

Rosner, P., Sahl, H. & Schetelig, K. (2006): Erdwärme aus gefluteten Steinkohlenbergwerken – Perspektiven einer Nachnutzung. Paper presented at the 6. Altbergbau-Kolloquium, Aachen. – p. 26-38, 5 Abb.

Erdwärme aus gefluteten Steinkohlenbergwerken - Perspektiven einer Nachnutzung

Dipl.-Geol. Peter Rosner¹⁾, Dipl.-Ing. Heinz Sahl²⁾,
Univ.-Prof. Dr. Kurt Schetelig¹⁾

¹⁾ Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH, D - 52074 Aachen

²⁾ EBV GmbH - Bereich Bergbaufolgearbeiten-Umwelt, D - 41836 Hückelhoven

ZUSAMMENFASSUNG:

In den Stilllegungsbereichen des Aachener Steinkohlenreviers bestimmt heute das Immobilien geschäft die Tätigkeit des ehemaligen Bergbautreibenden (EBV GmbH). Im Rahmen der Flächenentwicklung der alten Bergwerksstandorte und der Ausweisung von Wohngebieten wurde angesichts der aktuellen Diskussionen um die Nutzung regenerativer Energien ein Projekt zur Gewinnung von Erdwärme aus den zwischenzeitlich gefluteten Abbaubereichen der EBV GmbH initiiert. Im Rahmen des vorliegenden Beitrages werden die Grundlagen der Erdwärmegewinnung und genehmigungsrechtliche Aspekte diskutiert. Anhand der Untersuchungsergebnisse des konkreten Projektes der EBV GmbH werden die wirtschaftlichen Perspektiven einer Erdwärmegewinnung als langfristige Nachnutzung stillgelegter und gefluteter Bergwerke aufgezeigt und beispielhaft die Projektentwicklung für das Aachener Steinkohlenrevier dargestellt.

ABSTRACT:

In the abandoned mining areas of the Aachen hard coal region the activities of the former mining company (EBV GmbH) are dominated by estate business. In scope of the development of former mining sites to future housing areas and considering the actual discussion about the use of regenerative energies a project was initiated aiming at an exploitation of geothermal energy from meanwhile flooded hard coal mines of EBV GmbH. In the present paper the physical and technical principals of the exploitation of geothermal energy are dealt with as well as the juridical aspects in view of obtaining the allowance of the planned energy extraction.

On account of the results of a concrete housing project of the EBV GmbH the economical perspectives of the exploitation of geothermal energy as longterm usage of abandoned and flooded mines are demonstrated as example of the post-mining use of the Aachen hard coal area in view of attractive future project development.

1 Einführung

Bei der Flutung stillgelegter Bergwerke steht die Beherrschung der möglichen Auswirkungen auf die Geländeoberfläche und den Grundwasserhaushalt aus sicherheitlichen Gründen im Vordergrund. Über langfristige Nachnutzungsmöglichkeiten der untertäig geschaffenen Hohlräume wurde dabei in der Vergangenheit in der Regel nicht nachgedacht.

Gerade in Zeiten heftiger Diskussionen um die Nutzungsmöglichkeiten regenerativer Energiequellen stellen die in gefluteten Bergwerken vorhandenen Warmwasserreservoirs eine wichtige Option bei der Energieversorgung von Stilllegungsbereichen dar. Aber auch in Altbergbaubereichen, in denen die Flutung lange abgeschlossen ist, bietet sich insbesondere im Rahmen von Schachtsicherungsmaßnahmen die Möglichkeit zur Erschließung solcher Reservoirs.

Grundsätzliche Erfahrungen über die Nutzung verlassener Grubengebäude für die Gewinnung von Erdwärme liegen z.B. aus Projekten in Ehrenfriedersdorf (Sachsen) und Springhill (Kanada) vor. Eine weitflächige Nutzung dieser Ressourcen an den zahlreichen Bergbaustandorten in Deutschland findet aber bisher nicht statt. Dabei fehlt es derzeit vor allem auch an repräsentativen Pilotprojekten, die das Anwendungspotenzial solcher Standorte demonstrieren.

In den Niederlanden führt zur Zeit die Stadt Heerlen im Bereich des ehemaligen Südlimburger Steinkohlenreviers mit Fördermitteln der EU ein Projekt zur Gewinnung von Erdwärme aus den ehemaligen Kohlengruben über Bohrungen durch („mine water project“).

In Deutschland sind neben den bergbaulichen und technischen Voraussetzungen für die Umsetzung eines solchen Projektes vor allem auch die genehmigungsrechtlichen Aspekte zu berücksichtigen. Für das Aachener Steinkohlenrevier hat die EBV GmbH als ehemaliger Bergbauteibender ein Projekt zur Gewinnung von Erdwärme über die noch bestehenden Schachtanlagen initiiert. Hier wurden zunächst die genehmigungsrechtlichen Voraussetzungen für die Nutzung der Erdwärme in den ehemaligen Abbaubereichen geschaffen und Grundsatzfragen einer Erdwärmegewinnung über noch vorhandene Zugänge in gesicherten Tagesschächten im Rahmen einer Machbarkeitsstudie bearbeitet. Auf dieser Grundlage wird zur Zeit die Ausführung eines Pilotprojektes vorbereitet.

Anhand der für das Aachener Revier durchgeföhrten Untersuchungen werden im Folgenden die bergbaulichen und genehmigungsrechtlichen Grundlagen erläutert und die Perspektiven einer Erdwärmegewinnung aus stillgelegten Steinkohlegruben aufgezeigt.

2 Grundlagen der Erdwärmegewinnung in stillgelegten Bergwerken

Aufgelassene und geflutete Bergwerke stellen grundsätzlich besonders geeignete Standorte für die Gewinnung von Erdwärme aus mittleren Tiefen (ca. 100 bis 1.500 m) dar. Das gebrochene Gebirge ermöglicht einen intensiven Wärmeaustausch zwischen Gestein und Grubenwasser; durch die vorhandenen Schächte und Rohrleitungen ist der „Bodenschatz“ Erdwärme in der Regel bereits sehr gut aufgeschlossen. Im Vergleich zu natürlichen Grundwasserleitern weisen Steinkohlenbergwerke daher insbesondere die folgenden Vorteile auf (HEITFELD, ROSNER, SAHL & SCHETELIG, 2006):

- großes Volumen an Gestein und Grubenwasser bei ausreichender Gebirgsdurchlässigkeit
- günstiges Porenvolume im nachgebrochenen Karbon
- gut bekannte bergtechnische, geologische und hydrogeologische Bedingungen
- Temperatur des Grubenwassers im Allgemeinen über 20 °C
- vorhandene Schächte für Warmwassergewinnung und/oder Infiltration nutzbar

Zur Gewinnung der Erdwärme aus stillgelegten und gefluteten Bergwerken stehen im Wesentlichen zwei technische Varianten - die Einzelsonde und das Dublettensystem - zur Verfügung. Bei der Einzelsonde handelt es sich um ein geschlossenes Rohrsystem (Erdsondensystem), das in den Schacht eingebaut wird. Die Wärme wird der im Schacht stehenden Wassersäule und dem umgebenden Gebirge durch ein Wärmeträgermedium entzogen. Beim Dublettenbetrieb wird demgegenüber gezielt ein ausgedehnter Wärmestrom zwischen einer Entnahmestelle und einem oder mehreren Schächten bzw. Brunnen erzeugt, in denen das abgekühlte Wasser wieder infiltriert wird (s. Abb. 1).

