Abbau war eine Ableitung des zufließenden Grundwassers in freiem Gefälle nicht mehr möglich. Das Wasser musste nun gefördert werden. Die Gruben des Siegerlandes und des Lahnreviers

bauten in Tiefen bis über tausend Meter unter Geländeoberkante. Während des Bergbaus war der Grundwasserspiegel dementsprechend auf Talniveau bis über 100 m unter Vorfluterhöhe abgesenkt. Mit der Einstellung des Bergbaus wurde auch die Wasserhaltung eingestellt und die Gruben wurden geflutet. Der Grundwasserspiegel stellte sich auf Erbstollen- bzw. Vorfluterniveau ein, da die Wasserlosungsstollen weiterhin die Grubenbaue entwässern. Gegenüber der ursprünglichen hydrogeologischen Situation vor Beginn der bergbaulichen Tätigkeit ist der Grundwasserspiegel bis über 100 m abgesenkt. Das gesamte Bergwerk stellt vereinfacht eine überdimensionale Dränage mit dem Auslauf am tiefsten Punkt über Tage - hier der Tiefe Stollen – dar.

Hydrogeologische Untersuchungen an gefluteten Tiefschächten einer großen Verbundgrube des Rheinischen Schiefergebirges zeigen, dass nur sehr geringe Unterschiede in den Temperaturverhältnissen und der hydrochemischen Zusammensetzung der Grubenwässer über die gesamte Teufe vorhanden sind. Durch die hohen Gehalte an Kohlensäure, einhergehend mit Druckentlastung, kommt es zur Entgasung. Dadurch entsteht ein Gaslift in den Schächten, der eine Durchmischung verbunden mit einem schnellen Aufstieg des Grubenwassers zur Folge hat. Hydraulisch sind die gefluteten Bergwerksteile in diesem Fall als System kommunizierender Röhren zu verstehen. Wässer, welche nur unzureichend an Tiefschächte oder durchschlägige Tiefbausohlen angeschlossen sind, weisen deutliche Unterschiede in der Temperatur und geochemischer Beschaffenheit auf. In Bergwerken ohne Gaslift kann es zur Ausbildung von geschichteten Wasserhorizonten kommen. Man unterscheidet sogenannte Stagnations- und Zirkulationswässer, wobei die Zirkulationswässer am Wasserkreislauf beteiligt sind und die Stagnationswässer in der Tiefe der Schächte bzw. des Grubengebäudes verbleiben. Die hydrogeologischen Verhältnisse ehemaliger untertägiger Bergwerksanlagen sind in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Die Unterscheidung der Wässer erfolgt auf Grundlage der hydrogeologischen Kriterien und der Lage der Grubenwasserzutritte bzw. des Grundwassers zur Vererzung.



Legende:

Grundwässer:

1. Schachtwässer: in gefluteten Stollen und Schächten zirkulierende Grundwässer.

2. In Blindschächten eingestaute Grundwässer.

Tagwässer:

3. Sickerwässer aus Abbaubereichen (ungesättigte Zone).

4. Freie Wasserzutritte aus Schächten und Erzrollen (ungesättigte Zone).

5. Sickerwässer außerhalb der Abbaubereiche (ungesättigte Zone).

6. Über Röschen gefasste Grubenwässer, die als Gerinne nach außen geführt werden.

Abb. 1: Hydrogeologie ehemaliger Grubenbaue (Schemazeichnung ohne Maßstab)

Als Grubenwässer werden im Rahmen dieses Beitrages alle im Bereich von untertägigen Bergwerksanlagen zutretenden Wässer bezeichnet.

2. Bergbau

Die im Zusammenhang mit der Gebirgsbildung im Lahnrevier entstanden sulfidische Buntmetall-erz-Lagerstätten waren bereits den Römern bekannt. Der Bergbau 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 z.B. in den tieferen Bereichen der Grube Mercur (Lahnrevier) berichtet. Die Wasserhaltung innerhalb der Gruben im Lahngebiet führte zu einem vorübergehenden Versiegen der Bad Emser Thermalquellen (bekannt als „Emser Quellenstreit“). Nach der kriegsbedingten Einstellung der Wasserhaltung regenerierten sich diese jedoch wieder und traten erneut frei zu Tage.

