

Das ungenutzte Potential der Geothermie als Grundlastversorger

Benedict Holbein, Jörg Isele, Luigi Spatafora

*Karlsruher Institut für Technologie, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1,
76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Deutschland*

Das Potential der Geothermie ist nahezu überall verfügbar und kann sowohl für die Wärme- als auch für die Stromerzeugung genutzt werden. Die Bedeutung der Geothermie als Energieerzeuger ist aber gegenwärtig vernachlässigbar. Auch in Deutschland bleibt ein Großteil dieser Energie ungenutzt. Diese Arbeit vertritt die Hypothese, dass ein entscheidender Grund für die Diskrepanz zwischen dem geothermischen Energiepotential und der tatsächlichen Nutzung in einem Mangel an belastbaren Daten aus Bohrlöchern und deren Umgebung liegt. Dieser Informationsmangel ist die Ursache für zahlreiche Probleme mit dem Investitions- und Risikomanagement oder der Akzeptanz von Geothermieprojekten in der Bevölkerung.

Das seit etwa 5 Jahren am Institut für Angewandte Informatik IAI, KIT, laufende Projekt ZWERG hat sich zum Ziel gesetzt, diese Situation nachhaltig zu verbessern und Betreibern und Wissenschaftlern bessere Möglichkeiten für Untersuchungen, Inspektionen und aktive Eingriffe in Bohrlöchern zu bieten. Es umfasst die Entwicklung einer Systemplattform für die schnelle und effiziente Konstruktion individueller Bohrloch-Geräte sowie die Entwicklung einzelner Prototypen für spezielle Anwendungen. Die Systemplattform bündelt Erfahrungen und Expertisen auf dem Gebiet der Sondenentwicklung und dokumentiert sie in einer nutzbaren Form. Um die Erkenntnisse für weitere Projekte nutzbar zu machen, wird ein möglichst großer Standardisierungsgrad angestrebt. Sogenannte Blueprints und Standardmodule sollen in verschiedensten Geräten zum Einsatz kommen, wodurch Entwicklungskosten, Zeit und Fehlerquellen eingespart werden können. Unter anderem geht es dabei um die Frage, welche Materialien für verschiedene Sonden-teile geeignet sind und wo und zu welchem Preis diese Materialien erworben werden können. Beispiele für auf ZWERG basierende Projekte sind das Anfang nächsten Jahres beendete BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) -Projekt GeoKam zur Entwicklung eines Video-Inspektionssystems für tiefe Bohrlöcher und das geplante BMWi-Projekt COBOLD, bei dem es um die Bereitstellung einer Bohrlochkältemaschine sowie unterschiedlicher Anbindungsmöglichkeiten geht, um in sehr heißen Umgebungen Standardelektronik einsetzbar zu machen.

Durch diese Arbeiten wird ein Beitrag zur Verbesserung der Datensituation von Geothermiebohrungen geleistet. Dies ist ein entscheidender Schritt hin zu einer vielerorts und effizient genutzten Geothermie.

Geothermie Potentiale und Nutzung

Aktuelle Nutzung der Geothermie

Mit der Energiewende in Deutschland, die seit 2000 forciert verfolgt wird, ist die Bedeutung regenerativer Energiequellen größer denn je. Ihr Anteil an der Stromerzeugung in Deutschland ist jedoch immer noch gering verglichen mit konventionellen Energieträgern. Durch den Atomanstieg ist die Braun- und Steinkohlenutzung zudem angestiegen, was sich negativ auf die CO₂-Bilanz der Energieerzeugung auswirkt.

