



Elektroimpulse zerkleinern hartes Gestein

Neues Verfahren nutzt Hochspannungsimpulse
für tiefe Geothermiebohrungen



Zum Bohren im tiefen Gestein werden bisher Rollenmeißel eingesetzt. Diese kommen in kristallinen Formationen nur langsam voran und verschleifen schnell. Das verteuert Bohrmaßnahmen und ist vor allem für Projekte der tiefen Geothermie ein wirtschaftliches Problem. Forscher in Dresden entwickeln ein alternatives Bohrverfahren für Hartgestein. Bei diesem zerkleinert ein Hochspannungsimpuls das Gestein. Bis zu 30 % niedrigere Bohrkosten sind möglich.

Bei jedem Projekt der tiefen Geothermie entfallen bis zu 90 % der Investitionen auf die Bohrungen, abhängig von Gesteinsart und Tiefe. Dazu kommt noch das Fündigkeitsrisiko: Findet die Bohrung an der gewählten Stelle und in der berechneten Tiefe tatsächlich das gesuchte Temperaturniveau vor oder muss an einer anderen Stelle neu angefangen werden? Jede technische Verbesserung und Kostensenkung der Bohrverfahren bringt interessante geologische Wärmereservoirs in Reichweite, die bisher aus wirtschaftlichen Gründen nicht erreichbar waren.

Forscher der Technischen Universität Dresden entwickeln in Zusammenarbeit mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie mit dem Elektro Impuls Verfahren (EIV) ein neues Bohrsystem. Es ist speziell für die Anforderungen der Geothermie in Hartgestein konzipiert und erweitert die Palette möglicher Bohrverfahren. Der EIV-Bohrkopf besteht aus einem Bohrmotor, einem Generator, einer Stoßspannungsquelle und zwei Elektroden unterschiedlichen elektrischen Potentials. Diese liegen locker auf dem zu bohrenden Gestein und werden von einer nicht leitenden Bohrspülung umflossen. Mittels dieser Elektroden wird ein Hochspannungsimpuls von 400 kV, ähnlich einem Blitz in der Natur, durch das Gestein an der Bohrsohle geleitet. Im Durchschlagskanal des Impulses steigen innerhalb des Gesteins schlagartig Druck und Temperatur, es bricht auf und das Bohrklein wird mit der Spülung an die Oberfläche transportiert. Die Dresdener Forscher haben einen Prototypen des EIV-Bohrkopfs

Dieses Forschungsprojekt
wird gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft
und Energie (BMWi)



Konventionelle Bohrtechnik

Konventionelle Bohranlagen sind auf die Anforderungen der Erdöl- und Erdgasförderung ausgelegt und deren Bohrungen erfolgen meistens in Sedimentgesteinen. In kristallinen Gesteinen, wie z. B. Granit, kommen klassische Bohrmeißel nur mit einer Geschwindigkeit von etwa 1 m/h und speziellen Schneidwerkzeugen voran. Die Meißel unterliegen einem hohen Verschleiß und müssen unter Umständen bereits nach 50 bis 60 Einsatzstunden ausgetauscht werden. Bei einer 3.000 m tiefen Bohrung kann solch ein Werkzeugwechsel bis zu 20 Stunden in Anspruch nehmen. All dies verlangsamt und verteuert das Bohren im kristallinen Gestein.

Das EIV-Verfahren weist eine günstigere Energiebilanz als das konventionelle auf. Der Elektroimpuls zerstört das Gestein von innen. Damit überwindet er die Zugfestigkeit des Gesteins, die nur 10 % der Druckfestigkeit ausmacht. Über die muss sich der Rollenmeißel hinwegsetzen, wenn er das Gestein von außen zerkleinert.

entwickelt und auf einem Teststand unter bohrlochähnlichen Bedingungen erprobt. Das derzeit laufende Folgeprojekt hat die Optimierung der Gesamtanlage zum Ziel und einen Testbetrieb in einer Bohrung.

