

# Beiträge der Geosphäre zur Energiewende

## Überblick

Die Nutzung des geologischen Untergrundes als Bewirtschaftungsraum bildet eine unverzichtbare Voraussetzung für das Funktionieren von Volkswirtschaften und wird im Zuge der Energiewende weiter an Bedeutung gewinnen. Der geologische Untergrund bietet Grundwasserreservoirs und Energiespeicher, sowie Lagerstätten für energetische und mineralische Rohstoffe (Abbildung 1).

Der unterirdische Raum ist jedoch begrenzt und darüber hinaus existieren bereits heute vielfältige und zukünftig weiter zunehmende konkurrierende Nutzungsansprüche, die eine Perspektive auf wachsende Wertschöpfungspotenziale eröffnen. Sichere Energieversorgung, Schaffung von Wertschöpfung und Übernahme von Verantwortung für Umwelt und Klima erfordern die Erforschung der Geosphäre und ihrer Nutzung.

Nutzungsoptionen für den geologischen Untergrund müssen in ihren Wechselwirkungen untereinander eingeschätzt und in ihren Auswirkungen auf die Umwelt realistisch prognostiziert werden können. Dies führt zu einer intensiven Untersuchung des geologischen Raumes als Gesamtsystem und seiner quantitativen Charakterisierung. Bisher konzentrierte sich die Erkundung auf einzelne Teilräume, i. d. R. von Nutzungsinteressen geleitet (z. B. Kohlenwasserstoffe, tiefe Geothermie, Energiespeicher, Endlager etc.). Zukünftig ist insbesondere bei der Anwen-

derung einzelner, spezifischer Technologien stärker zu berücksichtigen, dass die Wirkung der jeweiligen Nutzungsoption durch den Transport von Fluiden und Wärme sowie die geomechanische Beeinflussung weit über den betreffenden Nutzungsraum hinaus reichen kann.

89% der in Deutschland genutzten Primärenergie werden aus Georessourcen gewonnen<sup>1</sup>, 26% der Primärenergie stammen aus heimischen Georessourcen. 11% der Primärenergie stammen aus erneuerbaren Energien und werden aktuell zur Stromgewinnung und zur Wärmebereitstellung genutzt. Während die heimische Braunkohleversorgung, trotz ihrer mannigfaltigen und z. T. noch ungelösten Umweltprobleme, zumindest mengenmäßig für die nächsten Jahrzehnte gesichert erscheint, werden die konventionellen nationalen Erdöl- und insbesondere Erdgasreserven in den nächsten Jahrzehnten deutlich abnehmen.

Im Folgenden werden die einzelnen Nutzungsoptionen – sortiert nach ihrer topologischen Lage im Untergrund – hinsichtlich ihrer technologischen Aspekte (1), ihrem ökologischen Fingerabdruck (2), ihrer Akzeptanz (3), ihrem potenziellen Beitrag zur Wärmewende (4) und ihrem wirtschaftlichen Potenzial (5) diskutiert und Beispiele für aktive Forschungsaktivitäten aufgezeigt.

<sup>1</sup> Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2016



**GFZ**  
 Prof. Dr. Ernst Huenges  
 ernst.huenges@gfz-potsdam.de  
 Dr. David Bruhn  
 david.bruhn@gfz-potsdam.de  
 Daniel Acksel  
 daniel.acksel@gfz-potsdam.de  
 Dr. habil Axel Liebscher  
 axel.liebscher@gfz-potsdam.de

