

43. IWASA

**Internationales Wasserbau-Symposium
Aachen 2013**

Wasser als Energieträger

10. und 11. Januar 2013

Nutzung stillgelegter Bergwerke oder tiefliegender Grundwasservorkommen zur Wärme-/Kältengewinnung und -speicherung

Kurt Schetelig und Harald Richter

Abstract

Abandoned and flooded hardcoal mines or groundwater resources are appropriate for the recovery or storage of heat or cold. Heat can be recovered by means of a single geothermal probe or by a doublet system using the minewater with a temperature of 20 to 35 °C, which is raised to the required operation temperature by means of heat pumps. In summer the heat surplus produced in buildings can be stored in the underground. Various projects in Central Europe, mainly in the Aachen/D and South Limburg/NL area, are exemplary dealt with. Also the Energeticon, a planned exhibition center about energy production and supply at Alsdorf/Germany, will be presented.

Abandoned mines offer big volumes of water and a high bulk permeability due to excavated galleries and mostly collapsed extraction spaces. The separation of warm and cold water reservoirs in the underground requires thorough studies about the risk of a thermal or hydraulic short circuit. Mine water as well as deep groundwater show mostly a distinct mineralization. Beside an increased salt content, substances as iron, other metals or barium are to be considered. Therefore used mine or groundwater must be re-infiltrated into the underground. Possible occurrences of methane represent a safety risk due to possible mixtures of explosive gases, but also they offer a possible additional energy source. An economic feasibility of heat or cold recovery or storage in abandoned mines or deep groundwater bodies may be generally assumed, if a connection to near consumers or to a short or long distance heatnet is available. In scope of the general, in Germany wanted "energy change" various projects, developed during the last years, may become economically feasible.

Zusammenfassung

Stillgelegte und geflutete Steinkohlenbergwerke oder auch Grundwasservorkommen eignen sich zur Wärme-/Kältengewinnung und -speicherung. Wärme wird mit Hilfe von Einfach-Erdwärmesonden oder nach dem Dublettenverfahren unter Nutzung des Grubenwassers mit einer leicht erhöhten Temperatur von 20 bis 35 °C aus dem Bergwerk gewonnen und mit Wärmepumpen auf die gewünschte Betriebstemperatur gebracht. Im Sommer kann der in Gebäuden anfallende Wärmeüberschuss untertage gespeichert werden. Bei Grundwasservorkommen richten sich die Möglichkeiten nach der Tiefenlage, der geothermischen Tiefenstufe und der sich daraus ergebenden Grundwassertemperatur. Verschiedene Projekte in Mitteleuropa, besonders im Raum Aachen/D und

Südlimburg/NL, werden beispielhaft genannt und das geplante Energeticon in Alsdorf vorgestellt.

Bergwerke als Energiespeicher bieten große Wasservolumina und dank der aufgefahrenen Strecken und der verbrochenen Abbauräume oft eine hohe Wasserwegsamkeit. Die Trennung zwischen Warm- und Kaltwasserreservoir im Untergrund verlangt allerdings besondere Aufmerksamkeit wegen des Risikos eines thermischen oder hydraulischen Kurzschlusses. Sowohl Grubenwasser in Bergwerken als auch tiefes Grundwasser sind in der Regel deutlich mineralisiert. Neben einem erhöhten Salzgehalt sind Stoffe wie Eisen, andere Metalle oder Barium zu beachten. Daher müssen genutzte Gruben- oder tiefe Grundwässer wieder in den Untergrund infiltriert werden. Eventuelle Methanvorkommen stellen einerseits eine Gefährdung wegen der Möglichkeit explosiver Gasgemische dar, andererseits bieten sie eine mögliche, weitere Energiequelle. Die Wirtschaftlichkeit einer Wärme-/Kältengewinnung oder -speicherung mit Hilfe von Bergwerken oder tiefen Grundwasservorkommen ist gegeben, wenn in geringer Entfernung große Abnehmer oder ein Anschluss an ein Nah- oder Fernwärmenetz zur Verfügung stehen. Im Rahmen der in Deutschland angestrebten Energiewende dürften zwischenzeitlich zahlreiche, in den letzten Jahren entwickelte Vorhaben die Grenze der Wirtschaftlichkeit erreicht haben.

1 Einführung

Im Rahmen der Energiewende, und hier vor allem in Verbindung mit dem zunehmenden Einsatz der erneuerbaren Energien Wind und Sonne sowie deren wechselnder Verfügbarkeit, ist die Frage der Energiespeicherung ein zentrales Thema. Dabei denkt man in erster Linie an die zeitweilige Speicherung von Strom, wie dies etwa bei Pumpspeicherwerken der Fall ist. Der größte Teil des Primärenergieverbrauches in Deutschland entfällt jedoch auf die Erzeugung von Wärme oder Kälte. Dabei fallen große Mengen an Abwärme an, die bisher zum größten Teil in die Atmosphäre oder in die Flüsse abgegeben werden.

Ein großer Teil der Wärme für Heizung und Warmwasser wird heute durch die Verbrennung knapper fossiler Energie-Rohstoffe, vor allem von Erdöl und Erdgas, erzeugt. Denkt man an das zwangsläufig nahende Ende des billigen Erdöls und Erdgases, so lässt sich dieser Teil des Energiemarktes am ehesten durch Erdwärme und durch die bei Industrie und Gewerbe anfallende Abwärme ersetzen. Dabei sind moderne Gebäudetechnik, der Übergang zur Niedrigtemperaturheizung und eine kostengünstige Zwischenspeicherung wichtige Elemente, um jederzeit einen sicheren Ausgleich zwischen Bereitstellung und Bedarf von Wärmeenergie zu gewährleisten.

2 Nutzung stillgelegter und gefluteter Steinkohlenbergwerke

Nach der Stilllegung von Bergwerken wird in aller Regel die Wasserhaltung eingestellt bzw. reduziert. Dadurch steigt der Wasserstand im Bergwerk wieder an, bis er entweder einen natürlichen höchsten Stand erreicht hat oder eine künstliche Steuerung des Grubenwasser-Niveaus einsetzt.

In den vergangenen 15 Jahren wurden mehrfach Projekte mit dem Ziel vorgestellt, stillgelegte und geflutete Bergwerke als Wärmereservoir und Wärmespeicher zu nutzen. In Nordrhein-Westfalen und den benachbarten Niederlanden handelte es sich dabei vor allem um Steinkohlenbergwerke.