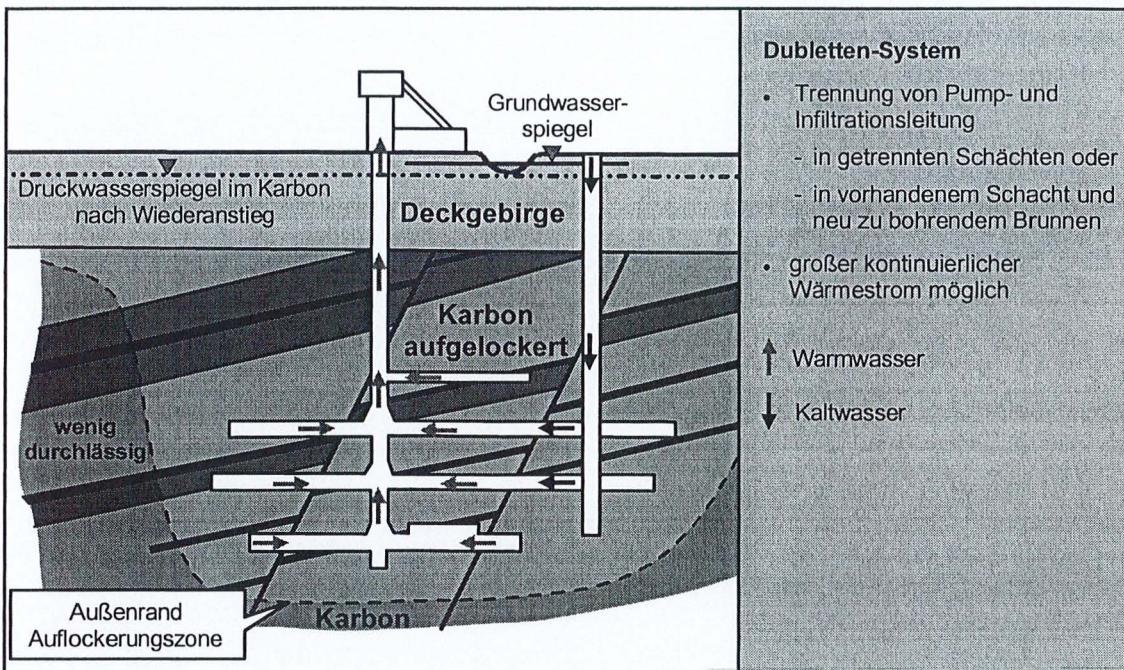


Abb.1: Schematisches Bergwerk mit Förderschacht- und Infiltrationsbrunnen, Wärme-/Wasserkreislauf im Dubletten-System

Eine Einzelsonde kann ohne besondere Schwierigkeiten in noch offene Schächte eingebaut werden, nutzt aber dabei nur die Wärme in der unmittelbaren Umgebung der Rohrleitung; die Wärmezufuhr aus dem weiteren Gebirgsraum bleibt gering. Die Einzelsonde eignet sich daher nur für die Versorgung kleinerer Wohneinheiten. Aufgrund der erforderlichen Investitionen für die Herrichtung eines Schachtes zur Erdwärmegewinnung ist ein wirtschaftlicher Einsatz der Einzelsonde zur Erdwärmegewinnung aus einem Schacht in der Regel nur unter sehr günstigen technischen Randbedingungen zu erreichen.

Um das über einen Schacht aufgeschlossene Erdwärmepotenzial optimal zu nutzen, bietet sich das technisch aufwändigere Dubletten-System an. Das Dubletten-System kann eine größere Energiemenge kontinuierlich bereitstellen und somit auch Gewerbebetriebe und größere Wohnsiedlungen mit der erforderlichen Heizenergie versorgen. Allerdings erfordert es in der Regel zusätzliche Leitungen über Tage zu den Punkten der Wiedereinleitung; für die Wiedereinleitung des gehobenen Grubenwassers müssen gegebenenfalls zusätzliche Bohrungen hergestellt werden. Dabei muss sichergestellt sein, dass kein hydraulischer Kurzschluss zwischen Förderstelle und Re-Infiltrationsstelle erzeugt wird. Auch ergeben sich im Hinblick auf die zu erwartenden chemischen Reaktionen bei der Abkühlung starker mineralisierter Grubenwässer höhere Anforderungen an die Anlagentechnik. Für die langfristige Nutzung der Erdwärme stellt diese Technik aber trotz der insgesamt höheren Investitionskosten nach dem derzeitigen Kenntnisstand die wirtschaftlich sinnvolle Variante dar.

Bei der Nutzung aufgegebener Tagesschächte für eine Erdwärmegewinnung besteht, anders als bei einer Neuerschließung der Grubenbaue durch Bohrungen, in der Regel kein Fündigkeitsrisiko. Das Grubengebäude ist über den Schacht hydraulisch optimal an das durchlässige Gebirge angeschlossen. Die im Rahmen von Stilllegungsmaßnahmen ohnehin einzubauenden Kontrollleitungen (z.B. Pegelleitung, Entgasungsleitung) können für die Gewinnung von Erdwärme genutzt werden. Damit stellt die Nutzung aufgegebener Tagesschächte, insbesondere für den Tiefbergbaubereich mit großer Deckgebirgsüberlagerung, eine wichtige Voraussetzung für die kostengünstige Erschließung der Erdwärme dar.

Bei einer frühzeitigen Berücksichtigung der Anforderungen einer Erdwärmegewinnung, schon in der Stilllegungsphase eines Bergwerks, können gegebenenfalls auch die hydraulischen Verbindungen zum Schacht bereits so ausgebildet werden, dass sowohl die Entnahme des Grubenwassers als auch die Re-Infiltration des abgekühlten Wassers über einen Schacht erfolgen: Hierdurch können Kosten eingespart und die Erdwärmegewinnungsanlage wirtschaftlicher betrieben werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Nutzung von Erdwärme aus stillgelegten Bergwerken ist die Entfernung der potenziellen Abnehmer zur Gewinnungsstelle. Die Steinkohlenbergwerke des Aachener und z.B. auch des Ruhrreviers liegen vielfach in dicht besiedelten Bereichen mit guter Infrastruktur, wo Wohnsiedlungen, Gewerbe oder auch bereits bestehende Fernwärmesysteme als potenzielle Abnehmer in vergleichsweise geringer Entfernung zu einer entsprechenden Gewinnungsstelle für Erdwärme zur Verfügung stehen. Darüber hinaus bieten auch die ehemaligen überträgigen Betriebsflächen im Schachtumfeld, die im Rahmen der Stilllegung für eine Folgenutzung (Ansiedlung von Wohnbebauung oder Gewerbe) hergerichtet werden, ein entsprechendes Abnehmerpotenzial mit kürzesten Versorgungswegen.

3 Genehmigungsrechtliche Situation

Für die Aufsuchung und die Gewinnung von Erdwärme sind insbesondere bei Nutzung gefluteter Bergwerke die bergrechtlichen Genehmigungsgrundlagen zu berücksichtigen. In der Flutungsphase gelten die Regelungen des Abschlussbetriebsplans. Der Flutungsverlauf und die Überwachung der Flutung dürfen in der Regel nicht in unzulässiger Weise durch die Erdwärmegewinnung beeinträchtigt werden. Weiterhin sind im Hinblick auf die Förderung und Ableitung bzw. Re-Infiltration des gehobenen Grubenwassers wasserrechtliche Aspekte zu beachten.

Erdwärme ist gemäß Bundesberggesetz (§ 3 BBG) ein bergfreier Bodenschatz. Für die Aufsuchung und Gewinnung von Erdwärme ist eine Erlaubnis bzw. Bewilligung der Bergbehörde (in NRW: Bezirkregierung Arnsberg, Abteilung 8) gemäß § 6 BBG erforderlich. Die Aufsuchungserlaubnis umfasst gemäß § 41 BBG auch die Berechtigung zur Gewinnung von Bodenschätzten soweit dies aus technischen Gründen im Rahmen der Aufsuchung erforderlich ist. Die bergrechtliche Bewilligung gewährt nach § 8 BBG ein ausschließliches Gewinnungsrecht.

Kriterien für die Abgrenzungen der Abmessungen von Bergbauberechtigungen zur Aufsuchung und Gewinnung von Erdwärme wurden seitens des Bund-Länder-Ausschusses Bergbau 2002 vorgelegt. Diese beziehen sich allerdings im wesentlichen auf Bohrlochsysteme im unverwitterten Gebirge. Bei solchen Bohrlochsystemen, Erdwärmesonden oder -kollektoren werden als Bemessungskriterien die maximal zu erwartende Ausdehnung des hydraulischen Absenkungstrichters bzw. des Abkühlungsbereiches zugrunde gelegt. Für die Nutzung von Grubenwässern aus gefluteten Bergwerken sind Einzelfallentscheidungen erforderlich.

