



Endress + Hauser



## INTERVIEW

mit Rainer Helmig über die Gefährdung des Grundwassers durch unterirdische Energiespeichersysteme

## FOKUS

- Regenwassermanagement
- Sanierung von Kanälen
- Entwässerungskonzepte

## FACHBERICHTE

- Nachhaltigkeitsberichterstattung für Versorgungsbetriebe
- Wärmestromberechnung in Wasserleitungen

# Gefährden unterirdische Energiespeichersysteme das Grundwasser?

Der Klimawandel zwingt uns zur Reduktion anthropogener CO<sub>2</sub>-Emissionen bis auf den Wert Null. Gemäß dem Pariser Klimaabkommen von 2015 soll dieses Ziel bis 2050 erreicht werden. Dafür bedarf es einerseits höchster Anstrengungen für den Ausbau erneuerbarer Energien. Andererseits sind aber auch Strategien vonnöten, regenerative Energien bzw. Energieträger zu speichern, um sie kontinuierlich, unabhängig von Jahreszeiten, Wind und Wetter nutzen zu können. Darüber hinaus sind Technologien gefragt, mit denen das aus Abgasen oder gar Luft separierte CO<sub>2</sub> verwertet oder dort gespeichert werden kann, wo es nicht innerhalb kurzer Zeit wieder in die Luft gelangen kann. Der unterirdische Raum wird in diesem Zusammenhang für vielfältige Nutzungen betrachtet – aber genau dort befindet sich auch ein großer Teil der Süßwasserreserven, das Grundwasser. Ob und inwieweit unterirdische Energiespeicher unterschiedlichster Art die Qualität oder Verfügbarkeit von Grundwasser beeinflussen können, besprach gwf Wasser|Abwasser mit Prof. Rainer Helmig, der an der Universität Stuttgart den Lehrstuhl für Hydromechanik und Hydrosystemmodellierung leitet.

*Herr Prof. Helmig, welche Möglichkeiten der unterirdischen Energie- und/oder CO<sub>2</sub>-Speicherung werden zurzeit diskutiert?*

Es gibt drei Möglichkeiten, alternativ gewonnene Energien zu speichern: mechanisch, thermisch oder chemisch. Die mechanische Speicherung besteht darin, Luft unter hohem Druck in den