Worin liegt der Anreiz einer Nutzung gefluteter Bergwerke? Es ist das große Wasservolumen, welches in der Regel ohne Interessenkonflikt genutzt werden kann und in aller Regel eine leicht erhöhte Temperatur zwischen etwa 20 und 35 °C aufweist. Die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse sind aus der Bergbauzeit gut bekannt (SCHETELIG ET AL., 2008, ROSNER, 2011). Bergwerke liegen häufig in dicht besiedelten Gebieten, also relativ nah an den möglichen Kunden einer Wärme-/Kälteversorgung.

Auch tiefliegende und ausgedehnte Grundwasserleiter wie sie etwa in Niedersachsen, Brandenburg, Rheinland-Pfalz oder Bayern vorhanden sind, aber auch in zahlreichen Nachbarländern wie in den Niederlanden und Frankreich, eignen sich als Wärmelieferant und -speicher. Im Vordergrund des Beitrags steht die Nutzung von Bergwerken.

Eine Erdwärmegewinnung aus stillgelegten, gefluteten Bergwerken ist über Einfachsonden oder über das Dublettenverfahren möglich (siehe Abb. 1). Eine Einfachsonde entzieht Wärme aus dem umgebenden Gestein oder dem Grund- bzw. Grubenwasser. In der Regel wird bei Einfachsonden eine geeignete Flüssigkeit, z. B. Wasser, in einem Primärkreislauf in die Tiefe gepumpt und steigt nach der Erwärmung in diesem geschlossenen System wieder auf. Das mineralisierte Grubenwasser verbleibt damit vollständig im Untergrund, nur die gewonnene Wärmeenergie wird an einen Wärmetauscher und schließlich an eine Wärmepumpe weitergeleitet. Durch den geschlossenen Kreislauf ergeben sich keine zusätzlichen Pumphöhen und auch kein Energieaufwand für die Wiederverpressung. Besonders günstig ist die Situation, wenn eine Wärmesonde von einem langsamen, stetigen Grubenwasser- und Wärmestrom umströmt wird und damit keine Erschöpfung einer einmaligen „Lagerstätte“ eintreten kann. Dies ist in gefluteten Bergwerken häufig gegeben.

Einfachsonden eignen sich, wenn relativ kleine Wärmemengen aus einem Reservoir ausreichend hoher Temperatur gewonnen werden sollen. Ein Vorteil von Einfachsonden ist die geringe Investition für Leitungen und Pumpen, ein Nachteil die meist geringe Leistung von einigen zehn bis ca. 100 kW. Umweltauswirkungen sind dank des geschlossenen Systems in der Regel nicht zu befürchten.

Beim Dublettenverfahren wird durch Abpumpen oder durch die Einleitung von Wasser ein Wasserkreislauf erzeugt, bei dem wesentlich größere Energiemengen umgeschlagen

werden können. Allerdings werden auch ein aufwändiges Leitungsnetz, oft mehrere Pumpen und ein umfangreiches Monitoring der Temperaturentwicklung, der hydraulischen Vorgänge und des Wasserchemismus benötigt. Das abgekühlte oder in anderer Weise genutzte Grubenwasser muss wieder in den Untergrund infiltriert werden. Die Investitionen sind deutlich höher als bei Einfachsonden, es können aber auch größere Leistungen gewonnen werden.

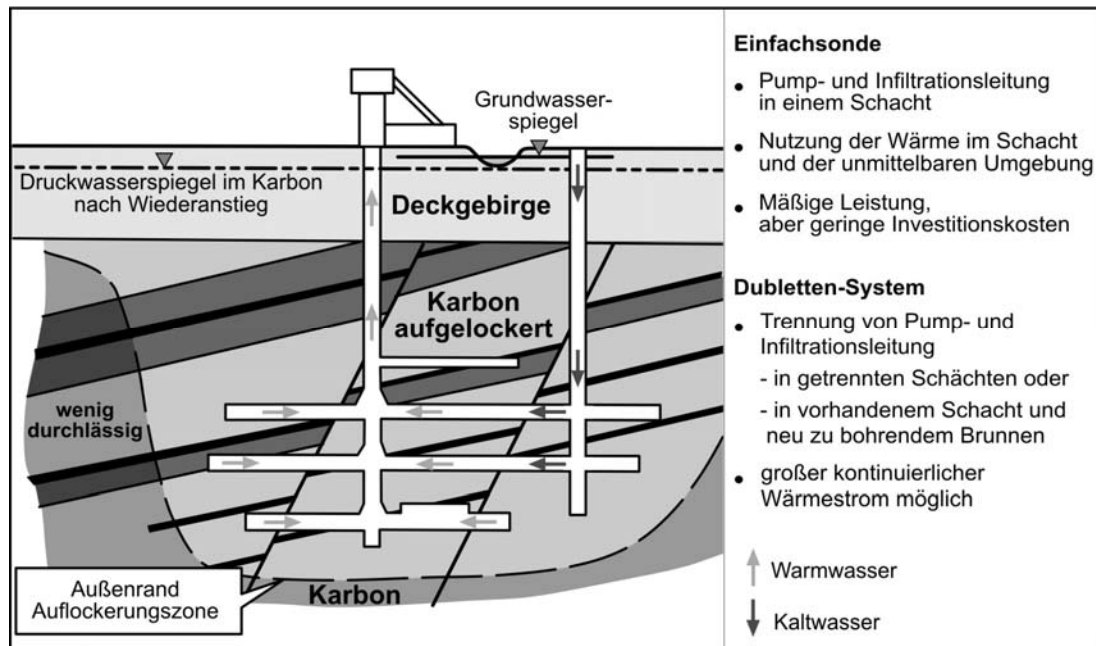


Abb. 1: Einfachsonde und Dublettenverfahren in stillgelegten Bergwerken (nach SCHETELIG ET AL., 2008)

Ein flexibles Wärmepumpensystem erscheint sowohl bei Einfachsonden als auch beim Dublettenverfahren erforderlich.

Innerhalb von Mitteleuropa werden derzeit Vorhaben zur Nutzung von Grubenwasser im Ruhrgebiet, in Sachsen und Sachsen-Anhalt, in Österreich, Tschechien, Großbritannien (Schottland) und Slowenien verfolgt (u. a. WEIJERS, 2012). Erdwärmeprojekte, welche tiefes, warmes Grundwasser nutzen, werden vor allem in der Pfalz, in Unterhaching bei München, in Niedersachsen und Brandenburg, in Ungarn, in Frankreich und auf dem Balkan vorangetrieben.

