

GrubenwasserEnergie für das ENERGETICON (GrEEn) - Erste Betriebserfahrungen und Zwischenergebnisse eines Forschungsvorhabens -

Michael Heitfeld, und Thomas König

Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH, ENERGETICON gGmbH

Keywords: Grubenwasserenergie, Erdwärmesonde

Zusammenfassung

In den Eduard-Schacht wurde im Jahre 2018 eine Erdwärmesonde bis 860 m Teufe eingebaut. Da zusätzlich zu der Erdwärmesonde auch ein Glasfaserkabel in Schleife eingebaut wurde, können während des Betriebes umfangreiche Temperaturdaten (DTS-Daten) teufengerecht generiert werden. Die Erdwärmesonde wurde mit der Heizperiode 2018/2019 in Betrieb genommen. Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Untersuchungen zur Quantifizierung der thermischen und hydrodynamischen Vorgänge bei der Nutzung des Erdwärmepotenzials von gefluteten Bergbauschächten am Beispiel des Eduard-Schachtes in Alsdorf“ wurden in einer ersten Phase die Betriebsdaten der Heizperiode 2018/2019 ausgewertet; weiterhin ist Anfang 2021 der Einbau eines Hybridkabels in die Pegelleitung und die Durchführung eines Strömungsversuches vorgesehen. Ziel der Untersuchungen ist es, das vorhandene Potenzial von offenen Schächten und die Möglichkeit einer nachhaltigen Nutzung des Potenzials aufzuzeigen.

1. Veranlassung

Die ENERGETICON gGmbH, Alsdorf betreibt seit der Heizperiode 2018/2019 eine Erdwärmesonde zur Beheizung des Ausstellungsgeländes.

Im Jahre 2019 wurde die ENERGETICON gGmbH von der Stiftung Forum Bergbau und Wasser mit dem Forschungsvorhaben „Untersuchungen zur Quantifizierung der thermischen und hydrodynamischen Vorgänge bei der Nutzung des Erdwärmepotenzials von gefluteten Bergbauschächten am Beispiel des Eduard-Schachtes in Alsdorf“ beauftragt.

Die Projektbearbeitung erfolgt durch folgendes Projektteam:

- Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH, Aachen;
- RWTH Aachen, Institut für Applied Geophysics and Geothermal Energy (GGE), Aachen;
- Geophysica Beratungsgesellschaft mbH, Aachen
- Sachverständigenbüro Dipl.-Geol. Dr. Thomas Mathews, Aachen.

Die Projektlaufzeit wurde coronabedingt bis zum 31.10.2021 verlängert. Über die Zwischenergebnisse wird berichtet.

2. Ausgangssituation

Im Jahre 2018 wurde in den Eduard-Schacht eine Doppel-U-Sonde DA 75 mit 860 m Länge eingebaut. Zusätzlich wurde mit der Erdwärmesonde ein Glasfaserkabel umlaufend auf der Kalt- und Warmseite der Sonde eingebaut (s. Abb. 1). Das Glasfaserkabel erlaubt eine faseroptische Temperaturmessung, sodass für jede Tiefe im Schacht die jeweilige Temperatur ermittelt werden kann.

Die Erdwärmesonde ist vor der Heizperiode 2018/2019 in Betrieb genommen worden; seitdem werden folgende Betriebsdaten von der ENERGETICON gGmbH erfasst:

- Betriebszeiten Wärmepumpe;
- Volumenströme Wärmepumpe (Solekreislauf, Heizkreislauf);
- Vor- und Rücklauf Temperatur Erdwärmesonde;
- Stromverbrauch Wärmepumpe;
- Wärmemengen.

Zusätzlich werden von der RWTH Aachen im Rahmen einer Promotionsarbeit faseroptische Temperaturmessungen durchgeführt.