Zur Tiefe hin wird das Feld einer Erlaubnis oder Bewilligung nach § 4 Abs. 7 BBG von lotrechten Ebenen begrenzt; eine Teufenbegrenzung ist nicht vorgesehen. Aus geologischer und technischer Sicht ließen sich aber grundsätzlich auch mehrere Erdwärmegewinnungsanlagen unabhängig voneinander in verschiedenen Teufenstufen eines Erdwärmefeldes betreiben - z.B. Hot-Dry-Rock-Projekt (Teufe 3 bis 6 km), Thermalwasserbohrung (1 bis 3 km) und flache Erdwärmesonden (< 100 m). Eine gleichzeitige Gewinnung von Erdwärme mit getrennten Anlagen in verschiedenen Teufenstufen ist aber nur mit Zustimmung des Berechtigungsinhabers möglich.

In Nordrhein-Westfalen wird die grundstücksbezogene Gewinnung von Erdwärme, z.B. für die Beheizung eines Gebäudes, mittlerweile nach einem Erlass des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen vom 20.01.2006 unter Bezug auf § 4 Abs. 2 Nr. 1 BBG im bergrechtlichen Sinne nicht als Gewinnung gewertet und fällt daher nicht unter das BBG. Dadurch soll die Errichtung entsprechender Kleinanlagen erleichtert werden. Für den Bergbauberechtigten kann diese Genehmigungspraxis im Einzelfall ein erhebliches Investitionsrisiko bedeuten, wenn das im Rahmen der Bewilligung genutzte Erdwärmepotenzial durch mehrere kleine, nicht bewilligungspflichtige Erdwärme-Gewinnungsanlagen mitbenutzt und dadurch reduziert wird. Für solche Grenzfälle müssen im Einzelfall Sonderregelungen geschaffen werden.

Für die Errichtung und den Betrieb bewilligungspflichtiger Gewinnungsanlagen sind bei der zuständigen Bergbehörde Betriebspläne vorzulegen (§ 52 BBG).

Das nach Durchlaufen durch die Wärmepumpe abgekühlte Grubenwasser kann in der Regel aufgrund der erhöhten Salzgehalte nicht in den Vorfluter oder oberflächennahe Grundwasserstockwerke im Deckgebirge eingeleitet werden. Aus wasserwirtschaftlicher Sicht steht dem u.a. das Verschlechterungsverbot der EG-Wasserrahmenrichtlinie entgegen; eine entsprechende Aufbereitung des Grubenwassers für eine Einleitung ist im Allgemeinen unwirtschaftlich. Gegebenenfalls kann

das Wasser als Brauchwasser eingesetzt werden. In der Regel wird man die zum Zwecke der Erdwärmegewinnung gehobenen Grubenwässer mit erhöhten Salzgehalten in das Grundgebirge reinfiltrieren müssen.

Die Hebung und Re-Infiltration des Grubenwassers zum Zwecke der Erdwärmegewinnung erfüllen grundsätzlich auch einen wasserrechtlichen Benutzungstatbestand und bedürfen daher einer wasserrechtlichen Erlaubnis durch die zuständige Wasserbehörde. Dabei sind auch mögliche Auswirkungen der Wasserentnahme im Grundgebirge auf Grundwasservorkommen im Deckgebirge zu berücksichtigen.

4 Wechselwirkungen Grubengas-/Erdwärmegewinnung

Wenn Grubengas in stillgelegten Steinkohlebergwerken in nennenswerten Mengen aus dem unverritzten Gebirge, dem nachgebrochenen Deckgebirge oder über geologische Störungen zuströmen kann, sammelt es sich in einer Gasblase über dem ansteigenden Grubenwasser. Das Gas kann über Schächte oder das Deckgebirge in die Atmosphäre entweichen oder gesammelt und zur Energiegewinnung genutzt werden. Dies geschieht heute bereits in beträchtlichem Umfang an der Ruhr und an der Saar.

Die gleichzeitige Nutzung von Grubengas, z.B. zur Stromerzeugung, und von Grubenwasser zur Erdwärmegewinnung kann bereits im Rahmen der Erteilung einer bergrechtlichen Erlaubnis zur Aufsuchung insbesondere dann Probleme bereiten, wenn für die geplanten Erdwärmegewinnungsbereiche bereits eine Zulassung zur Gewinnung von Grubengas vorliegt. Eine Beeinträchtigung der Grubengasnutzung durch eine Erdwärmegewinnung ist dann denkbar, wenn das re-infiltierte, abgekühlte Grubenwasser zu einer weiträumigen Abkühlung des entgasenden Gebirges führt und die Gasproduktion damit eingeschränkt wird.

Mit der Flutung der am Schacht angeschlagenen Strecken endet die Grubengasanutzung zunächst. Inwieweit nach Flutung der Bergwerke eine weitere, wirtschaftlich nutzbare Grubengasförderung möglich sein wird, kann gegenwärtig nicht sicher beantwortet werden. Aus geologischen und physikalischen Gründen erscheint es durchaus möglich, dass die Grubengas-Freisetzung auch nach der Flutung noch in geringem Umfang andauert. Dieses Gas würde dann zunächst im Grubenwasser in Lösung gehen; nach Eintritt der Sättigung sind erneute Grubengasaustritte denkbar.

Untersuchungen von LUCA TECHNOLOGIES (2004) sowie von THIELEMANN ET AL. (2004) deuten darauf hin, dass Methangas rezent im Grubenwasser aktiv neu gebildet wird. LUCA TECHNOLOGIES konnten in Bohrkernen aus dem Powder River Basin im US-Bundesstaat Wyoming Methan produzierende Archae-Bakterien nachweisen. In Laboruntersuchungen wurde gezeigt, dass die Methan-Gas-Produktion dieser Bakterien durch gezielte Steuerung des Milieus beeinflusst werden kann. So führen Sauerstoffzufuhr und die Abwesenheit von Wasser zu einer Abnahme oder Stagnation der Produktion; durch gezielte Nährstoffzufuhr, Abwesenheit von Sauerstoff und Vorhandensein von Wasser konnte die Methan-Gas-Produktion dagegen angeregt werden. Auch THIELEMANN ET AL. (2004) konnten Archae-Bakterien in Grubenwässern aus stillgelegten Bergwerksbereichen im Ruhrgebiet nachweisen. Die qualitativen Vorgänge sind dem Grunde nach bekannt; die quantitativen Vorgänge sind dagegen noch weitgehend unerforscht. Auch über die Verbreitung der Archae-Bakterien in den Steinkohlenrevieren liegen noch keine konkreten Erkenntnisse vor.

Die Problematik der Methangehalte im Grubenwasser ist in jedem Falle auch aus sicherheitlicher Sicht bei der Erdwärmegewinnung zu betrachten und spielt insbesondere bei der Aufstellung des Betriebsplans eine wichtige Rolle.

Die Möglichkeit einer kombinierten Nutzung von Grubenwasser für die Gewinnung von Erdwärme und Grubengas bietet eine auch wirtschaftlich interessante Perspektive für die Nutzung gefluteter Steinkohlenbergwerke. Bei der Förderung des Grubenwassers zum Zwecke der Erdwärmegewinnung wird automatisch auch Grubengas anfallen; gegebenenfalls muss aus sicherheitlichen Gründen eine Gasabsaugungsanlage betrieben werden. Dieses „beibehende“ Produkt der Erdwärmegewinnung kann gegebenenfalls für die Stromerzeugung genutzt werden. Die bei der Stromerzeugung anfallende Prozesswärme könnte wiederum dem Wärmekreislauf zugeführt werden. Für eine konkrete Umsetzung solcher kombinierter Nutzungsmodelle besteht aber derzeit noch weiterer Forschungsbedarf.

