



Rosner



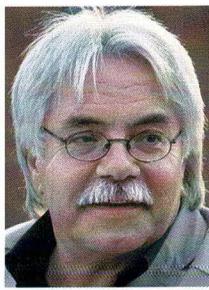
Heitfeld



Maasewerd



Mathews



Richter

Erdwärmegewinnung aus einem Bergbau-Schacht des Aachener Steinkohlereviers – Ergebnisse eines Pilotprojektes

Dr. Peter Rosner, Dr.-Ing. Michael Heitfeld, Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH (IHS), Aachen
Dipl.-Geol. Peter Maasewerd, Daldrup & Söhne AG, Ascheberg
Dr. Thomas Mathews, Sachverständigenbüro Dr. Mathews, Aachen
Dipl.-Ing. Harald Richter, Energeticon gGmbH, Alsdorf

1. Einleitung

Auf dem Gelände der ehemaligen Grube Anna in Alsdorf betreibt die Energeticon gGmbH das Energemuseum Energeticon. Für die Beheizung der Museumsgebäude soll der auf dem Museumsgelände gelegene Eduard-Schacht zur Erdwärmegewinnung aus Grubenwasser genutzt werden. Dazu wurde das Projekt *GrEEN* (GrubenwasserEnergie für das Energeticon) ins Leben gerufen.

Die Heizungsanlage des Energeticon wird zurzeit über einen Brennwertgaskessel betrieben. Der jährliche Gesamtwärmebedarf beträgt 300 MWh. Die Erdwärme sollte mindestens 50% der Jahresheizerarbeit abdecken und dazu eine Heizleistung von 100 kW liefern.

Für die Gewinnung von Erdwärme aus Grubenwasser über einen Schacht stehen grundsätzlich folgende technische Varianten zur Verfügung (vgl. Bild 1):

In einem Bergbauschacht des Aachener Reviers wurde auf dem ehemaligen Betriebsgelände der Grube Anna in dem heutigen Energemuseum Energeticon eine geothermische Nutzung des Grubenwassers zur Gebäudebeheizung realisiert. In dem mit Grubenwasser erfüllten Eduard-Schacht wurde dazu eine 860 m lange Erdwärmesonde (Doppel-U-Sonde) freihängend installiert. Im Rahmen eines Leistungstests wurde das Heizleistungspotenzial der Sonde mit >100 kW ermittelt; aktuell läuft der Probebetrieb.

Das Pilotprojekt wurde mit Eigenmitteln sowie mit Fördermitteln des Landes NRW und der Innogy SE realisiert. Mit der Umsetzung dieses Projektes wurden umfangreiche Erfahrungen hinsichtlich der erforderlichen Instandsetzungs- und Sicherheitsmaßnahmen bei den Arbeiten an einem teilverfüllten Bergbauschacht sowie den technischen Anforderungen an Material und Einbauverfahren für eine frei im Schacht hängende Erdwärmesonde gewonnen. Diese Erfahrungen sollen die Errichtung weiterer Anlagen an alten Bergbaustandorten ermöglichen.

Der vorliegende Beitrag beschreibt die technischen Randbedingungen bei der Planung und Realisierung des Projektes sowie die genehmigungsrechtlichen Erfordernisse.

- ▶ Sonde – Einhängen einer Erdwärmesonde in einen Schacht
- ▶ Dublettenverfahren – Heben von Grubenwasser und nach Wärmeentzug Wiedereinleitung (Wasserhaltung)

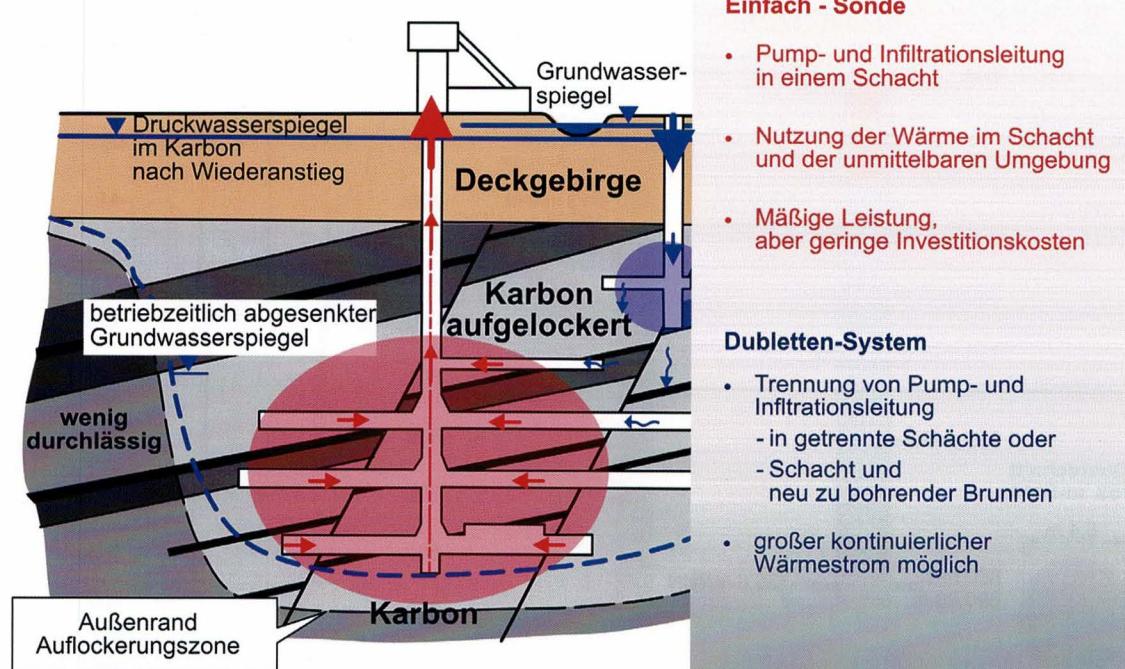
Beide Varianten wurden auch für den Standort Eduard-Schacht eingehend diskutiert. Das Dublettenverfahren musste aber aufgrund der hohen Investitionskosten verworfen werden. Für die am Standort benötigte Heizleistung war die im Vergleich zum Dublettenverfahren geringere Leistungsfähigkeit der Einfach-Sonde ausreichend.

Als Vergleichsobjekt für die am Eduard-Schacht geplante tiefe Erdwärmesonde gilt die im Schacht der Grube Auguste-Victoria in Marl (Ruhrgebiet) eingegebauten Erdwärmesonde. Hier erfolgte der Einbau aber in einem verfüllten Schacht; die Sonde wurde in einem Rohrstrang zementiert und hat keinen direkten Kontakt zum Grubenwasser. Im Eduard-Schacht hängt die Sonde frei

Extraction of Geothermal Energy from a Mine Shaft Located in the Hard Coal Mining District of Aachen – Results of a Pilot Project

In the Aachen mining district, on the former company grounds of coal mine Anna (the current location of the energy museum Energeticon), a building heating system has been realised that utilises geothermal heat from mine water. For this purpose, a 860 m geothermal probe (double-u-probe) has been mounted freely suspended in the mine water-filled shaft Eduard. In a performance test, a heating potential of >100 kW could be demonstrated; currently, a test run is operating.