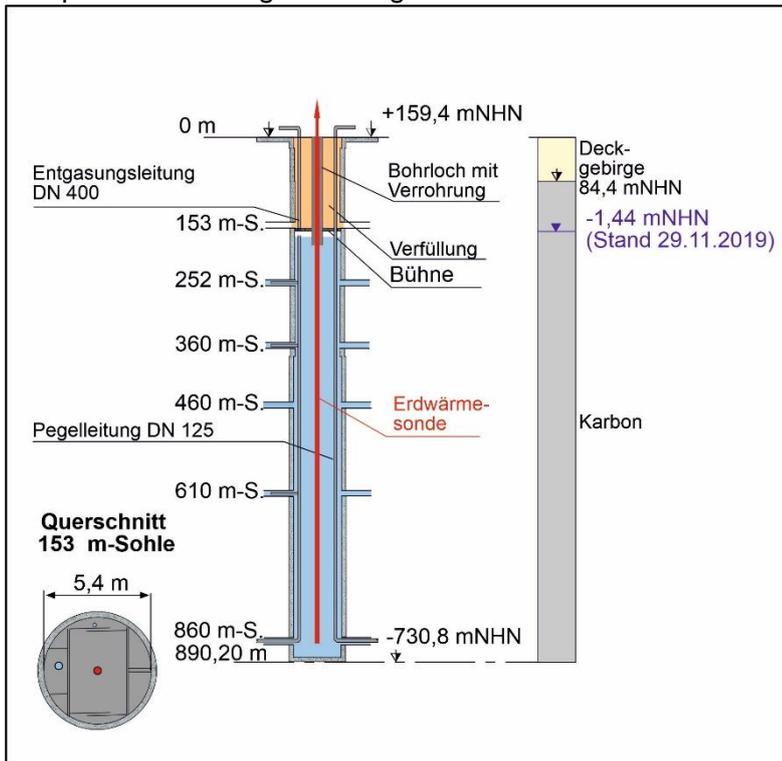


Abb. 1: Schnitt durch den Eduard-Schacht

Aufgrund der aktuellen Einschränkungen in der Covid-19-Pandemie ist das ENERGETICON zeitweise geschlossen worden; die Wärmepumpe wurde dementsprechend am 16.03.2020 außer Betrieb genommen und erst am 01.12.2020 wieder in Betrieb gesetzt.

3. Zielsetzung des Forschungsvorhabens

Für eine nachhaltige Nutzung des in einem grubenwassererfüllten Bergbauschacht verfügbaren Erdwärmepotenzials fehlen aktuell noch konkrete Erkenntnisse über die Auswirkungen des Wärmeentzugs auf die thermischen und hydrodynamischen Vorgänge in der genutzten Wassersäule sowie mögliche Einwirkungen auf die Grubenwasserqualität.

Das Forschungsvorhaben „Untersuchungen zur Quantifizierung der thermischen und hydrodynamischen Vorgänge bei der Nutzung des Erdwärmepotenzials von gefluteten Bergbauschächten am Beispiel des Eduard-Schachtes in Alsdorf“ soll hierzu ergänzende Erkenntnisse liefern. In diesem Zusammenhang sind folgende Arbeitsschritte vorgesehen:

- Auswertung der Betriebsdaten;
- Einbau eines weiteren Glasfaserkabels in die Pegelleitung;
- Durchführung eines Strömungsversuches;
- Modellrechnungen zur Erfassung des thermischen Systems und der Strömungsverhältnisse in einem offenen Schacht.

Auf einzelne Zwischenergebnisse wird nachfolgend eingegangen.

4. Zwischenergebnisse des Forschungsvorhabens

4.1 Auswertung der Betriebsdaten

Für die Auswertung der Betriebsdaten stehen Messergebnisse seit 11.2018 zur Verfügung. Die Auswertung erfolgt von der Geophysica Beratungsgesellschaft mbH. Nachfolgend sind exemplarisch einige Zwischenergebnisse dargestellt:

a) Temperaturänderung nach Betriebsunterbrechung

Im Zeitraum vom 08.03.2019 bis 15.03.2019 lag eine Betriebsunterbrechung der Wärmepumpe für einen Zeitraum von rd. 1 Woche vor. Die in diesem Zeitraum erfassten Temperaturmessungen (DTS-Temperaturen: Distributed Temperature Sensing) geben einen Hinweis, in welcher Zeitspanne die ursprünglichen Temperaturen wieder erreicht werden, d.h. in welchem Zeitraum sich das Wärmepotenzial im Schacht regeneriert.

