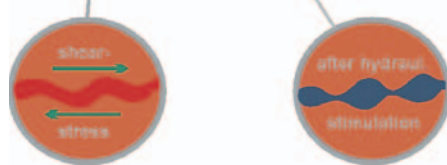
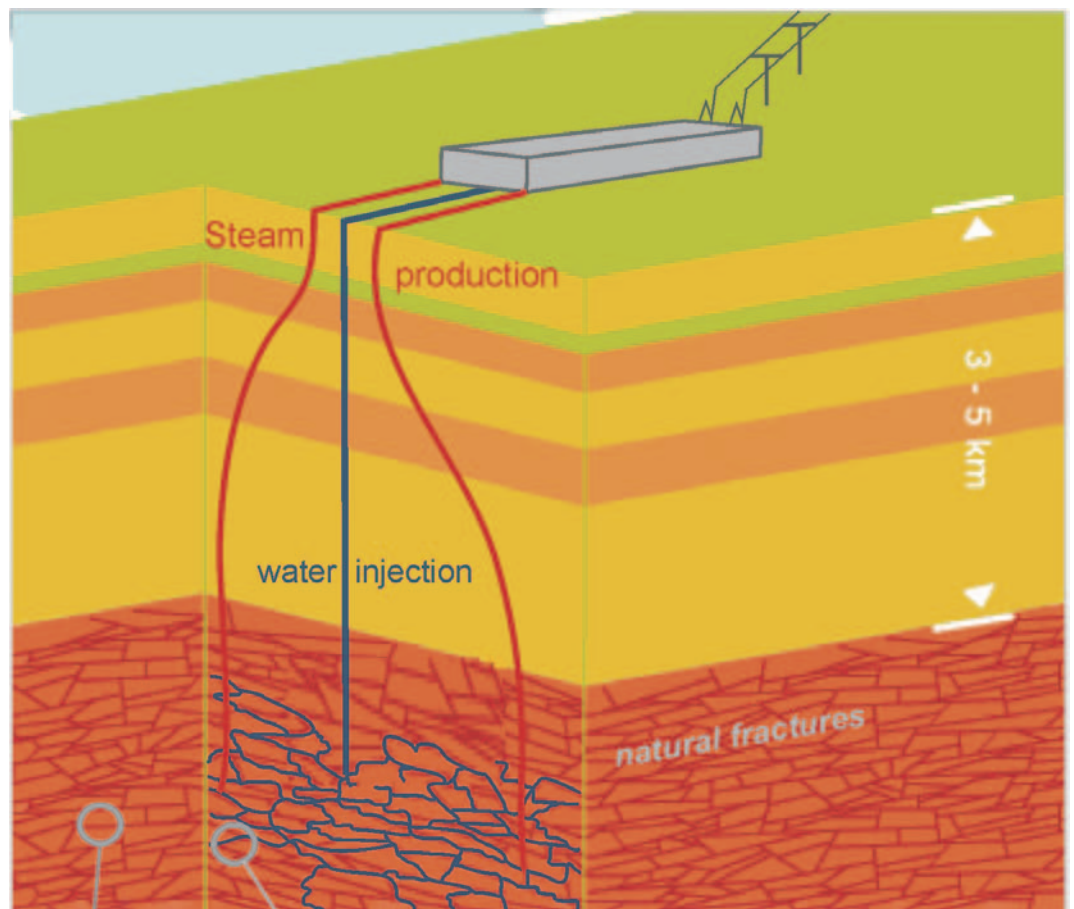


Neue Wege bei der Nutzung von Erdwärme und Speicherung von Kohlendioxid

Unsere Zivilisation bedarf vieler in der Erde befindlicher Ressourcen. Einige Feststoffe wie Sand, Kies und Steine können direkt an der Erdoberfläche gewonnen werden. Andere, wie Kohle und Erze, müssen meist durch Bergbau erschlossen werden. Öl, Wasser und Gas dagegen sind in den Poren und Spalten der Gesteine gespeichert, aus denen sie nur mit großem technischem Aufwand in Bohrungen gefördert werden können. Erdwärme schließlich ist allgegenwärtig in der Erde und sowohl in ihren festen wie flüssigen Bestandteilen enthalten. Daher kann sie unter anderem durch die Förderung von heißem Wasser oder Dampf gewonnen werden.