The pilot project has been realised with funding from the state of North Rhine-Westphalia, from one's own resources, and from Innogy SE. Along with the implementation of this project, considerable experience could be gained regarding reinstatement work and safety measures that are required when working on a mine shaft that is partially backfilled. For geothermal probes that are installed freely suspended in a mine shaft additional knowledge could be gained in respect of technical material requirements and required installation procedures. These gained experiences shall facilitate the installation of further geothermal heating systems in other mining areas. The present paper describes the technical frame conditions that have to be considered during planning and realisation of the project and shows the legal aspects.

**Einfach - Sonde**

- Pump- und Infiltrationsleitung in einem Schacht
- Nutzung der Wärme im Schacht und der unmittelbaren Umgebung
- Mäßige Leistung, aber geringe Investitionskosten

Bild 1: Schemazeichnung Grubenwasser-geothermie mittels Sonde im Schacht oder Dublettenverfahren am Beispiel eines Steinkohlebergwerks (ROSNER et al., 2009).

Dubletten-System

- Trennung von Pump- und Infiltrationsleitung
 - in getrennte Schächte oder
 - Schacht und neu zu bohrender Brunnen
- großer kontinuierlicher Wärmestrom möglich

im mit Grubenwasser erfüllten Schachtquerschnitt, was eine erhöhte Leistungsfähigkeit verspricht. Beide Projekte bilden die grundsätzlichen Schachtsituationen ab, die eine Vielzahl von verlassenen Schächten u.a. im Ruhrrevier aufweisen. Der Vergleich der Ergiebigkeit der beiden Projektvarianten ist ein wichtiger Aspekt, um über die günstigste Variante im Hinblick auf einen technisch sicheren und wirtschaftlichen Betrieb entscheiden zu können.

Aufgrund des Pilotcharakters fördert das Land Nordrhein-Westfalen dieses Vorhaben im Rahmen des Programmes *Rationelle Energieverwendung, regenerative Energien und Energiesparen progres.nrw* und des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung – Ziel 2 – Programm. Weitere Fördermittel wurden durch die Innogy SE bereitgestellt.

Die Laufzeit des Förderprojektes ist mit rund drei Jahren angesetzt und läuft im Frühjahr 2019 aus.

Nach Durchführung einer europaweiten Ausschreibung wurde das IHS im Jahre 2015 mit der Fachplanung, Bauüberwachung und Dokumentation der erforderlichen Arbeiten beauftragt. Das IHS hat zur Durchführung dieses Vorhabens das Büro Inco, Aachen, für Fragen der Wärmepumpen und Heizungsanlage sowie das Büro Dr. Mathews, Aachen, für Fragen der Erdwärmesonde eingeschaltet. Die technische Detailplanung sowie die Durchführung der Bohr- und Ausbuarbeiten erfolgte durch die Firma Daldrup & Söhne AG, Ascheberg.

Im Rahmen des Projektes waren zunächst die bergbaulichen und technischen Grundlagen für die Erdwärmegewinnung aus dem Eduard-Schacht zu erarbeiten. Anschließend musste der Zustand des 1992 durch einen Betonfüllstopfen teilverfüllten Schachtes erkundet und ein Konzept für den Einbau einer geeigneten Erdwärmesonde erarbeitet werden. Auf dieser Grundlage wurde ein neuer Zugang zum Schacht geschaffen und die Erdwärmesonde eingebaut. Parallel

dazu erfolgte die Bemessung und Installation der überirdischen Anlagenteile (u. a. Wärmetauscher) zum Anschluss der Erdwärmesonde an das bestehende Heizungssystem. Das Förderprojekt war entsprechend in fünf Projektphasen gegliedert:

1. Vorbereitungsphase
2. Untersuchungsphase *Instandsetzung*
3. Realisierungsphase *Erdwärmesonde*
4. Realisierungsphase *Wärmepumpe, Nutzung, Regelung*
5. Probebetrieb

Die Ergebnisse der Projektphasen 1–4 werden im Folgenden dargestellt. Der Probebetrieb sollte im September 2018 beginnen.

2. Bergbauliche Situation, Grubenwasser und Grubengas

Der Eduard-Schacht wurde in den Jahren 1904 bis 1906 zunächst bis zur 252-Meter-Sohle abgeteuft; mit Erreichen der 252-Meter-Sohle wurde die Kohleförderung bereits aufgenommen. Der Schacht wurde anschließend schrittweise weiter vertieft; die Endteufe von 890 m wurde 1964 erreicht (Bild 2).

Der Schacht weist einen runden Querschnitt mit Durchmessern zwischen 5,4 m und 6,1 m auf; die Schachtwand besteht abschnittsweise aus Mauerwerk, Tübingen und Ortbetonringen. Für die Kohleförderung waren auf den Niveaus von 153 m bis 860 m zahlreiche Sohlen angelegt und über Strecken an den Schacht angeschlagen.

Der obere Teil des Schachtes wurde nach Beendigung des Kohleabbaus im Jahre 1992 von der EBV GmbH vom Schachtkopf bis zur ersten Sohle (153 m-Sohle) in rund 152 m Teufe (entsprechend rund 7 mNHN) mit Beton verfüllt und damit dauerstandfest gesichert. In den Betonkörper eingebettet sind eine Entgasungsleitung DN 400 und eine Pegelleitung DN 125.

Schlagworte Keywords

Altbergbau
Abandoned mining

Bergbauinfrastruktur
Mining infrastructure

Geothermie
Geothermal energy

Erdwärmesonde
Geothermal probe

Grubenwasser-nutzung
Mine water utilisation

Bild 2: Schachtschnitt mit Ergebnissen von Tiefenlogs (Quelle: IHS).