Die Auswertung der Daten zeigt, dass bereits nach einer Betriebsunterbrechung von etwa 1 Woche die Ausgangstemperatur vor Inbetriebnahme der Wärmepumpe wieder erreicht wurde. Der Wiederanstieg der DTS-Temperaturen ist über die gesamte Schachtteufe sehr gleichmäßig und beträgt nach rd. 1 Woche Betriebsunterbrechung ca. 1°C.

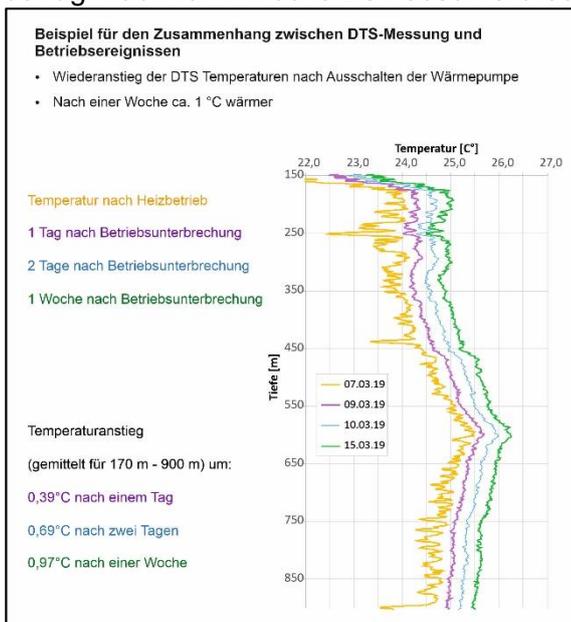


Abb. 2: Zusammenhang zwischen faseroptischen Temperaturmessungen (DTS-Messungen) und Betriebsereignissen

b) Monitoring Standwasserniveau

Das von der Bergbehörde festgelegte Monitoring des Grubenwasseranstiegs im Aachener Revier umfasst u.a. auch eine Messung des Standwasserniveaus in der Pegelleitung des Eduard-Schachtes. Da die Pegelleitung im Eduard-Schacht im Rahmen des Forschungsvorhabens mit einem zusätzlichen Glasfaserkabel bzw. Hybridkabel ausgerüstet werden soll, steht die Pegelleitung für das bergbehördlich festgelegte Monitoring nicht mehr zur Verfügung. Es sollte daher im Vorfeld überprüft werden, ob aus den faseroptischen Temperaturmessungen Hinweise auf den Verlauf des Grubenwasseranstiegs gewonnen werden können.

In diesem Zusammenhang wurden die Ergebnisse der DTS-Messungen zwischen dem 12.02.2019 und 18.10.2019 im Teufenbereich zwischen 140 und 180 m u GOK ausgewertet (s. Abb. 3).

Die Darstellung in Abb. 3 zeigt, dass der Grubenwasseranstieg im Schacht durch das Glasfaserkabel überwacht werden kann. Das Standwasserniveau ist durch einen deutlichen Temperatursprung gut erkennbar. Für den o.a. Zeitraum ergibt sich ein Anstieg des Standwasserniveaus von rd. 2,4 m; dies entspricht einer Anstiegsgeschwindigkeit von 0,29 m/Monat.

Im Rahmen des bergbehördlich festgelegten Monitorings werden in der Pegelleitung Lichtlotmessungen durchgeführt. Für einen vergleichbaren Zeitraum (15.03. bis 29.11.2019) ergibt sich eine Anstiegsgeschwindigkeit von 0,31 m/Monat.

