

Mit Elektro-Impulsen zur Erdwärme

Matthias Voigt¹, Erik Anders¹, Steffen Großmann²

¹ TU Dresden, Institut für Fluidtechnik, Stiftungsprofessur für Baumaschinen, Münchner Platz 3, 01187 Dresden, Tel.: +49 351 463-33507, Fax: +49 351 463-37731, matthias.voigt1@tu-dresden.de, erik.anders@tu-dresden.de, <https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/ifd/bm>

² TU Dresden, Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik, Professur für Hochspannungs- und Hochstromtechnik, Mommsenstraße 10, 01069 Dresden, Tel.: +49 351 463-33428, Fax: +49 351 463-37157, steffen.grossmann@tu-dresden.de, <https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/ieeh/hh>

Kurzfassung: Die Geothermie stellt neben der Wasserkraft als regenerative Energiequelle grundlastfähige Energie zur Verfügung. Um diese neben der thermischen Verwertung auch für die Stromproduktion nutzbar zu machen, müssen Reservoire mit 200 °C und mehr erschlossen werden. In Deutschland gibt es nur wenige Gebiete, z. B. den Rheingraben, in denen oberflächennah ausreichend hohe Temperaturen vorhanden sind. Zumeist liegen diese Reservoire jedoch in 4500 bis 7000 m Tiefe. Bohrungen in diese Tiefen werden zudem durch das Vorhandensein von Hartgesteinen, wie z. B. Gneis und Granit, erschwert, wodurch der Verschleiß der Bohrwerkzeuge zunimmt und Bohrkosten und -zeit ansteigen.

Mithilfe des Elektro-Impuls-Verfahrens lassen sich Verschleiß und somit Bohrzeit und -kosten reduzieren. Ein Impulsspannungsgenerator erzeugt Hochspannungsimpulse, die einer Bohrelektrode zugeführt werden. Diese Impulse zerstören das Gestein an der Bohrlochsohle. Aufgrund dessen, dass die Bohrelektrode lediglich einen losen Kontakt zum Gestein besitzt, wird der Verschleiß minimiert. Zudem ist der Energiebedarf gegenüber konventionellen Bohrtechnologien verringert.

Auf Grundlage dieser Technologie wurde ein Prototyp entwickelt und realisiert. Dieser umfasst neben dem Impulsspannungsgenerator und der Bohrelektrode die Generation elektrischer Energie im Bohrloch. Somit kann der Bohrkopf in konventionelle Bohrsysteme integriert werden. Nach erfolgreichen Laborversuchen erfolgen Testbohrungen in-situ.

Keywords: Geothermie, Tiefe Geothermie, Hartgestein, Bohrkopf, Elektro-Impuls-Verfahren

1 Motivation

Klimawandel, Umweltverschmutzung und der Rückgang der fossilen Rohstoffreserven bewirken seit mehreren Jahren ein Umdenken in Energieerzeugung und Ressourcennutzung. Die Energiewende ist in vollem Gange. Erneuerbare Energien rücken immer mehr in den Fokus. 2016 wurden in Deutschland 29 % der gesamten Bruttostromerzeugung (648,4 TWh) durch regenerative Energiequellen abgedeckt (Bild 1 [1]). Den größten Anteil besitzen Windkraft, Biomasse, Photovoltaik und Wasserkraft. Durch Geothermie wurden 2016 lediglich 0,151 TWh (0,02 %) elektrische Energie erzeugt.

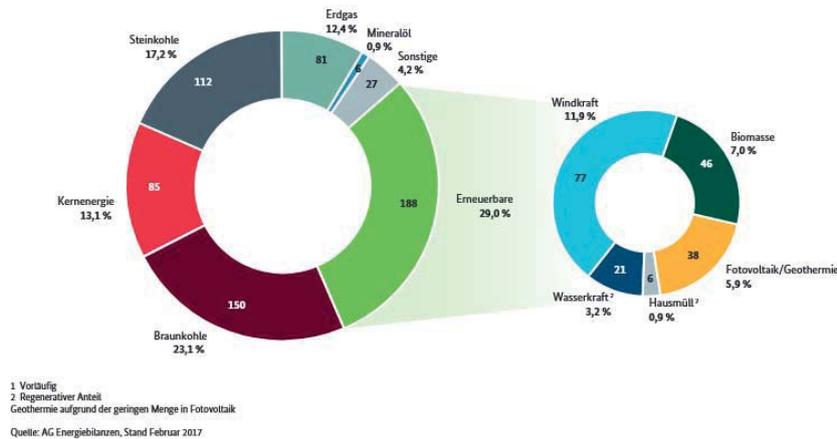


Bild 1: Bruttostromerzeugung in Deutschland 2016 in TWh [1]