**ISFH**  
 Prof. Dr. Oliver Kastner  
 oliver.kastner@isfh.de

**UFZ**  
 Prof. Dr. Olaf Kolditz  
 olaf.kolditz@ufz.de

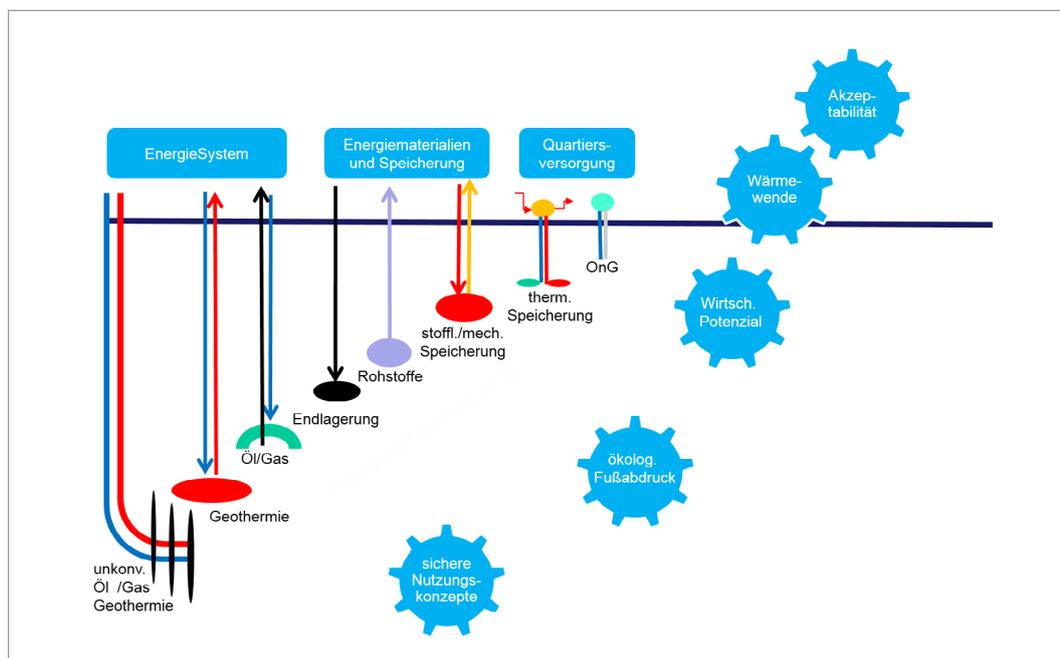


Abbildung 1  
**Beiträge der Geosphäre zur Energiewende**  
 © GFZ

## Oberflächennahe Geothermie

In Mitteleuropa ist die oberflächennahe Geothermie (ONG) relativ verbreitet: Wärmepumpen nutzen den oberflächennahen Untergrund und das darin zirkulierende Grundwasser als Wärmequelle für die Versorgung von Gebäuden. Solche Anlagen brauchen nur einen geringen Temperaturhub von wenigen Grad, um für Heizzwecke ausreichend Wärme zu produzieren. Die Technologie wird vor allem bei Neubauten eingesetzt, z. B. in Einfamilienhäusern, und in öffentlichen Gebäuden bis hin zu städtischen Quartieren. Dazu wird als Hilfsenergie ca.  $1 \text{ kWh}_{\text{Strom}}$  eingesetzt um  $4 \text{ kWh}_{\text{Wärme}}$  bereitzustellen ( $\text{COP}^2=4$ ). ONG beansprucht nur einen geringen Flächenbedarf für Bohrungen. Die  $\text{CO}_2$ -Bilanz wird durch den Stromverbrauch bestimmt. Es besteht bei unsachgemäß ausgeführten Bohrungen das Risiko der Verbindung von Grundwasserleitern. Es sind zurzeit 3.9 GW thermische Leistung in der Bundesrepublik<sup>3</sup> installiert. Ca. 20% der Neubauten werden so versorgt, jedoch ist der Zuwachs im Bestand begrenzt. Die Nutzung der oberflächennahen Geothermie steht trotz der erheblich höheren Effizienz im Wettbewerb mit Luft als Wärmequelle.

Unmittelbar unter der Erdoberfläche werden Erdwärmekollektoren eingesetzt. Dabei müssen nach VDI4640 gewisse Installations- und Betriebsbedingungen eingehalten werden, um eine nachhaltige Bewirtschaftung nicht zu gefährden. Aktuelle Forschungsarbeiten am ISFH zeigen, wie solarthermische Komponenten zur Regeneration erdgebundener Systeme eingesetzt werden können. Dadurch können kompaktere Systeme realisiert werden. Reduzierungen des Flächenbedarfs von Erdwärmekollektoren um die Hälfte gegenüber VDI4640 – bei gleicher Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe – wurden nachgewiesen [Hüsing 2016].

Für die Bemessung und Bewertung großflächiger oberflächennaher geothermischer Systeme werden derzeit am UFZ sowohl methodische als auch angewandte Forschungsvorhaben durchgeführt (Taucha bei Leipzig, Geothermietestfeld UFZ, Köln, Jinan und Beijing). Dabei werden Erkundungs-, Monitoring- und Modellierungskonzepte in komplette „Workflows“ integriert, um die jeweiligen Geothermieanlagen optimal an die lokalen Gegebenheiten anpassen zu können. Große Herausforderungen bestehen in der geplanten Energiesystemintegration von Anlagen bis zu 10.000 Erdwärmesonden z. B. für einen Stadtteil in Beijing. Hier dient die Umstellung der Wärme-/Kälteversorgung auf geothermische Ressourcen auch der Verbesserung der Luftqualität in den Metropolen [Vienken et al. 2015, Hein et al. 2016].

<sup>2</sup> COP – Coefficient Of Performance

<sup>3</sup> <http://www.geothermie.de/aktuelles/geothermie-in-zahlen.html>

## Speicherung von Wärme und Kälte in Aquifern

Durch saisonale Wärmespeicherung, die stofflich oder thermisch erfolgen kann, bietet der Untergrund vielfältige Möglichkeiten der Entlastung von fossilem Brennstoffeinsatz. Das Monitoring der Wärmeversorgung der Parlamentsbauten in Berlin zeigt, dass 70–90% der im Sommer gespeicherten Wärme im Winter im Energieversorgungssystem genutzt werden können.

Mit Wärmespeicherung im Untergrund werden Bedarfs- oder Angebotsfluktuationen in der Quartiersversorgung ausgeglichen. 70% des Gebietes in Deutschland sind geeignet für saisonale Speicherung im Untergrund.