5 Entwicklung eines Erdwärmeprojektes am Beispiel des Aachener Reviers

Im Aachener Revier wurde der Steinkohlenbergbau 1992 durch die EBV Aktiengesellschaft (heute EBV GmbH) endgültig eingestellt. Seit Einstellung der Wasserhaltung in den Jahren 1993/1994 erfolgt auf der Gesamtfläche des Aachener Reviers (rd. 250 km²) und des nordwestlich angrenzenden Südlimburger Reviers (Niederlande, rd. 150 km²) der Wiederanstieg des Grubenwassers. Dabei haben sich zwei Hauptwasserprovinzen, die westliche und die östliche Wasserprovinz, herausgebildet (s. Abb. 2). In der östlichen Wasserprovinz, in deren Bereich bis 1992 Abbau betrieben wurde, wurde bis August 2006 ein Standwasserniveau von rd. -156 mNHN, entsprechend rd. 290 m unter dem Geländeniveau, erreicht. Dabei wurde das Steinkohlengebirge in Teilbereichen bereits vollständig geflutet. In der westlichen Wasserprovinz, westlich der tektonischen Großstörung Feldbiß, wurde der Bergbau sowohl auf deutscher als auch auf niederländischer Seite bereits in den 1970'er Jahren eingestellt. Aufgrund zahlreicher hydraulischer Verbindungen und Annäherungsstellen wurde aber auch hier bis 1994 eine Wasserhaltung zum Schutz der Grubenfelder östlich des Feldbiß betrieben. Auf deutscher Seite, wo das Steinkohlengebirge im Vorflutniveau zutage tritt, lag das Standwasserniveau im August 2006 bei rd. 23 mNHN, d.h. rd. 100 m unter dem mittleren Vorflutniveau. Der weitere Grubenwasseranstieg wird bis zum Erreichen des natürlichen Vorflutniveaus nach dem derzeitigen Kenntnisstand noch etwa 15 bis 20 Jahre andauern.

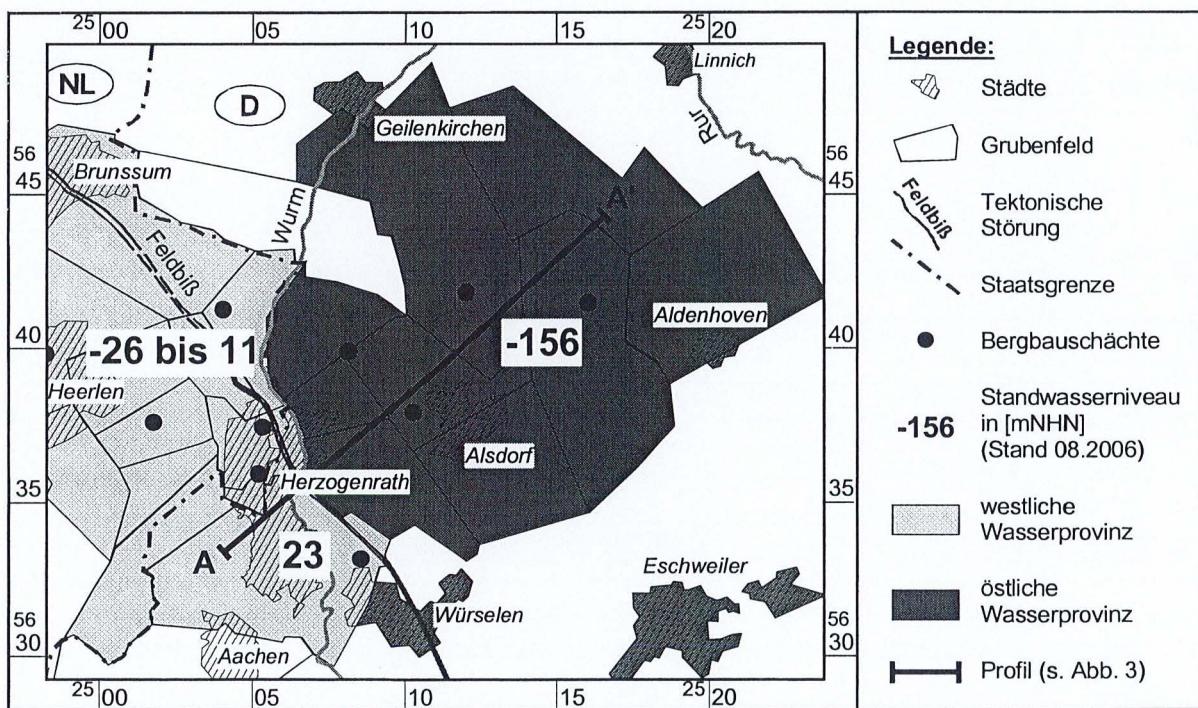


Abb.2: Wasserprovinzen im Aachener und Südlimburger Steinkohlenrevier

In den Stilllegungsbereichen des Aachener Steinkohlenreviers betreibt die EBV GmbH im Zusammenhang mit der Abwicklung und Überwachung des Grubenwasseranstiegs derzeit auf deutscher Seite insgesamt fünf gesicherte Tagesschächte, die über entsprechende Rohrleitungen (Entgasungs-, Pumpen- bzw. Pegelleitungen) an das Grubengebäude angeschlossen sind (s. Abb. 2). Im Rahmen der Folgenutzung der ehemaligen Betriebsflächen im Umfeld der Schächte werden seitens der EBV GmbH Wohn- und Gewerbeeinheiten angesiedelt. Aus diesen Geschäftsfeldern heraus entstand angesichts der aktuellen Diskussion um die Nutzung regenerativer Energien die Projektidee zur Gewinnung von Erdwärme über die noch bestehenden Schachtanlagen.

Am Anfang des Projektes stand eine fachlich fundierte, umfassende Klärung der bergbaulichen, geologisch-hydrogeologischen und technischen Randbedingungen für eine wirtschaftliche Nutzung

von Erdwärme aus den Stilllegungsbereichen des Aachener Steinkohlenreviers sowie eine Abschätzung des über die noch nutzbaren Tagesschächte verfügbaren Erdwärmepotenzials.

Dazu wurde eine Projektgruppe aus Bergwerkseigentümer, Bergbehörde und kompetenten Fachleuten aller betroffenen Fachrichtungen gebildet. Die Projektgruppe setzt sich wie folgt zusammen:

- EBV GmbH, Hückelhoven
- Bezirksregierung Arnsberg, Abt. 8 - Bergbau und Energie in NRW, Dortmund
- Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH, Aachen
- Geophysica Beratungsgesellschaft mbH, Stolberg
- Elektro-Physik Aachen EPA, Aachen

Im Jahre 2004 wurde eine Machbarkeitsstudie vorgelegt, in deren Rahmen am Beispiel eines Bebauungsplangebietes am Standort einer ehemaligen Schachtanlage Modellrechnungen zur Abschätzung des Energiepotenzials sowie eine vergleichende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Hinblick auf den Einsatz der Erdwärme als Energieträger für Heizung und Brauchwassererwärmung durchgeführt wurde.

Parallel dazu wurden die genehmigungsrechtlichen Voraussetzungen für die Aufsuchung und spätere Gewinnung der Erdwärme im Gesamtbereich des Aachener Reviers geschaffen. Im Jahre 2003 wurde ein erster Erlaubnisantrag bei der Bergbehörde eingereicht. Das beantragte Erlaubnisfeld umfasste die Gesamtfläche der ehemaligen Abbaubereiche der EBV GmbH. Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens wurde seitens der Bergbehörde eine Aufteilung der Gesamtfläche in mehrere Teilerlaubnisfelder, bezogen auf die als Förderstellen vorgesehenen Schächte, gefordert; dadurch sollten mögliche Konflikte mit konkurrierenden Erlaubnisanträgen auf kleinere Teilbereiche begrenzt werden.