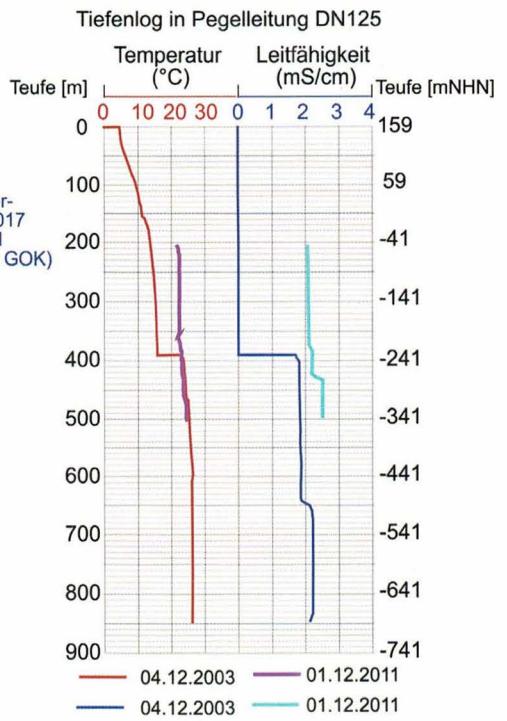
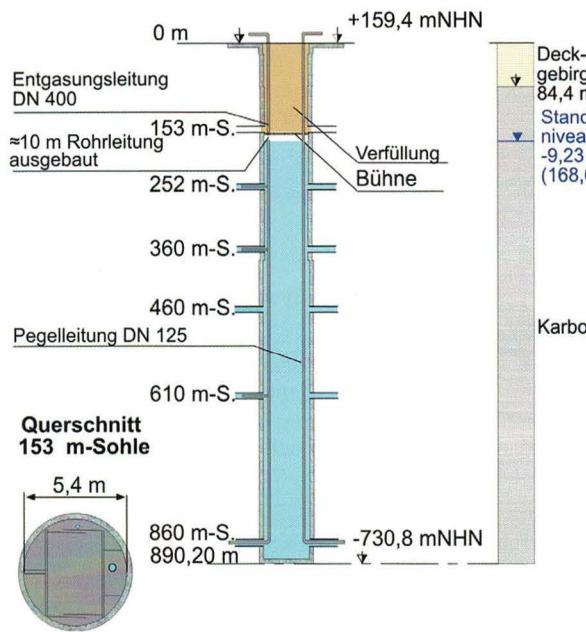


Bild 3: Situation Eduard-Schacht mit Protego-Haube über Entgasungsleitung, Pegelleitung und Umzäunung der Ausgasungsschutzzone, im Hintergrund ehemalige Kuea.

Die Entgasungsleitung wurde unterhalb des Betonfüllstopfens gemäß Grubenbild auf einer Länge von rund 10 m ausgebaut, ist aber darunter im Schacht verblieben. Unmittelbar unterhalb der Rohröffnung am Fuß des Betonfüllstopfens ist ein Gitterrost als Arbeitsbühne eingebaut, das den weiteren Zugang zum Schacht durch die Entgasungsleitung behindert. Die Pegelleitung ist bis zu ihrem Endpunkt nahe der Schachtsohle in 890 m Teufe durchgängig befahrbar.

An der Geländeoberfläche ist die Pegelleitung heute durch einen Flansch gasdicht verschlossen. Die Entgasungsleitung ist an der Geländeoberfläche durch eine Protego-Haube gesichert, um unkontrollierte Austritte oder Explosionen von Grubengas zu verhindern. Um den Schachtkopf ist eine Ausgasungsschutzzone von rund 20 m Durchmesser ausgewiesen, die durch einen Zaun gesichert ist.

Seit Einstellung des Steinkohlenbergbaus im Aachener Revier im Jahr 1992 und der damit verbundenen Stilllegung der Wasserhaltung steigt der Grubenwasserspiegel im Eduard-Schacht kontinuierlich an. Ende des Jahres 2017 lag der Grubenwasserspiegel bei rund -9 mNHN. Dies entspricht einer Tiefe von rund 168 m unter der Geländeoberfläche. Die Anstiegs geschwindigkeit liegt derzeit bei rund 6 m/Jahr. Das im Eduard-Schacht zusitzende Grubenwasser weist in Abhängigkeit von der Zeit relativ einheitliche elektrische Leitfähigkeiten um 2.000 µS/cm auf. Die Temperaturen des Grubenwassers betragen in Abhängigkeit von der Tiefe zwischen rund 22 °C und 26 °C.

Im Rahmen des Grubenwasseranstiegs sammelte sich über dem zunächst rasch ansteigenden Wasserniveau ein methanreiches Flözgas, das bevorzugt über die vorhandenen Schächte entgaste. Im Eduard-Schacht entweicht das Grubengas über die Entgasungsleitung zur Geländeoberfläche; dort ist auf der Entgasungsleitung eine Protego-Haube installiert (Bild 3), die das Grubengas kontrolliert abführt und Explosionen verhindert. Diese ist bis heute vorhanden.

Im Eduard-Schacht wurde dieses Grubengas im Zeitraum zwischen 2002 und 2004 zur Erzeugung von Strom genutzt. Der Methangehalt im geförderten Grubengas stieg in der Anfangsphase des Betriebs von 39 % auf 46 % an; die Verfügbarkeit betrug in 2002 rund 90 %. Die mittlere monatliche Fördermenge betrug im Jahr 2004 rund 1,1 Mio. m³. Die anfallende Wärme wurde zur Beheizung des Bergbaumuseums genutzt. Im Zusammenhang mit dem Überstau der 360-Meter-Sohle Anfang 2005 gingen die Methan-Gehalte auf unter 30 % zurück, so dass die Gewinnung aus betrieblichen Gründen eingestellt werden musste.

Als Grundlage für eine aktuelle Bewertung der Ausgasungssituation wurde in 2015 durch die DMT ein wittertechnisches Gutachten angefertigt. Dabei wurde festgestellt, dass Methan-Gehalte um 7,4 Vol.-% bei sehr



niedrigem Sauerstoffanteil vorliegen. Im Schacht ist das Grubengas daher inert. Durch Vermischung mit sauerstoffhaltiger Luft an der Geländeoberfläche oder bei Eindringen von atmosphärischer Luft in den Schacht kann aber ein zündfähiges Gasgemisch entstehen. Im Rahmen der Arbeiten am Schacht waren entsprechende Sicherheitsmaßnahmen zu berücksichtigen.

3. Genehmigungsrechtliche Randbedingungen

Für die Aufsuchung von Erdwärme im Umfeld des Eduard-Schachtes wurde der EBV GmbH in 2005 eine Aufsuchungserlaubnis durch die zuständige Bergbehörde (Bezirksregierung Arnsberg) erteilt. Diese Erlaubnis wurde im Rahmen des Förderprojektes *GrEEEn* an die EnergeticongGmbH übertragen. Über die Nutzung des Schachtes zur Erdwärmegewinnung wurde für die Laufzeit des Förderprojektes zwischen EBV GmbH und EnergeticongGmbH ein Gestattungsvertrag geschlossen; die EBV GmbH ist weiterhin Schachteigentümer und trägt die bergrechtliche Verantwortung für die Sicherheit des Schachtes.

Das Förderprojekt *GrEEEn* umfasst den Einbau der Erdwärmesonde und einen mehrmonatigen Probebetrieb bei einer Laufzeit von rund drei Jahren bis Frühjahr 2019. Alle Maßnahmen im Rahmen des Förderprojektes unterlagen der bergrechtlichen Genehmigung. Alle Arbeiten am und im Schacht wurden im Rahmen von Haupt- bzw. Sonderbetriebsplänen genehmigungsrechtlich abgearbeitet. Dabei erfolgte eine enge Abstimmung mit der Bezirksregierung Arnsberg als genehmigender Bergbehörde unter Einbeziehung der EBV GmbH als Schachteigentümer.