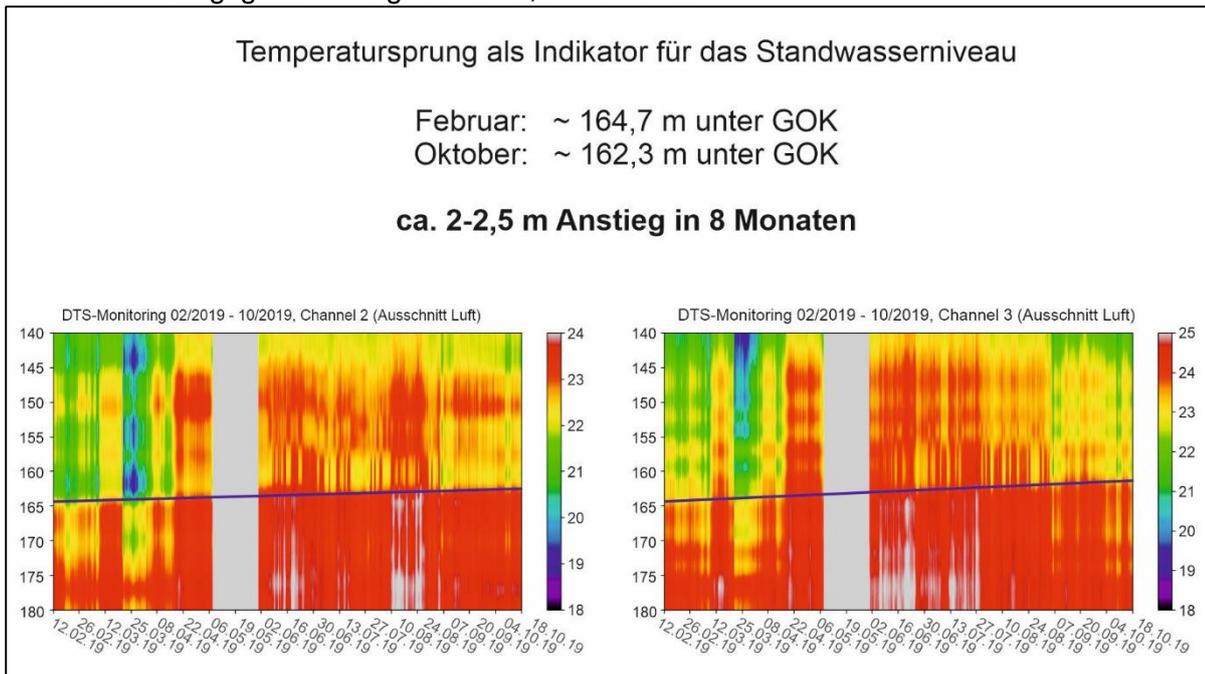


Abb. 3: Temperatur als Indikator für das Standwasserniveau

Die faseroptischen Temperaturmessungen können somit auch für das Monitoring des Standwasserniveaus genutzt werden.

4.2 Einbau von weiteren Glasfaserkabeln

Ursprünglich war vorgesehen, weitere Glasfaserkabel in die Entgasungsleitung und in die Pegelleitung einzubauen. Der Einbau der Glasfaserkabel in die beiden Leitungen wurde im Detail durchgeplant. Die Planung hat gezeigt, dass die Risiken für einen erfolgreichen Einbau eines Glasfaserkabels in die Entgasungsleitung zu groß sind. Insbesondere ergeben sich hier folgende Schwierigkeiten:

- Die Entgasungsleitung ist in rd. 153 m Teufe auf einer Länge von 5,0 m unterbrochen. Der tiefere Teil der Entgasungsleitung ist mit einem Y-Flansch verschlossen. Der Einbau eines Glasfaserkabels hätte somit ab 153 m Teufe in den offenen Schacht erfolgen müssen. Nach Auswertung der Betriebsakte war es wahrscheinlich, dass verschiedene Einbauten, Rohre etc. im Schacht verblieben sind, die ein Einbauhindernis dargestellt hätten.
- Der Schacht ist gasführend. Für den Einbau eines Glasfaserkabels in die Entgasungsleitung hätten zunächst die Protego-Haube abgebaut und Gasmessungen ausgeführt werden müssen.
- Da die Protego-Haube nach Einbau des Glasfaserkabels wieder hätte aufgebaut werden müssen, wäre eine spezielle gasdichte Führung des Glasfaserkabels aus der Entgasungsleitung erforderlich gewesen.

Nach Wertung aller Gesichtspunkte wurde festgelegt, dass auf den Einbau eines Glasfaserkabels in die Entgasungsleitung verzichtet wird; stattdessen soll ein Hybridkabel in die Pegelleitung eingebaut werden. Das Hybridkabel besteht aus einer Kupferleitung und mehreren Glasfaserleitungen und hat den Vorteil, dass zusätzliche Wärmeimpulse über die Kupferleitung aufgegeben werden können. Das Hybridkabel soll im Januar 2021 in die Pegelleitung eingebaut werden.

4.3 Durchführung eines Strömungsversuches

Nach Einbau des Hybridkabels wird in der Pegelleitung ein Strömungsversuch ausgeführt; dabei ist folgende Konzeption vorgesehen:

Über die Kupferleitung des Hybridkabels werden (ähnlich einem Thermal-Response-Test) Wärmeimpulse in die Wassersäule gesetzt und die Verteilung der Wärme mittels Glasfaserkabel erfasst. Aus der gemessenen Wärmeverteilung können Rückschlüsse auf vertikale Strömungsvorgänge in der Pegelleitung getroffen werden. Die Ergebnisse werden dann für weitergehende Modellrechnungen (numerische Simulationen) genutzt.

4.4 Modellrechnungen

Um die Interaktion der Sonde als Wärmetauscher mit dem Gesamtsystem des Schachtes und seiner Umgebung zu verstehen, werden numerische Simulationen durchgeführt. Die Modellrechnungen wurden u.a. von der Geophisica Beratungsgesellschaft ausgeführt. Zur Berechnung wurde das Programme SHEMAT-Suite verwendet, welches auf Basis finiter Differenzen die gekoppelte Simulation von Wärme- und Fluidtransport im Untergrund erlaubt. Über ein Zusatzmodul kann zudem die explizite Berechnung von Erdwärmesonden durchgeführt werden. Zur Modellierung wurde ein numerisches 3D-Modell erstellt, das den offenen Schacht sowie die unmittelbare Umgebung in einem 100 m x 100 m x 1500 m großem Modell vereinfacht abbildet. Der Modellaufbau ist in Abb. 4 dargestellt. Das Modell umfasst vier Gesteinseinheiten sowie den offenen Schacht und sechs Sohlenabgänge. Der Schacht weist eine Tiefe von 870 m und eine Seitenlänge von 5,8 m auf. Die Sohlen reichen jeweils als 5,8 m breite und vier Meter hohe Einheiten bis an den Modellrand.

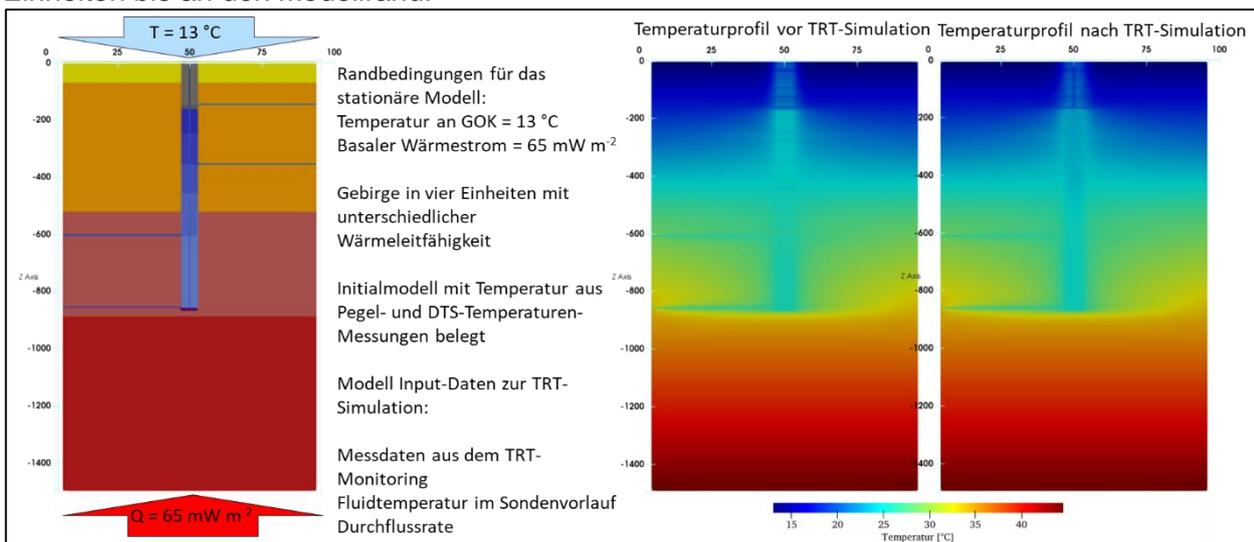


Abb. 4: Modellaufbau des Eduard-Schacht (West-Ost-Profil) und Temperaturprofil vor und nach Simulation des Thermal-Response-Test (TRT)

Zur Simulation der Temperaturbedingungen im Schacht wurde versucht, die Temperaturgeschichte, die mit der Bergwerkstätigkeit und dem anschließenden Wiederanstieg des Grubenwassers

einhergehend, in vereinfachter Form nachzubilden. Hierzu wurde das Untergrundmodell mehrfach modifiziert und schrittweise Berechnungen für die verschiedenen Phasen durchgeführt.

1. Natürliches ungestörtes Temperaturfeld vor Bergbauaktivität
2. Einfluss der Bewetterung über 30 Jahre Bergbau
3. Einfluss des Grubenwasserwiederanstieges nach Bergwerksschließung
4. Anpassung der Schachttemperaturen an das aktuelle Temperaturprofil
5. Nachsimulation des TRT

Im ersten Schritt wurde das ungestörte Temperaturprofil vor Inbetriebnahme des Bergwerks als stationäres Modell mit folgenden Randbedingungen berechnet:

- konstante Temperatur an der Geländeoberfläche von 13 °C
- konstanter basaler Wärmestrom von 65 mW/m²
- vier Gesteinseinheiten mit einer Wärmeleitfähigkeit zwischen 2 und 4 W/m K

Das Ergebnis dieses stationären Modells bildet das Initialmodell für den nächsten Berechnungsschritt, in dem die ca. 30 Jahre dauernde Bergwerkstätigkeit berücksichtigt wurde. Hier wurde angenommen, dass das Bergwerk (Schacht und Strecken wie im Modell abgebildet) und das umliegende Gebirge über 30 Jahre durch die Bewetterung ausgekühlt wurden. Für die Zeit zwischen 1964 und 1994 wurde im Bereich des Schachts eine Temperatur von 16 °C an der Geländeoberfläche sowie eine maximale Temperatur von 28 °C in 870 m Tiefe angenommen, um die Bewetterung des Bergwerks in vereinfachter Weise transient nachzubilden.

Nach Einstellung der Bergbautätigkeit wurde 1994 auch die Wasserhaltung eingestellt und der Temperatureinfluss des Wiederanstieges des Grubenwassers in weiteren Modellrechnungen transient nachgebildet. Für die Zeit nach Einstellung der Wasserhaltung liegen Temperatur- und Wasserstandsmessungen aus den Jahren 1996, 2003 und 2011 vor. Anhand dieser Messdaten wurde der Zeitraum zwischen 1994 und 2018 in jährlichen Schritten berechnet. Hierbei wurde in vereinfachender Weise für die jährlichen Simulationsschritte der Wasserstand mit zugehörigem Temperaturprofil für die dann gefluteten Schacht- und Sohlzellen als Randbedingung festgelegt. In einem nächsten Schritt wurde der Temperaturzustand im Schacht und seiner direkten Umgebung möglichst genau an die aktuellen in-Situ Temperaturen angepasst. Dazu wurden die initialen DTS-Monitoring-Daten als Randbedingung für den gesamten Schacht festgelegt und weitere 30 Tage transient berechnet.

Das Ergebnis dieser vorbereitenden Simulationsrechnungen ist somit eine Temperaturrekonstruktion für den betrachteten Modellraum. Das Ergebnis ist in Abb. 4 dargestellt. Hier wird deutlich, dass das Grubengebäude eine Störung des natürlichen Temperaturfeldes darstellt und diese historische Aufprägung bei der Nachsimulation einer geothermischen Nutzung berücksichtigt werden muss.