Um die Energiewende zu meistern, müssen grundlastfähige erneuerbare Energiequellen erschlossen werden. Windkraftanlagen und Photovoltaikanlagen können ohne ausreichende Speichermöglichkeiten nur bedingt grundlastfähig arbeiten. Besser geeignet sind dafür Wasserkraft und Geothermie. Die Kapazitäten zur Erzeugung von Wasserkraft sind in Deutschland nahezu ausgeschöpft (installierte Leistung ca. 5,6 GW, 21 TWh). Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) sieht für die Geothermie in Deutschland ein gesamtes Potenzial von 300 TWh/a und ein technisch nutzbares Potenzial von 66 TWh/a durch KWK-Anlagen [2]. Davon werden derzeit nur rund 0,2 % genutzt. Ein Hauptgrund für den geringen Ausbau der Geothermie sind die hohen Investitionskosten von ca. 6,75 Mio. €/MW [2]. Etwa 70 % der Kosten entfallen allein auf die Bohrung [3]. Grundlastfähige Geothermiekraftwerke benötigen Temperaturen zwischen 150 und 200 °C. Diese Temperaturen herrschen bei einem durchschnittlichen Temperaturgradienten von 3 K pro 100 m in Tiefen von 4500 bis 7000 m. 95 % des geothermischen Potenzials entfallen auf kristalline Gesteine, 4 % auf Störungszonen und etwa 1 % auf Heißwasser-Aquifere [2]. Um den Anteil der geothermischen Stromerzeugung in Deutschland signifikant zu steigern, müssen folglich die Kosten für Geothermiebohrungen in Hartgestein in Tiefen bis etwa 5000 m entscheidend gesenkt werden.

Einen erheblichen Anteil an Kosten- und Zeitaufwand einer Hartgesteinsbohrung haben der mechanische Verschleiß des Bohrkopfs, welcher häufige Werkzeugwechsel mit sich zieht, sowie der geringe Bohrfortschritt in großen Tiefen.

Ziel des Elektro-Impuls-Verfahrens (EIV) ist es, den Verschleiß des Bohrkopfs zu minimieren und damit Kosten- und Zeitaufwand zu reduzieren.

2 EIV-Bohrkopf

Beim Elektro-Impuls-Verfahren (EIV) wird Gestein mithilfe von Hochspannungsimpulsen zerstört. Der Bohrkopf benötigt weder eine hohe Anpresskraft noch eine Rotation des Bohrstrangs, wodurch der mechanische Verschleiß deutlich reduziert wird. Zudem ist der spezifische Energiebedarf im Vergleich zu konventionellen Bohrtechnologien verringert. Mit dieser Technologie können Zeit- und Kostenaufwand reduziert werden.

2.1 Wirkprinzip

Das Elektro-Impuls-Verfahren beruht auf der Abhängigkeit der elektrischen Festigkeiten unterschiedlicher Materialien von der Dauer der elektrischen Beanspruchung. Für gleichmäßige Belastungen bzw. langsam ansteigende Impulse ist die elektrische Festigkeit von Feststoffen zwischen zwei Elektroden höher als die von Flüssigkeiten und diese wiederum größer als die von Gasen. Bei einer schnellen impulsförmigen elektrischen Belastung von Feststoffen und Flüssigkeiten kehrt sich dieses Verhältnis jedoch um (Bild 2).