Die seit langem verwirklichten Geothermieprojekte in Italien und Island sowie außerhalb Europas z. B. in den USA, in Guatemala, den Philippinen oder Neuseeland beruhen auf relativ oberflächennahen heißen, vulkanischen Wässern und Gasen, wie sie in Deutschland nicht vorkommen.

Im Aachener Revier sind zahlreiche Erlaubnisfelder zur Gewinnung von Erdwärme ausgewiesen. Umgesetzt wurde bisher nur das Minewater-Projekt in Heerlen in den benachbarten Niederlanden, das im Zuge des Interreg-Programms III von der Europäi-

schen Union gefördert wurde (WEIJERS, 2012) (Abb. 2). Auf deutscher Seite werden Projekte vorbereitet (HEITFELD ET AL., 2006, ROSNER ET AL., 2009).

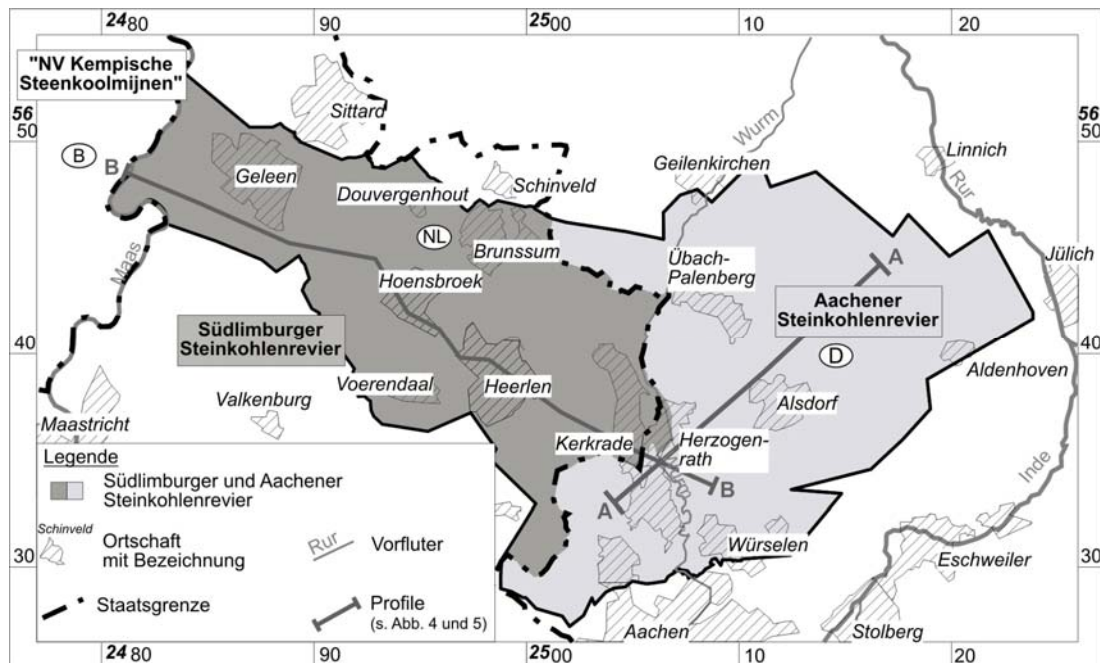


Abb. 2: Grubenwassernutzung im Aachener und Südlimburger Revier

3 Energeticon in Alsdorf

In Alsdorf, im Norden der Städteregion Aachen, steht im Zusammenhang mit dem Energiemuseum Energeticon ein konkretes Projekt zur Realisierung an. Dieses Museum und Ausstellungszentrum soll die Geschichte, Gegenwart und künftige Möglichkeiten der Energieerzeugung und -versorgung darstellen. Im Rahmen eines Pilotvorhabens ist auch eine Erdwärmennutzung aus Grubenwasser durch Einbau einer Einfach-Erdwärmesonde vorgesehen. Das Projekt trägt den Namen GrEEN (Grubenwasser-Energie für das Energeticon).

Im Grundsatz entspricht die vorgesehene Erdwärmegewinnung dem Konzept der Tiefbohrung RWTH-1 am Super-C in Aachen. In Alsdorf wird jedoch keine Bohrung abgeteuft, sondern ein vorhandener, gesicherter Bergbauschacht genutzt. Die im Vergleich zur Tiefbohrung RWTH-1 geringere Teufe und damit das niedrigere Temperaturniveau werden durch ein von Anfang an vorgesehenes Wärmepumpensystem ausgeglichen.

Das Energeticon soll auf dem Gelände des aufgelassenen Steinkohlenbergwerks Anna in Alsdorf, etwa zwischen dem für Tagungen und Konzerte schon restaurierten Fördermaschinenhaus und dem als Museumsobjekt erhaltenen Förderturm errichtet werden. Dieser Förderturm bildet das Wahrzeichen des neuen Alsdorf.

Der unmittelbar angrenzende Eduard-Schacht (Abb. 3) mit nachgewiesenen Leitungsanschlüssen an offene Sohlen und Strecken sowie bereits vorliegenden Messungen der

Temperatur, der elektrischen Leitfähigkeit und Analysen des Chemismus des Grubenwassers durch die EBV GmbH bietet hervorragende Bedingungen bezüglich der Infrastruktur.