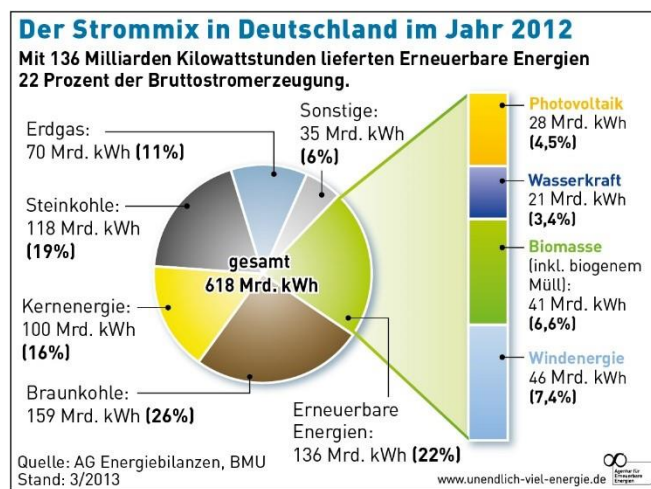


Abb. 1: Strommix in Deutschland 2012.

Betrachtet man aktuelle politische Ereignisse im Osten Europas, ist auch die Abhängigkeit von Energieimporten, wie im Fall Deutschlands vom russischen Gas, ein zu beachtendes Thema. In einer angespannten politischen Lage ist die Energieversorgung auch mit der Sicherheitsfrage verknüpft. Ähnliches gilt grundsätzlich auch für Öllieferungen aus nahöstlichen Ländern, wo immer wieder Zustände politischer Instabilität vorherrschen. Wasserkraft, Strom aus Biomasse, Windenergie und sogar Photovoltaik verzeichnen steigende Anteile am Energiemix. Der Anteil geothermischer Stromerzeugung ist verschwindend gering. (AGEB, 2013)

Um die erneuerbaren Energien voranzubringen, sind Investitionen nötig. Dabei geht es um die Förderung von Projekten und die Schaffung der nötigen Infrastruktur, Stichwort Netzausbau, aber auch um Gelder für die Forschung. Um effiziente, sichere und wirtschaftliche Technologien zu entwickeln, sind Forschungsprojekte im Grundlagenbereich ebenso entscheidend wie Produktentwicklungsvorhaben. Erstere haben jedoch ein größeres Finanzierungsproblem, weil sich ein wirtschaftlicher Nutzen oft nicht direkt ableiten lässt und Industrieinvestoren daher schwer zu gewinnen sind. Umso wichtiger sind an dieser Stelle staatliche Förderungen.

Was vor allem gebraucht wird sind grundlastfähige Energieträger. Die Geothermie ist eine erneuerbare Energiequelle, die diese Rolle einnehmen könnte. Bei den Förderbeträgen hängt sie jedoch

deutlich hinter Solar-, Wind- und Bioenergie zurück. Die Investitionen in Geothermie-Anlagen liegen seit 2006 bei knapp 1 Mrd. Euro jährlich und sind seitdem kaum gestiegen. Bei den Gesamtinvestitionen von rund 19,5 Mrd. Euro in erneuerbare Energieanlagen im Jahr 2012 kommen ihnen nur etwa 4,6 % zu, während 62,5 % der Förderung in Solarenergieanlagen fließen. (BMU, 2012)

An der Verteilung des Primärenergieverbrauchs auf die einzelnen Energieträger im Jahr 2013 erkennt man, dass selbst unter Berücksichtigung von Wärmepumpen für die Gebäudeklimatisierung u.a. die Geothermie gerade einmal 0,2 % ausmacht. Bei einem Gesamtbedarf von etwa 13900 PJ (Petajoule) pro Jahr bzw. 3861 TWh (Terrawattstunden) entspricht dies einer Energiemenge von 7722 GWh (Gigawattstunden) oder einer Gesamtleistung von 881,5 MW (Megawatt, bei 365 Vollbetriebstagen). Zum Vergleich beträgt die erreichbare elektrische Gesamtleistung der beiden Blöcke des AKW Phillipsburg etwa 2300 MW.

Potentiale der Geothermie

Der im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Situation der geothermischen Energiegewinnung stehen die Potentiale der Geothermie in Deutschland gegenüber. Wie aus dem Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung für den Bundestag hervorgeht (ABFT, 2003), ist das Potential der Heißwasseraquifere alleine ausreichend, um den gesamten Energiebedarf der BRD mehrfach zu decken.