Für die Bemessung des Aufsuchungsfeldes sollte zunächst gemäß Vorschlag der Bergbehörde ein Radius von 1 km um den Schacht zugrunde gelegt werden. Dabei wären aber Teilbereiche der ehemaligen Gruben, die hydraulisch an die für eine Erdwärmegewinnung vorgesehenen Schächte angeschlossen sind, nicht erfasst worden. Nach eingehender Diskussion erfolgte die Bemessung der Erlaubnisfelder schließlich auf der Grundlage der Ausdehnung der an die Schächte angeschlossenen Grubenbaue. Die darüber hinaus anzunehmenden hydraulischen Absenkungsbereiche werden dabei nicht berücksichtigt. Die so bemessenen Einzelfelder umfassen Flächen zwischen 10 und 39 km². Die Erlaubnisse wurden 2005 erteilt und sind auf jeweils 5 Jahre befristet (§ 16 BBergG). In dieser Zeit sollen die Randbedingungen einer wirtschaftlichen Gewinnung der Erdwärmegewinnung im Detail für die einzelnen Erlaubnisfelder untersucht und anhand einer Pilotanlage erprobt werden. Die Untersuchungen sind durch Vorlage von Jahresberichten der Bergbehörde nachzuweisen.

Für eines der Erlaubnisfelder bestand eine konkurrierende Nutzungssituation aufgrund einer Berechtigung für die Gewinnung von Grubengas. Das aus dem Eduard-Schacht der ehemaligen Grube Anna in Alsdorf austretende Grubengas wurde im Zeitraum 2002 bis 2004 durch die Fa. A-Tec, Duisburg, zur Stromgewinnung genutzt. Die Fa. A-Tec hatte dazu im Jahre 2002 einen entsprechenden Nutzungsvertrag mit der EBV GmbH geschlossen und die bergrechtliche Bewilligung für die Gewinnung von Grubengas erlangt. Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens für die Aufsuchung von Erdwärme über den Eduard-Schacht wurde unter Vermittlung der Bergbehörde zwischen der EBV GmbH und der Fa. A-Tec als Gewinnungsberechtigtem für den Bodenschatz Grubengas eine Vereinbarung über eine gemeinsame Nutzung des Eduard-Schachtes getroffen. Diese Vereinbarung zielt dabei insbesondere auf die Wahrung der Interessen des Gewinnungsberechtigten für das Grubengas im Hinblick auf eine mögliche spätere Nutzung der im Grubenwasser gelösten Grubengase. Die offene Entgasung aus dem Grubengebäude über den Schacht kam Ende 2004 mit dem Überstau der obersten, noch offenen Streckenanschläge weitgehend zum Erliegen, so dass die Stromerzeugung eingestellt werden musste.

Derzeit wird auf der Grundlage der Ergebnisse der Machbarkeitsstudie ein Pilotprojekt geplant. Erst in dieser Phase werden konkrete Investitionen zur Errichtung technischer Anlagen getätigt; dabei müssen auch Fördermöglichkeiten ausgeschöpft werden. Durch die umfassenden Voruntersuchungen wird das Investitionsrisiko weitgehend minimiert. Einige Ergebnisse der Machbarkeitsstudie sowie die Planungen für das Pilotprojekt sind nachfolgend skizziert.

6 Ergebnisse der Machbarkeitsstudie „Aachener Revier“

Die im Rahmen der Machbarkeitsstudie durchgeführten Grundlagenuntersuchungen umfassten neben der Zusammenstellung der geologisch-hydrogeologischen Randbedingungen und der bergbaulichen Verhältnisse in den einzelnen Revierteilen sowie einer detaillierten Bestandsaufnahme der Schächte auch vor Ort-Untersuchungen zur Ermittlung von Temperatur und Leitfähigkeit des in den Schächten zusitzenden Grubenwassers und Laboruntersuchungen zur Ermittlung repräsentativer Werte für die erforderlichen gesteinsphysikalischen Parameter.

Einen Überblick über die teufenabhängige Verteilung von Temperatur und elektrischer Leitfähigkeit des Grubenwassers zeigt der in Abb. 3 dargestellte schematische Profilschnitt durch das Aachener Revier mit den Untersuchungsergebnissen für den Eduard-Schacht der ehemaligen Grube Anna in Alsdorf und den Schacht I der ehemaligen Grube Emil Mayrisch in Siersdorf.

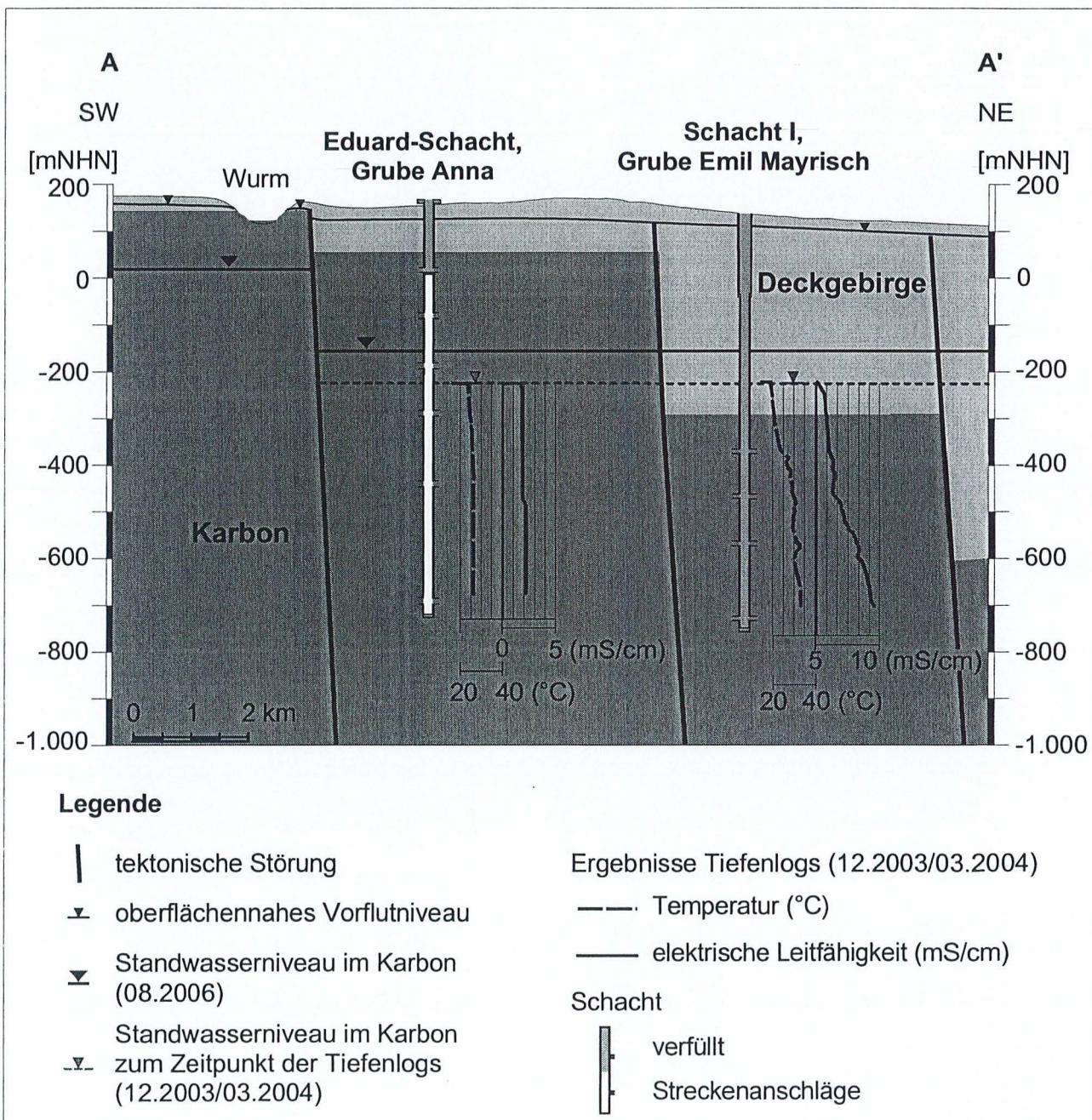


Abb.3: Repräsentative Tiefenlogs in Schächten des Aachener Reviers (Lage des Profilschnitts s. Abb. 2)