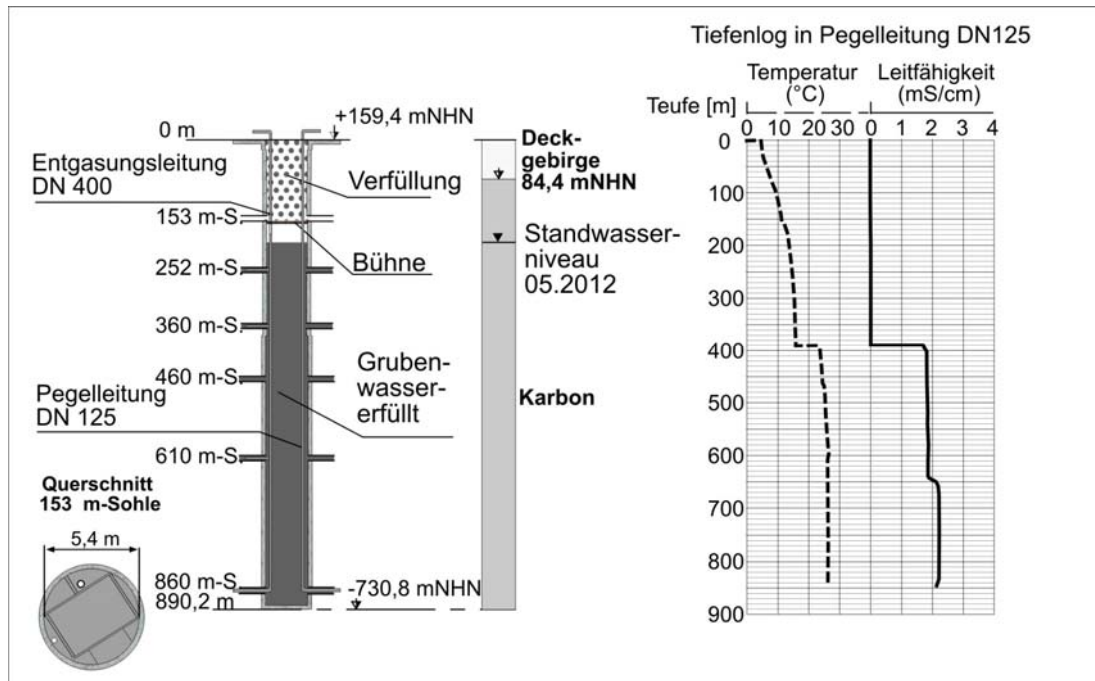


Abb. 3: Eduard-Schacht mit Anschluss der Sohlen und Strecken

Das Energeticon stellt auch ein Pilotprojekt dar, mit dem die Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Einfachsonden in Bergwerken unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit ausgelotet werden sollen. Dieses Vorhaben soll mit Unterstützung der Landesregierung von Nordrhein-Westfalen in den nächsten Jahren durchgeführt werden. Die beantragte Förderung wurde im Dezember 2012 bewilligt.

4 Geologie und Grubenwasser

Die geologischen Verhältnisse im Aachener Revier sind charakterisiert durch den Kohlscheider Horst, in dem das Karbon-Grundgebirge mit den Steinkohlenflözen hoch herausgehoben ist (Abb. 4). In Herzogenrath, im niederländischen Kerkrade und im weiter westlich gelegenen belgischen Visé liegt auch die Wiege des europäischen Steinkohlenbergbaus. Nach Osten ist das Grundgebirge abgesenkt und fällt zunehmend unter das Tertiär der Niederrheinischen Bucht ab.

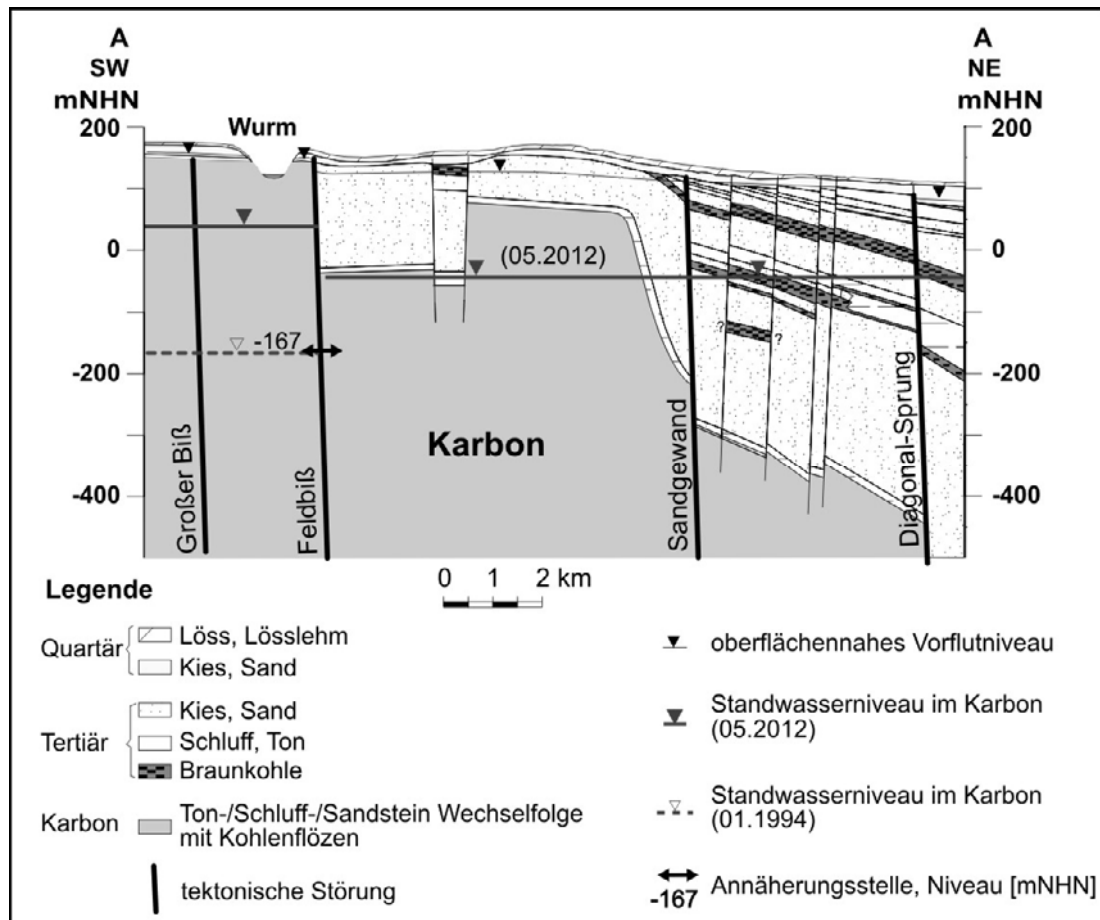


Abb. 4: Aachener Revier - geologischer Schnitt (W-E); Lage des Schnittes siehe Abb. 2 (nach SIKORSKI ET AL., 2009)

Nach Westen fällt das Karbon ebenfalls unter das Deckgebirge aus Kreide und Tertiär ab, wie ein Schnitt durch das angrenzende niederländische Gebiet zeigt (Abb. 5). Noch weiter westlich, aber südlich der Profillinie im Maastal bei Visé, steigt das Karbon wieder bis zur Tagesoberfläche an (ROSNER, 2011).

Vor dem Abbau der Steinkohle lag im gesamten Gebiet der Grundwasserspiegel wenige Meter, im Maximum etwa 20 m, unter Gelände.