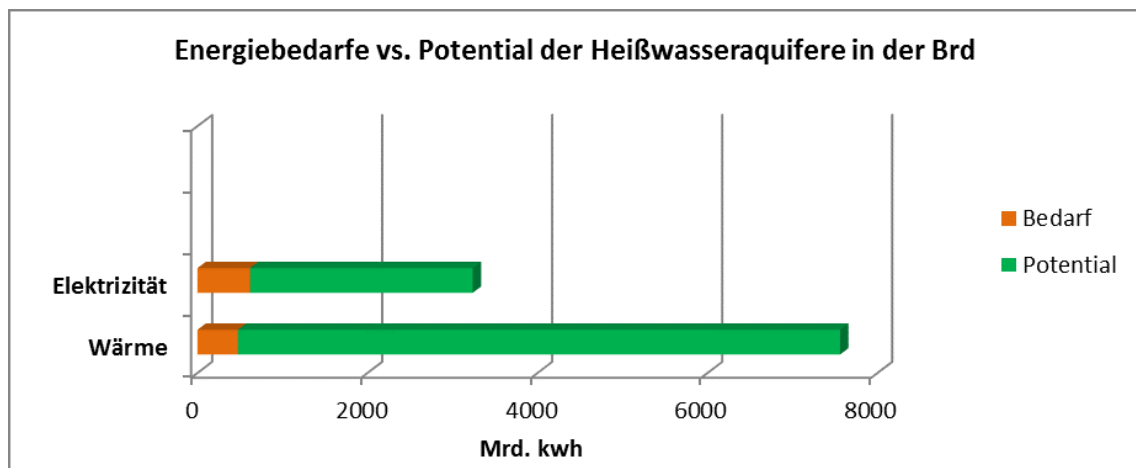


Abb. 2: Energiepotential der Heißwasseraquifere in Deutschland und Gesamt-Energiebedarfe.

Selbstverständlich entsprechen diese theoretischen Potentiale nicht der real wirtschaftlich gewinnbaren Energiemenge. Die Darstellung macht jedoch eindrücklich klar, dass hier ein erhebliches Potential für die regenerative Energieerzeugung ungenutzt ist.

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Geothermieprojekten ist komplex und stark standortabhängig. Der größte Kostenfaktor sind die Bohrkosten für die Förder- und Injektionsbohrung. Nach „Haenel“ lässt sich eine einfache Kostenabschätzung wie folgt durchführen (UBA, 1991):

$$Produktionskosten\ je\ kWh = \frac{1}{N} \cdot \left[\left(i \sum_{n=1}^N \frac{S_n(1+i)^{a_n}}{(1+i)^{a_n-1}} \right) \right] + S_{n+1} \quad (1)$$

wobei N die Jahresproduktion in kWh, S_n die Installationskosten, S_{n+1} die jährlichen Betriebskosten, i der Zinssatz und a_n die Amortisationszeit sind. Eine exemplarische Berechnung für ein fiktives Kraftwerk mit etwa 5 MW elektrischer Leistung ergibt die in Tabelle 1 dargestellten Kosten.

Tab. 1: Beispielrechnung für Produktionskosten geothermischer Energie

Kostenpunkt		Amortisationszeit [a]	Betrag [€]
Bohrkosten [1200 €/m]	Injektion (2000 m)	55	S1 2.400.000
	Produktion (3000 m)	55	S2 3.600.000
Anlage [€]	Pumpen (3 Stück)	30	S3 300.000
	Kreislauf (ORC und Transformation)	50	S4 6.500.000
	Anbindung	40	S5 2.000.000
Betrieb [€/a]	Strom für Pumpen Grundverbrauch (Strom, Heizung...)	Sn+1	2.646.000
Personal	Techniker (2 x 55000 €/a) Sonstige (200 000 €/a)		
Summe:			0,076 [€/kWh]

In dem einigermaßen realistischen Beispiel müsste also mit Produktionskosten von rund 7,6 Cent/kWh gerechnet werden. Die Vergütung für die Einspeisung von geothermisch erzeugtem Strom beträgt nach Erneuerbare-Energien-Gesetz 2009 § 28 (bis 10 MW) 16 Cent/kWh. Eine wirtschaftliche Stromerzeugung scheint hier demnach durchaus möglich.