Die beiden Schächte unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen geologischen und bergbaulichen Verhältnisse deutlich hinsichtlich der vorgenommenen Sicherungsart und der Qualität des Grubenwassers. Im zentralen Teil des Aachener Reviers, wo die Deckgebirgsmächtigkeit im Mittel bei rd. 100 m liegt, erfolgte die Sicherung des Eduard-Schachtes 1994 durch Einbau einer Bühne im Niveau der 153 m-Sohle und einer kohäsiven Teilverfüllung des oberhalb gelegenen Schachtabschnittes. Zur Entgasung sowie für die Überwachung des Grubenwasseranstiegs wurden eine Entgasungsleitung (DN 400) sowie ein Peilrohr (DN 125) durch die Verfüllung bis an die Tagesoberfläche geführt. Die Deckgebirgsmächtigkeit beträgt am Schacht rd. 74 m. Das Standwasserniveau lag zum Zeitpunkt der Messungen bei rd. -232 mNHN; das Grubengebäude war hier erst teilweise geflutet. Im Rahmen des Tiefenlogs wurden in einem Teufenbereich zwischen dem Standwasserspiegel (391 m Teufe) und der 860 m-Sohle Wassertemperaturen zwischen rd. 22 und 26 °C angetroffen. Dabei war die Wassertemperatur unterhalb der 610 m-Sohle weitgehend konstant bei rd. 26 °C. Dies deutet auf stärkere Strömungsvorgänge innerhalb der Schachtsäule hin, die die Ausbildung einer Schichtung unterschiedlich stark mineralisierter Grubenwässer verhindert. Die elektrische Leitfähigkeit des Grubenwassers beträgt im Mittel rd. 2,0 mS/cm.

Der Schacht I, Grube Emil Mayrisch, wurde 1993 durch eine vollständige Verfüllung mit einer kohäsiven Füllsäule gesichert. Im Rahmen der Verfüllung wurden eine Entgasungsleitung (DN 350) sowie ein Peilrohr (DN 150) durch die Verfüllung hindurch bis an die Tagesoberfläche geführt. Die Deckgebirgsmächtigkeit beträgt am Schacht rd. 440 m. Das Standwasserniveau lag zum Zeitpunkt der Messungen bei rd. -221 mNHN; das Grubengebäude war hier zum Zeitpunkt der Messungen bereits vollständig geflutet.

Das im Schacht I, Emil Mayrisch, durchgeführte Tiefenlog ergab, dass sich hier bereits eine deutliche hydrochemische Schichtung innerhalb der Wassersäule im Schacht ausgebildet hatte. Im Teufenbereich zwischen dem Standwasserspiegel (340 m Teufe) und der 860 m-Sohle nahmen die Wassertemperaturen sukzessive von rd. 19 °C bis auf 33 °C zu. Auch die elektrische Leitfähigkeit des Grubenwassers nahm zur Teufe sukzessive zu und erreichte im Niveau der 860 m-Sohle Werte von rd. 10 mS/cm. Insgesamt liegen damit hier deutlich höher mineralisierte und höher temperierte Grubenwässer vor.

Die Untersuchungsergebnisse belegen, dass in den Schächten ein erhebliches Wärmepotenzial vorhanden ist. Gleichzeitig zeigt sich, dass aufgrund der differenzierten Strömungsverhältnisse im Grubengebäude in den einzelnen Schächten sehr unterschiedliche hydrochemische Randbedingungen vorliegen und auch über die einzelnen Sohlanschlüsse innerhalb eines Schachtes Wässer von sehr unterschiedlicher Qualität zutreten können.

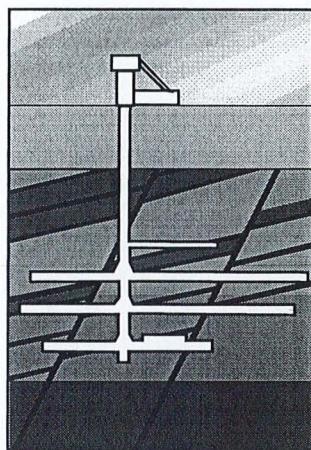
Die Festlegung der für eine Erdwärmegewinnung geeigneten Sohlanschlüsse muss daher auf der Grundlage eingehender hydrochemischer Untersuchungen und einer detaillierten Analyse des Grubenbildes erfolgen.

Zur Ermittlung exemplarischer Werte für die Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität, Dichte und Porosität der im Modellbereich anstehenden Gesteine wurden an stichprobenartig ausgewähltem Material des Grund- und Deckgebirges gesteinsphysikalische Laboruntersuchungen durchgeführt. Für die Sandsteine ergab sich eine Wärmeleitfähigkeit von rd. 3,7 W/(m·K); für Tonsteine liegen mit rd. 2,5 W/(m·K) deutlich geringere Werte vor. Dies zeigt die Bedeutung einer zuverlässigen Ermittlung des geologischen Aufbaus der für eine Erdwärmegewinnung vorgesehenen Gebirgsbereiche (Abb. 4).

Für eine erste Abschätzung des verfügbaren Energiepotenzials wurde ein zweidimensionales, zylindersymmetrisches Modell bearbeitet. Hierfür wurde das numerische Simulationswerkzeug SHEMAT (CLAUSER, 2003) eingesetzt. Dem zylindersymmetrischen Finite-Differenzen-Modell wurde eine vereinfachte, vierfach geschichtete Modellstruktur unter Berücksichtigung der generellen geologisch-hydrogeologischen und bergbaulichen Verhältnisse zugrunde gelegt. Abb. 4 gibt einen Überblick über die vertikale Modellstruktur und die zugehörigen Modellparameter. Das Modell wurde hinsichtlich der hydraulischen Randbedingungen anhand des zeitlichen Verlaufs des Grubenwasseranstiegs kalibriert.

Mit den oben beschriebenen Modellparametern wurde die zeitliche Entwicklung der Grubenwassertemperatur am Schachtsumpf und die Ausbildung des Absenkungstrichters für eine kontinuierliche Förderung von Grubenwasser zum Zweck der Erdwärmegewinnung für einen geplanten Wohnpark mit 70 Einfamilienhäusern berechnet (Jahresheizenergiebedarf rd. 450 MWh, Spitzenleistung

rd. 420 kW). Die Modellrechnungen zeigten unter Ansatz der im Eduard-Schacht angetroffenen Temperaturverteilung, dass für die Betriebsdauer von 30 Jahren eine weitgehend konstante Wärmemenge gefördert werden kann und unter Berücksichtigung der getroffenen Modellvereinfachungen eine Versorgung des Wohnparks mit Erdwärme für Heizzwecke aus geophysikalischer Sicht sichergestellt ist. Darüber hinaus wurde das insgesamt in den Grubengebäuden der östlichen Wasserprovinz zur Verfügung stehende Erdwärmepotenzial unter Ansatz einer Abkühlung des geförderten Wassers um 10 °C mittels Wärmepumpe überschlägig mit 4,6 MW abgeschätzt. Aufgrund der guten hydraulischen Verbindungen der zur Verfügung stehenden Schächte untereinander ist dieses Potenzial über einen Schacht gewinnbar oder kann entsprechend den örtlichen Erfordernissen auf mehrere Schächte aufgeteilt werden. Auch eine Erschließung über Bohrungen im Bereich konkreter Bauprojekte ist denkbar. Diese Flexibilität verbessert die Nutzungsmöglichkeiten.