Temperatur und Druck standhalten

Der EIV-Bohrkopf muss neben dem rauen Bohralltag besonders auf die Temperatur- und Druckverhältnisse in der Zieltiefe ausgelegt sein. Die Entwickler legen für die spätere Bohranlage eine Temperatur von 200 °C und einen Druck von 1.000 bar zugrunde. Alle verwendeten elektrischen und mechanischen Komponenten sowie die Spülflüssigkeiten müssen unter diesen Bedingungen bestehen. Die zweite Herausforderung liegt im begrenzten Raum einer 12 ¼ Zoll Bohrung (Ø 31,1 cm). Alle Komponenten müssen entsprechend dimensioniert sein und trotz kompakter Bauweise möglichst lange zuverlässig funktionieren.

In kristallinen Gesteinen, wie z. B. Granit und Gneis, soll der EIV-Bohrkopf doppelt so schnell vorankommen wie eine konventionelle Bohranlage. Die Entwickler peilen eine Standzeit von 500 Stunden an. So lange soll der EIV-Bohrkopf ohne Unterbrechung unter Tage arbeiten, ohne dass er zum zeitaufwändigen Werkzeugwechsel ans Tageslicht hochgezogen werden muss. Die langen Standzeiten werden vor allem durch den verschleißarmen Einsatz der Elektroden möglich. Das neue Bohrsystem wird so konzipiert, dass es mit konventionellen Bohranlagen kompatibel ist.

Den Strom in die Tiefe bringen

Die Energieversorgung des EIV-Bohrsystems erfolgt unter Tage ähnlich wie bei konventionellen Bohranlagen für die Messtechnik. Dazu wird die Bohrspülung mit Überdruck und in großen Volumenströmen durch das Bohrgestänge in die Tiefe gepumpt. Auf der Bohrsohle treibt die hydraulische Kraft des Fluids einen Bohrmotor an, der über ein Getriebe mit einem Generator verbunden ist. Die erzeugte Ausgangsspannung wird über einen Transformator und einen Gleichrichter zur Versorgung der Stoßspannungs-

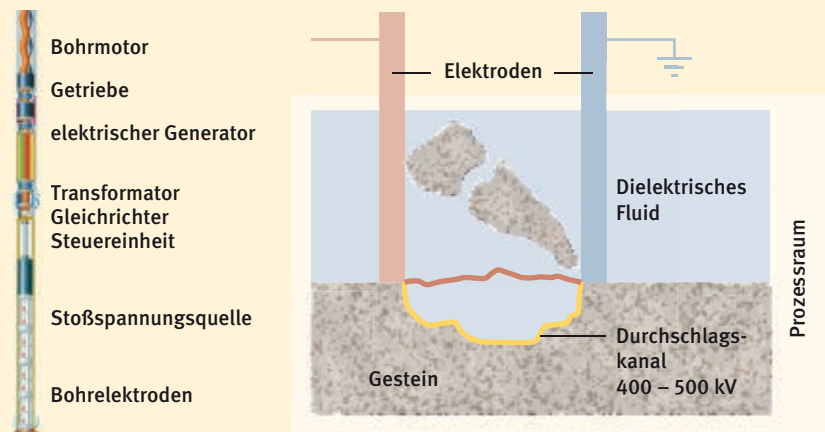


Abb. 1 Schematischer Aufbau des EIV-Bohrkopfs (links) und Verfahrensprinzip (rechts)



Abb. 2 Auf diesem Versuchsstand in Dresden wurde der Prototyp unter bohrlochähnlichen Bedingungen getestet.