Als Optionen für die Speicherung von Wärme/Kälte werden sowohl Porenspeicher als auch Kavernenspeicher angesehen. Dieser Wärme- und Kältespeicher kommt zur Energiesicherung und dem Management des fluktuierenden Angebots an erneuerbaren Energien eine große Bedeutung zu. Eine Verringerung des Erdgas- und Erdölverbrauchs kann so nach einer baulichen Ertüchtigung der Wohngebäude in erster Linie durch dezentrale und zentrale (saisonale) Wärmespeicher erreicht werden. Besonders bietet sich die Kombination mit solarthermisch erzeugter Wärme an, da das Angebotspotenzial erst durch Speicherung die Nachfrage bedarfsgerecht decken kann (*Abbildung 2*).

Aquiferspeicher stellen offene Systeme dar, die in direktem thermischen und stofflichen Austausch mit der Geosphäre stehen. Sie ermöglichen daher größere Lade/Entladeleistungen, als vergleichbare SONDENSYSTEME. Wegen ihres geringen übertägigen Platzbedarfs bei gleichzeitig großem untertägigen Speichervolumen stellen Aquiferspeicher besonders für dicht besiedelte Ballungsräume attraktive Speichersystemlösungen mit geringen spezifischen Kosten dar [Mangold 2012].

Das GFZ untersucht experimentell zusammen mit der TU Berlin und der Universität der Künste (UdK) in dem Projekt „Effizienz und Betriebssicherheit von Energiesystemen mit saisonaler Energiespeicherung in Aquifern für Stadtquartiere (Aquifer Thermal Energy Storage – ATEs Berlin)“ mögliche betriebsbedingte Veränderungen der hydraulischen Untergrundeigenschaften

Die Forschungsanlage in *Abbildung 3* wurde im Juni 2016 fertiggestellt. Die Bohrung ist komplettiert mit Verrohrungen, Zement bzw. Luft. In den beiden Ringräumen ist je ein faseroptisches Kabel für ortsverteilte Temperatur- und Akustikmessungen installiert. Über das Förderrohr können hydrau-

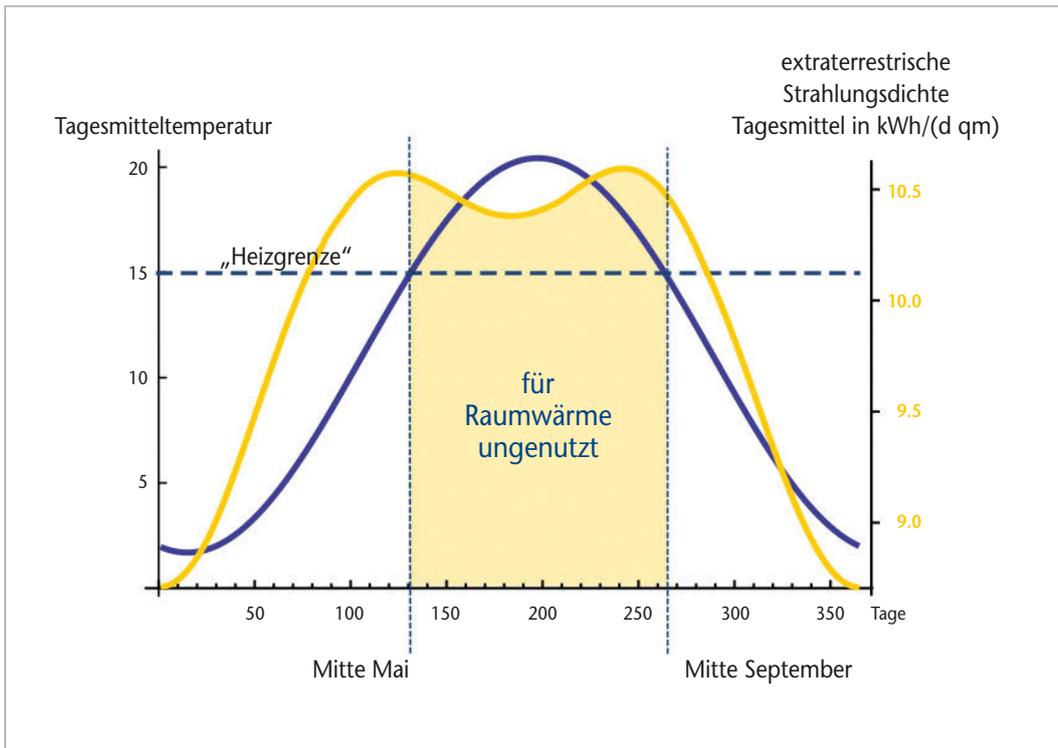


Abbildung 2  
**Verfügbare Wärme eines saisonalen Aquiferspeicher aus Solarthermie**  
 © ISFH