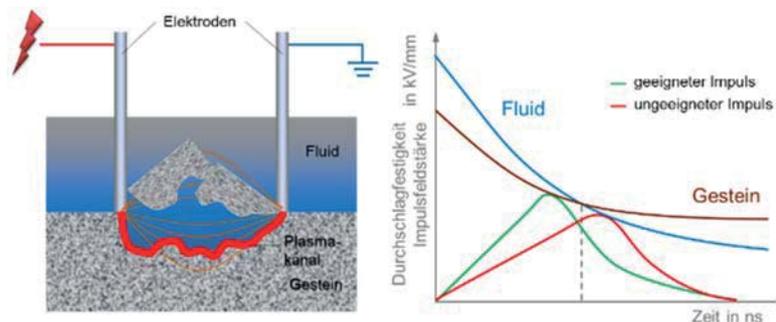


Bild 2: Wirkprinzip des Elektro-Impuls-Verfahrens

Der Hochspannungsimpuls an der einen Elektrode erzeugt einen Durchschlag durch das Gestein zur geerdeten Gegenelektrode, wodurch das Gestein zerstört wird. Langsam ansteigende Impulse hingegen erzeugen einen Durchschlag im Fluid, wodurch kein Gesteinsabtrag erfolgt. Zusätzlich muss eine elektrische Feldstärke erzeugt werden, welche die Durchschlagfestigkeit des Gesteins übersteigt. Das Ziel des Verfahrens ist demnach Impulse zu erzeugen, die eine Spannung von mindestens 300 kV innerhalb von etwa 100 ns erreichen.

2.1.1 Vorteile des Verfahrens

Beim Elektro-Impuls-Verfahren wird ein elektrischer Durchschlag innerhalb des Gesteinsgefüges erzeugt. Dadurch arbeitet das EIV im Gegensatz zu konventionellen Rotarybohrverfahren gegen die Zugfestigkeit des Gesteins, welche nur etwa 10 bis 20 % der Druckfestigkeit entspricht. Dadurch reduziert sich die benötigte Energie pro gelöstem Volumen signifikant. Die Bohrelektrode benötigt weiterhin lediglich Kontakt zur Bohrlochsohle. Es müssen daher lediglich die Reibverluste zwischen Bohrlochwand und Bohrgestänge überwunden werden. Zudem ist keine Rotation des Bohrstrangs nötig, da das Verfahren selbstregulierend ist: Die Durchschläge finden verfahrensbedingt immer dort statt, wo Gestein ansteht. An die Stelle des abgetragenen Gesteins fließt Bohrspülung, die für die Impulse elektrisch fester ist als das umgebende, noch nicht abgetragene Gestein. Damit wird weniger Kraft und Energie benötigt als bei konventionellen Bohrverfahren, wodurch bspw.

sowohl längere horizontale als auch tiefere Bohrungen erschlossen werden können. Durch die reduzierten Kräfte und Energien verringert sich der mechanische Verschleiß deutlich. Untersuchungen an den Einzelkomponenten haben gezeigt, dass Standzeiten von 350 h möglich sind. Dadurch entfallen unproduktive Stillstandszeiten und aufwändige Roundtrips in großen Tiefen. Die Bohrgeschwindigkeit liegt im Bereich von 1 bis 2 m/h in Hartgestein. Dies ist vergleichbar mit konventionellen Verfahren im Bereich ab 3000 m Tiefe.

2.2 Technische Umsetzung

2.2.1 Impulsspannungsgenerator

Zunächst wurden Vorversuche durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Gesteinsarten, u. a. Sandstein, Kalkstein und Granit, auf ihre Durchschlagfestigkeit hin untersucht. Auf Grundlage der ermittelten Parameter und der gewünschten Vortriebsleistung (ROP) wurden mithilfe von Modellen Berechnungen und Simulationen durchgeführt. Diese dienen zur Auslegung des Impulsspannungsgenerators. Der Generator befindet sich direkt hinter der Bohrelektrode. Er muss daher in das angestrebte 12 ¼“ Bohrloch passen. Des Weiteren muss er den Bedingungen in 5000 m Tiefe standhalten. Es wurde ein Impulsspannungsgenerator entwickelt, der auf 200 °C und 1000 bar ausgelegt ist (Bild 3).



Bild 3: Impulsspannungsgenerator

Der Generator ist aus zwölf Stufen aufgebaut. Jede Stufe besteht aus Kondensatoren, die mit 40 kV Gleichspannung parallel geladen werden. Über Funkenstrecken werden die geladenen Kondensatoren in Reihe geschaltet, wodurch am Ausgang des Impulsspannungsgenerators ein Impuls entsteht, der die aufsummierte Spannung aller zwölf Stufen aufweist. Er erzeugt Hochspannungsimpulse im Nanosekundenbereich mit einer Amplitude von über 500 kV und befindet sich in einem Druckbehälter, um ihn vor äußeren Einflüssen zu schützen.