Verbesserung durch Wissen

Wissensmangel als Hauptursache

Warum die Nutzung der Geothermie trotz der scheinbar vielversprechenden wirtschaftlichen Möglichkeiten soweit hinter dem vorhandenen Potential zurückbleibt, hat verschiedene Gründe, auf die hier Bezug genommen wird. Im Grunde hängen alle auftretenden Probleme mit einem akuten Wissensmangel über die Vorgänge in interessanten Arealen, z. B. über Ursachen unvorhergesehener Ereignisse, zusammen.

Der richtige Weg zur Senkung der Risiken sowie zum Abbau vorhandener Ängste und Vorbehalte ist eine breite Aufklärung, getragen von umfassenden Forschungsuntersuchungen. Für die Erforschung von Bohrlöchern, ob für wissenschaftliche Zwecke oder aufgrund eines akuten Zwischenfalls, für den nach Erklärungen gesucht wird, werden bohrlochtaugliche Mess- und Interaktionsgeräte (Tools) benötigt. Im Bereich der Öl- und Gasindustrie gibt es viele solcher Tools, die für teils ähnliche Einsatzbedingungen konzipiert sind. Diese sind jedoch nicht angepasst für die speziellen Anforderungen und Bedarfe der Geothermie. Dort wird zum Beispiel üblicherweise nur bei Temperaturen bis 120 °C operiert. Zudem wird der Markt der Bohrloch-Tools für alle Bereiche von einer handvoll Unternehmen dominiert, die ihre Geräte lediglich verleihen oder den Service für Untersuchungen anbieten. Die Kosten für solche Dienste sind hoch und aus Sicht vieler Betreiber und der Wissenschaft nicht finanzierbar. Zielführend und aus wissenschaftlicher Sicht wünschenswert wäre es, wenn derartige Geräte, etwa zur Messung unterschiedlicher Thermalwassereigenschaften, zur Entnahme und Sicherung von Proben aus dem Bohrloch, zur videotecnischen Untersuchung von Bohrlochwänden bis hin zur Vor-Ort-Reparatur beschädigter Bohrloch-Casings, erschwinglich erwerbbar und das nötige Know-how für deren Konstruktion frei zugänglich wären. Das würde die Geothermieforschung und damit letztlich die Geothermie als regenerative Energiequelle an sich, stark voranbringen. Aus diesem Grund wird bei den Forschungsbemühungen in ZWERG dieser offene Ansatz verfolgt. Dabei geht es sowohl um die Schaffung einer Basis für vielfältige Entwicklungen je nach Bedarf durch den Aufbau einer Systemplattform mit standardisierten Modulen und Materialbeständen, als auch um die Entwicklung einiger zentraler Sondenmodule, die wichtige Einsatzmöglichkeiten bieten und die Leistungsfähigkeit von ZWERG demonstrieren.

Auf zwei Beispiele, das Videoinspektionssystem GeoKam und die Bohrlochkältemaschine COBOLD, wird nachfolgend näher eingegangen.

Lösungsansatz ZWERG

Das Prinzip von ZWERG besteht darin, eine breite Wissens- und Erfahrungsbasis für die Entwicklung von Bohrlochgeräten zu schaffen und der Allgemeinheit zugänglich zu machen. Dies soll beispielsweise über ein Wiki stattfinden. Das Konzept kann allerdings nur dann wirklich funktionieren, wenn sich möglichst viele Forschungsgruppen auch über das KIT hinaus beteiligen und ihr Wissen zum Austausch zur Verfügung stellen. Das zweite Grundprinzip von ZWERG ist das bereits angesprochene plattformbasierte Vorgehen verbunden mit einer modularen Bauweise

der Sonden. Auf diese Weise soll eine Standardisierung erreicht werden, die u.a. durch die Wiederverwendung gleicher Bauteile und Sonderelemente die Entwicklungskosten stark senkt.