Für den nach Abschluss des Förderprojektes einzusetzenden Gewinnungsbetrieb ist keine bergrechtliche Genehmigung erforderlich, weil die Nutzung der Erdwärme auf den Standort der Gewinnung (Gelände des Energeticons) beschränkt bleibt (§ 4 Abs. 2 Nr. 1 BBergG). Für den Betrieb der Erdwärmesonde ist allerdings eine wasserrechtliche Erlaubnis nach §§ 8, 9, 10 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) erforderlich; diese wurde nach Einbau der Erdwärmesonde bei der zuständigen Unteren Wasserbehörde der StädteRegion Aachen beantragt. Nach Vorliegen der wasserrechtlichen Erlaubnis wird die genehmigungsrechtliche Zuständigkeit für die Erdwärmeanlage somit von der Bergbehörde an die Untere Wasserbehörde übergehen. Die Untere Wasserbehörde wurde daher bereits im Rahmen des Förderprojektes informell in die Projektabwicklung einbezogen, um frühzeitig auch wasserrechtliche Aspekte ausreichend berücksichtigen zu können.

4. Erkundung des Schachtzuganges über die Entgasungsleitung

Die Erdwärmesonde sollte zunächst in die in den Betonpfropfen eingebettete Entgasungsleitung eingebaut werden. Jedoch musste dafür der im Bereich der gaserfüllten 153 m-Sohle verbaute Stahlgitterrost beseitigt werden.

Alle Arbeiten am Schacht erfolgten unter Aufsicht eines Brand- und Explosionschutzbeauftragten (DMT) auf der Grundlage eines Explosionschutzplanes gemäß AB BergV § 11. Die Gaskonzentration in der Entgasungsleitung und im Schacht unterhalb des Betonfüllstopfens wurde regelmäßig, insbesondere zu Arbeitsbeginn überprüft und ggf. erforderliche Sicherheitsmaßnahmen festgelegt.

Am Schachtkopf wurde ein Lüfter vorgehalten, der eine ständige Sonderbewetterung ermöglichte.

Auf dem Standrohr wurde von der Firma Daldrup & Söhne AG ein so genanntes Gassperrtool montiert. Dieses Tool verfügt über eine eigene, mit Warnfunktion ausgestattete Gasmesssensorik, die bei Auftreten einer explosionsfähigen Atmosphäre den Ringraum zwischen Bohrgestänge und Entgasungsleitung automatisch mit Wasserdampf und/oder Stickstoff beschickt. Zusätzlich wurden Vorrichtungen zur Inertisierung des Bohrwerkzeugs und des Bohrungsringsraumes über die Einleitung von Stickstoff durch das Bohrgestänge installiert.

Im Rahmen der Vorbereitung der Erkundung der Entgasungsleitung musste die Protego-Haube abgebaut und ein Gassperrtool am Rohrkopf eingebaut werden. Beim Einbau des Bohrgestänges sowie während der Fräsanbeiten lagen einziehende Wetter vor mit Sauerstoffgehaltenen > 20 % auch im Schacht. Es waren daher keine Inertisierungsmaßnahmen erforderlich.

Um den Rost zu durchteufen, ohne Gefahr zu laufen, die unterhalb weiter abwärts führende Entgasungsleitung durch gelöste Stahlteile zu verstoppfen, wurde entschieden, die Öffnung im Gitterrost flächenhaft zu fräsen, statt zu durchkernen. Die Öffnung des Gitterrostes mit dem eingesetzten Spezialfräskopf war unproblematisch. Zur Überprüfung der Fräsanbeiten und Erkundung des Schaches unterhalb des Gitterrostes wurden mehrere Kamerabefahrungen durchgeführt.

Im Rahmen der Kamerabefahrungen wurde etwa 4 m unterhalb des Gitterrostes die Fortsetzung der Entgasungsleitung angetroffen. Diese war aber entgegen den Angaben aus den Betriebsakten mit einem Y-Flansch verschlossen. Der massive Verschluss der Entgasungsleitung machte den planmäßigen Einbau der Erdwärmesonde unterhalb des Gitterrostes unmöglich; es mussten technische Alternativen zur Realisierung des Projektes erarbeitet werden.

Als Varianten wurden eine Aufwältigung der Entgasungsleitung, eine Umlenkung der Erdwärmesonde aus der Achse der Entgasungsleitung in das zentrale offene Fahrtrum oder die Herstellung eines neuen Schachtzugangs mittels Bohrung diskutiert. Im Ergebnis wurde unter Abwägung der technischen und wirtschaftlichen Risiken und in Abstimmung mit dem Schachteigentümer entschieden, einen neuen Zugang zum Schacht mittels Herstellung einer Bohrung in der Betonfüllsäule zu schaffen.

Nach Abschluss der Erkundungsarbeiten wurde am Kopf der Entgasungsleitung ein Gasschieber eingebaut und auch die Protego-Haube zunächst wieder funktionstüchtig aufgesetzt.

5. Herstellung eines neuen Schachtzugangs mittels Bohrloch in der Füllsäule und Schachterkundung

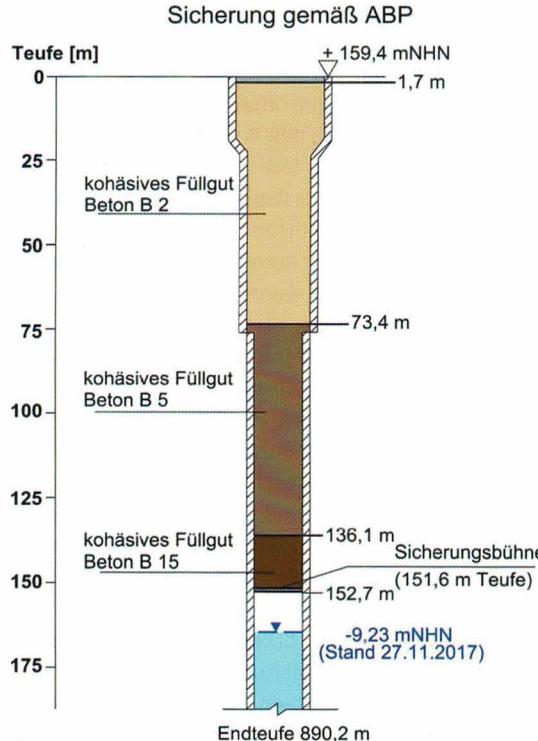
Für die Herstellung des neuen Bohrlochs im Schacht mussten zunächst eine neue Planung erstellt und ein entsprechender Hauptbetriebsplan aufgestellt und genehmigt werden. In diesem Zusammenhang war auch nachzuweisen, dass das Bohrloch die Standsicherheit der Betonfüllsäule nicht beeinträchtigt. Zielsetzung war die Anordnung der Bohrung im zentralen Fahrtrum.