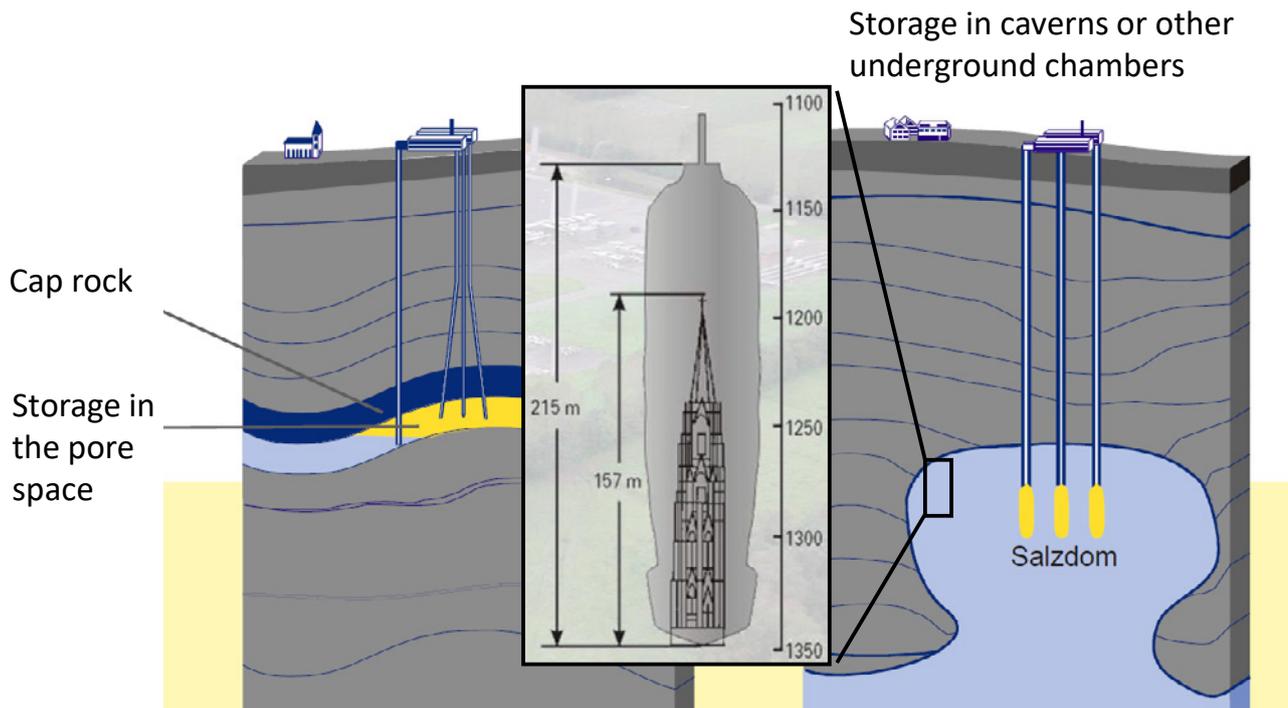
## INTERVIEWPARTNER

Prof. Dr.-Ing. Rainer Helmig studierte Bauingenieurwesen an der FH Münster und der Universität Hannover. In Hannover promovierte er zum Thema Theorie und Numerik der Mehrphasenströmungen in geklüftet-porösen Medien. Danach setzte Herr Helmig seine wissenschaftliche Arbeit an der Universität Stuttgart fort, wo er zum Thema Hydrosystemmodellierung habilitierte. Nach einem Zwischenstopp an der TU Braunschweig kehrte er an die Universität Stuttgart zurück, wo er im Jahr 2000 den Lehrstuhl für Hydromechanik und Hydrosystemmodellierung (LH2) am Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung (IWS) gründete. Von 2009 bis 2021 war er Studiendekan des Studiengangs „Simulation Technology“ und war im selben Zeitraum Mitglied des Direktoriums des Exzellenzclusters SimTech EXC 2075 und EXC 310 der Universität Stuttgart. Seit 2018 ist er Sprecher und Principal investigator des DFG-Sonderforschungsbereichs SFB 1313 „Interface-Driven Multi-Field Processes in Porous Media – Flow, Transport and Deformation“. Von 2019 bis 2022 war er außerdem Magne Espedal Adjunct Professor an der Universität Bergen in Norwegen, wo er an Forschungen zur CO<sub>2</sub>-Speicherung beteiligt ist.

Untergrund zu einzubringen und bei Bedarf einer Turbine wieder zuzuführen. Bei der thermischen Energiespeicherung wird Wasser, das im Laufe des Sommers eine höhere Temperatur angenommen hat, in den Boden gepumpt. Im Winter wird das Wasser wieder hervorgeholt und die im Wasser gespeicherte Energie zurückgewonnen.

Foto von Uli Regenschneit





**Bild 1:** Möglichkeiten der unterirdischen Gasspeicherung mit Veranschaulichung des benötigten Speichervolumens durch Vergleich mit dem Ulmer Münster

Unter chemischer Speicherung versteht man die Speicherung von Gasen, im Falle der Erneuerbaren Energien sogenannter grüner Gase. Das sind im Wesentlichen Wasserstoff und Methan, die unter Nutzung von Solar- oder Windstrom hergestellt werden. Im Einzelnen wird dazu Wasserstoff durch Wasserelektrolyse produziert und dieser entweder direkt als Energieträger verwendet oder durch Reaktion mit  $\text{CO}_2$  in Methan umgewandelt.