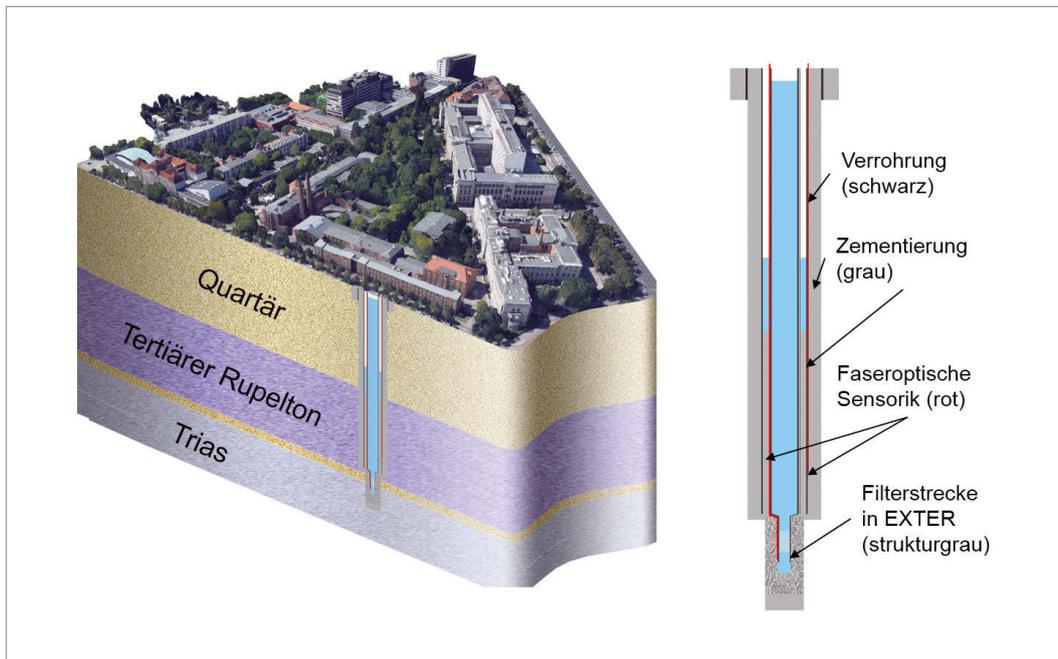


Abbildung 3  
**Forschungsanlage zur Aquiferspeicherung auf dem Campus der Technischen Universität Berlin**  
 (schematische Darstellung)  
 © GFZ

lische Experimente in der Exterformation (~220 m) durchgeführt werden. Weiterhin ist vorgesehen, ein Energiekonzept mit saisonaler Energiespeicherung für den Hochschulcampus TU Berlin/UdK Berlin zu entwerfen. Die Umsetzbarkeit dieses Energiekonzepts wird unter wirtschaftlichen und technischen Aspekten geprüft und bewertet.

### Geologische Speicherung (stofflich/mechanisch)

Der Zuwachs fluktuierender erneuerbarer Energien führt zu einem wachsenden Bedarf an Flexibilität, die nicht allein aus der Erzeugung, dem Netzausbau und der Verbrauchssteuerung dargestellt werden kann. Die Energiespeicherung auf den unterschiedlichsten Skalen wird daher signifikant an Bedeutung gewinnen. Neben Kurzzeitspeichern mit vergleichsweise

geringen Kapazitäten (z.B. Batterien, „Power to Power“), werden insbesondere großskalige Speichertechnologien wichtig, die Strom in synthetisches, speicherbares Gas umwandeln („Power to Gas“, z.B. Wasserstofferzeugung via Elektrolyse, Methanisierung; „Power to Gas to Power“ bei später Rückverstromung) oder die Strom in speicherbare Wärme umwandeln („Power to Heat“).

Insbesondere für diese großskaligen Technologien spielt die Speicherung im geologischen Untergrund die zentrale Rolle. Daher ist es wichtig, rechtzeitig die Möglichkeiten, Grenzen und die Konkurrenzfähigkeit dieser Technologien zu ermitteln. Die Belange der Umwelt erfordern eine sichere Abdichtung des Speicherraums im Nahfeld, d.h. in wenigen 100 m Radius, aber auch im Fernfeld, so dass Leckagen vermieden werden. Das Risiko erhöhter Seismizität ist bei diesen Nutzungsoption gering.

Im geologischen Untergrund Deutschlands wird heutzutage Energiespeicherung in der Größenordnung von mehr als 200 TWh realisiert. So sind allein geologisch  $22 \cdot 10^9 \text{ Nm}^3$  Gasspeicher<sup>4</sup> etabliert, was bei Speicherung mit Methan einer Energie von 200 TWh entspricht.

Es besteht die Möglichkeit eines weiteren Ausbaus. So könnte der Ausbau konventioneller Erdgasspeicher im Hinblick auf den Einsatz von „Power to Gas to Power“-Technologien zukünftig eine räumlich komplementäre Speicherung von Prozess- und Synthesegasen ermöglichen. Auch hier lassen sich bei dem Aufbau einer entsprechenden Infrastruktur vielfältige Synergieeffekte im Hinblick auf das Management von zeitlichen und räumlichen Überschussituationen sowohl im Strom- als auch im Wärmemarkt im Sinne der Energieeffizienzsteigerung erzielen.

Neben der stofflichen Speicherung von Überschussenergie ist auch die mechanische Speicherung über Druckluftspeicher in Salzkavernen möglich. Insbesondere bei der Druckluftspeicherung kann eine Kopplung mit Wärmespeicherung einen adiabatischen Betrieb ermöglichen und signifikante Effizienzsteigerungen erzielen.