Länder wie Deutschland, die außerhalb der risikoreichen Vulkanzonen der Erde liegen, besitzen keine natürlichen Heißdampffelder, die wie etwa in Island oder Italien direkt zur Stromerzeugung genutzt werden können. Dennoch enthält auch hier der Untergrund riesige Mengen an Wärmeenergie. Diese in Strom zu wandeln erfordert jedoch die Schaffung künstlicher Wärmetauscher im tiefen Untergrund, was nach wie vor eine große geowissenschaftliche und verfahrenstechnische Herausforderung ist. Hierzu wird undurchlässiges, natürliches Festgestein in Tiefen von etwa fünf Kilometern durch Einpressen kalten Wassers unter hohem Druck aufgebrochen, damit es danach von Wasser durchströmt werden kann, welches ihm die Wärme entzieht, siehe Bild 1. Wiewohl diese Technologie der „Reservoirstimulation“ auch bei der Öl- und Gasförderung aus Sedimentgesteinen verwendet wird, unterscheiden sich die Verhältnisse im – meist kristallinen – Festgestein hiervon wesentlich. Entscheidend für den Erfolg oder Misserfolg der technischen Reservoirstimulation sind die dadurch ermöglichten Fließraten zwischen den Einspeise- und Förderbohrungen im System. Sind diese nicht hinreichend für eine wirtschaftliche Stromerzeugung, müssen Wege ermittelt werden, wie diese er-



hydraulic stimulation of naturally fractured rock under shear stress

höht werden können.

Um die Fließraten erhöhen zu können, muss das Strömungsverhalten in den komplizierten Poren- und Kluftsystemen der Gesteine verstanden werden. Neben hydraulischen Testen und Markierungsversuchen zum Erkennen der Strömungspfade eröffnet die numerische Simulation von Strömung und Wärmetransport die Möglichkeit, den Einfluss verschiedener Parameter, unter anderem Druck und Temperatur, auf das

Systemverhalten zu untersuchen. Auf diese Weise können unterschiedliche Optionen zur Erhöhung der Fließraten untersucht und bewertet werden. Mit diesen Fragen beschäftigen sich die Wissenschaftler am Lehrstuhl Applied Geophysics and Geothermal Energy des E.ON Energy Research Center der RWTH Aachen. Die Bilder 2 und 3 zeigen ein Beispiel für eine solche Simulation. Die Untersuchungen belegen, dass wegen der eng begrenzten

Bild 1: Prinzipbild eines technisch angelegten Untergrundwärmetauschers zur Verstromung von Erdwärme in Regionen ohne natürlichen Dampfplatz (nach: www.geodynamics.com.au). Nach Aktivierung einer unter Scherspannung stehenden Kluft (links unten: rot) entsteht neuer Porenraum, der durch den seitlichen Versatz der Kluft offen gehalten wird (unten rechts: blau).

Simulationen vermitteln Einsicht in Prozesse vom Mikrometer- bis Kilometermaßstab