Für den Abbau der Steinkohle musste der Wasserspiegel im Karbon bis auf rund 1000 m Tiefe, örtlich auch darunter, abgesenkt werden. Mit dem Ende des Steinkohlenabbaus und dem Rückbau von noch nutzbarem Material und Gerät endeten auch die Sumpfungsmaßnahmen. Die Grube Emil Mayrisch in Deutschland wurde als letzte des Aachener Reviers Ende des Jahres 1992 geschlossen. Auf niederländischer Seite war der Bergbau schon früher, in den 1970er Jahren, eingestellt worden.

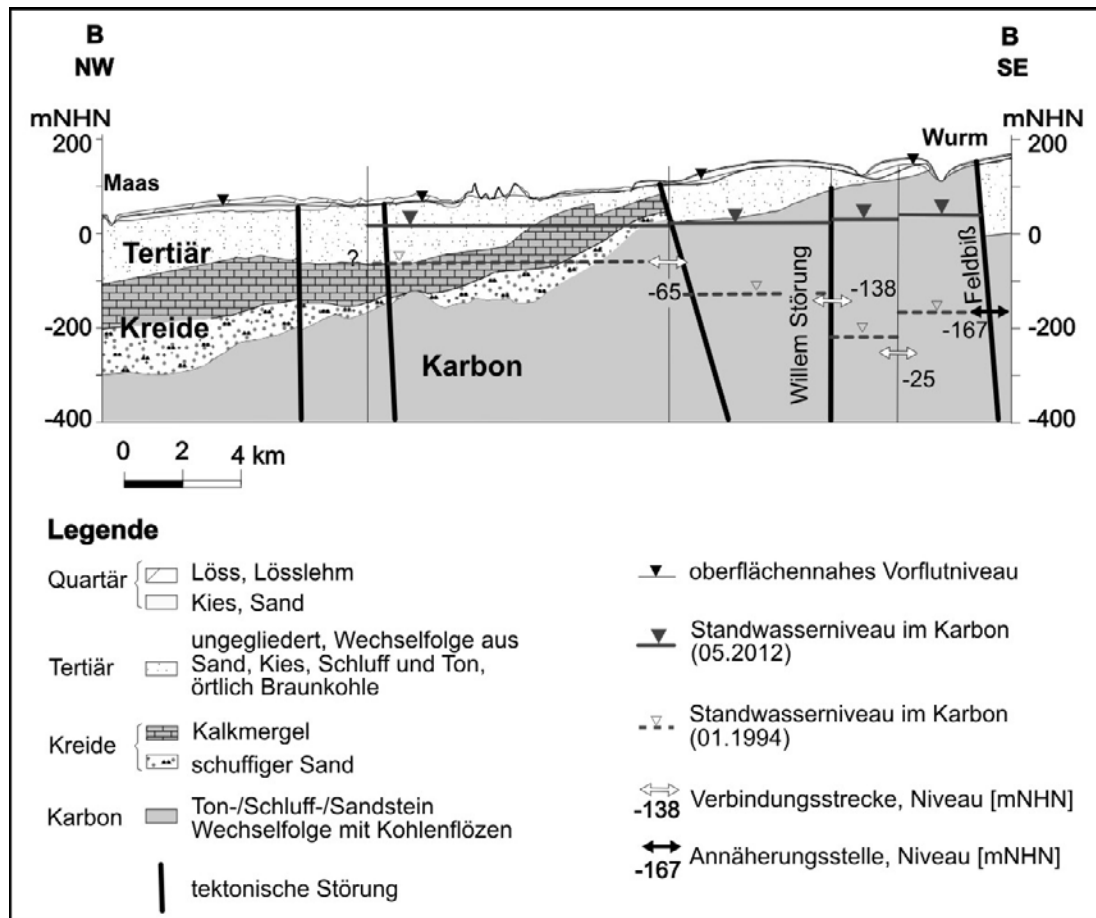


Abb. 5: Südlimburger Revier – geologischer Schnitt (W-E); Lage des Schnittes siehe Abb. 2 (nach SIKORSKI ET AL., 2009)

Als Folge dieser Stilllegung steigt der Grubenwasserspiegel seit 1994 kontinuierlich an; der Grubenwasseranstieg ist heute noch nicht abgeschlossen.

5 Randbedingungen für den Einsatz der Einfachsonde und des Dublettenverfahrens

Für das Energeticon in Alsdorf ist für die Gewinnung der Erdwärme eine Einfachsonde vorgesehen, um die Pumpkosten, den Leitungsbau und die Gesamtinvestitionen möglichst gering zu halten. Pumpkosten entstehen nur für die Doppelleitung innerhalb der Einfachsonde, mit der Kaltwasser in die Tiefe geleitet und das erwärmte Wasser zum Wärmetauscher und zur Wärmepumpe gefördert wird.

Falls bei möglichen Folgeprojekten auch im deutschen Feldesteil das Dublettenverfahren zum Einsatz kommen sollte, dann sind folgende Randbedingungen zu beachten:

Noch für längere Zeit sind größere Pumphöhen für das Heben des Grubenwassers zu beachten (Abb. 6). Umgekehrt ist aber auch ein ausreichender Infiltrationsdruck in derselben Größenordnung sichergestellt. Die Wiedereinspeisung erfolgt üblicherweise

in Grubenräume, die gleichfalls im Grundgebirge liegen, aber möglichst wirksam vom Entnahmebereich abgeschirmt sind.