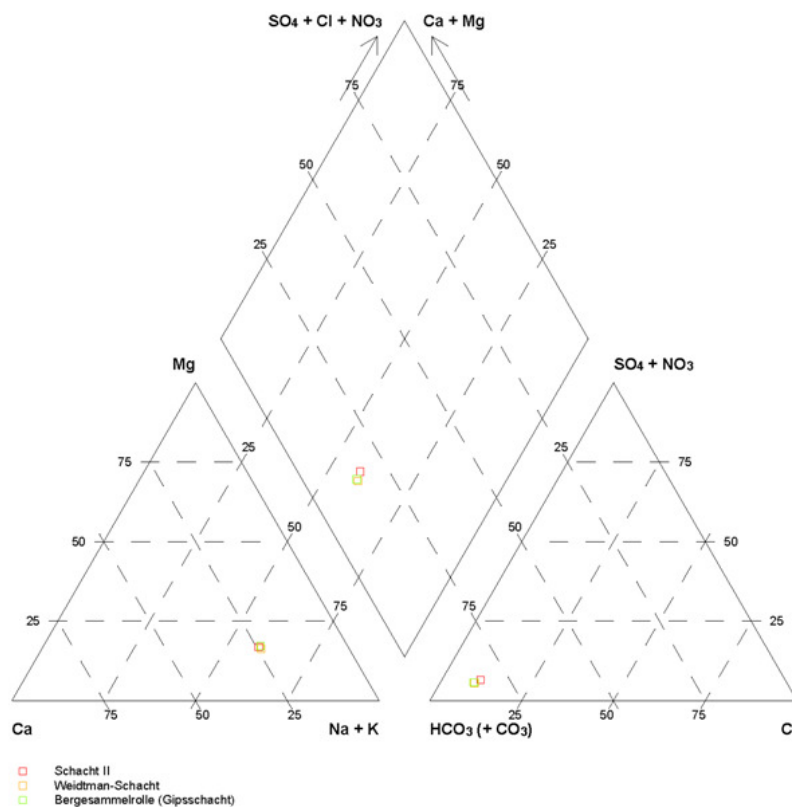
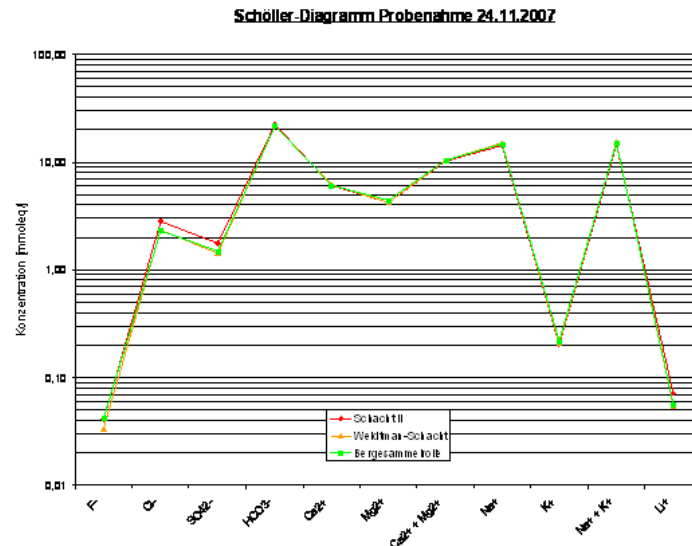
3. Beschaffenheit der Wässer

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 Erklärungen 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 Unterdevons 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).

Die in der Grube Mercur eingestauten Grubenwässer wurden physiko-chemisch untersucht (Schacht II, Weidtmann-Schacht, Bergesammelrolle). Die hydrochemischen Analysen zeigen Wässer unmittelbar vergleichbarer Zusammensetzung an. Dies zeigt sich auch in den graphischen Darstellungen der Wässer als Schöller- (Abb. 2) bzw. Piper-Diagramm (Abb. 3). 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^- deut-

lich [$>80\text{ceq-\%}$]. 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 ($>1\text{ mg/l}$), Blei (bis 0,34 mg/l) und Zink (0,55 bis 0,76 mg/l) sind deutlich erhöht. Die Wässer sind nach FURTA & LANGGUTH (1967) als überwiegend hydrogencarbonatische, alkalische Wässer zu charakterisieren.