## Rohstoffe für die Energiewende

Der unterirdische Raum wird seit Jahrhunderten als Träger von fossilen Energierohstoffen wie beispielsweise Kohle in Bergwerken abgebaut. Aktuell ist ein rapide ansteigender Bedarf an Rohstoffen für erneuerbare Energietechnologien<sup>5</sup> wie bei der Photovoltaik (Ag, Sn, In, Ge, Ga, Se, Cd, Te, Cu, Si, Mo) zu beobachten, der nicht durch eine hochqualifizierte Kreislaufwirtschaft gedeckt werden kann.

<sup>4</sup> ERDÖL ERDGAS KOHLE 128. Jg. 2012, Heft 11, 412–423.

<sup>5</sup> Wuppertal Institut 2014 sowie Marscheider-Weidemann et al. 2016

Umweltaspekte sind charakterisiert durch Risiken, insbesondere im Tiefbau, die durch die abbaubedingten Massenverschiebungen beispielsweise zu Subsidenz und zu sogenannten Bergschäden führen können, die zum Teil mit spürbarer Seismizität verbunden sind. Diese Form der Seismizität ist in den Kohleabbaugebieten weitgehend akzeptiert, obwohl ihre Stärke deutlich größer sein kann als bei der Seismizität, die möglicherweise bei der Nutzung neuerer Technologien wie beispielsweise der Geothermie auftreten kann. Hohe Potenziale der Wertschöpfung<sup>6</sup> können erzielt werden, wenn es gelingt, Technologien zur Erkundung der Lagerstätten sowie zur effizienten und umweltverträglichen Bereitstellung von Primärrohstoffen zu entwickeln.

## Endlagerung – insbesondere radioaktiver Abfall

Die Nutzung des geologischen Untergrundes als Raum zur langfristigen Einlagerung problematischer Abfallstoffe (chemo-toxische und radioaktive Abfälle, CO<sub>2</sub>) ist ein originär geowissenschaftliches Thema<sup>7</sup>. Bereits heute werden viele Sonderabfälle im Untergrund gelagert, besonders nachdem die Verklappung in Fließgewässern und den Meeren gestoppt wurde. Beträchtliche Mengen problematischer Materials sind in der Vergangenheit angefallen und werden weiterhin anfallen. Berücksichtigt man die internationalen Klimaschutzdiskussionen, ist hier auch CO<sub>2</sub> weiterhin zu nennen. Der geologische Untergrund bietet aufgrund des potenziell verfügbaren Raumes und der geringen Durchlässigkeit einzelner Gesteinsformationen prinzipiell gute Voraussetzungen, um problematische Stoffe langfristig sicher zu speichern und negative Folgen der Einspeicherung/Lagerung auf die verschiedenen Schutzgüter zu vermeiden. Eine Tiefenlagerung vermindert bzw. verhindert zudem direkte Einflüsse oder Eingriffe von der Erdoberfläche. Die hierfür zu entwickelnden Entsorgungsstrategien setzen jedoch eine umfassende Bewertung der Eignung einzelner spezifischer Gesteinsformationen unabdingbar voraus. Nur mit einer solchen umfassenden Bewertung kann eine Datengrundlage geschaffen werden, die einen Vergleich und Bewertung verschiedener unterirdischer und oberirdischer Einlagerungsoptionen ermöglicht. Einhergehend mit dem beschlossenen Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie zum Jahre 2022 besteht Konsens darüber, dass die Entsorgung der

<sup>6</sup> Wirtschaftsstrategische Rohstoffe für den Hightech-Standort Deutschland, BMBF 2012

<sup>7</sup> Radioaktive Endlagerung wird hier nicht besonders behandelt, da es zu dem Thema eine vom deutschen Bundestag eingesetzte Kommission gibt, die ihre Arbeit gerade erst aufgenommen hat: [http://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2014/kommission\\_endlagerung/279544](http://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2014/kommission_endlagerung/279544)

nuklearen Abfälle eine nationale Aufgabe ist. Dies bedeutet, dass unterirdischer Raum für die Endlagerung gesucht und langfristig bereitgestellt werden muss. Offen ist die Frage, wo der dafür geeignete Untergrund in Deutschland vorhanden ist und ob solch eine wissenschaftsbasierte Lösung gesellschaftlich überhaupt akzeptiert wird. Der voraussichtlich lange Zeitraum bis zur Standortentscheidung verbunden mit dem Ziel, Standortregionen und Planungsgebiete für potenzielle Endlagerstandorte frühzeitig zu sichern, kann zudem restriktive Rahmenbedingungen für andere Untergrundnutzungen schaffen.