**Welche geologischen Formationen sind für die Speicherung der denkbaren Energieträger geeignet?**

Für Druckluft eignen sich tiefe Aquifere unterhalb einer undurchlässigen Schicht, einem so genannten Caprock. Die eingepumpte Luft verteilt sich im Aquifer und verdrängt das stark salzhaltige Tiefengrundwasser. Bei dieser Speichertechnik treten zwei Probleme auf, die den Wirkungsgrad beeinträchtigen: Zum einen lässt der ursprünglich hohe Druck schon etwas nach, wenn sich die Luft im Speicher verteilt. Die zweite Herausforderung ist die Temperaturführung: Bei der Kompression wird Luft erwärmt, bei der Expansion kühlt sie sich wieder ab. Wenn die Wärme, die während der

Druckerhöhung entsteht, während der unterirdischen Speicherung nicht konserviert werden kann, muss unter Umständen während der Expansion Wärme von außen zugeführt werden, damit es bei der Entspannung der Luft in der Turbine nicht zur Vereisung kommt – das bedeutet einen Verlust an Wirkungsgrad.

Gase werden in unterirdischen Kavernen und Kammern, z. B. in ausgebeuteten Salzstöcken, gespeichert oder in den Poren und Klüften von Gesteinsformationen. Das können ausgebeutete natürliche Erdgasreservoirs sein oder auch tiefe Grundwasserleiter. Warmwasser könnte man in oberflächennahen Grundwasserreservoirs speichern. Wir haben diese Speichermethode beispielsweise in Indien untersucht, in denen das Wasser in den heißen Sommern deutlich aufgewärmt wird. Ein weiteres Beispiel für diese Art der Wärmespeicherung kenne ich aus einem großen Projekt in Perth in Australien: dort wird ein großes Rechenzentrum mit Grundwasser gekühlt. Die Wassermengen, die dabei ausgetauscht werden, sind riesig. Hierzulande sind der Kühlung mit Grundwasser allerdings enge Grenzen im Hinblick auf die dabei hervorgerufene Temperaturerhöhung gesetzt.

*„Dazu müssen wir auch die gesellschaftliche Aufgabe bewältigen, das Bergbau- und das Wasserrecht zusammenzubringen. Wir buddeln mit dem Bergbaurecht immer unter dem Wasserrecht.“*

**CO<sub>2</sub>-Speicherung zählt zwar nicht zur Energiespeicherung, wird aber schon sehr lange als Option zum Klimaschutz diskutiert. Wo gibt es große CO<sub>2</sub>-Speicher?**

CCS-Konzepte (CCS = Carbon Capture & Storage) entstanden mit dem Hintergedanken, das CO<sub>2</sub> aus den Abgasen konventioneller Kraftwerke, die mit Kohle oder Gas befeuert werden, abzutrennen, damit es nicht in die Atmosphäre gelangt. Das CO<sub>2</sub> kann dabei im überkritischen Zustand, also bei einem Druck von mindestens 74 bar und einer Temperatur von etwa 31 °C oder darüber, in salinen Aquifere oder ausgebeuteten Gas- oder Erdöllagerstätten (on shore) oder unter dem Meeresgrund (off shore) gespeichert werden. In Deutschland ist die unterirdische CO<sub>2</sub>-Speicherung grundsätzlich möglich, aber auf Grund der politischen Vorgaben praktisch nicht realistisch umsetzbar, wurde aber jahrelang zu Forschungszwecken betrachtet. Unter anderem gab es das Forschungsfeld Ketzin.

In Norwegen wird die CCS-Technologie in großem Maßstab angewendet, aber off shore unter dem Meeresgrund. Wir arbeiten zum Teil auch intensiv in diesem Bereich zusammen.

**Schauen wir auf die Möglichkeit der Speicherung in Salzstöcken. Gibt es da noch freie Kapazitäten?**

Ich bin kein Fachmann dafür, aber laut der Information, die ich erhalten habe, sind die Salzstöcke schon im zu hohen Maße ausgebeutet, d. h. die Kavernen sind bereits gebildet. Sollten wir auf 100 % Versorgung mit erneuerbaren Energien kommen, brauchen wir eine viel höhere Speicherkapazität für die neuen Gase. Die bestehende Speicherkapazität in Salzkavernen macht nur einen geringen Anteil dessen aus, was benötigt wird. D. h. sie brauchen ganz andere Größenordnungen. Zur Veranschaulichung habe ich für einen Vortrag mal das Ulmer Münster in einen dafür notwendigen Salzdom eingezeichnet (s. **Bild 1**). Bei einem Gasspeicher ist außerdem zu beachten, dass etwa ein Drittel bis die Hälfte des Gases als so genanntes Kissengas im Speicher verbleiben müssen.