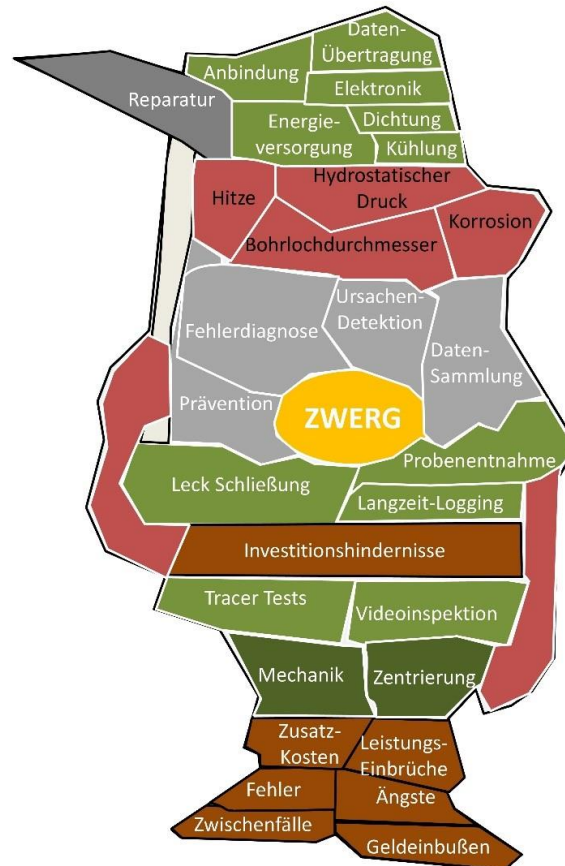


Abb. 3: Themenkomplex des ZWERG Projekts.

Abbildung 3 soll einen Überblick über die Fragestellungen geben, welche im ZWERG-Projekt beinhaltet sind. Beispiele für laufende und geplante Entwicklungen sind die GeoKam, die Bohrlochkältemaschine COBOLD und SOHLE, ein Gerät zur sicheren Befahrung von open-holes, also den Bohrloch-Endbereichen ohne Casing (Isele, Bauer, Dietze, Holbein, & Spatafora, 2014).

GeoKam

Die GeoKam ist eine Videoinspektionssonde für die Live-Übertragung hochauflöser Videos aus dem Inneren von Bohrlöchern, die im Rahmen eines BMWi-Projekts entwickelt wird. Sie besitzt Kameras mit einstellbaren Blenden und Fokus in Umfangs- und Frontrichtung sowie ein System für eine gute Ausleuchtung des Betrachtungsbereichs. Zudem beinhaltet sie ein Kühlsystem sowie ausreichende Wärmedämmung zur Befahrung von Bohrlöchern bis 165 °C für mehrere Stunden. Sie soll in Einsatziefen bis 4000 m gelangen und dabei Umgebungsdrücken bis 600 bar standhalten (Spatafora, Holbein, Isele, Heuser, Basuki, & Dahm, 2014). Im Februar 2014 wurde ein Prototyp auf der GeoTHERM Messe in Offenburg ausgestellt.

COBOLD

COBOLD (Cooling Of Borehole Objects in Large Depths) steht in gewisser Weise für eine Ausgründung aus ZWERG, bei der ein neues Basismodul für verschiedenste Anwendungen entwickelt werden soll. Im Mittelpunkt steht dabei eine Kältemaschine für Bohrlöcher, durch die der Einsatz von Standardelektronik, die für zahlreiche Anwendungen benötigt wird, auch in sehr heißen Umgebungen und ohne zeitliche Beschränkung ermöglicht wird. Bei dem BMWi-Projekt soll zunächst ein 1-stufiges System für 200 °C Umgebungen konstruiert werden, durch eine Weiterentwicklung mit 2-stufigem Aufbau sind aber in Zukunft auch Systeme für Umgebungstemperaturen von 350 °C und mehr realisierbar. Als erste Anwendung soll COBOLD Sensorik für die Erfassung von chemischen Parametern von Thermalwässern beherbergen, grundsätzlich ist er aber für jede Anwendung geeignet, die Elektronik benötigt und in heißen Umgebungen bzw. über längere Zeiträume stattfinden soll (Holbein & Isele, 2014).