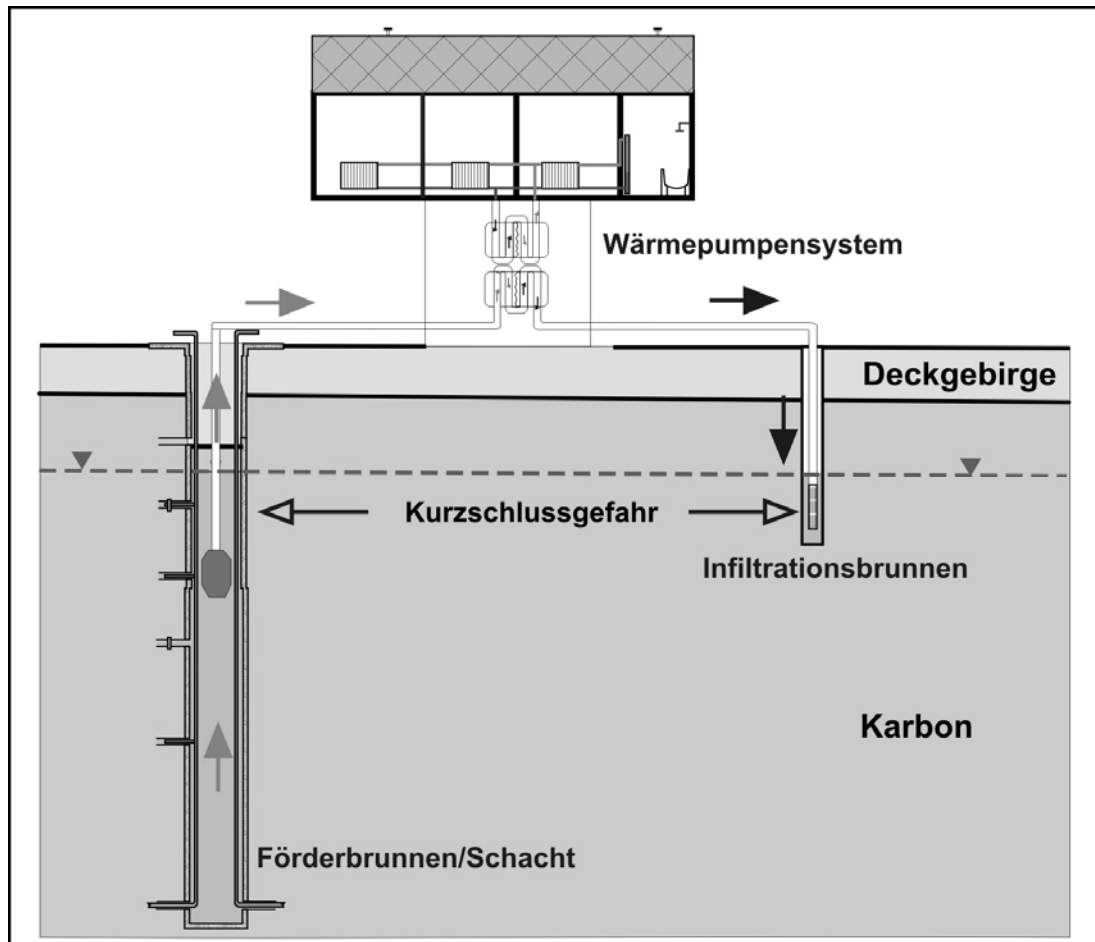
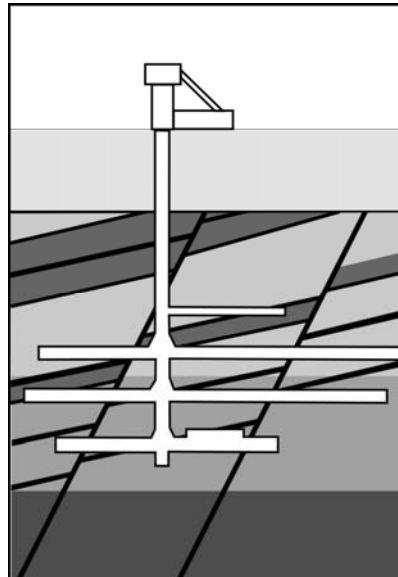


Abb. 6: Pumphöhen – Versickerungskapazität

Aus der sehr schematischen Abb. 6 ist zu erkennen, eine wie bedeutende Frage für Grubenwasser-Projekte die Vermeidung eines hydraulischen oder thermischen Kurzschlusses darstellt. Die Zuverlässigkeit, mit der diese Frage beantwortet werden kann, stellt auf technischer und geologischer Seite jeweils eine besondere Herausforderung dar. Diese Frage kann nur für jeden Einzelfall untersucht werden. Die Antwort hierauf bestimmt in hohem Maße die Eignung eines Standorts als Wärme- bzw. Kälte-Speicher.

Durch eine Auswertung des Grubenwasseranstiegs sowie einiger zwischengeschalteter Pumpversuche konnte nicht nur die Frage der hydraulischen Verbindungen zwischen den einzelnen Grubengebäuden im Aachener Steinkohlenrevier geklärt werden, sondern es gelang auch eine Abschätzung von Modellparametern für Berechnungen zu den thermischen und hydraulischen Bedingungen bei einer Grubenwassernutzung (Abb. 7) (CLAUSER ET AL., 2005, HEITFELD ET AL., 2006, SCHETELIG ET AL., 2008, ROSNER ET AL., 2009, ROSNER, 2011). Wesentlich ist dabei der Befund, dass die Wasserwegsamkeit in ganz hohem Maße auf noch offene, oder jedenfalls nicht vollständig verbrochene

Strecken konzentriert ist. Dies bietet den Vorteil einer hohen „Gebirgsdurchlässigkeit“ für die Entnahme von Grubenwasser, soweit die Entnahme und die Infiltrationsbrunnen oder -schächte ausreichend an solche wasserwegsamem Bahnen angeschlossen sind. Dann können große Wasservolumina mobilisiert und relativ große Wärmeleistungen erschlossen werden.



Modellbereich	Permeabilität [m ²]	Porosität [-]	Spez. Wärmekapazität [MJ m ⁻³ K ⁻¹]	Wärmeleitfähigkeit [W m ⁻¹ K ⁻¹]
Deckgebirge		0,05	1,8	2,0
Abbauniveau 2	10 ⁻¹³	0,002	1,8	2,4
Abbauniveau 1	10 ⁻¹³	0,002	1,8	3,5
Ungestörter Gebirgsbereich	10 ⁻¹⁵	0,001	1,8	4,0

Abb. 7: Modellparameter (nach CLAUSER ET AL., 2005)

Durch diese Aufteilung der Wasserwegsamkeit in wenige, hoch durchlässige Strecken und ein relativ gering durchlässiges, verbrochenes Karbon-Grundgebirge ist naturgemäß der Wärmeaustausch zwischen der großen Masse des verbrochenen Grundgebirges und dem in offenen Strecken strömenden Wasser eingeschränkt. Dieser Sachverhalt und seine Bedeutung für das nutzbare Energiepotenzial der Steinkohlenbergwerke muss noch näher untersucht werden.

Bei der Betrachtung der hydraulischen Bedingungen wird der große Unterschied zwischen gefluteten Bergwerken und tiefliegenden Grundwasserkörpern deutlich. In Bergwerken herrschen in hydraulischer Sicht infolge der Konzentration der Wasser- und Wärmeströmung auf wenige, aber extrem wasserwegsame Strecken oder unvollständig verbrochene Abbauräume extrem inhomogene Verhältnisse. Natürliche Grundwasserkörper sind trotz gewisser Streuungen im geologischen Aufbau und einer natürlichen Schichtung doch vergleichsweise homogene Körper. Dieser Unterschied ist bei der Entwicklung von Modellen zur Grundwasser- oder Wärmeströmung und bei der Interpretation von Berechnungs-Ergebnissen zu berücksichtigen.