quelle genutzt. Dieser Impulsspannungsgenerator arbeitet nach dem Marx'schen Prinzip. Vereinfacht ausgedrückt werden dabei Kondensatoren parallel geladen und dann über Funkenstrecken schlagartig in Reihe geschaltet. Dadurch addieren sich die Ladespannungen der einzelnen Kondensatoren. Über die Hochspannungselektrode schießt der Impuls dann ins Gestein und fließt zur geerdeten Elektrode. Die Dresdener Forscher haben im Verlauf ihrer Arbeiten verschiedene geometrische Formen von Elektroden erprobt, um ohmsche Widerstände, Induktivitäten und Kapazitäten möglichst zu minimieren und ein Optimum zu finden. Dabei geht es beispielsweise darum, eine möglichst große Menge Energie in das Gestein einzutragen, um den Vortrieb zu erhöhen. Die Form der Elektroden hat unmittelbaren Einfluss auf die Bohrgeschwindigkeit und den Energiebedarf pro gelöstem Gesteinsvolumen. Der Impuls nimmt seinen Weg nur dann durchs Gestein, wenn der Spannungsaufbau sehr schnell erfolgt, d. h. unter 150 ns liegt, und die Bohrflüssigkeit eine möglichst geringe elektrische Leitfähigkeit aufweist. Ein derartig steiler Spannungsaufbau ist nur möglich, wenn die Stromerzeugung vor Ort erfolgt und nicht durch ein mehrere Tausend Meter langes Kabel. Auf dem Teststand erfolgte die Stromversorgung noch per Kabel. Das EIV-System hat eine Leistungsaufnahme von 20 kW; bei konventionellen Bohranlagen sind durchaus einige 100 kW üblich.

Ein Bohrloch simulieren

Aufbauend auf den Voruntersuchungen lag der Schwerpunkt der Arbeiten darin, den Bohrkopf zu entwickeln und zu erproben. Dazu konzipierten die



Geothermische Energieerzeugung

In den tiefen Gesteinsschichten der Erde finden sich u. a. Thermalwasservorkommen und mit zunehmender Tiefe heiße Gesteinsschichten. Diese lassen sich zur Wärmeversorgung und in Kraftwerken nutzen. Für eine Nutzung in einem geothermischen Kraftwerk ist eine Temperatur von mindestens 150 °C erforderlich. Diese ist üblicherweise in einer Tiefe von 3.500 bis 5.000 m zu finden. Bisher sind in Deutschland 27 Anlagen (Stand 2015) in Betrieb, die alle auf der Förderung von Thermalwasser beruhen. Doch 95 % der nutzbaren geologischen Wärmeressourcen stecken im kristallinen Gestein. In geothermischen Anlagen wird Wasser über eine Förderbohrung und eine oder mehrere Verpressbohrungen in einem Kreislauf geführt. Heißes Wasser gelangt an die Oberfläche, wird dort in speziellen Kraftwerksverfahren und in Wärmezentralen energetisch genutzt und anschließend wieder in die Tiefe zurückgepumpt.



Abb. 5 Ein konventioneller Rollenmeißel

	Bedingungen und Werte auf dem Teststand	Entwicklungsziele des EIV-Bohrsystems
Leistung Generator	20 kW	25 kW
Ausgangsspannung	400 kV	> 400 kV
Impuls pro Sekunde	10 Hz	25 Hz
Bohrgeschwindigkeit	0,5 – 1 m/h	2 m/h
Standzeit	350 h	500 h
Spülrate	200 l/min	3.000 l/min

Abb. 3 Vergleich ausgewählter Bedingungen und Ergebnisse auf dem Teststand mit den Entwicklungszielen der Gesamtanlage



Abb. 4 Ein mit dem EIV-Bohrkopf gebohrtes Loch in einem Granitquader weist vergleichsweise glatte Bohrränder auf.