Aus der tiefenorientierten Probenahme von Schacht II (0 m, 50 m, 100 m, 150 m und 185 m Tiefe) zeigt sich, dass sich die physiko-chemische Beschaffenheit der Wässer mit der Tiefe nur sehr wenig verändert. Belegt werden diese Ergebnisse durch eine hochauflösende Messung von Temperatur und Leitfähigkeit (Abb. 4). Ab einer Tiefe von 180 m ist lediglich eine minimale Temperaturzunahme um 0,2°C bis in die Messendtiefe von rund 530 m zu beobachten. Dies belegt, dass seit Einstellung des Bergbaus eine intensive Durchmischung der Wässer, einhergehend mit Erreichen einer nahezu konstanten Temperatur, stattgefunden hat.

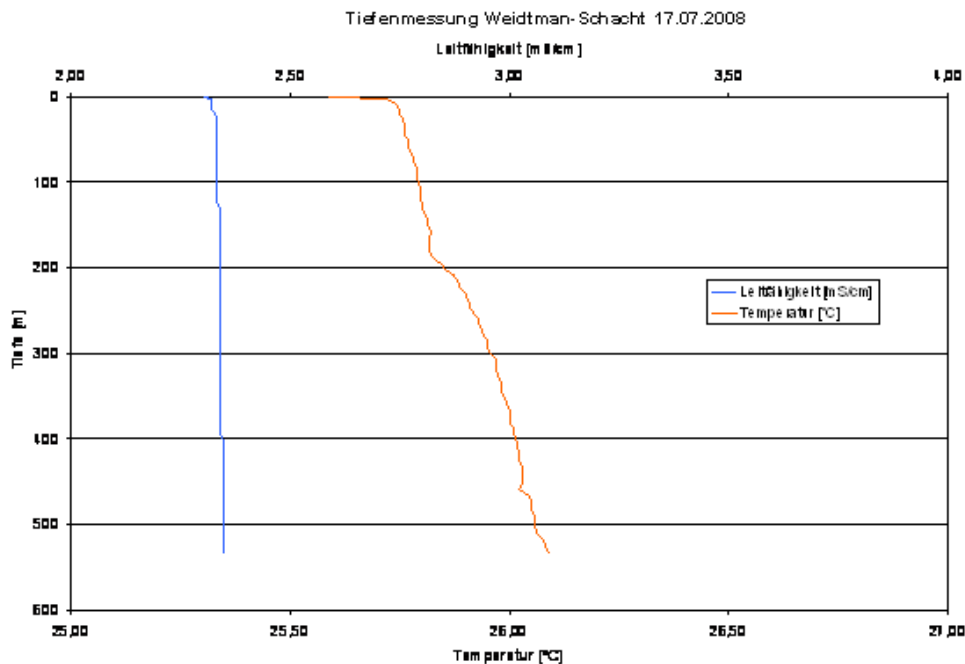


Abb. 4: Tiefenauflösende Temperatur- und Leitfähigkeitsmessung, Weidtmann-Schacht, 17.07.2008

Für die am Tiefen Stollen der Grube Mercur (Stadtstollen) frei austretenden Grubenwässern stellt sich die Situation wie folgt dar: mit einer Schüttung von durchschnittlich 35 l/s und einer durchschnittlichen Temperatur von 24°C stellen die Wässer ein erhebliches Potential dar. Damit kann nach bei einer überschlägigen Entzugsleistung von 2200 kW den Heizbedarf von rund 220 modernen Einfamilienhäusern gedeckt werden.