6 Erfahrungen mit ausgeführten Grubenwasserprojekten

Das Projekt Minewater in Heerlen wurde in den Jahren 2005-2008 mit Unterstützung der Europäischen Union im Rahmen des Interreg III - Programms realisiert (WEIJERS, 2012). Seit etwa 2009 sind die Anlagen in Betrieb. Das Projekt Minewater stellt ein europäisches Pilotprojekt für die Anwendung des Dublettenverfahrens dar. Aus Planung, Bau und Betrieb dieses Vorhabens können für Folgeprojekte Erfahrungen abgeleitet, Schwachpunkte erkannt und daraus Verbesserungsvorschläge und Handlungsoptionen für die Zukunft abgeleitet werden.

Beim Projekt Minewater hat sich nach Mitteilungen niederländischer Kollegen gegenüber den Planungsannahmen von technischer Seite das Verhältnis von Heizungs- und Kühlungsbedarf geändert. Große, verglaste Geschäftsgebäude führen an warmen Sommertagen zu einem sehr hohen Kühlungsbedarf, der in dieser Größenordnung ursprünglich nicht erwartet worden war. Eine ähnliche Verschiebung des Klimatisierungsbedarfs wird auch von anderen Projekten berichtet, so z. B. von dem mit Erdwärme versorgten Reichstagsgebäude in Berlin oder auch von Hochhäusern in Frankfurt/Main. Von etlichen Gebäuden wird auch ein sehr unterschiedlicher Wärme- oder Kältebedarf auf der Sonnen- und der Schattenseite berichtet, was sehr unterschiedliche und sich rasch ändernde Betriebszustände innerhalb des Gebäudes verlangt. Untersucht wurde dies zum Beispiel für Gebäude der TU Darmstadt am Campus Lichtwiese.

Als Ergebnis zeichnet sich ab, dass bei moderner, effizienter Gebäudetechnik im Sommerhalbjahr pauschal ein Wärmeüberschuss zu erwarten ist und der Heizungs- und Warmwasserbedarf insgesamt gegenüber früheren Annahmen zurückgeht. Diese Tendenz wird sich als Folge des erwarteten Klimawandels fortsetzen.

Bergwerke oder tiefe Grundwasservorkommen haben damit zunehmend die Aufgabe eines Wärmespeichers, die Rolle einer nutzbaren „Wärme-Lagerstätte“ nimmt damit ab. Diese sich abzeichnende Änderung der Betriebsbedingungen hat die positive Folge, dass das Risiko eines hydraulischen oder thermischen Kurzschlusses an Bedeutung verliert, da in viel größerem Umfang als früher angenommen Pendel-Wasser- oder Wärmemengen untertage bewegt werden, deren Durchmischung in den verfügbaren kurzen Zeiträumen kaum mehr möglich ist.

Nach mehrjährigem Betrieb lassen sich in Anlehnung an WEIJERS (2012) die wichtigsten Empfehlungen aus dem Minewater-Projekt bezüglich der Wirtschaftlichkeit wie folgt zusammenfassen:

Für jede Nutzung gefluteter Bergwerke oder von Grundwasservorkommen als Wärme-/Kälte-Lagerstätte oder -Speicher ist es wünschenswert, wenn im Nahbereich Abnehmer für die Grundlast vorhanden sind, z. B. Schwimmbäder, Einkaufszentren, Waschanlagen u. ä.

Es wird empfohlen, bereits vor der Realisierung eines Erdwärmeprojektes oder jedenfalls während dessen Errichtung Abnahmeverträge mit den vorgesehenen Kunden abzu-

schließen. Nicht nur für die Niederlande, auch für Deutschland gilt die Empfehlung eines gewissen Anschlusszwanges für mögliche Abnehmer, sofern die Wärme oder Kälte aus dem Untergrund zu einem Preis bereitgestellt werden können, der in etwa demjenigen bei Einsatz herkömmlicher Energien entspricht. Auch auf dem Wärmemarkt kann die Energiewende nur gelingen, wenn rechtzeitig mit dem Aufbau eines neuen Versorgungssystems begonnen und für jenen Zeitpunkt vorgesorgt wird, an dem Erdöl und Erdgas nicht mehr zu heutigen Preisen oder überhaupt nicht mehr in ausreichenden Mengen zur Verfügung stehen. Dieselbe Empfehlung gilt auch für die Nutzung von industrieller und gewerblicher Abwärme, die heute zum allergrößten Teil in die Atmosphäre oder in Flüsse entsorgt wird.

Bezüglich der technischen Ausrüstung ist auf den Einbau robuster, gegen wechselnde Betriebsbedingungen relativ unempfindliche Pumpen, ein ausreichend dimensioniertes Leitungssystem und ein möglichst flexibles Wärmepumpensystem zu achten. Von Anfang an sollten Fragen der Korrosion sowie möglicher Ausfällungen oder Verstopfungen sowie der Reinigungsmöglichkeiten in die Überlegungen einbezogen werden.

Prognosen über den Heizungs- und Kühlungsbedarf zum Planungszeitraum sind meistens mit Unsicherheiten behaftet und können sich im Laufe des Betriebs deutlich ändern.

7 Chemismus des Gruben- oder Grundwassers

Neben den hydraulischen Bedingungen stellen auch der Chemismus und dessen mögliche Veränderungen im Laufe des Betriebs eine wichtige Randbedingung für die Machbarkeit dar.

Der Salzgehalt von Gruben- oder Grundwasser aus größerer Tiefe ist allgemein so hoch, dass das genutzte Wasser nicht in einen Vorfluter und auch nicht in oberflächennahe Grundwasservorkommen eingebracht werden kann. Es muss wieder in den tieferen Untergrund infiltriert werden, um eine Beeinträchtigung von Trinkwasserschutzgebieten oder hochwertigen Grundwasserressourcen sicher auszuschließen.

Neben Kochsalz verdienen als Inhaltsstoffe vor allem Eisen, Mangan, hohe Sulfat- oder Sulfidgehalte, kolloidaler oder amorpher Schwefel sowie Barium Beachtung. An etlichen Standorten sind auch Gehalte von Nichteisenmetallen im Wasser oder im Gebirge zu beachten. Es ist in jedem Einzelfall zu prüfen, ob im Gebirge vorhandene Erze im Laufe der Zeit, eventuell im Zuge von Änderungen des Wasserchemismus, gelöst werden können.