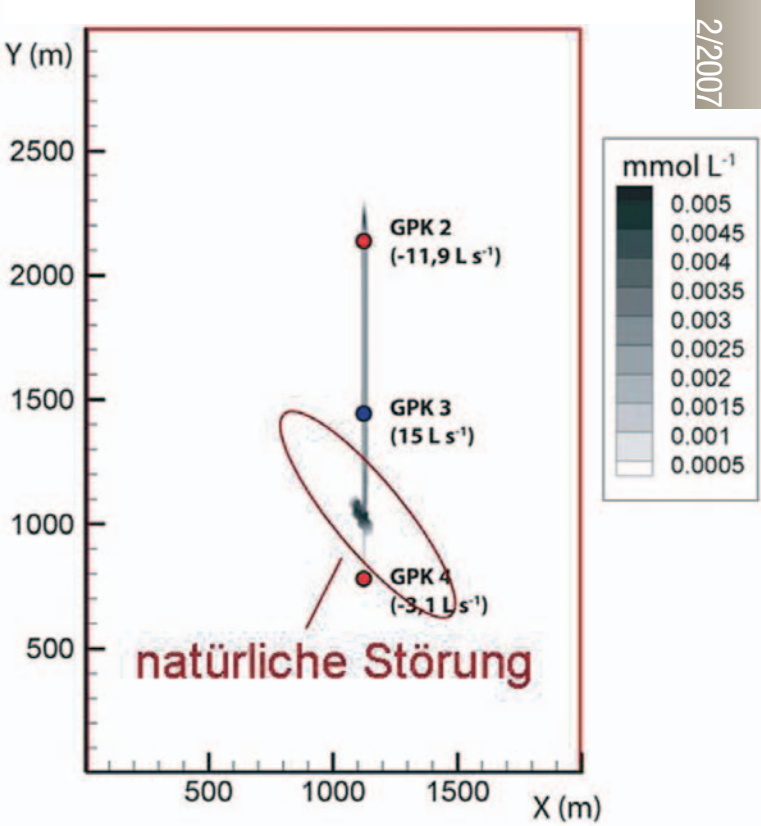
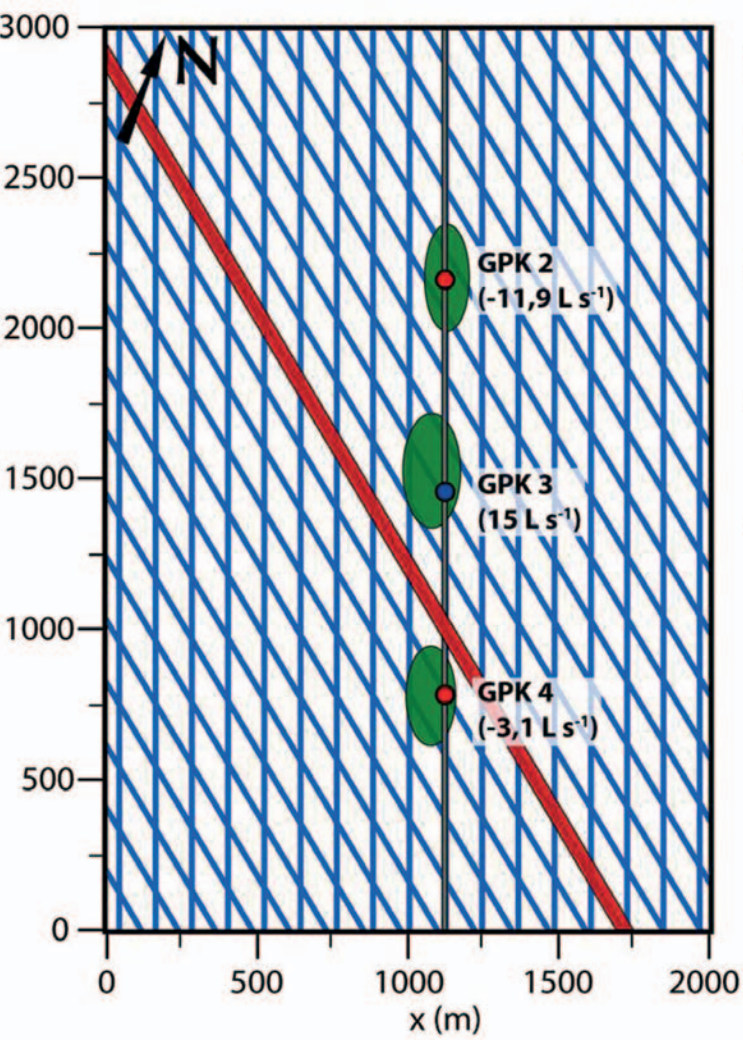


Bild 2: Links: Horizontalschnitt durch ein Modell eines stimulierten Reservoirs in kristallinem Gestein. Graue Linie: technisch angelegte Kluft zwischen den drei Bohrungen (rote Punkte: Förderbohrungen GPK2 und GPK4; blauer Punkt: Einspeisebohrung GPK3); Blaue Linien: natürliches Kluftsystem; rote Linie: natürliche Störungszone; Grüne Bereiche: technisch stimulierte Zonen im Bereich der Bohrungen.