Über den Aufbau der Betonfüllsäule lagen Angaben aus den Betriebsakten der EBV AG vor; weiterhin wurden Zeitzeugen zum Zustand des Schachtes bei der Verfüllung in 1992 befragt. Als problematisch wurde insbesondere das Durchbohren der Stahlsicherungsbühne angesehen, auf der die Betonfüllsäule ehemals aufgebaut wurde. Hier wurden gemäß den vorliegenden Betriebsakten Stahlträger bis zu 700 mm Höhe eingebaut.

Eine besondere planerische und technische Herausforderung lag in der räumlichen Abfolge Betonpropfen → gaserfüllter Bühnenbereich der 153-Meter-Sohle → Grubenwasser, die sich sowohl für die Bohrarbeiten als auch für den Einbau der Erdwärmesonde stellte. Ausgehend von dem für den Sondeneinbau benötigten freien Enddurchmesser, wurde ein Bohr- und Verrohrungsschema geplant und umgesetzt, das den Einbau einer dauerstandsichereren und gegen die Umgebung gasdichten Endverrohrung ermöglicht; die Endverrohrung reicht bis unter das Schachtwasserniveau.

Zur Herstellung des neuen Bohrlochs wurde zunächst ein Standrohr von 406 mm Durchmesser zementiert. Anschließend wurde die komplette Betonfüllsäule unter Einsatz eines stabilisierten Bohrstranges mittels Rollenmeißel mit einem Durchmesser von 375 mm bis rund 153 m Teufe durchteuft. Das Durchteufen

Bild 4: Situation Eduard-Schacht mit Aufbau des Betonfüllstopfens gemäß Betriebsakten (links) und gemäß Bohrergebnissen (rechts).

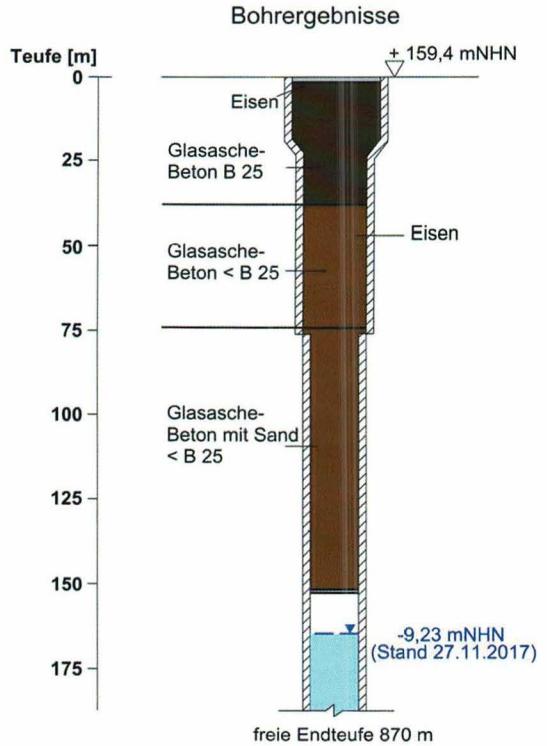


der Sicherungsbühne und des unterhalb angebrachten Gitterrostes (Arbeitsbühne) erfolgte dabei ohne Fräserarbeiten.

Im Rahmen der Bohrarbeiten wurden oberflächennah bis rund 3,5 m zunächst einige, massive Eisenteile angetroffen. Zur Entfernung dieser Bohrhindernisse mussten die Bohrarbeiten abgebrochen und zunächst eine offene Baugrube angelegt werden; die Eisenteile wurden mittels aufwändiger Meißelarbeiten entfernt. Zur Vorerkundung möglicher weiterer Bohrhindernisse und Festlegung des geeigneten Bohrwerkzeugs für die Betonfüllsäule wurde anschließend eine Kernbohrung bis rund 8 m abgeteuft und eine Probe auf einaxiale Druckfestigkeit untersucht. Die angetroffene Betonqualität war zunächst mit B25 deutlich höher als erwartet (Bild 4).

Die weiteren Bohrarbeiten erwiesen sich größtenteils als unproblematisch; lediglich im Teufenbereich um 42 m wurden weitere Eisenteile angetroffen, die aber ohne weitere Zusatzmaßnahmen durchteuft werden konnten. Bedingt durch die höhere Betonqualität ergab sich eine etwas längere Bohrdauer. In einigen Füllsäulenabschnitten mit größeren Glasaschenanteilen zeigten sich lokal erhebliche Spülverluste, die Bohrlochintegrität konnte jedoch aufrechterhalten werden. Das Durchfahren des Bereiches der Sicherungsbühne gelang, ohne auf einen Stahlträger zu treffen, so dass hier der einkalkulierte Zusatzaufwand eingespart werden konnte.

Nach Fertigstellung der Bohrung wurde in das Bohrloch eine Stahlverrohrung von 298 mm Durchmesser als Schutzverrohrung bis 5,5 m in das Grubenwasserniveau hinein eingebaut (Bild 5). An der Basis der Betonfüllsäule wurde um die Verrohrung ein Zementationsschirm bestehend aus einem vorher angeschweißten Stahlring und mehreren überlappenden Gummimanschetten eingebaut. Darauf



konnte dann der Ringraum zwischen Verrohrung und Bohrlochwand in mehreren Schritten im Kontraktorverfahren aufzementiert werden. An die Zementation wurden erhöhte Anforderungen gestellt, um erhöhte Wegsamkeiten für das aufsteigende Grubenwasser zwischen Verrohrung und Bohrlochwand dauerhaft ausschließen zu können. Mit der Zementation der unter das Schachtwasserniveau geführten Verrohrung wurde ein dauerhaft »gasdichter« Zugang von der Geländeoberfläche in das Grubenwasser hinein hergestellt. Insbesondere unter Arbeitssicherheitsaspekten (Explosionsschutz) hat diese bauliche Situation bedeutende Vorteile. Sie ermöglichte später den sicheren Einbau der Erdwärmesonde durch den gaserfüllten Bereich der 153-Meter-Sohle hindurch und auch die gefahrlose spätere Zementation der Sonde gegen die Schutzverrohrung.