	Modell- bereich	Permea-	Porosität	Spez. Wärme- kapazität	Wärmeleit- fähigkeit
		[m²]	[‐]	[MJ m⁻³ K⁻¹]	[W m⁻¹ K⁻¹]
	Deck- gebirge			0,05	1,8
	Abbau- niveau 2	10^{-13}	0,002	1,8	2,4
	Abbau- niveau 1	10^{-13}	0,002	1,8	3,5
	Ungestörter Gebirgs- bereich	10^{-14}	0,001	1,8	4,0

Abb.4: Gebirgsparameter für die Modellberechnungen

Eine vergleichende Betrachtung der Kosten für die Errichtung und den Betrieb der Heizung und der Brauchwasserversorgung für die geplante Wohnsiedlung unter Berücksichtigung verschiedener Energieträger (Gas, Strom, Fernwärme, Sonnenkollektoren) ergab, dass bei den vorgegebenen Randbedingungen des konkreten Projektes unter Berücksichtigung der Investitionskosten für die Förderanlage, die Re-Infiltrationsanlage, die Wärmepumpentechnik und die Hausanschlüsse die jährlichen Kosten bei einer Versorgung des Wohnparks mit Erdwärme ohne Fördermittel rd. 35 % über den aktuellen Kosten für herkömmliche Energieträger (Gas, Strom) liegen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die durch die Erdwärmegewinnungsanlage tatsächlich verfügbare Energiemenge erheblich höher ist als der Energiebedarf des für den Kostenvergleich zugrunde gelegten Wohnparks; die geothermische Anlage wird nicht ausgelastet. Wirtschaftliche Betriebsbedingungen können dann erreicht werden, wenn energieintensive Großgebäude als Abnehmer bereitstehen, eine Einspeisung in ein Fernwärmennetz möglich ist oder im Laufe der Zeit weitere bestehende Wohneinheiten im näheren Schactumfeld, z.B. im Rahmen von Heizungsmodernisierungen, angeschlossen werden können.

Die Untersuchungen zeigen aber auch, dass sich die Investitionskosten erheblich reduzieren lassen, wenn ein Schacht bereits im Rahmen der Sicherungsmaßnahmen für eine Erdwärmegewinnung hergerichtet werden kann. Auch die Bebauungsplanung im Schactumfeld sollte im Hinblick auf die Gebäudetechnik schon in einer frühen Planungsphase auf die Erdwärmeverwendung ausgerichtet werden.

7 Planungen für eine Pilotanlage in Alsdorf

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Machbarkeitstudie wird derzeit eine Pilotanlage im Bereich des Eduard-Schachtes in Alsdorf geplant (s. Abb. 5). Der Eduard-Schacht liegt am Westrand des ehemaligen Betriebsgeländes der Grube Anna mit dem angeschlossenen Kokereigelände („Anna-Gelände“). Die Kokerei Anna gehörte einst zu den größten in Europa; das Gesamtgelände umfasst eine Fläche von rd. 40 ha im unmittelbaren Zentrum der Stadt Alsdorf.

Im Zeitraum zwischen 2001 und 2002 wurde das Gelände durch die EBV GmbH und die Landesentwicklungsgesellschaft (LEG) NRW saniert und für eine Folgenutzung vorbereitet. Am Ostrand des Geländes wurde das „Anna-Park-Center“, ein Einkaufszentrum mit Einzelhandel und Dienstleistungsbüros errichtet. Den Kernpunkt der Fläche bildet der rd. 7 ha große Anna-Park, eine Parkanlage, die an der Stelle der ehemaligen Kokerei eingerichtet wurde. Die Wohn- und Gewerbeblächen im Umfeld des Anna-Parks befinden sich in der Vermarktung; erste Wohnsiedlungen sind bereits entstanden. Das auf dem Gelände eingerichtete Bergbaumuseum und die ehemalige Kraftzentrale werden im Rahmen der Euregionale 2008 zu einem Erlebnismuseum („Energeticum“), das sich mit der Entwicklung der Energieerzeugung und Bergbaugeschichte befasst, weiter entwickelt.

In diesem Umfeld setzt die Gewinnung von Erdwärme aus einem Schacht der ehemaligen Grube Anna einen weiteren Akzent bei der zukunftsorientierten Umstrukturierung der alten Betriebsflächen der Grube Anna und der Stadt Alsdorf.

Die EBV GmbH hat hier westlich des Anna-Geländes an drei Standorten in unterschiedlicher Entfernung zum Schacht die Errichtung von insgesamt rd. 100 Wohneinheiten vorgesehen (s. Abb. 5). Das Gelände der ehemaligen Markscheiderei und Bergschädenabteilung liegt unmittelbar am Schacht; zwei weitere Bebauungsflächen in der bestehenden Siedlung „Busch“ liegen in einem Abstand bis zu rd. 1 km zum Schacht. Mit der Auswahl dieser Standorte soll u.a. untersucht werden, welchen Versorgungsradius eine solche Erdwärmegewinnungsanlage unter wirtschaftlichen Verhältnissen erreichen kann, da gerade die Entfernung zu den Abnehmern oftmals ein Hemmnis zur Entwicklung entsprechender Projekte darstellt.