SOHLE

Bei SOHLE handelt es sich um ein Projekt für die sichere Befahrung des sogenannten open-holes in Bohrlöchern. Dieser Bereich, in dem es kein Casing mehr gibt, ist aus wissenschaftlicher Sicht äußerst interessant für Befahrungen für Messungen und Inspektionen, weil dort die eigentlich relevanten Vorgänge für den Wärmetransport durch Thermalwässer und in der Erdkruste ablaufen. Bislang sind Einsätze in diesen Endabschnitten von Bohrungen kaum möglich. In erster Linie hindert die unwegbare geklüfte Bohrlochbeschaffenheit daran, mit Sonden dort hinein zu fahren, weil die Gefahr besteht, dass sich die meist über Wirelines, also letztendlich lange Drahtseile, gesteuerten Geräte verhaken und stecken bleiben. Verlorene Tools verursachen hohe Kosten und bergen das Risiko, das Bohrloch selbst stark zu beeinträchtigen oder sogar unbrauchbar zu machen. SOHLE soll diese Gefahr vermeiden, indem ein spezielles Kontaktarmsystem stets für die richtige Positionierung im Bohrloch sorgt, diese bei Bedarf anpassen kann, etwa um den Blickwinkel bei einer Kamerabefahrung zu verbessern und eine Sonde im Falle eines Festhängens aktiv befreien kann. Dies sind nur einige Beispiele für geplante und laufende Entwicklungen. Casing-Reparatur-Einheiten, diverse Sensorik-Module und weitere Geräte können durch ZWERG zur Realisierung gebracht werden.

Zusammenfassung

Die Nutzung der Geothermie bleibt derzeit weit hinter den Potentialen zurück. Ein Grund dafür ist die Unsicherheit bezüglich der Vorgänge in den Bohrlöchern.

Das Projekt ZWERG bietet eine open Source Systemplattform an, die künftige Entwicklungen von Messsystemen und Arbeitsgeräten für Bohrlöcher wesentlich vereinfachen wird. Wenn damit eine größere Klarheit über den Zustand der Bohrlöcher geschaffen wird und z. B. defekte Casings fernbedient repariert werden können, dann trägt ZWERG zur Risikominimierung für Investoren und mehr Akzeptanz bei kritischen Bevölkerungsschichten bei.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Strommix in Deutschland 2012.	2
Abb. 2: Energiepotential der Heißwasseraquifere in Deutschland und Gesamt-Energiebedarfe.....	3
Abb. 3: Themenkomplex des ZWERG Projekts.....	6

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Beispielrechnung für Produktionskosten geothermischer Energie	4
---	---

Literaturverzeichnis

- [1] ABFT. (24. 10 2003). Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland. Monitoring. Berlin, Deutschland: Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH.
- [2] AGEb. (März 2013). Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2013. Berlin, Deutschland: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.
- [3] BMU. (03 2012). Erneuerbare Energien Statistik 2012. Berlin, Deutschland: Bundesministerium für Umwelt BMU.
- [4] Greenpeace. (2010). Staatliche Förderungen der Atomenergie. Berlin, Deutschland: Green Budget Germany GBG - Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft e.V.
- [5] Holbein, B., & Isele, J. (02 2014). Development of a Cooling System for Geothermal Borehole Probes. Journal of Earth Science and Engineering, Vol.4, Nr.2, S. 74-79.
- [6] Isele, J., Bauer, C., Dietze, S., Holbein, B., & Spatafora, L. (05 2014). Standardisierte Bausteine für Geothermiesonden. bbr - Leitungsbau, Brunnenbau, Geothermie, S. 56-63.
- [7] Spatafora, L., Holbein, B., Isele, J., Heuser, P., Basuki, W. W., & Dahm, R. (24.-26. Februar 2014). Video Inspection Probe for deep Geothermal Boreholes – GeoKam. Proceedings, 39th Geothermal Workshop. Stanford, Kalifornien, USA: Stanford University.
- [8] UBA. (12 1991). Energetische Nutzung der Geothermie. Wien, Österreich: Umweltbundesamt Wien.