### Konventionelle Öl- und Gasproduktion

Die klassische Produktion von Öl und Gas muss hier aufgeführt werden, da sie den größten Teil der Energiebereitstellung in Deutschland darstellt, beispielsweise mit Anteilen an der Wärmebereitstellung in Deutschland von 56,1% Gas und 28,9% Öl<sup>8</sup>. Kohlenwasserstoffe werden als Importprodukt (Primärenergie 55% Öl/Gas (davon 98/88% Import))<sup>9</sup> akzeptiert, Umweltaspekte anderswo werden in Kauf genommen. In der ökologischen Einschätzung dieser Nutzungsoptionen ist der eher geringe Flächenbedarf zur Bereitstellung der Energieträger zu nennen. Im Gegensatz zur Geothermie als heimischer Energieträger ist die Bereitstellung von Öl und Gas mit massiven Transporten verbunden, die zu Umweltauswirkungen anderswo führen können. Risikoreiche Transporte bergen das Potenzial von Leckagen der Pipelines und leider immer wiederkehrenden Havarien der Öltanker. Die Ausbeutung ist durch das erzeugte Massendefizit im Untergrund mit Subsidenz, die zu hoher Seismizität führen kann, aber auch mit mangelnder Integrität von Bohrungen verbunden. Trotz des hohen Bedarfs ist die industrieunabhängige Forschung eher unterrepräsentiert.

Die Erschließung von Lagerstätten in großen Tiefen erfordert in der Regel ingenieurtechnische Maßnahmen. Mit hydraulischer Stimulation oder Säurebehandlung sind Methoden verfügbar, mit denen künstlich eine höhere hydraulische Leitfähigkeit in gering durchlässigen Gesteinen hergestellt werden können, so dass die Förderung von Gas und Öl und die Zirkulation von heißen Wässern durch a priori trockene Tiefenschichten wirtschaftlich wird. Alle dazu notwendigen Systemkomponenten sind verfügbar, während es noch Verbesserungspotenzial hinsichtlich der Verlässlichkeit und Effizienz der Technologien gibt. Abhängig vom Standort und von der Ausführung der Behandlungen der Lagerstätte kann es zu induzierter Seismizität kommen.

### Nutzung hydrothormaler Geothermie

Die Technologie zur Nutzung der tiefen Geothermie erfordert in der Regel mindestens eine Förder- und eine Schluckbohrung, die bedarfsgerecht Energie mit ausreichender Temperatur aus einer tiefen Erdwärmelagerstätte erschließt. Der Thermalwasser-Kreislauf wird über Tage geschlossen, die Energie wird an den jeweiligen Abnehmer weitergegeben und das ausgekühlte Wasser über die Schluckbohrung in die Lagerstätte zurückgeführt. Die CO<sub>2</sub>-Erzeugung der Bereitstellung dieser Energie liegt nahezu zwei Größenordnungen niedriger als bei fossilen Energieträgern<sup>10</sup>. Daher trägt der Ausbau der Geothermie wesentlich zur CO<sub>2</sub>-Vermeidung bei.

Bei den in Deutschland verfügbaren tiefen geothermischen Lagerstätten handelt es sich um heiße Tiefenwässer führende Schichten (hydrothermale Systeme) und um in Tiefengesteinen gespeicherte Wärme (petrothermale Systeme) ohne oder mit begrenzter Wasserführung. Zum überwiegenden Teil existieren Lagerstätten mit Übergängen von hydro- zu petrothermalen Systemen, die man mit Hilfe des sogenannten Engineered-Geothermal-System-(EGS)-Konzeptes<sup>11</sup> zu einer wirtschaftlichen Nutzung führen kann. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass die Risiken der Geothermie noch besser als bisher eingeschätzt werden können.

Geothermische Energie kann neben der Wärmeversorgung auch zur Generierung von grundlastfähiger Elektrizität genutzt werden. Zurzeit sind in Deutschland mehr als zwei Gigawatt Wärmeleistung aus der Geothermie installiert. Davon wird über 230 MWth Leistung mit geothermischer Energie aus tieferen Lagerstätten (tiefe Geothermie) für größere Wärmenetze bereitgehalten<sup>12</sup>. Längerfristig beträgt das geothermisch-technische Potenzial primär für Wärme aber auch als regelbare Energie für Strom ca. 10% des Primärenergiebedarfs in Deutschland. Tiefe Geothermie hat ein großes Abnehmerpotenzial in den bisher fossil versorgten urbanen Bereichen, so dass ein Ausbau der Geothermie wesentlich zur Energiewende beitragen kann. Das wird angesichts der hohen Anschlussanfragen für geothermisch betriebene Heiznetze im Münchener Raum sehr deutlich<sup>13</sup>.

<sup>8</sup> BDEW-Studie zum Heizungsmarkt, 2015

<sup>9</sup> Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2016

<sup>10</sup> IPCC-Report 2011

<sup>11</sup> EGS-Technologien stellen die Summe der ingenieurtechnischen Maßnahmen dar, die zum Austausch der Wärme und zur wirtschaftlichen Optimierung der Erschließung der Lagerstätte erforderlich sind. Mit hydraulischer Stimulation oder Säurebehandlung sind Methoden verfügbar, mit denen künstlich eine höhere hydraulische Leitfähigkeit in gering durchlässigen Gesteinen hergestellt werden können. Alle dazu notwendigen Systemkomponenten sind verfügbar, es gibt noch Verbesserungspotenzial hinsichtlich der Verlässlichkeit und Effizienz der Technologie.