Da diese riesigen Hohlräume nicht zur Verfügung stehen, sind wir auf die tiefen salzhaltigen Aquifere angewiesen.

**Welche Bedingungen sind hier zu erfüllen?**

Die wichtigste Voraussetzung ist das Vorhandensein der wasserundurchlässigen Schicht und diese sollte mit Wasser gesättigt sein. Denn wenn sie wassergesättigt ist, besteht eine Kapillarsperre und ein unter hohem Druck darunter gespeichertes Gas kann nicht migrieren. Wenn aber Störungszonen im System oder Umläufigkeiten in bestehenden Brunnen systemen existieren, kann es zu Lecks kommen.

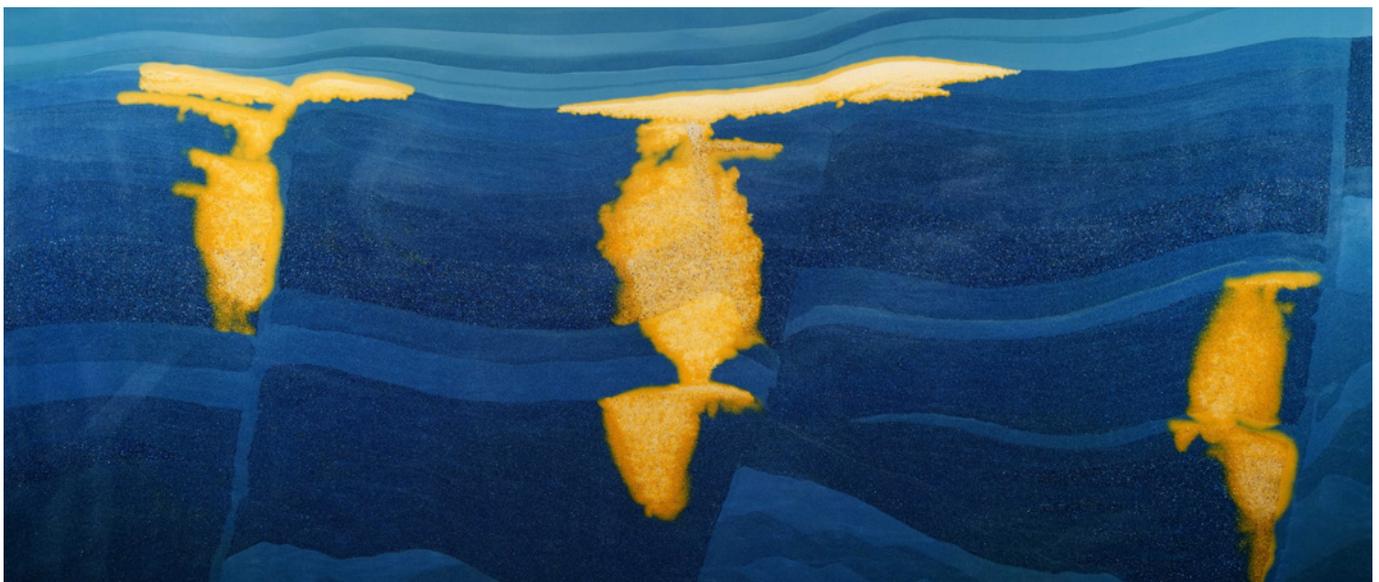
Wenn wir auf überkritisches CO<sub>2</sub> schauen, brauchen wir eine Mindesttiefe von etwa 700–800 m, um diesen kritischen Druck aufrechtzuerhalten.

**Welches Speichermedium ist aus Ihrer Sicht das schwierigste beziehungsweise gefährlichste?**

Alle drei Speichermöglichkeiten im Untergrund bedeuten eine Interaktion mit der Umwelt, d. h. alle haben in gewisser Form eine Auswirkung auf das Grundwasser.