Wissenschaftler einen Versuchsstand, der bohrlochähnliche Bedingungen bietet (Abb. 2, 3). Ziel ist, pro Impuls ein möglichst großes Gesteinsvolumen aus einem Granitquader zu lösen. Ein Druckbehälter ermöglicht Versuche bis 200 °C Temperatur und bis 20 bar Druck. Die Anlage verfügt auch über einen Vorratsbehälter für die Bohrspülung; eine Umwälzpumpe zirkuliert 200 l/min dieses Fluids in einem geschlossenen Kreislauf. Eine der Aufgaben dieser Spülung ist, das sogenannte Bohrklein, also das zertrümmerte Gestein, an der Bohrsohle aufzunehmen und nach oben zu fördern. Auf dem Versuchsstand wurde zur Vereinfachung des Testbetriebs die Spülung nicht gefiltert und damit verblieb das Bohrklein im Fluid. Dieser Umstand und die im Vergleich zur Praxis niedrige Spülrate haben den Bohrfortschritt unter Versuchsbedingungen behindert. Das EIV-Verfahren wird durch zurückbleibendes Bohrklein stärker beeinträchtigt als konventionelle Anlagen. Auf der Sohle liegen gebliebene Teile werden durch die Stromimpulse nachverkleinert, anstelle neues Gesteinsvolumen zu lösen. Auf dem Versuchsstand werden später auch andere Komponenten der EIV-Anlage getestet. Die Elektroden bestehen bisher aus konventionellem Baustahl. Es gibt kaum Anzeichen von Materialverschleiß, weil sie nicht rotieren und auch mehreren tausend elektrischen Entladungen ohne Abbrand standhalten. Das EIV-Verfahren funktioniert, wenn die Elektroden nur locker auf dem Gestein aufliegen. Dadurch bietet der EIV-Bohrkopf bei abgelenkten und horizontalen Bohrungen Vorteile, weil er ohne Anpressdruck auskommt. Trotzdem werden die Elektroden auf einen Druck von fünf Tonnen ausgelegt, weil sie im Bohralltag nicht unter Sichtbedingungen, sondern maschinell positioniert werden.

Ein zentrales Thema ist die Auswahl der geeigneten Bohrspülung. Diese muss gleichzeitig die Anlage kühlen, hochtemperaturbeständig und nicht leitend sein. Auf dem Versuchsstand wurde daher eine ölbasierte Spülung mit speziellen Additiven eingesetzt. Diese überstand die Versuche ohne nennenswerte Alterungserscheinungen. Die Versuche ergaben, dass alle Komponenten des Bohrkopfs die Anforderung nach einer Standzeit von 500 Stunden erfüllen. Lediglich die Kondensatoren liegen derzeit erst bei 350 Stunden. Verbesserte Exemplare mit größerer Beständigkeit unter hohen Temperaturen sind aber bereits in der Entwicklung.

Perspektiven

In einem Folgeprojekt entwickeln die Dresdener Forscher derzeit das komplette Bohrsystem. Dieses wird in einer realen Bohrung getestet. Dabei werden andere Materialien für die Elektroden erprobt und diese besser auf die Hochspannungsquelle abgestimmt. Die Entwickler erwarten, dass hochtemperaturbeständige elektrische Komponenten und langzeitstabile Kondensatoren bald marktfähig sind. Die Bohranlage wird eine höhere Spülrate aufweisen und das Bohrklein entfernen. Dabei sollen anstelle der ölbasierten künftig wasserbasierte Spülungen eingesetzt werden. Die elektrische Leistung der kompletten Anlage soll auf 25 kW angehoben werden. Alle Maßnahmen zusammen werden dazu beitragen, die anvisierte Bohrgeschwindigkeit von 2 m/h zu erreichen.



Forschungsziele für die Geothermie

In Deutschland sind im Jahr 2015 vier tiefe Erdsonden und 27 hydrothermale Anlagen in Betrieb. Hiervon befinden sich 20 Anlagen im bayerischen Voralpenland. Damit die Geothermie einen größeren Beitrag zur Energieversorgung leisten kann, bedarf es weiterer technischer und wirtschaftlicher Entwicklungen. Die Förderbekanntmachung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie vom 8.12.2014 benennt die aktuellen Schwerpunkte der Forschung.

In der Bohrtechnologie gibt es neben dem EIV-Verfahren weitere Konzepte. Eins ist das sogenannte LaserJet Drilling, bei dem eine Kombination von Wasser- und Laserstrahlen verschleißarm den Weg in die Tiefe öffnen soll. Auch die Pumpentechnologie ist ein Thema. Herkömmliche Pumpen, die meistens für die Öl- und Gasförderung entwickelt wurden, geraten durch die hohen Temperaturen und die teilweise sehr salzhaltigen Wässer in geothermischen Anlagen zu schnell an ihre Grenzen. Daher werden speziell für die Geothermie ausgelegte Pumpen und angepasste Sensoren entwickelt sowie deren Erprobung auf einem Hochtemperatur-Teststand gefördert. Um das Risiko der Fündigkeit zu senken, ist die systematische Aufbereitung und Komplettierung vorhandener geologischer Daten ein Ansatz. Ein Beispiel ist das geothermische Informationssystem GeotIS (BINE-Projektinfo 09/2011).