<sup>12</sup> <http://www.geothermie.de>

<sup>13</sup> <https://www.swm.de>



Abbildung 4

**Forschungsplattform**

**Groß Schönebeck:**

*Links: Injektionsbohrung (blau)*

*Mitte: Thermalwasserleitungen zur Funktionshalle und Kühltürme mit dreistufiger ORC-Anlage*

*Rechts: Förderbohrung (rot)*

© GFZ

Die Forschung konzentriert sich auf eine sichere Erschließung und Nutzung dieser Quelle mit der Entwicklung hoher Standards der Bohrlochintegrität, bzw. mit Vermeidungskonzepten der Wechselwirkung der geförderten Tiefenwässer mit den Systemkomponenten, also Korrosion und Ausfällungen beispielsweise an der Forschungsplattform Groß Schönebeck (Regenspur et al. 2015; Blöcher et al. 2016) (Abbildung 4).

Die Forschung für Geothermie konzentriert sich auf sanfte Stimulationsverfahren, die eine Erschließung verbunden mit einer Minimierung der Umweltauswirkungen ermöglicht (DESTRESS). Im Mittelpunkt des Projektes DESTRESS<sup>14</sup>, an dem 16 Partner beteiligt sind, stehen die Entwicklung standortspezifischer Konzepte zur Produktivitätssteigerung gering-durchlässiger geothermischer Reservoirs und deren Demonstration an Standorten in Südkorea, der Schweiz, Frankreich, den Niederlanden und Litauen.

**Akzeptanzanalyse bisheriger Geotechnologie-Forschung**

Trotz der sehr großen Bedeutung des geologischen Untergrundes für Wohlstand und Wohlfahrt der Gesellschaft treffen Geotechnologien-Projekte aktuell z. T. auf großen gesellschaftlichen und politischen Widerstand bis hin zur generellen Ablehnung einer Nutzung des Untergrundes. Gleichzeitig kann festgestellt werden, dass das ambitionierte Generationenprojekt „Energiewende“ zwangsläufig mit einer heterogenen Akteurs-Struktur verbunden ist. Neue diskursive Formate sind notwendig. Ein Beispiel ist das Zwanzig20-Forum Wärmewende<sup>15</sup>, bei dem durch Demonstration Technologietransfer und

<sup>14</sup> [www.destress-h2020.eu](http://www.destress-h2020.eu)

<sup>15</sup> <http://www.gfz-potsdam.de/sektion/zwanzig20-forum-waermewende/>

Vernetzung befördert wird. Grundsätzlich stellt sich die Frage, welchen Beitrag die geowissenschaftliche Gemeinschaft zukünftig leisten kann, um einen wissenschaftlich basierten gesellschaftspolitischen Diskurs zu fördern. Generell ist festzustellen, dass es in den vergangenen Jahrzehnten nicht immer gelungen ist, eine für die Öffentlichkeit nachvollziehbare wissenschaftliche Unabhängigkeit zu vermitteln, die bei der Beantwortung kontroverser Geotechnologie-Themen auf eine größere gesellschaftliche Akzeptanz gestoßen wäre. Gerade die große wirtschaftliche Bedeutung einzelner Geotechnologien suggerierte eine von der Öffentlichkeit so wahrgenommene und oft auch politisch geförderte Nähe zu Interessenträgern aus der Wirtschaft, was die Glaubwürdigkeit der Rolle der Wissenschaft als „objektive Instanz“ zwischen den gesellschaftlichen Gruppen stark beeinträchtigte. Die gesellschaftlichen Bedenken werden hierbei durch Problemfälle wie z. B. dem der „Asse“<sup>16</sup> oder dem am Standort „Staufen“<sup>17</sup> oder zuletzt in „Gronau“<sup>18</sup> zusätzlich genährt. Hiervon sind mittlerweile auch gesellschaftlich und politisch höchst kontrovers diskutierte aktuelle F&E-Verbundvorhaben betroffen, wobei sich die Befürchtungen fallweise auf nutzungsbedingte Stoffeinträge in Trinkwasser-aquifere, induzierte Seismizität und Gebäudeschäden durch Landhebungen bzw. -senkungen beziehen. Es sind Akzeptanzstudien wie folgt erforderlich: Aus der weit verbreiteten öffentlichen Ablehnung neuer Projekte zur Umsetzung der Energiewende ergibt sich die Notwendigkeit, die Bevölkerung stärker in die

<sup>16</sup> Wassereintritt in die Grube Asse, die für die Lagerung schwach- bis mittelradioaktiver Abfälle genutzt wurde: <http://www.asse.bund.de>

<sup>17</sup> Hebungen des Untergrundes in der Altstadt von Staufen durch unsachgemäße Bohrung für ein flaches Geothermiesystem <http://www.staufen.de/aktuelles-nachrichten/hebungsrisse/>

<sup>18</sup> <http://www.faz.net/aktuell/gesellschaft/oelleck-im-muensterland-havarie-auf-der-kuhweide-12922885.html>

Abläufe vor Ort mit einzubeziehen bzw. im Vorfeld schon alle geplanten Schritte transparent zu machen und zu erklären. Wichtig ist auch, dass auf Alternativen bzw. Konsequenzen hingewiesen wird, was passiert wenn das Projekt nicht durchgeführt werden kann oder auch wenn ein Problem auftritt. Wie wird die Bevölkerung informiert, wie werden Betroffene entschädigt? Ein gutes Beispiel ist die Aufklärungsarbeit des Geothermieprojekts St. Gallen/Schweiz, wo die Bevölkerung zuerst mit großer Mehrheit der Finanzierung durch die öffentliche Hand zugestimmt hatte und nach der Havarie durch den unvorhergesehenen Gaseintritt und die anschließend aufgetretene Seismizität immer noch für eine Fortsetzung des Projekts stimmte. Mit entsprechender Akzeptanz sind auch komplexe Projekte zur Erschließung und Nutzung der Geosphäre durchführbar.