Im letzten Schritt erfolgte die explizite transiente Berechnung des rund acht Tage andauernden TRTs. Hierzu wurde für den gefluteten Bereich im Schacht und den offenen Strecken (Sohlen) eine stark erhöhte Wärmeleitfähigkeit angenommen, um den Kontakt der Sonde mit umgebenden Grubenwasser konduktiv nachzubilden. Diese erhöhte, effektive Wärmeleitfähigkeit wird in den Simulationsrechnungen als äquivalent zum Einfluss advektiven Wärmetransports bei freier Wasserströmung betrachtet.

Der TRT selbst bestand aus zwei Phasen. Die erste Phase erfolgte mit einer Sondenvorlauftemperatur von 15,5 °C, die zweite Phase mit 12,7 °C. Dabei wurde bei einem Volumenstrom von rund 16 m³/h eine Leistung von rund 130 kW in der ersten und rund 160 kW in der zweiten Phase entzogen. In Abbildung 4 wird der Einfluss des TRT auf die Sondenumgebung deutlich; hier zeigt sich im Temperaturfeld nach TRT eine leichte Abkühlung des Schachtvolumens bis ca. 600 m.

In Abb. 5 ist das Ergebnis der Simulation dem durch das DTS-Monitoring aufgezeichnete Temperaturprofil am Ende des TRT gegenübergestellt. Insgesamt zeigt sich eine gute Übereinstimmung der Simulationsergebnisse mit den Messdaten des DTS-Monitorings. Im wassererfüllten Bereich des Schachtes wird der generelle Temperaturverlauf nachgezeichnet. Das

heißt, dass die Bedingungen im Schacht und seiner Umgebung durch das Modell reproduziert werden können. In weiterführenden Untersuchungen werden weitere Modelloptimierungen erfolgen, die auch Simulationen von einzelnen Betriebsereignissen und Abschätzungen der thermischen Kapazität des Schachtes beinhalten.

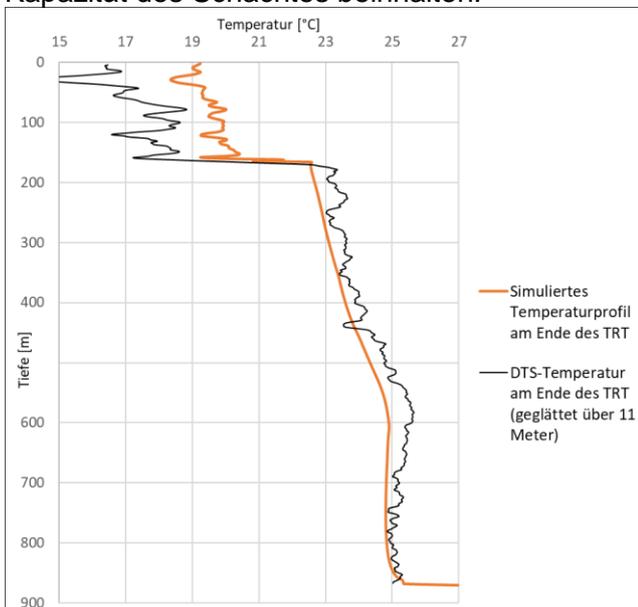


Abb. 5: Vergleich des simulierten mit dem durch das DTS-Monitoring gemessenen Temperaturprofils am Ende des Thermal-Response-Test 2018

5. Ausblick

In die Pegelleitung soll ein Hybridkabel eingebaut werden und ein Strömungsversuch ähnlich einem Thermal-Response-Test durchgeführt werden.

Diese Daten bilden die Basis für die Berechnungen von Fluid- und Wärmetransporten mit der Software SHEMAT-Suite. Es wird erwartet, dass mit den Simulationsrechnungen eine Prognose zum Langzeitbetrieb der Sonde im Eduard-Schacht erfolgen kann. Ziel ist es, das vorhandene Potenzial von offenen Schächten aufzuzeigen und die Möglichkeiten einer nachhaltigen Nutzung des Potenzials darzustellen.

Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH, Jean-Bremen-Straße 1-3. 52080 Aachen
info@ihs-online.de

ENERGETICON gGmbH, Konrad-Adenauer-Allee 7, 52477 Alsdorf
thomas.koenig@energeticon.de