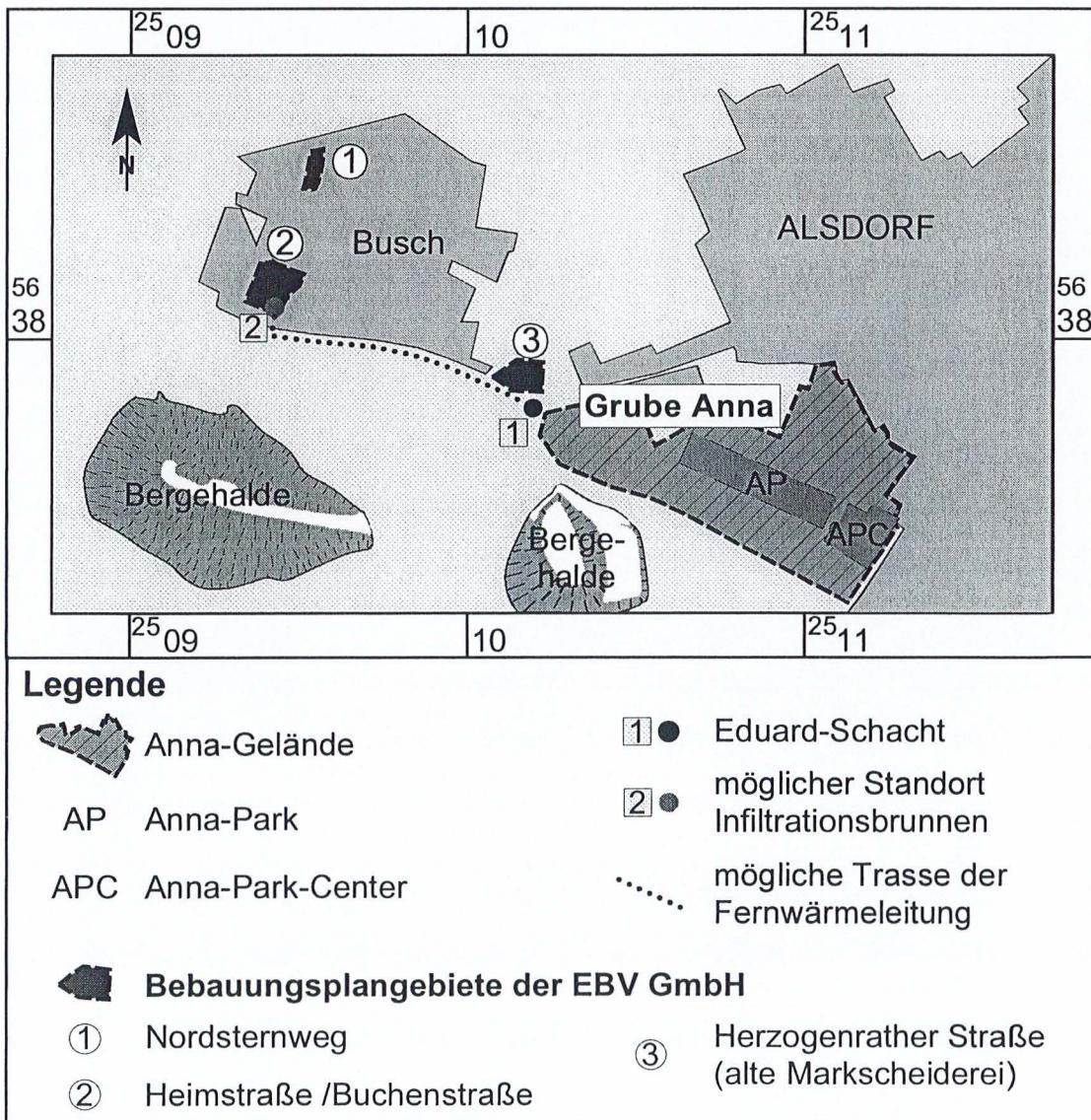


Abb.5: Pilotprojekt Eduard-Schacht in Alsdorf

Nach den derzeitigen Planungen ist vorgesehen, die Energiegewinnung an den weiter entfernt gelegenen Standorten im Bereich der Siedlung Busch zur Minimierung der Wärmeverluste dezentral über eine zusätzliche Wärmepumpenanlage vorzunehmen. Das im Schacht gehobene Grubenwasser wird dabei über eine Fernleitung herangeführt. Eine zweite Wärmepumpenanlage am Schacht versorgt die schachtnahen Wohneinheiten. Zur Minimierung der Kosten für die erforderlichen Rohrleitungssysteme soll eine Re-Infiltrationsbohrung im Bereich der Siedlung Busch eingerichtet werden. Der Jahresheizenergiebedarf der angeschlossenen Standorte mit rd. 100 Wohneinheiten kann überschlägig mit rd. 650 MWh angesetzt werden. Die Gewinnbarkeit einer entsprechenden Energiemenge wurde mit der Machbarkeitsstudie grundsätzlich nachgewiesen. Der erforderliche Grubenwasservolumenstrom kann unter Berücksichtigung einer Abkühlung um rd. 20°C mit rd. 13 m³/h angesetzt werden.

Im Rahmen der Errichtung der Anlage sind allerdings zunächst weitergehende Detailuntersuchungen, u.a. zur Klärung der hydraulischen Verhältnisse im Schachtumfeld und der zeitlichen Temperaturrentwicklung im Schacht (u.a. durch Pumpversuche) sowie zur Erkundung und Einrichtung einer geeigneten Infiltrationsstelle erforderlich. Für einen Dauerbetrieb mit Auslastung des über den Eduard-Schacht aufgeschlossenen Erdwärmepotenzials müssen dann die betriebstechnischen Randbedingungen im Rahmen eines Probebetriebs ermittelt und auf der Grundlage der Betriebserfahrungen gegebenenfalls notwendige Anpassungsmaßnahmen zur Optimierung der Anlagentechnik vorgenommen werden. Dabei spielen vor allem anlagentechnische Details im Zusammenhang mit der Ausfällung von Wasserinhaltsstoffen im Rahmen der Abkühlung des gehobenen Grubenwassers und sicherheitstechnische Aspekte im Zusammenhang mit dem Grubengas eine Rolle.

Die Pilotanlage am Eduard-Schacht ist als Keimzelle eines umfassenderen ErdwärmeverSORGUNGSnetzes im weiteren Umfeld des „Anna-Geländes“ zu bewerten. Mit den zukünftig auf dem Anna-Gelände noch zu erschließenden Wohn- und Gewerbeflächen steht ein entsprechendes Erweiterungspotenzial zur Verfügung. Seitens der Stadt Alsdorf bestehen Planungen für die Ansiedlung eines Gymnasiums. Darüber hinaus besteht auch in der Siedlung Busch im Rahmen von anstehenden Heizungsmodernisierungen ein erhebliches Potenzial zur Erweiterung des Versorgungsnetzes. Auch die Möglichkeiten zur Einspeisung in ein vorhandenes Fernwärmennetz werden geprüft. Gera de die vielfältigen Möglichkeiten zur Erweiterung des Versorgungsnetzes machen den Standort Eduard-Schacht heute für eine Erdwärmegewinnung sehr attraktiv. Dies bildet auch die Grundlage für einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlage nach Abschluss des Pilotprojektes.

8 Fazit

Die für das Aachener Steinkohlenrevier durchgeführten Untersuchungen zur Klärung der Möglichkeiten einer Erdwärmegewinnung aus stillgelegten, gefluteten Steinkohlengruben zeigen, dass solche Bergwerksstandorte ein erhebliches Potenzial für eine wirtschaftliche Nutzung von Erdwärme bieten. Insbesondere vorhandene Zugänge zum Grubengebäude über aufgegebene Tagesschächte bieten eine günstige Voraussetzung zur Erschließung des in den gefluteten Grubenbauen vorhandenen Warmwasserreservoirs für eine Erdwärmegewinnung.

Im Rahmen des mit der Stilllegung von Bergwerksstandorten verbundenen Strukturwandels und der Umnutzung der ehemaligen Betriebsflächen bietet die Erdwärmegewinnung daher eine wichtige wirtschaftliche Perspektive für eine zukunftsorientierte Nachnutzung der Bergwerke und zur Aufwertung der Bergwerksstandorte, die über viele Jahrzehnte und z.T. Jahrhunderte das Bild der jeweiligen Regionen geprägt haben.

Bisher wurden diese Nachnutzungsmöglichkeiten im Rahmen der Stilllegung von Bergwerksstandorten nicht berücksichtigt. Die mittlerweile auch auf europäischer Ebene laufenden Anstrengungen zur Nutzung von Erdwärme aus stillgelegten Bergwerken (s. mine water project der EU) zeigen aber, dass hier ein Umdenken einsetzt.

Die Errichtung von Pilotanlagen zur Erdwärmegewinnung aus gefluteten Bergwerken an besonders geeigneten Standorten, wie dies seitens der EBV GmbH für das Aachener Revier am Standort der ehemaligen Grube Anna in Alsdorf geplant ist, hat daher einen wichtigen Signalcharakter. Anhand der Betriebserfahrungen können das Potenzial und die betrieblichen Anforderungen solcher Anlagen besser abgeschätzt und die Randbedingungen für eine wirtschaftliche Nutzung aufgezeigt werden.

werden. Damit können wichtige Keimzellen für eine flächenhafte Erdwärmegewinnung in den Stilllegungsbereichen ehemaliger Bergbauregionen geschaffen werden.

Die im Rahmen der Untersuchungen für das Aachener Steinkohlenrevier gewonnenen Erfahrungen bilden somit eine wichtige Grundlage für die Erdwärmennutzung auch in anderen Bergaugebieten.

Quellennachweis

BUND-LÄNDER-AUSSCHUSS BERGBAU – AD-HOC-ARBEITSKREIS „BEMESSUNG VON ERDWÄRMEFELDERN“ (2002)

Erarbeitung von Kriterien für die Bemessung von Bergbauberechtigungen zur Aufsuchung und Gewinnung von Erdwärme-. 4 S., 1. Anl.

CLAUSER, C. (Ed.) (2003)

Numerical Simulation of Reactive Flow in Hot Aquifers Using Shemat/Processing Shemat. Springer Verlag, Heidelberg, Berlin.

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. (2005)

Grubenwasseranstieg im Steinkohlenbergbau - Einflussfaktoren, Auswirkungen und Folgenutzung am Beispiel des Aachener und des Erkelenzer Reviers.- 5. Altbergbau-Kolloquium, S. 433 - 452, 10 Abb.; Clausthal-Zellerfeld.

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.- Glückauf-Verlag, 10 Abb.; Essen (im Druck).

LUCA TECHNOLOGIES (16.11.2004)

New Discovery by Luca Technologies of Real-time Natural Gas Formation in the Powder River Basin Offers Prospect for Renewable Energy Resource for Generations to Come.- Pressemitteilung Luca Technologies, 2 S.; Denver.

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, MITTELSTAND UND ENERGIE DES LAND NORDRHEIN-WESTFALEN - MWME NRW (2006)

Nutzbarmachung geothermischer Energie (Erdwärme) in NRW.- Erlass vom 20.01.2006 - 422-47-04-; Düsseldorf.

PROJEKTGRUPPE „ERDWÄRME IN AUFGELASSENEN BERGWERKEN“ (30.04.2004)

Machbarkeitsstudie zur Gewinnung von Erdwärme im Bereich des Aachener Steinkohlenreviers unter besonderer Berücksichtigung einer ErdwärmeverSORGUNG des „Wohnpark Grube Adolf“, Merkstein.- Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der EBV Aktiengesellschaft, Aachen.

THIELEMANN, T., CRAMER, B. & SCHIPPERS, A. (2004):

Kohleflözgas im Ruhrbecken: fossil oder erneuerbar.- Schriftenreihe der DGG, H. 34, S. 193; Hannover.