Am Ausgang des Generators befindet sich die Bohrelektrode. Diese wurde so konzipiert, dass sie einen ganzflächigen Abtrag auf der Bohrlochsohle erzeugt.



Bild 4: Bohrelektrode

2.2.2 Energieversorgung

Der Impulsspannungsgenerator benötigt eine Eingangsleistung von 10 bis 15 kW bei einer Gleichspannung von 40 kV, um 25 Impulse pro Sekunde zu erzeugen. Da es nicht möglich ist, diese Leistung über ein mehrere Kilometer langes Hochspannungskabel dem Bohrkopf zuzuführen, wurde eine Imloch-Energieversorgung realisiert (Bild 5). Dadurch kann das System in bestehende Bohranlagen integriert werden.

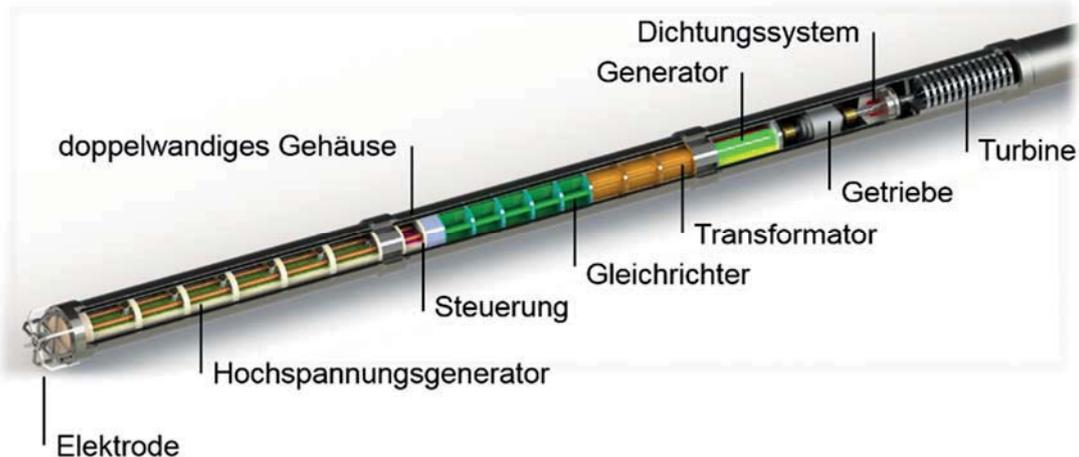


Bild 5: autarke Energieversorgung des Bohrkopfs

Das System wird mithilfe des Spülungsfluids angetrieben, welches primär benötigt wird, um den Gesteinsabtrag an der Bohrlochsohle zur Erdoberfläche zu transportieren. Eine Turbine bzw. ein Moineau-Motor entziehen dem Spülungsstrom kinetische Energie. Die lineare Strömungsenergie der Bohrspülung wird in Rotationsenergie umgewandelt. Mittels eines optionalen Getriebes wird die Drehzahl des Motors übersetzt. Ein permanenterregter Synchrongenerator wandelt die kinetische in elektrische Energie um. Die dreiphasige Ausgangsspannung des Generators wird mithilfe eines Transformators auf 40 kV hochtransformiert. Ein Gleichrichter wandelt die dreiphasige Wechselspannung in eine Gleichspannung von 40 kV um, die dem Impulsspannungsgenerator zugeführt wird. Die benötigte Leistung des autarken Bohrsystems liegt bei rund 30 kW und damit deutlich unter dem Leistungsbedarf konventioneller Bohranlagen.

Die einzelnen Elemente des Antriebsstrangs werden durch die verschiedenen Projektpartner entwickelt und umgesetzt.

3 Laborversuche

In einer Machbarkeitsstudie wurde das EIV zunächst auf seine Tauglichkeit hin untersucht, Hartgesteine energieeffizienter und verschleißärmer abzutragen [4]. Nach diesen erfolgreichen ersten Tests wurde in einem ersten Projektschritt der Impulsspannungsgenerator entwickelt und erprobt [5]. Dazu wurde ein Bohrversuchsstand in Betrieb genommen (Bild 6).