5. Nationale und internationale Beispiele für geothermisch genutztes Grubenwasser

Es gibt eine Reihe von internationalen, aber auch nationalen Beispielen für das geothermische Potential von gefluteten Bergwerken. Am ehemaligen Steinkohlebergwerk im Untergrund von Aachen (D) und Heerlen (NL) wurde am 1. Oktober 2008 das weltweit erste Grubenwasser-Kraftwerk in Betrieb genommen. Weitere nationale Beispiele für die Nutzung von warmem Grubenwasser zu Heizzwecken sind z.B. der WISMUT-Schacht 302 in Marienberg, das heutige Besucherbergwerk Ehrenfriedersdorf, sowie z.B. Zeche Zollverein (Essen-Heisingen). Diese und weitere Beispiele sind in Tabelle 1 aufgeführt

Tab. 1: Nationale Beispiele zur geothermischen Nutzung von Grubenwasser

Bergwerk	Lage	Zeit	Leistung	Nutzung
Aachen / Heerlen	Deutschland / Niederlande	seit 01.10. 2008		Stromerzeugung
Zeche Heinrich, Steinkohle	Essen-Heisingen	seit 1984	ca. 350 kW	Beheizung Altenheim
Zeche Zollverein, Steinkohle	Essen-Katernberg	seit ca. 2000		Schule (school of design)
Schacht 302	Marienberg, Sachsen	seit 2007		Abenteuerbad
Zinngrube	Ehrenfriedersdorf, Sachsen	seit ca. 1994		Mittelschule
Zinngrube	Ehrenfriedersdorf, Sachsen	seit ca. 1997	82 kW	Besucherbergwerk

In Tabelle 2 sind einige internationale Beispiele der geothermischen Grubenwassernutzung aufgeführt.

Tab. 2: Internationale Beispiele zur geothermischen Nutzung von Grubenwasser

Bergwerk:	Lage:	Art der Erschließung:	Fördermenge:	Nutzung:
Kohlegrube	Springhill, Canada	Förderbohrung 140 m	240 l/min, 18 °C, 11 Wärmepumpen	Fabrikgebäude 14.000 m ²
Bleierzgrube	Park Hills, United States	Förderbohrung 120 m	280 l/min, 14 °C, 9 Wärmepumpen	Verwaltungsgebäude 750 m ²
Kohlegrube	Shettlestone, United Kingdom	Förderbohrung 100 m	Grundwasser 18 °C, 2 Wärmepumpen (55 °C)	16 Wohnhäuser
Kohlegrube	Lumphinnans, United Kingdom	Förderbohrung 170 m	Grundwasser 14,5 °C Abkühlung auf 3 °C	18 Wohnhäuser

Danksagung

Die Analysen wurden durch ein vom Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz (MUFV) Rheinland-Pfalz gefördertes Projekt sowie von der Verbandsgemeinde Bad Ems ermöglicht. Dafür bedanke ich mich recht herzlich.

Literatur

- CARLÉ, W. (1975): Die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa: Geologie, Chemismus, Genese: 643 S.; Stuttgart (Wiss. Verlagsges. mbH).
- 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.
- HÖLTING, B. (1969): Die Ionenverhältnisse in den Mineralwässern Hessens.- Notizbl. Hess. L.-Amt Bodenforsch. 97: 333-351; Wiesbaden.
- HOHBERGER, K.-H. (2003): Neuabgrenzung des Heilquellenschutzgebietes für das Staatsbad Bad Ems: 25 S.; Mainz (Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz).
- KIRNBAUER, T. & SCHNEIDER, J. (1998): Submarin-hydrothermale Mineralisationen in Sedimenten.- Jb. Nass. Ver. Naturkd., So.-Bd. 1: 97-105; Wiesbaden.
- KOCH, C. (1883): Vorläufiges Gutachten des Königlichen Landesgeologen Dr. Carl Koch über das Thermalquellen-Gebiet von Ems.- Jahrb. nass. Ver. Nat. 36: 21-31; Wiesbaden.
- 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. (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.).
- Wieber, G. & Schenk, D. (2008): Hydrogeologie und geothermische Nutzungsmöglichkeiten gefluteter Erzbergwerke am Beispiel des Rheinischen Schiefergebirges. Vortrag auf der FH-DGG Jahrestagung Grundwasserressourcen: Charakterisierung, Bewirtschaftung und Prognosen vom 21.05. bis 25.05.2008 in Göttingen.