Die Bohrarbeiten und der Einbau der Verrohrung erfolgten wiederum unter Aufsicht eines Brand- und Explosionschutzbeauftragten (DMT) auf der Grundlage eines Explosionsschutzplanes mit den schon oben beschriebenen Sicherheitsmaßnahmen (Gassperrtool, Sonderbewetterung, Vorhaltung Inertisierungseinrichtungen). Ab einer Bohrteufe von 146 m wurden kontinuierlich Gasmessungen im Bohrloch durchgeführt. Bei den Bohrarbeiten kam es mit dem Durchstoßen der Basis der Betonfüllsäule zu einem Eintrag von Luftsauerstoff in das Bohrloch, sodass ein zündfähiges Gasgemisch entstehen konnte; die Bohrarbeiten wurden unverzüglich unterbrochen. Nach erfolgreicher Inertisierung mit Stickstoff konnten die Arbeiten aber wieder aufgenommen werden. Der Einbau der Stahlverrohrung erfolgte dann ebenfalls unter kontinuierlicher Überwachung der Gaskonzentrationen, ohne dass hier weitere problematische Gasgehalte ermittelt wurden. Auch die weiteren Arbeiten in der Stahlverrohrung (Kamerabefahrung, Sondeneinbau) wurden trotz der Unterbindung der Gaszutritte durch die zementierte Schutzverrohrung jeweils nur nach Freimessung durch den Explosionsschutzbeauftragten durchgeführt.

Im Rahmen der Kamerainspektion wurde der Schacht bis zu einer freien Endteufe von 875 m befahren; der Pumpensumpf war teilweise mit Gesteinsschutt verfüllt. Dabei wurden im Schacht keine Einbauhindernisse angetroffen; lokal ragten Stahlseile bis an den Einbauquerschnitt heran.

Damit war der Schacht bis zur Endteufe für den Einbau der Erdwärmesonde vorbereitet.

6. Einbau der tiefen Erdwärmesonde

Als Erdwärmesonde wurde eine vorgefertigte, werksgeschweißte Doppel-U-Sonde DA 75 mit einer Einbaulänge von 860 m der Firma Frank eingebaut (Sondenmaterial: Polyethylen PE 100-RC nach PAS 1075, SDR 11; Bild 5). Mit den Sondenrohren wurde über die gesamte Einbaulänge ein umlaufendes Glasfaserkabel eingebaut, um die Temperaturentwicklung im Sondenbetrieb auf der Kaltseite und auf der Warmseite teufenabhängig erfassen zu können.

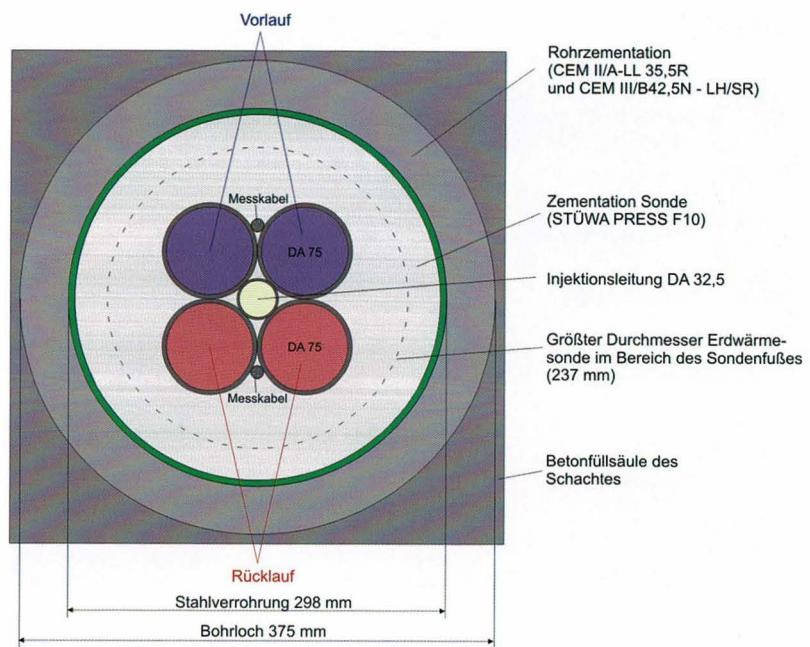


Bild 5 – oben: Schnittdiagramm durch die Doppel-U-Sonde DA 75 mit Ausbau des Bohrlochs im Niveau der Schachtfüllsäule.
Unten: Sondenfuß mit Gewicht und Schutzrohr für Fußventile beim Einbau.

Das Sondenmaterial wurde auf zwei Haspeln angeliefert. Für den Einbau musste eine ausreichend verstärkte Sonderkonstruktion mit Bremsseileinrichtungen am Schacht eingerichtet werden (Bild 6). Die Überwindung der Leerteufe bis zum Schachtwasserniveau bei ca. 175 m stellte besondere Anforderungen an die Einbaustrategie. Bei den Überlegungen zum Sondeneinbau waren insbesondere folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- ▶ Auftrieb der leeren Sonde im Grubenwasserniveau
 - ▶ Gewicht der Sonde bei Einbau einer wassergefüllten Sonde
 - ▶ Zugfestigkeit des Sondenmaterials beim Einbau bis zum Grubenwasserniveau (rund 170 m unter GOK)
- Der Einbau eines leeren, luftgefüllten Sondenbündels unterhalb des Schachtwasserniveaus ist wegen des

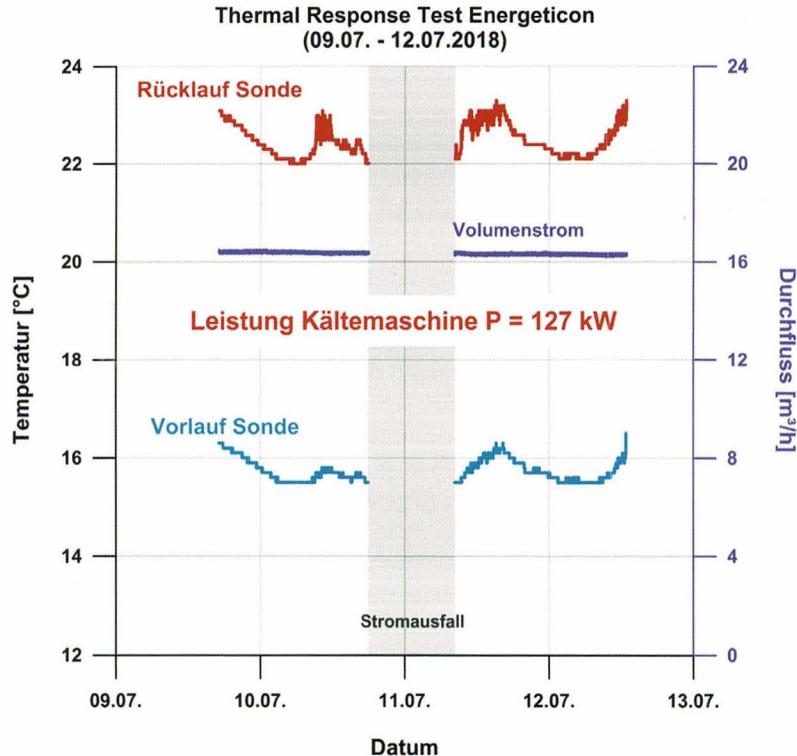


Bild 6: Übersichtsaufnahme der Bau sohle beim Sonden einbau.

mit der Eintauchtiefe zunehmenden Auftriebs nicht möglich. Um den Auftrieb zu überwinden, muss die Sonde während des Einbaus mit einer Wasserfüllung mindestens bis auf Schachtwasserspiegelniveau befüllt sein. Jedoch ist eine sukzessive Befüllung der Sonde beim Einbau im Grubenwasserniveau bei aufgerolltem Sondenbündel nicht möglich. Der zunächst vorgesehene Einbau einer vollständig gefüllten Sonde musste aufgrund von Problemen bei der Beherrschung der Lasten im Bereich der Haspelkonstruktion am Schachtkopf ebenfalls verworfen werden.