## Schlussfolgerungen

Der Beitrag der Geosphäre zu unserem Energiesystem umfasst geothermische Energie, Kohlenwasserstoffe (Öl und Gas zuzüglich unkonventionelle wie Shale Gas und Gashydrate), die Erschließung mineralischer Rohstoffe, die stoffliche und energetische Speicherung im Untergrund (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, Druckluft, Abfälle) sowie die saisonale geologische Speicherung von Wärme und Kälte. Die Geosphäre bietet mit dem Energieträger Geothermie und den Speicheroptionen wesentliche Potenziale für die Energiewende.

Kompetenzen in der Forschung und in der geoenergetischen Technologieentwicklung sind erforderlich, um natürliche Ressourcen zu bewahren und ggfs. umweltfreundlich zu nutzen. Wichtige Aspekte sind der Schutz der Trinkwasserhorizonte, induzierte Seismizität, natürliche Radioaktivität etc. Es müssen geophysikalische und geochemische Monitoringverfahren entwickelt werden, die physikalisch-chemischen Prozesse des geologischen Untergrundes, wie die Fluid-Gestein-Wechselwirkung, charakterisiert, abgebildet und modelliert werden (*Abbildung 5*).

## Literatur

- Blöcher, G., Reinsch, T., Henniges, J., Milsch, H., Regenspurg, S., Kummerow, J., Francke, H., Kranz, S., Saadat, A., Zimmermann, G., Huenges, E. (2016): Hydraulic history and current state of the deep geothermal reservoir Groß Schönebeck. - *Geothermics*, 63, p. 27–43.
- Hein, P., Zhu, K., Bucher, A., Kolditz, O., Pang, Z., Shao, H., (2016): Quantification of exploitable shallow geothermal energy by using Borehole Heat Exchanger coupled Ground Source Heat Pump systems. *Energy Conv. Manag.* 127, 80–89
- Huenges, E (2016) Enhanced Geothermal Systems: review and status of research and development. In DiPippo (Ed.) *Geothermal Power Generation*, Woodhead Publishing, 743–760.
- Hüsing F., H. Hirsch and G. Rockendorf (2016) Combination of solar thermal collectors and horizontal ground heat exchangers as optimized source for heat pumps. *Proceedings of EuroSun2016, Palma de Mallorca (Spain), 11–14 October 2016*
- Mangold D. et al. (2012) Technisch-wirtschaftliche Analyse und Weiterentwicklung der solaren Langzeit-Wärmespeicherung – Wissenschaftlich-technische Programmbegleitung für Solarthermie2000Plus. Forschungsbericht zum BMU-Vorhaben 0329607N, Laufzeit Dezember 2007 bis Februar 2011. Stuttgart: Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme (Solites).
- Regenspurg, S., Feldbusch, E., Byrne, J., Deon, F., Driba, D. L., Henniges, J., Kappler, A., Naumann, R., Reinsch, T., Schubert, C. (2015): Mineral precipitation during production of geothermal fluid from a Permian Rotliegend reservoir. – *Geothermics*, 54, p. 122–135.
- Vienken, T., Schelenz, S., Rink, K., Dietrich, P., (2015): Sustainable intensive thermal use of the shallow subsurface – a critical view on the status quo. *Groundwater* 53 (3), 356–361

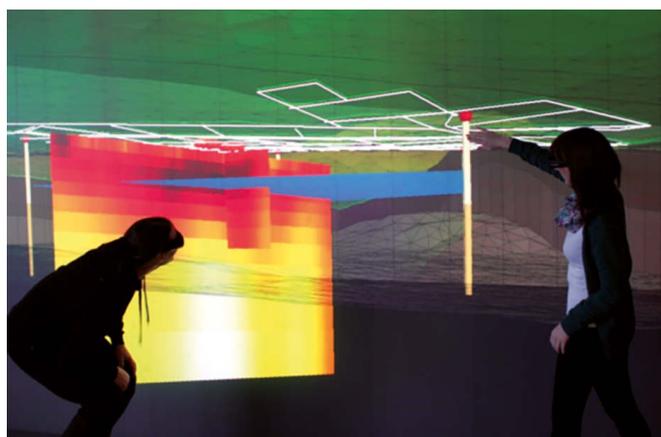


Abbildung 5

**Visualisierung der Prozesse der energetischen Untergrundnutzung** mithilfe moderner IT-Methoden und Infrastrukturen für die Daten- und Systemanalyse mit Höchstleistungsrechnern.

© UFZ