Rechts: Simulierte Verteilung des Markierungsstoffs nach 150 Tagen: Die Ausbreitung des bei der Bohrung GPK3 eingespeisten Markierungsstoffs (Konzentration: Grautöne) erfolgt vorwiegend entlang der angelegten verbindenden Kluft, wenig in der großen natürlichen Störung und praktisch gar nicht durch die Mikroklüfte des Gesteins. (Blumenthal, 2007).

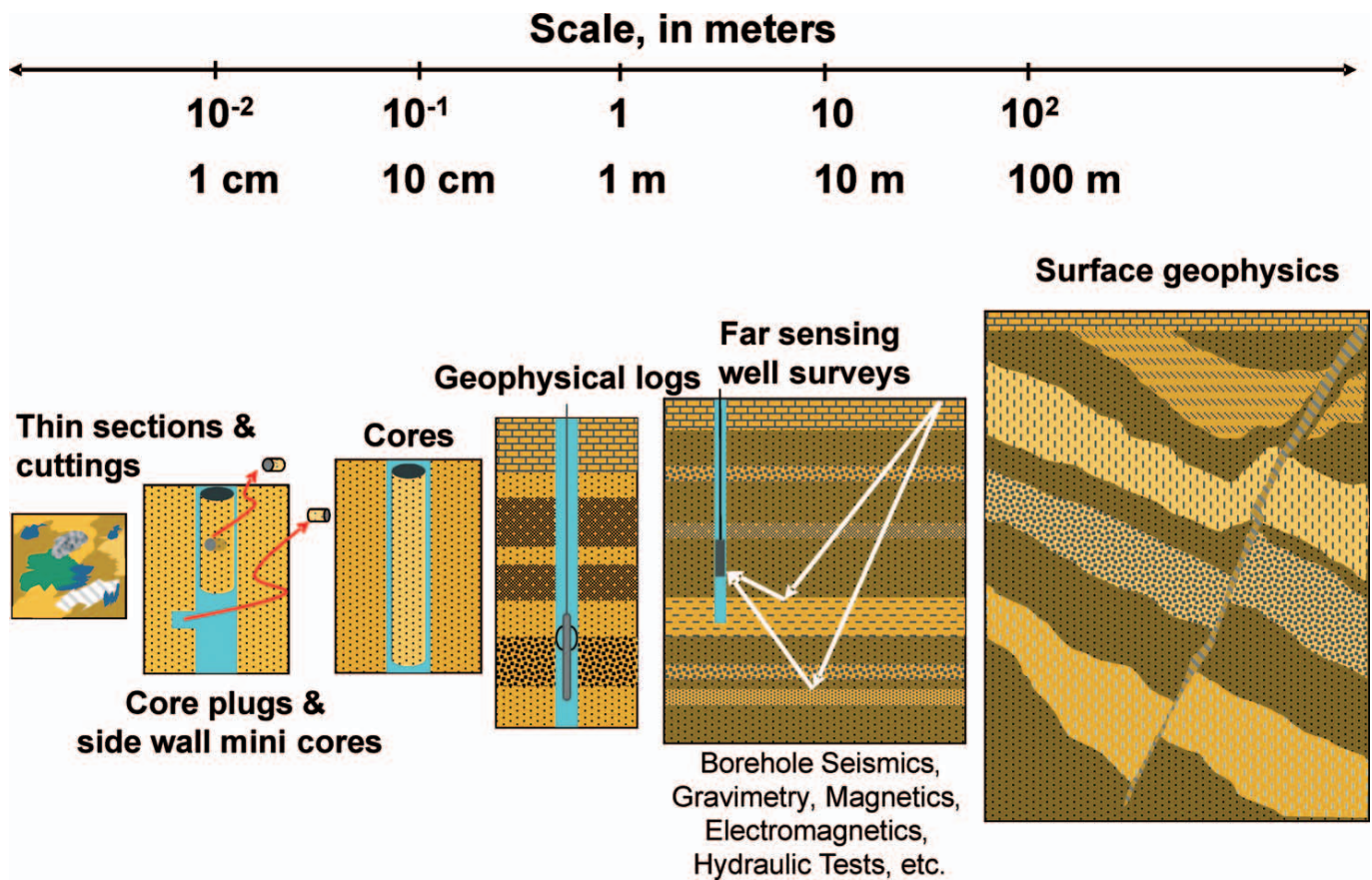
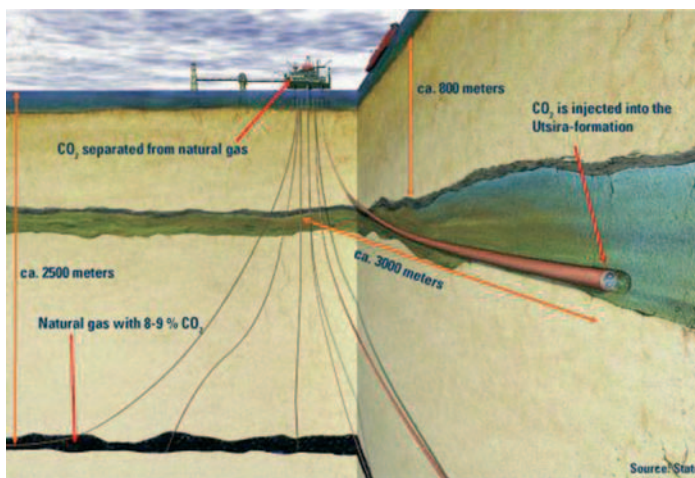