Als technische Lösung wurden schließlich in den Sondenfuß je zwei Präzisions-Rückschlagventile in die kalte und die warme Sondenseite verbaut. Diese gewährleisten während des Einbaus eine kontinuierliche Befüllung der Sondenrohre mit Grubenwasser bis auf Schachtwasserniveau; im später voll bis zu

Bild 7: Thermal Response Test Erdwärmesonde Eduard-Schacht – Phase 2.



Tage gefüllten Rohr (Betriebszustand) sind die Ventile durch den hydrostatischen Überdruck gegenüber dem Schachtwasserspiegel dicht geschlossen. Der Sondenfuß wurde für den Einbau mit einem Gewicht von 300 kg beschwert.

Nach dem vollständigen Einbau wurde die Sonde bis zur Geländeoberfläche mit Leitungswasser aufgefüllt; mit einem Drucktest wurde belegt, dass die Fußventile sicher verschlossen sind.

Im Anschluss an den erfolgreichen Drucktest wurde die Sonde im Bereich des Schachtfüllstopfens zwischen 165 m und 4 m Tiefe einzementiert. Unterhalb hängt die Sonde im offenen Schachtquerschnitt frei im Grubenwasser. Wegen des nach unten zum Schacht hin offenen Ringraumquerschnittes wurden spezielle Zementationsverfahren notwendig. Zunächst wurde mit einem zementierten Gewebepacker ein Widerlager für die oberhalb einzubringende Zementsuspension aufgebaut. Anschließend wurde der Ringraum in mehreren Stufen sukzessive im Kontraktorverfahren aufzementiert. Im Rahmen der Zementation der Sonde wurde das Wasser in der Sonde im Umlauf gepumpt, um die bei der Aushärtung des Zementes entstehende Hydratationswärme abzuführen.

7. Ergebnisse Thermal Response Test

Zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Erdwärmesonde wurde im Juli 2018 durch die Firma Daldrup & Söhne AG über acht Tage ein zweistufiger Thermal Response Test (TRT) mit einer Kältemaschine vom Typ Carrier (Leistungsbereich 80–160 kW) ausgeführt. Während des Versuchs wurden Vor- und Rücklauf-Temperatur mittels Messsensoren vom Typ PT 100 aufgezeichnet; die Sensoren wurden mittels Einschiebehülsen im Vor- und Rücklauf positioniert.

Zusätzlich wurde durch das E.ON Energy Research Center der RWTH Aachen über das an der Sonde befestigte Glasfaserkabel die Temperaturrentwicklung während des Thermal Response Testes kontinuierlich erfasst. Die Daten werden zusammen mit weiteren Daten aus der nachfolgenden Betriebsphase im Rahmen einer Dissertation an der RWTH Aachen im Detail ausgewertet.

In der ersten Testphase stellte sich bei einem Volumenstrom von rund 16 m³/h und einer Kälteleistung von rund 127 kW eine mittlere Spreizung um 7 K ein. In der zweiten Phase wurde mit gleichem Volumenstrom und einer Kälteleistung von rund 163 kW eine Spreizung von rund 9 K festgestellt (Sondenvorlauf: ≈13,4 °C, Sondenrücklauf: ≈22,2 °C; Bild 7). Das Heizleistungspotenzial der Sonde kann so mit deutlich >100 kW abgeschätzt werden.

Mit dem Thermal Response Test konnte gezeigt werden, dass die Leistungsfähigkeit der Erdwärmesonde im Eduard-Schacht deutlich größer ist, als die aktuell benötigte Heizleistung (100 kW) und die Erdwärmesonde die Anforderungen der Heizanlage des Energeticon-Museums somit erfüllt. Das zusätzliche Potential kann ggf. für eine spätere Erweiterung der Anlage genutzt werden.

8. Anschluss an Heizungsanlage

Die Heizungsanlage des Energeticon wird derzeit mit einem Brennwertgaskessel mit 400 kW Leistung betrieben. Das Heizungssystem ist auf eine Temperatur von 70 °C Vorlauf und 50 °C Rücklauf ausgelegt. Bei der hydraulischen Konzeption des Systems sowie bei der Planung der Gebäudeleittechnik wurde bereits berücksichtigt, dass zum späteren Zeitpunkt eine Wärmepumpe eingebunden werden soll (bivalentes Heizungssystem).

Die Erdwärmesonde wurde über unterirdische Zuleitungen mit der Heizzentrale verbunden (Entfernung rund 200 m). Am Sondenkopf wurde dazu im Niveau der Geländeoberfläche ein kubisches Abschlussbauwerk in Beton-Fertigbauweise errichtet. Nach Fertigstellung des Leitungssystems wurde das nach dem TRT in der Sonde vorhandene Mischwasser entsprechend den Anforderungen der Wärmepumpe durch entmineralisiertes Wasser ausgetauscht.

In der Heizzentrale bestehen die Anlagenteile der Erdwärmeanlage aus einem Pufferspeicher (4 m³), der Wärmepumpe sowie der zugehörigen Steuerung (Bild 8).

Bei der Wärmepumpe handelt es sich um eine zweistufige Hochtemperatur-Sole-Wasser-Wärmepumpe zum Heizen und Kühlen vom Typ Vitocal 350-G Pro Spezial der Firma Viessmann. Die wesentlichen Kenndaten der Wärmepumpe sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Die Erdwärmesonde soll so eine Heizarbeit von 200 MWh/a erbringen und dadurch für die Grundlastdeckung sorgen.

Hersteller	Viessmann Deutschland GmbH
Typ	Vitocal 350-G Pro Spezial
Heizleistung	99 kW
Heizwasserdurchsatz	12,4 m ³ /h
Elektrische Leistungsaufnahme	28 kW
Leistungszahl	Min. 3,54
Grenztemperatur	22 °C
Heiztemperatur	35–73°C
Spreizung	5 K

Tabelle 1: Wesentliche Kenndaten zur Wärmepumpe.

9. Fazit und Ausblick

Mit dem Projekt *GrEEN* wurde erstmals eine tiefe Erdwärmesonde von 860 m Länge frei hängend in einen mit Grubenwasser erfüllten Schacht eines stillgelegten Steinkohlenbergwerks eingebaut.