Bild 6: EIV-Versuchsstand der TU Dresden (1 - Prototyp, 2 - Manipulator, 3 - Prüfbehälter, 4 - Spülungstank, 5 - Spülungspumpe, 6 - Steuerungs- und Messsystem)

Zunächst wurde dieser Generator in Kombination mit ölbasierter Spülung (OBM) betrieben. In einem zweiten Projekt wurde neben der Entwicklung des Antriebsstrangs aus umwelttechnischen Gesichtspunkten die Eignung wasserbasierter Bohrspülungen (WBM) untersucht [6].

3.1 Versuche mit ölbasierter Bohrspülung (OBM)

Die Spülung bei Tiefenbohrungen dient dem Abtransport der Cuttings, die von der Bohrlochsohle gelöst werden. Zudem treibt sie den Bohrmotor bzw. die Turbine an. Für den Fall, dass der Spülungsstrom zum Erliegen kommt, verhindert die Bohrspülung ein Absinken der geförderten Cuttings und damit ein Zusetzen des Bohrlochs. Strukturbildner innerhalb der Spülung erhöhen deren Tragfähigkeit.

Die in den Laborversuchen eingesetzte ölbasierte Bohrspülung besitzt eine geringe elektrische Leitfähigkeit κ und zudem eine geringe relative Permittivität ϵ_r . Beide Parameter haben einen Einfluss auf die Form des Hochspannungsimpulses. Höhere Leitfähigkeiten und höhere relative Permittivitäten verursachen eine längere Anstiegszeit und eine geringere

Amplitude des Impulses. Damit sinken die Wahrscheinlichkeit eines Durchschlags im Gestein und damit die Bohrgeschwindigkeit (ROP).

Mit dem entwickelten Impulsspannungsgenerator, den konzipierten Bohrelektroden und der ölbasierten Spülung wurde im Labor ein 12 ¼" Loch in einen Granitblock gebohrt und der Nachweis der Funktionsfähigkeit des EIV erbracht (Bild 7).



Bild 7: 12 ¼" Bohrloch

Dabei konnte ein spezifischer Energiebedarf von etwa 200 J/cm³ erreicht werden. Beim konventionellen Rotarybohren liegt der Energiebedarf für Granit bei 700 bis 950 J/cm³ unter Normaldruck [7]. Im Versuch konnte eine Bohrgeschwindigkeit von 0,5 m/h erzielt werden. Im Laborversuch wurde jedoch eine geringe Spülungspumpleistung von 200 l/min ohne Separation genutzt. Dadurch verbleiben bereits abgetragene Partikel im Spülungskreislauf und werden durch das EIV mehrfach zerkleinert. Zudem ist die Bohrlochsohlenreinigung ineffizient. Durch höhere Pumpleistungen und eine Separation kann die Bohrgeschwindigkeit auf mindestens 2 m/h erhöht werden.

3.2 Versuche mit wasserbasierter Bohrspülung (WBM)

Nach der erfolgreichen Inbetriebnahme des Impulsspannungsgenerators und dem Nachweis der Funktionalität wurden Bohrkopf und Bohrelektrode auf wasserbasierte Spülungen angepasst. Zunächst wurde der Nachweis erbracht, dass das EIV mit Leitungswasser als Bohrspülung funktioniert. Wasser hat im Vergleich zu OBM eine höhere Leitfähigkeit κ und eine höhere relative Permittivität ϵ_r . Dadurch erhöht sich die Last für den Impulsspannungsgenerator, wodurch die Impulsamplitude sinkt und die Anstiegszeit des Impulses absinkt. Dies hat zur Folge, dass die Wahrscheinlichkeit für einen Durchschlag im Gestein deutlich absinkt. Durch Anpassung der Bohrelektrode konnte die Lastkapazität der Bohrelektrode reduziert werden und damit die notwendigen Bedingungen für einen Durchschlag im Gestein erreicht werden.

3.3 Hochdruckversuche

Weiterhin wurden Hochdruckversuche durchgeführt. Im Bohrloch herrschen aufgrund des Schweredrucks der Bohrspülung sowie des Druck des umgebenden Gesteins Drücke von bis zu 500 bar. Hartgesteinsbohrungen stoßen in großen Tiefen an ihre Grenzen.

In vorhergehenden Versuchen konnte festgestellt werden, dass Druck das Lösevermögen des EIVs negativ beeinflusst. Drücke ab 20 bar bewirkten einen kaum mehr messbaren Abtrag (rote Kennlinie, Bild 8). Im Labor konnten die Ergebnisse dieser Versuche mithilfe eines Hochdruckversuchsstandes und verbesserten Impulsparametern entkräftet werden.

Unter Hochdruck konnte sowohl in Öl (grün) als auch in Wasser (blau) ein Abtrag durch das EIV erreicht werden.

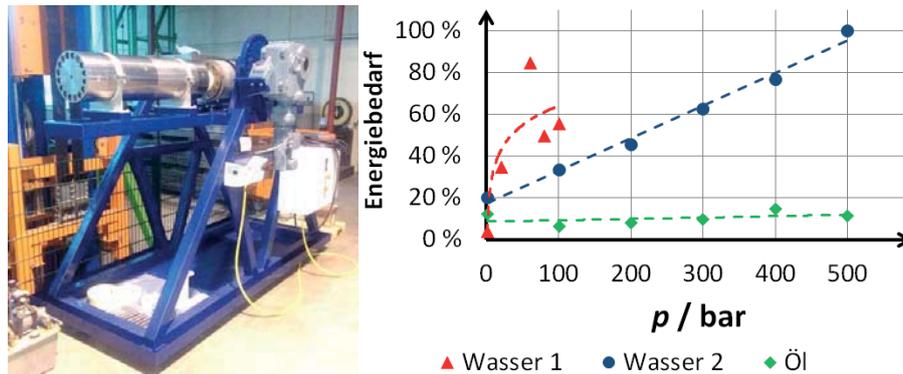


Bild 8: Hochdruckversuchsstand und Energiebedarf

Es ist ersichtlich, dass der Druck einen negativen Einfluss auf das Lösevermögen des EIV aufweist. Im Vergleich zu konventionellen Rollenmeißeln besitzt das EIV jedoch eine höhere Standzeit, wodurch bei ähnlichem Bohrfortschritt zeitaufwändige Roundtrips zum Werkzeugwechsel entfallen.

4 In-situ-Bohrung

Nach den erfolgreichen Labortests, in denen die Wirkung des Verfahrens, die Funktionalität des Bohrkopfs und die Kompatibilität mit bestehenden Anlagen nachgewiesen wurde, wird im derzeitigen Projektschritt das entwickelte System in-situ getestet.

4.1 Bohranlage

Es wurde eine Bohranlage, die den Ansprüchen an einen Funktionstest genügt, entwickelt und auf dem Campus der TU Bergakademie Freiberg errichtet (Bild 9). Die Anlage besteht aus Bohrturm mit Hebevorrichtung, Spülungskreislauf und Separationstanks.



Bild 9: Bohranlage und Bohrkopf (Foto: Detlev Müller / TUBAF Freiberg)

Der Impulsspannungsgenerator befindet sich in einem doppelwandigen Rohr. Das innere Rohr wird mit Stickstoff gefüllt und unter Druck gesetzt, um ein Überspringen der Impulse ins Gehäuse zu vermeiden. Im Zwischenraum fließt das Spülmedium. In einem zweiten doppelwandigen Rohr befindet sich die Energieversorgung des Impulsspannungsgenerators, bestehend aus Synchrongenerator, Transformator und Gleichrichter. Als Bohrspülung wird für den Funktionstest umweltverträgliches Leitungswasser mit einer Leitfähigkeit von ca. 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ verwendet. Die Spülung wird mithilfe einer Pumpe über den Kopf des Bohrstrangs auf die Bohrlochsohle gebracht. Dort nimmt sie die abgetragenen Cuttings auf und befördert sie in ein Zwischenbecken. Eine zweite Pumpe leitet die Spülung in die Separationstanks, in denen die Cuttings abgeschieden werden und die Spülung gereinigt wird.

Zunächst wurde eine 3 m tiefe Bohrung konventionell abgeteuft, um bis auf das aus Gneis bestehende Grundgestein zu gelangen.