Bild 3: Unterschiedliche Längenskalen kennzeichnen die für die Charakterisierung des Untergrunds zur Verfügung stehenden Informationen. Für eine numerische Simulation

müssen diese Information auf repräsentative Homogenbereiche in der Größenordnung der Gitterzellen interpoliert beziehungsweise extrapoliert werden.



42 Bild 4: Schema der Untertagespeicherung von Kohlendioxid (Quelle: www.sintef.no).

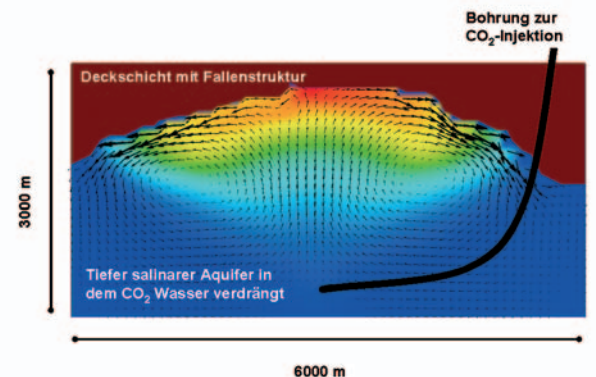


Bild 5: Prinzipbild der Einlagerung von Kohlendioxid in ein geologisches Reservoir (rote

und gelbe Töne: hohe Konzentration; grüne und blaue Töne: niedrige Konzentration).