Bei der Nutzung von Aquifere wird durch das Einbringen von Druckluft oder Gas ein hoher Überdruck im System erzeugt. Je nach Tiefe des Aquifers und Höhe des Drucks ist es denkbar, dass ein Leck an einer Störungszone der wasserundurchlässigen Schicht auftritt. Diese Stelle kann durchaus in größerer Entfernung zur Injektionsstelle liegen. Durch den erhöhten Druck kann salzhaltiges Tiefengrundwasser durch dieses Leck nach oben in einen Süßwasserleiter gelangen, der zur Trinkwassergewinnung genutzt wird. Diese Migration geschieht entgegen der Schwerkraft und der Dichtedifferenz. Für unsere Studierenden haben wir diesen Prozess mal in Modellexperimenten veranschaulicht (**Bild 2**).

Die Problematik, dass aufgrund hoher Drücke in den Speichern Lecks an anfälligen Stellen der undurchlässigen Gesteinsschichten



**Bild 2:** Das Bild zeigt einen CCS-Versuchsaufbau, der die CO<sub>2</sub>-Speicherung im Untergrund darstellt. Die gelbe Phase zeigt CO<sub>2</sub>-gesättigtes Wasser und hellbraune CO<sub>2</sub>-Gasbläschen. Das Experiment ist Teil der neuen Porous Media Ausstellung der Universität Bergen und ist von April 2022 bis April 2023 im Universitätsmuseum Bergen zu sehen. Quelle: Jan Martin Nordbotten und das FluidFlower-Team der Universität Bergen, Norwegen

entstehen, ist prinzipiell bei allen gasförmigen Energieträgern gegeben. Mit dem Medium Methan gibt es natürlich schon weitreichende Erfahrungen.

Was die CO<sub>2</sub>-Speicherung angeht, so liegt ein Riesenhindernis bei der nicht vorhandenen Akzeptanz in der Bevölkerung. Ich war bei zahlreichen Bürgerkonsultationen dabei. Wie man unserer Bevölkerung dieses Verfahren klarmachen und nahebringen kann, ist mir ein Rätsel, ich weiß dazu keine Lösung mehr. CCS war mal als Übergangstechnologie gedacht, um die CO<sub>2</sub>-Emissionen von konventionellen Kraftwerken abzufangen, solange wir noch fossile Brennstoffe verstromen. Dazu wird es wohl hierzulande nicht mehr kommen. Aber es gibt darüber hinaus die Möglichkeit, CCS in Verbindung mit Biomasse als tatsächliche CO<sub>2</sub>-Senke zu realisieren.

Auch für Wasserstoff sehe ich da persönlich Schwierigkeiten, solche unterirdischen Speicher durchzusetzen. In den Niederlanden startete allerdings im vergangenen Herbst ein Demonstrationsprojekt zur unterirdischen H<sub>2</sub>-Speicherung in Salzkavernen.

In 15 Jahren Forschung zur CO<sub>2</sub>-Speicherung habe ich gelernt, dass es nicht nur ein technisches Problem ist, sondern eine gesellschaftliche Herausforderung. Schon für den Versuch, physikalische Zusammenhänge verständlich zu machen, wurde ich bei Bürgerveranstaltungen sehr aggressiv angegangen.

**Wie bewerten Sie die Angst vor Explosionen durch aus dem Boden austretende Gase?**

Solche Situationen sind in der Regel nicht zu erwarten, denn dazu müssen hohe Konzentrationen freigesetzt werden. YouTube-Videos, die zu solchen Ereignissen kursieren, zeigen Fälle, in denen brennbare Gase mit dem Trinkwasser bzw. dem oberflächennahen Grundwasser an die Oberfläche getragen werden. Das sind extreme Einzelfälle. Solch hohe Konzentrationen müssen erst mal durch Migration entstehen.

**Erdgas nimmt während der Speicherung Wasser auf, das vor der Einspeisung ins Netz entfernt werden muss. Über welche Wassermengen handelt es sich?**

Das lässt sich verallgemeinernd nicht sagen, weil die Wasseraufnahme von der Temperatur und dem Druck im System abhängt. Bei den konventionellen Gasspeichern ist die Gastrocknung nach der Wiederverentnahme Stand der Technik. Allerdings verringern die Verfahren, mit denen nach der Entnahme dem Gas das Wasser wieder entzogen werden muss, den Gesamtwirkungsgrad der Energiespeicherung.