4.2 Erste Ergebnisse

Nach dem Aufbau der Anlage und dem Funktionstest des Spülungskreislaufs wurde der Bohrkopf bis auf die Bohrlochsohle abgesenkt. Der Impulsspannungsgenerator wird im ersten Schritt über ein Hochspannungskabel mit der Gleichspannung von 40 kV versorgt. Die Impulsfrequenz wurde langsam bis auf 25 Hz gesteigert.

Bei den ersten Tests konnten Cuttings gefördert werden (Bild 10). Der angestrebte Bohrfortschritt wurde jedoch bisher nicht erreicht. Witterungsbedingt mussten die Arbeiten Mitte Oktober 2017 eingestellt werden.



Bild 10: geförderte Cuttings

Für einen zweiten in-situ Versuch im zweiten Quartal 2018 wird das System überarbeitet und optimiert. Zunächst wird eine Bohrtiefe von etwa 6 m angestrebt, um im Anschluss die Energieversorgung des Impulsspannungsgenerators in Betrieb zu nehmen. Das Gesamtsystem soll dann für eine Bohrung bis 20 m Tiefe erprobt werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Geothermale Bohrungen sind derzeit kosten-, zeit- und energieintensiv. Um fossile Energieträger durch Geothermieanlagen ablösen zu können, müssen die Kosten signifikant reduziert werden. Das Elektro-Impuls-Verfahren stellt eine Alternative zu konventionellen Bohrtechnologien im Bereich von Hartgesteinsbohrungen dar.

Auf Grundlage des Elektro-Impuls-Verfahrens wurde ein Impulsspannungsgenerator entwickelt, welcher Hochspannungsimpulse im Nanosekundenbereich mit einer Amplitude von über 500 kV erzeugt. Mithilfe einer Bohrelektrode und ölbasierter Spülung wurde im Labor ein 12 1/4“ Bohrloch in einem Granitblock erzeugt. In einem zweiten Projektschritt wurde das System auf wasserbasierte Spülungen angepasst. Zudem wurde die autarke Energieversorgung des Bohrkopfs entwickelt und in Betrieb genommen.

Derzeit laufen in-situ-Versuche in anstehendem Hartgestein. Eine Bohranlage wurde dafür konzipiert und errichtet. Die Bohranlage mit ihren einzelnen Bestandteilen wurde in Betrieb genommen und erste Funktionsprüfungen durchgeführt. Ein geringer Bohrfortschritt konnte im ersten Schritt bereits erzielt werden.

Für den im zweiten Quartal 2018 stattfindenden zweiten in-situ-Versuch wird eine Bohrung bis 20 m angestrebt. Zudem soll die Energieversorgung erprobt werden.

Danksagung

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie der Bundesrepublik Deutschland unter dem Förderkennzeichen F-004941-521-000-1130803 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Die Autoren danken dem BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie), BAUER Maschinen GmbH, Werner Industrielle Elektronik e. Kfm., Bitsz Electronics GmbH, Geothermal Engineering GmbH, ILEAG e.V. und Baker Hughes, a GE Company für die fachliche und finanzielle Unterstützung und die hervorragende Kooperation während der gesamten Projektlaufzeit.

- [1] Energiedaten: Gesamtausgabe, Stand Oktober 2017, <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html>
- [2] Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland, Arbeitsbericht Nr. 84, 02/2003
- [3] BMU, Tiefe Geothermie in Deutschland, 09/2007
- [4] Studie für ein Vortriebssystem zur Herstellung von tiefen Geothermiebohrungen im Festgestein mittels Elektro-Impuls-Verfahren, BMU, FKZ: 0327664, 2007 - 2009
- [5] Entwicklung und Erprobung eines EIV-Bohrkopfes für Tiefengeothermie, BMWi, FKZ: 0325253, 2010 - 2014
- [6] Entwicklung und In-Situ Erprobung eines EIV-Bohrsystems (ISEB), BMWi, FKZ: 0325788, 2015 - 2018
- [7] B.W. Sjomkin, A. F. Ussow, W. I. Kurez: Grundlagen der elektrischen Impulserzeugung von Materialien, Tomsk: Russische Akademie der Wissenschaften, 1995