Strömungswege nur ein geringer Teil des Gesteins durchströmt und deshalb auch nur ein geringer Teil der Wärme in Strom gewandelt werden kann. Die ursprünglich geplante elektrische Leistung über die projektierte Betriebsdauer von 20 Jahren hinweg ist demzufolge nicht realistisch. Die durch zusätzliche technische Stimulationsmaßnahmen erzielbaren Verbesserungen des Betriebsverhaltens können durch weitere derartige Auslegungsrechnungen optimiert werden. Neben solchen „direkten“ Auslegungsrechnungen kann mit

Hilfe von „inversen“ Simulationen die Erkundung, Erschließung und Nutzung neuer geothermischer Felder optimiert werden. Diese Berechnungen gestatten es beispielsweise, die Durchlässigkeit des Untergrunds aus Temperatur und Druckdaten zu schätzen oder die Lage und Tiefe neuer Erkundungsbohrungen zu optimieren. In beiden Fällen ist es möglich, auch die Unsicherheit der ermittelten Zielgrößen zu schätzen. Dies ist für Sicherheits- und Finanzierungsaspekte von großer Bedeutung. Bei solchen Berechnungen müssen

die wirksamen Prozesse teilweise über mehrere Größenordnungen von Skalenlängen betrachtet werden, siehe Bild 4, was eine große Herausforderung für numerische Simulationen darstellt. Aber nicht nur als Quelle von Rohstoffen oder Energie wird die feste Erdkruste auf der wir leben genutzt, sondern auch als Speicher für Stoffe, die gefährlich oder schädlich für Mensch und Umwelt sind. Neben giftigem und radioaktivem Abfall wird derzeit auch für klimaschädliches Kohlendioxid intensiv nach Wegen gesucht,

wie es sicher im Untergrund gespeichert statt in die Atmosphäre ausgestoßen werden kann, siehe Bild 4. Aber sind die Gesteinsschichten oberhalb von potenziellen, tief im Untergrund liegenden Speichergesteinen widerstandsfähig und undurchlässig genug, um die Lagerung des Treibhausgases über Jahrhunderte zu gewährleisten? Dieser Frage widmet sich zurzeit ein Gemeinschaftsprojekt unter Beteiligung der Lehrstühle Applied Geophysics and Geothermal Energy, sowie Geologie, Geochemie und Lagerstät-



Bild 6: Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Christoph Clauser und Dirk Breuer untersuchen Bohrkerne an einem Multisensor-Core-Logger, einem Messgerät für geophysikalische Messungen an Bohrkerne.
Foto: Peter Winandy

ten des Erdöls und der Kohle und des Lehr- und Forschungsgebiets Ton- und Grenzflächenmineralogie.

Wenn Kohlendioxid als Gas in größeren Tiefen eingeleitet wird, steigt es wegen seiner geringeren Dichte auf, bis es auf eine undurchlässige Deckschicht trifft, siehe Bild 5. Dort bildet es im Kontakt mit Wasser aggressive Kohlensäure. Diese Kohlensäure vermag bis dahin dichte Gesteinsschichten zu schädigen. Im schlimmsten Fall kommt es zum Austreten des gespeicherten Kohlendioxids. Das vormals in großer Tiefe ge-

lagerte Kohlendioxid würde dann allmählich durch die darüber liegenden Erdschichten entweichen und gegebenenfalls gelangen – genau dies soll jedoch durch die Untertage-Speicherung vermieden werden. Bei den Untersuchungen in den Laboratorien der beteiligten Einrichtungen werden unter den in mehreren hundert Metern Tiefe herrschenden Druck- und Temperaturbedingungen ausgewählte Deckgesteine wie etwa Tonsteine oder Mergel auf ihre Dichtigkeit geprüft. Dadurch soll ein besseres Verständnis der

Transport- und Zersetzungsprozesse im Untergrund sowie der Wechselwirkung des Kohlendioxids beziehungsweise der Kohlensäure mit den Gesteinen gewonnen werden. Ziel der Arbeiten ist es, verlässliche Verfahren zur Charakterisierung von Deckgesteinen potenzieller Kohlendioxid-Speicher im Untergrund zu entwickeln.

www.geophysik.rwth-aachen.de

Autor:
Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Christoph Clauser ist Leiter des Lehrstuhls Applied Geophysics and Geothermal Energy am E.ON Energy Research Center der RWTH Aachen.