Die Aufwältigung des teilverfüllten Schachtes, die Bewältigung der Grubengaszutritte und die technische Realisierung des Einbaus der Sonde waren besondere technische Herausforderungen bei der Realisierung des Projektes. Dies bedingte auch eine kontinuierliche Optimierung von Planung, Ausführung und technischer Ausrüstung im Verlauf der Projektabwicklung. Die erfolgreiche Umsetzung des Projektes war daher nur durch die enge Kooperation von Auftraggeber (Energeticon gGmbH), Genehmigungsbehörde (Bezirksregierung Arnsberg), Bergwerkseigentümer (EBV GmbH), Planern und ausführenden Firmen möglich.

Der erste Anlagentest (Thermal Response Test) wurde erfolgreich abgeschlossen. Danach kann davon ausgegangen werden, dass die erforderliche Heizleis-

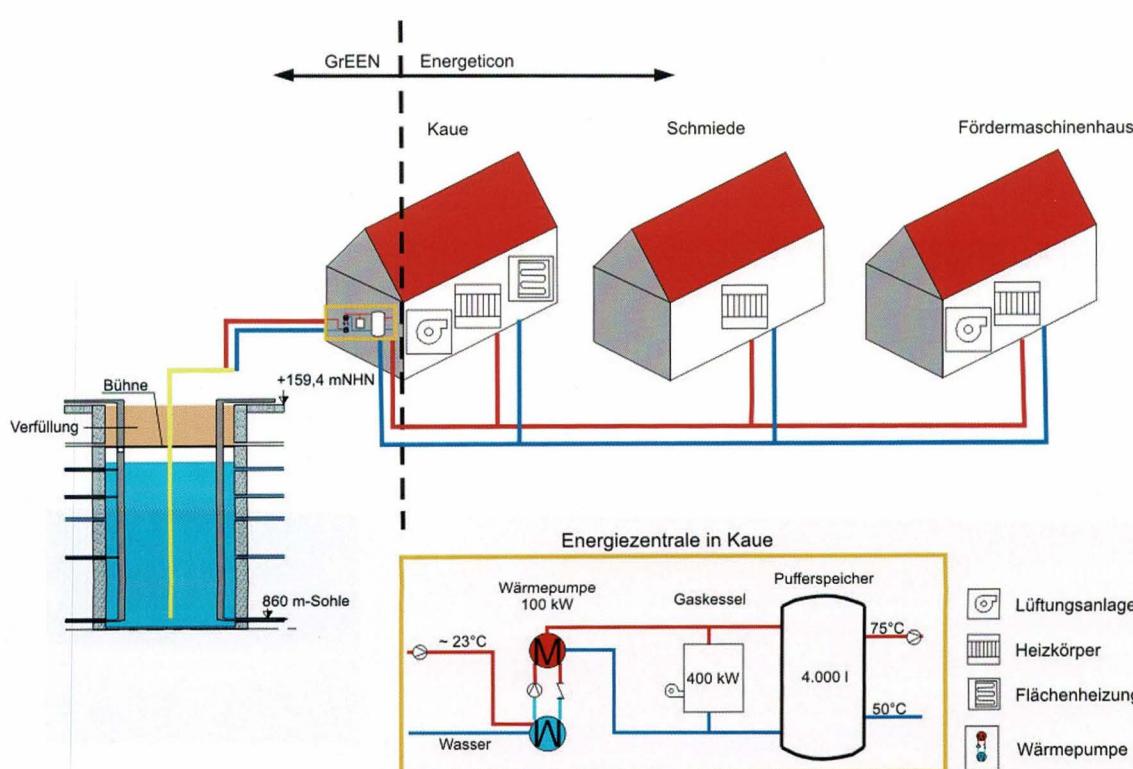


Bild 8: Schemaskizze zur Konzeption des Heizsystems.

tung von 100 kW zur Beheizung der Museumsgebäude erbracht wird. Es wird davon ausgegangen werden, dass die Leistungsfähigkeit der Sonde deutlich höher ist.

Im September 2018 begann der Probebetrieb. Mit dem Probebetrieb und der weiteren wissenschaftlichen Begleitung des Betriebs soll auch das besondere Potenzial einer solchen vom Grubenwasser umströmten Erdwärmesonde gezeigt werden.

Mit dem vorliegenden Projekt konnte gezeigt werden, wie ein stillgelegter, mit Grubenwasser gefüllter Schacht für die Erdwärmegewinnung genutzt werden kann. Es wurde wichtiges Know-How erworben, das für die erfolgreiche Realisierung solcher Projekte auch in anderen Stilllegungsbereichen des Bergbaus von Bedeutung ist.

Quellennachweis

1. 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 6/2005, S. 14–17, 4 Abb.; Berlin.
2. 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*. In: Zeitschrift Glückauf, Heft 10/2006, S. 432–438, 7 Abb.; Essen.
3. SCHETELIG, K.; HEITFELD, M.; MAINZ, M.; HOFMANN, T.; ESSERS, M. (2008): *Geothermie aus Grubenwasser – regenerative Energie aus stillgelegten Steinkohlebergwerken*. 13. Internationales Wasserbau-Symposium (IWASA), S. L1–L21, 8 Abb., 1 Tab.; Aachen.
4. ROSNER, P.; ESSERS, 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.

5. ROSNER, P.; ESSERS, M.; HEITFELD, M.; RICHTER, H.; STRAUCH, P. (2010): *Technische Rahmenbedingungen und Fördermöglichkeiten zur Realisierung einer Erdwärmennutzung durch Kommunen in stillgelegten Bergwerken des Aachener Reviers*. 12. Aachener Altlasten- und Bergschadkundliches Kolloquium, S. 79–92, 5 Abb.; Aachen.

Anschriften der Autoren

- Dr. Peter Rosner
- Dr.-Ing. Michael Heitfeld
Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH
Jean-Bremen-Straße 1–3
52080 Aachen
E-Mail: info@ihs-online.de

Dipl.-Geol. Peter Maasewerd
Daldrup & Söhne AG
Postfach 105
59387 Ascheberg
E-Mail: p.maasewerd@daldrup.eu

Dr. Thomas Mathews
Sachverständigenbüro Dipl.-Geol. Dr. Thomas Mathews
Jean-Bremen-Straße 1–3
52080 Aachen
E-Mail: info@sv-mathews.de

Dipl.-Ing. Harald Richter
Geranienweg 22
52477 Alsdorf
E-Mail: harichter@yahoo.de



Tagungsbände 1 und 2 XV. Internationaler ISM-Kongress 2013

1328 Seiten · 150 Fachbeiträge
30 € einschließlich Versand

Bestelladresse:

Deutscher Markscheider-Verein e. V. · Geschäftsstelle
Telefon +49 5171 43-1335 · Telefax +49 5171 43-5280
E-Mail geschaefsstelle@dmv-ev.de