**Kommen wir zurück zur Trinkwassergewinnung: Sehen Sie eine Vereinbarkeit des Bedarfs nach Energiespeichern und dem Schutz unserer Trinkwasserressourcen?**

Dazu müssen wir auch die gesellschaftliche Aufgabe bewältigen, das Bergbau- und das Wasserrecht zusammenzubringen. Wir buddeln mit dem Bergbaurecht immer unter dem Wasserrecht. Wir können die Probleme nur lösen, wenn wir zum einen die Migrationswege verstehen, d. h. das Risiko einer möglichen Kontamination des oberflächennahen Grundwassers bestmöglich einschätzen können. Darüber hinaus müssen wir uns genau überlegen, welche Energieträger in welchen Medien wir sinnvollerweise speichern. Das wird nicht einfach.

## LH2, UNIVERSITÄT STUTT GART

Der Lehrstuhl für Hydromechanik und Hydrosystemmodellierung befasst sich mit dem weiten Feld der Strömungen in porösen Medien. Auf diesem Gebiet hat sich die Universität Stuttgart in den letzten Jahren zu einem der wesentlichen Kompetenzzentren entwickelt. In diversen aktuellen Projekten und Sonderforschungsbereichen werden Grenzflächenprozesse zwischen porösen Medien und gas- oder flüssigkeitsgefüllten Kanälen und Anwendungen von Mehrkomponentensystemen mit chemischer Reaktion und/oder Phasenänderung untersucht sowie geeignete mathematische Modelle und Simulationssoftware entwickelt.

**Wir sprechen bei Aquiferen zur Energiespeicherung immer von tiefen Grundwasserleitern. Diese werden aber in manchen Regionen schon zur Trinkwassernutzung ins Visier genommen, weil obere Grundwasserleiter zu viel Nitrat enthalten. Das macht die Vereinbarkeit von Energiespeicherung und Trinkwasserschutz nicht leichter, oder?**

Das Nitratproblem wird gerade dadurch verschärft, dass wir weniger Grünflächen haben, dafür aber Energiepflanzen zur Biogaszeugung anbauen. Diese werden dann maximal gedüngt, damit die Erträge hoch sind. Mit der Erschließung tiefer Grundwasserleiter gehen die Wasserversorger an Speicher heran, die bisher tabu waren. Das kann dann natürlich zu Konflikten mit den Parteien führen, die neue Energiespeicher etablieren wollen.

**Lassen Sie uns zum Schluss über Geothermie reden: Wie schätzen Sie deren Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft und/oder die Möglichkeiten der Energiespeicherung ein?**

Die Auswirkungen der Geothermie unterscheiden sich nach der Art des Verfahrens, mit denen die unterirdische Wärme genutzt wird: Man unterscheidet Tiefengeothermie und oberflächennahe Geothermie, bei letzteren offene Systeme mit Grundwasser-Brunnen oder geschlossene Systeme mit vertikalen Sonden bis etwa 100 m Tiefe und horizontalen Kollektorsystemen, die in geringen Tiefen verlegt werden. Es zeigt sich aber schon an Orten, in denen die flache Geothermie besonders gefördert wurde, dass sie zur Erwärmung des Grundwassers führt. Wenn man diese Technologien in Ballungszentren anwendet, sehe ich da ein Problem. Dieses wird verschärft durch den klimabedingten Rückgang von Grundwasserständen. Ich will diese Art der Energiegewinnung nicht grundsätzlich verteufeln, habe aber die Sorge, dass alle möglichen Interaktionen zwischen den einzelnen Nutzungsarten der Grundwasserleiter und den Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft noch nicht sauber durchdrungen sind.

**Herr Prof. Helmig, Ihre Ausführungen lassen aufhorchen: Bei der Nutzung alternativer Energien sind noch diverse Nebenwirkungen für die Wasserwirtschaft in Betracht zu ziehen. Herzlichen Dank für das Gespräch.**

Das Interview führte Dr. Hildegard Lyko.