Dieser Hinweis gilt nicht nur im Hinblick auf die Toxizität oder Umweltbelastungen, sondern auch im Hinblick auf die Korrosion des Rohr- und Armaturenmaterials sowie auf das Risiko von Ausfällungen oder gar einem Verschluss von Rohrleitungen (Verockerung, Versinterung). In Frankreich, wo gewaltige Warmwasservorkommen unterhalb

des Pariser Beckens aus thermodynamischer Sicht eine Gesamtwärmeversorgung des Großraums Paris erlauben würden, wird gegenwärtig u. a. an der Universität in Nancy untersucht, ob oder wie die Ausfällung des schwerlöslichen Bariumsulfats verhindert oder an Betriebspunkten konzentriert werden kann, wo es schadlos entsorgt werden kann.

8 Ausblick

Im Ruhrgebiet soll nach dem Beschluss der Bundesregierung und der Landesregierungen im Jahre 2018 der subventionierte Steinkohlenbergbau eingestellt werden. Die RAG Aktiengesellschaft beschäftigt sich mittlerweile damit, ob und in welchem Maße stillgelegte Grubengebäude genutzt werden können. Pilotprojekte zur Wärmeengewinnung wurden in der Zeche Zollverein in Essen, in der Grube Auguste Victoria und in der Grube Müser in Bochum realisiert.

Im Hinblick auf eine mögliche Folgenutzung sollten bei der Stilllegung von Bergwerken, insbesondere der Schließung von Schächten, alle Maßnahmen getroffen werden, welche eine nachfolgende Nutzung der Grubengebäude für die Gewinnung oder Speicherung von Wärmeenergie unterstützen, z. B. Leitungsanschlüsse an Förderstrecken, ausreichende Durchmesser der Steigleitungen, Raum für einen möglichen Pumpeneinbau, sichere Durchgängigkeit (s. a. PAULER, 2012).

Auch für eine Wärme-/Kältegewinnung aus Bergwerken oder tieferen Grundwasservorkommen gilt ein allgemeines Leitbild, das sich in den letzten 20 Jahren herausgebildet hat. Vorhaben zur Umgestaltung der Energie- bzw. der Wärmeversorgung und zum Klimaschutz werden nur dann zukunftsfähig und nachhaltig sein, wenn ein hinreichendes Gleichgewicht zwischen der angewandten Technologie, der Beachtung der Umweltauswirkungen im weitesten Sinne, der Wirtschaftlichkeit und der sozialen oder sozio-ökonomischen Auswirkungen auf die Bevölkerung besteht. Mehrere Großprojekte haben in jüngster Zeit deutlich gemacht, dass ohne ausreichende Akzeptanz durch die Bevölkerung auch technisch gut durchdachte Projekte nicht durchsetzbar sind. Auf der anderen Seite muss festgestellt werden, dass die mangelnde Akzeptanz notwendiger Veränderungen durch die Bevölkerung auch zu schwerwiegenden, wirtschaftlichen und sozialen Verwerfungen führen kann. Dies gilt vor allem für Umstellungen wie die Energiewende, die Jahrzehnte für die Umsetzung, große Investitionen und möglicherweise deutliche Einschränkungen durch die Bevölkerung verlangen.

9 Literatur

CLAUSER, C., HEITFELD, M., ROSNER, P., SAHL, H. & SCHETELIG, K. (2005): Beispiel Aachener Steinkohlenrevier - Nutzung von Erdwärme in aufgelassenen Bergwerken.- in Zeitschrift „Beratende Ingenieure“ des VBI, Heft 06/2005, S. 14 - 17, 4 Abb.; Berlin.

HEITFELD, M., ROSNER, P., SAHL, H. & SCHETELIG, K. (2006): Nutzung aufgegebener Tagesschächte des Steinkohlenbergbaus für die Gewinnung von Erdwärme - Ergebnisse einer Machbarkeitsstudie für das Aachener Revier.- Zeitschrift Glückauf, Heft 10, S. 432 - 438, 7 Abb.; Essen.

PAULER, H. (2012): Grubenwasser heizt künftig das Klassenzimmer.- VDI-Nachrichten 12.2012; Bochum.

ROSNER, P., EBERS, M., HEITFELD, M. & HOFMANN, T. (2009): CAP und GrEEN - Nutzung von Erdwärme aus stillgelegten Bergwerken des Aachener Reviers im Rahmen der EuRegionale 2008.- Geothermiekongress 2009, 11 S., 7 Abb.; Bochum.

ROSNER, P. (2011): Der Grubenwasseranstieg im Aachener und Südlimburger Steinkohlenrevier - Eine hydrogeologisch-bergbauliche Analyse der Wirkungszusammenhänge.- Diss. RWTH Aachen, 194 S., 67 Abb., 7 Tab., 4 Anh., 7 Anl.; Aachen.

SCHETELIG, K., HEITFELD, M., MAINZ, M., HOFMANN, T. & EBERS, M. (2008): Geothermie aus Grubenwasser - regenerative Energie aus stillgelegten Steinkohlebergwerken.- 38. Internationales Wasserbau-Symposium (IWASA), S. L/1 - L/21, 8 Abb., 1 Tab.; Aachen.

SCHETELIG, K., HEITFELD, M. & ROSNER, P. (2008): Hydraulische, thermische und chemische Fragestellungen bei der Gewinnung geothermischer Energie.- Zeitschrift Korrespondenz Wasserwirtschaft 2008 (1), Nr. 6, S. 315 - 319, 5 Abb., 1 Tab.; Hennef.

SIKORSKI, A., ROSNER, P., VAN HERK, J.M., HOFMANN, T. & HEITFELD, M. (2009): Aachener und Südlimburger (NL) Steinkohlenrevier - Rahmenbedingungen einer grenzüberschreitenden Abwicklung des Grubenwasseranstiegs unter besonderer Berücksichtigung des historischen Altbergbaus.- 9. Altbergbau-Kolloquium, S. 210 - 222, 8 Abb.; Leoben.

WEIJERS, J. (2012): Betriebserfahrungen des Grubenwasserprojektes Mine Water in Heerlen/Niederlande.- Vortrag 2. Intern. Arbeitsgespräch Grubenwasser - Geothermie und weitere Möglichkeiten der Nachnutzung von Grubenwasser, Präsentation (35 Folien); Eisleben.

Anschrift der Verfasser

Prof. Dr. K. Schetelig
Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH
Preusweg 74
52074 Aachen

Dipl.-Ing. H. Richter
Energeticon gGmbH

Konrad-Adenauer-Allee 7
52477 Alsdorf