Geothermische Erschließungsmaßnahmen sowie die Förder- und Verpressaktivitäten greifen in die natürlichen geologischen Verhältnisse ein. Bei einigen Anlagen hat das zu wahrnehmbaren Erderschütterungen geführt. Daher werden Anlagen einem umfangreichen Monitoringkonzept unterworfen. Dabei erfassen Sensoren systematisch die Druckverhältnisse, die Fördermengen und andere Betriebszustände sowie alle kleinen und kleinsten Erdbewegungen. Ziel ist, den Einfluss bestimmter Betriebszustände auf die Erschütterungen zu erforschen, um Störungen frühzeitig zu erkennen sowie diese künftig zu vermindern und zu vermeiden. Weitere Forschungsprojekte zielen darauf, die Komponenten besser vor Korrosion zu schützen, die speziellen Kraftwerksverfahren in der Geothermie zu optimieren und vermehrt numerische Rechenmodelle zu entwickeln. Damit könnten bestimmte Planungs- und Betriebskonzepte vorab preiswert am Rechner simuliert werden.

Projektbeteiligte

- » **Projektleitung:** Technische Universität Dresden, Maschinenwesen, Institut für Verarbeitungsmaschinen und mobile Arbeitsmaschinen, Professur für Baumaschinen- und Fördertechnik, Prof. Dr.-Ing. Günter Kunze, Erik Anders, erik.anders@tu-dresden.de, <http://tu-dresden.de/bft>
- » **Steuerungstechnik und Leistungselektronik:** Thomas Werner Industrielle Elektronik, Kreischa
- » **Gehäuse, Elektroden und Prüfstand:** Bauer Maschinen GmbH, Schrobenthausen
- » **Bohrtechnik und Bohrspülungen:** TU Bergakademie Freiberg, Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau, Freiberg
- » **Weitere Kooperationspartner:** Bitsz Engineering GmbH, Zwickau (Gleichrichterentwicklung) Geothermal Engineering GmbH, Karlsruhe (geologische Beratung)

Links

- » Video: Auf der Plattform Youtube ist ein englischsprachiges Video über das Verfahren unter dem Titel: „Elektroimpulsverfahren für Tiefengeothermie“ zu finden.
- » Portal der TU Dresden: www.baumaschine.de

Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Tiefe Geothermie dauerhaft nutzen. BINE-Projektinfo 17/2013
- » Korrosion in geothermischen Anlagen. BINE-Projektinfo 06/2012
- » Tiefer Erdwärme auf der Spur. BINE-Projektinfo 09/2011
- » Bußmann, W. u. a.: Geothermie – Energie aus dem Innern der Erde. FIZ Karlsruhe. BINE Informationsdienst (Hrsg.). Stuttgart : Fraunhofer IRB Verl., 2012, 160 S., 1. Aufl., ISBN 978-3-8167-8321-3, 29, 80 Euro. BINE-Fachbuch.
- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter www.bine.info/Projektinfo_13_2015

BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter www.bine.info/abo

Impressum

Projektorganisation
Bundesministerium
für Wirtschaft und Energie (BMWi)
11019 Berlin

Projekträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Manuela Richter
52425 Jülich

Förderkennzeichen
0325253A-C; 0327664

ISSN
0937 - 8367

Herausgeber
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut
für Informationsinfrastruktur GmbH
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Autor
Uwe Milles

Urheberrecht
Titelbild und Abb. 1 – 5: TU Dresden
(s. Projektleitung)

Eine Verwendung von Text und Abbildungen aus dieser Publikation ist nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion gestattet. Sprechen Sie uns an.

Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?
Wir helfen Ihnen weiter:

0228 92379-44
kontakt@bine.info

BINE Informationsdienst
Energieforschung für die Praxis
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185-197
53113 Bonn
www.bine.info

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages