

# Underground Sun Storage:

Ein Projekt zur Erforschung der Wasserstoffverträglichkeit von Erdgasporenspeichern



Die RAG als eines der größten und führenden Energiespeicherunternehmen Europas beschäftigt sich auch mit **Speicherlösungen für das Energiesystem der Zukunft**. Beim Underground-Sun-Storage-Forschungsprojekt sollte erforscht werden: **Kann erneuerbare Energie in Form von Wasserstoff(-beimengungen) in bestehenden Untertageporenspeichern gespeichert werden?** Das Projekt wurde von der RAG initiiert und wird gemeinsam mit Partnern und Fördermitteln des österreichischen Klima- und Energiefonds umgesetzt. Eine erste umfangreiche Projektvorstellung erfolgte 2014 [1]. Auch der DVGW ist durch sein Projekt G 2-02-13 „**Wasserstoffverträglichkeit in Porenspeichern**“ beteiligt. Der folgende Beitrag fasst die Ergebnisse des Underground-Sun-Storage-Projektes zusammen.

von: Stephan Bauer & Markus Pichler (beide: RAG Rohöl-Aufsuchungs Aktiengesellschaft)

Das Projekt „Underground Sun Storage“ wurde Mitte 2013 gestartet, wird 2017 abgeschlossen und war in zwei Phasen unterteilt. Phase I umfasste im Wesentlichen Grundlagenuntersuchungen mit dem Ziel, die Umsetzbarkeit eines Feldversuchs zu klären. Dabei galt es insbesondere nachzuweisen, dass die äußere Integrität eines Speichers durch Wasserstoffbeimengungen von zehn Prozent nicht geschmälert wird. Phase II beinhaltete die Planung, Genehmigung, Errichtung und den Betrieb einer Feldversuchsanlage an einer kleinen isolierten Erdgas-Lagerstätte im Raum Vöcklabruck/

Österreich. Die Arbeiten wurden anhand der geologischen Situation im Voralpengebiet (Molassezone) durchgeführt und berücksichtigten die technischen Gegebenheiten bei kommerziellen Erdgasspeichern der RAG. Wichtig war es, erstmals praktische und interdisziplinäre Erkenntnisse zum Thema Wasserstoff in Porenspeichern zu gewinnen und diese auch durch einen Feldversuch zu untermauern. Bei der Übertragung der Ergebnisse auf andere Speicher sind natürlich die individuellen geologischen und technischen Gegebenheiten zu berücksichtigen.

Insbesondere waren die Themen Geochemie, Geophysik, Mikrobiologie und Werkstoffwissenschaften adressiert. Bei der Durchführung des Feldversuches selbst galt es, diesen im bestehenden Rechtsrahmen zu verankern sowie die lagerstättentechnischen und verfahrenstechnischen Aufgabenstellungen zu lösen. Ziel dabei war es, über einen vollen Speicherzyklus eine rund 10-prozentige Wasserstoffbeimischung zu beobachten und zu bilanzieren.

### Ergebnisse der Phase I – Integritätsuntersuchungen

#### Geochemie und reaktive Transportmechanismen

In diesem Themenkomplex galt es nachzuweisen, dass sich das tonige Deckgebirge der Erdgaslagerstätten auch gegenüber Wasserstoff technisch dicht verhält. Ein weiterer Aspekt betraf die mögliche Alteration des Lagerstättengesteins selbst. Darüber hinaus

gab es noch Fragestellungen über eventuell unterschiedliche Transportgeschwindigkeiten der Gemischkomponenten sowie andere physikalische Effekte (z. B. Diffusion, gravimetrische Segregierung), die die Bewegung des Wasserstoffs durch die Lagerstätte beeinflussen.

Die Untersuchungen der Wasserstoffpermeabilität des Deckgebirges wurden an möglichst rückbefeuchteten Bohrkernen aus repräsentativen Deckgebirgslagen durchgeführt. Dabei wurden 100 Prozent Wasserstoff bei einem Druck von 100 bar und somit auch dem gleichen Wasserstoffpartialdruck angesetzt. Zum Vergleich wurde die Permeabilität von Methan gemessen. Das Ergebnis zeigt keine signifikanten Unterschiede in der Permeabilität zwischen Wasserstoff und Methan. Hinsichtlich möglicher Diffusionsverluste geht man von langsamen Vorgängen in Abhängigkeit vom Konzentrations-

gradienten aus, die im Rahmen eines Speicherzyklusses keine gravierende Rolle spielen werden [2].

Ein weiterer Schwerpunkt war die Untersuchung möglicher Alterationen des Lagerstättengesteins selbst. Auch hier wurden Bohrkernproben über Zeiträume von bis zu 14 Monaten mit Gasgemischen von 25 Prozent Wasserstoff und 75 Prozent Methan bzw. mit 75 Prozent Wasserstoff und 25 Prozent Methan bei jeweils 100 bar durchströmt. Dünnschliffe vor und nach der Versuchsdurchführung zeigen keine signifikanten Veränderungen. Auch die Unterschiede in der Permeabilität vor und nach Versuchsdurchführung liegen innerhalb der Messtoleranz und sind daher zu vernachlässigen.

#### Mikrobiologische Stoffwechselvorgänge

Im Zuge des Underground-Sun-Storage-Projektes erfolgte die mikrobiologische Charakterisierung ausgewählter



## Pipeline - Pipe - Sewer - Technology (PPST)

### Konferenz und Ausstellung zu Gas-, Öl-, Wasser- und Abwasser-Transportnetzen



17-19 September 2017, Cairo, Egypt

[www.pipelinepipesewer.com](http://www.pipelinepipesewer.com)



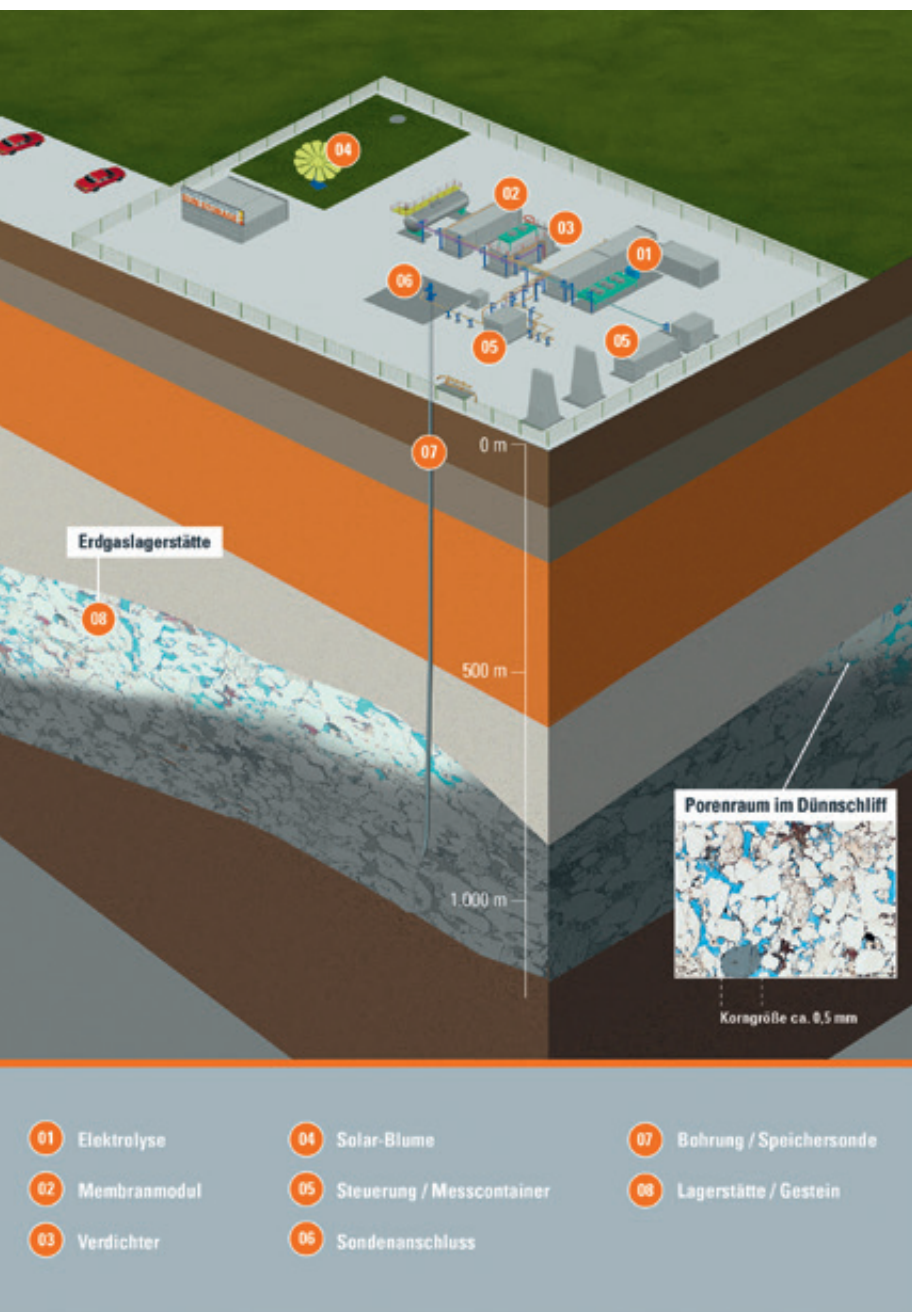
under the auspices of  
H.E. Mr. Tarek El-Molla  
Minister of Petroleum and  
Metallurgical Wealth



under the auspices of  
H.E. Dr. Mostafa Kamal Madbouli Mohammed  
Minister of Housing, Utilities and  
Urban Communities







- 01 Elektrolyse
- 02 Membranmodul
- 03 Verdichter
- 04 Solar-Blume
- 05 Steuerung / Messcontainer
- 06 Sondenanschluss
- 07 Bohrung / Speichersonde
- 08 Lagerstätte / Gestein

Abb. 1: Schematische Übersicht Feldversuchsanlage Underground Sun Storage

Gaslagerstätten der RAG. Im Anschluss daran wurden an repräsentativen Bohrkernen und mit in situ gewonnenem Lagerstättenwasser unter Lagerstättenbedingungen Versuche durchgeführt. Bei diesen Versuchen konnten in der Gasphase nie nennenswerte oder gar kritische Schwefelwasserstoffkonzentrationen festgestellt werden. Damit kann ein weiterer evtl. die Integrität des Speichers gefährdender Aspekt bei der Wasserstoffbeimischung als nicht zutreffend eingestuft werden. Für weitere Ergebnisse hinsichtlich der mikrobiologischen Stoffwechselforgänge sei auf geplante Publikationen des Projektpartners Universität für Bodenkultur Wien, Department IFA Tulln verwiesen.

### Materialfragestellungen

Im Zentrum der Untersuchungen standen die niedrig legierten Stahlwerkstoffe L80 und P110, die bei der Komplettierung der Speichersonden der RAG zum Einsatz kommen. Wasserstoffbeeinflussungen auf übliche Pipeline- und Behälterstähle wurden bereits in anderen Forschungsvorhaben untersucht. Bei bis zu zehn Prozent Wasserstoffanteil wird derzeit kein Handlungsbedarf gesehen [3]. Mit den im Fokus stehenden Stählen wurden bei zunehmend aggressiven Rahmenbedingungen Langsamzugversuche sowie Prüfungen unter konstanter Last durchgeführt. Die Zugabe von Wasserstoff entsprechend 10 bar Partialdruck führt zu keiner signifikanten Abnahme der Bruchdehnungen. Erst unter Einfluss von Schwefelwasserstoff kommt es zu erwarteten Rückgängen der Bruchdehnungen. Abgerundet wurden diese Untersuchungen durch sogenannte Auslagerungstests, in denen nachgewiesen werden konnte, dass es zu keiner Absorption von Wasserstoff kommt [4].

Ein weiterer Punkt in der Integritätsfrage ist die Bohrlochzementation, die die durchbohrten Schichten gegeneinander abdichtet. Entsprechende Proben wurden über mehrere Monate unter Wasserstoffatmosphäre gesetzt. Permeabilitätsversuche davor und danach zeigen eine Reduktion der Permeabilität, die jedoch nachgewiesenerweise nicht im Zusammenhang mit Wasserstoff steht. Zusätzlich wurde in röntgendiffraktometrischen Untersuchungen festgestellt, dass keine auf Wasserstoff rückführbaren Veränderungen aufgetreten sind. Untersuchungen an Dichtungselementen (Elastomeren) fanden in dieser Phase des Projektes nicht statt, da eine grobe Analyse der bei RAG eingesetzten Werkstoffe deren Wasserstoffbeständigkeit ergeben hat.

Quelle: RAG

### Ergebnisse der Phase II – In-situ-Feldversuch

#### Planung und Errichtung der Versuchsanlage

Planung, Genehmigung, Errichtung und Betrieb der Versuchsanlage erfolgten als reguläre Bergbauanlage auf Basis geltender Gesetzesmaterien. Die wesentlichen Anlagenbestandteile stellten eine Elektrolyseeinheit, eine Verdichtereinheit, eine bestehende Sonde zur Erschließung der Lagerstätte sowie diverse Hilfssysteme dar (Abb. 1). Ziel war es, einen Speicherzyklus mit zehn Prozent Wasserstoffbeimengung durchzuführen, ein Wert, der in vielen anderen Überlegungen und Untersuchungen antizipiert wird [5]. Bei der Auslegung wurde weitgehend

auf bestehende Module und Werkstoffe zurückgegriffen, um damit eine Versuchsabwicklung in vertretbarem Zeit- und Kostenrahmen zu ermöglichen.

Der Speicherbetrieb wurde auf Raten von bis zu 1.000 Nm<sup>3</sup>/h ausgelegt. Im Entnahmebetrieb wurden diese Raten teilweise überfahren. Das entnommene Gas wurde vor der Einspeisung in das öffentliche Gasnetz konditioniert, sodass der Wasserstoffanteil unter einem Prozent lag. Im Rahmen des Versuchs waren weitere Materialtests unter Einsatzbedingungen geplant. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die zu erfassenden Daten zur späteren Auswertung des Versuchs gelegt. Dazu zählen insbesondere ein Gaschromatograf sowie Durchflussmessungen.

#### Versuchsbedingungen

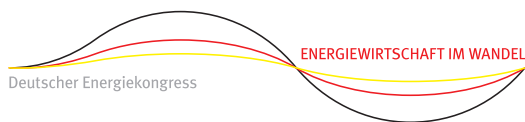
Beim Lagerstättengestein handelt es sich um einen litharenitschen Sandstein mit schwach karbonatischer

nicht zementierter Matrix. Dieser Sandsteinkörper ist durch Tongestein umschlossen und liegt isoliert in den seichter Schichten der Molassezone in rund 1.022 m Tiefe. In der Lagerstätte herrschte ein Initialdruck von 107 bar. Für den Versuch wurde die Lagerstätte in einem Druckbereich von 30 bis 78 bar (a) betrieben. Die Lagerstättentemperatur beträgt etwa 40 °C. Es handelt sich um eine Süßgaslagerstätte (pH-Wert 8,1) mit geringer Salinität (14.000 mg/l NaCl). Eine Kommunikation mit anderen Schichten oder ein aktiver Aquifer kann aufgrund des volumetrischen Verhaltens der Lagerstätte ausgeschlossen werden. Des Weiteren wird die Lagerstätte nur von einer einzigen Sonde erschlossen, was einer wissenschaftlichen Betrachtung sehr entgegenkommt, da dadurch die Ein- und Austrittsparameter klar definiert werden können. Die Lagerstätte ist mit einem Gasvolumen von ca. 6 Mio. Nm<sup>3</sup> ä-

ßerst klein und ermöglichte daher einen Test unter realen Bedingungen und mit vertretbarem Aufwand.

#### Versuchsabwicklung

Im Rahmen des Einspeicherbetriebes wurden 1,16 Mio. Nm<sup>3</sup> eines Gemisches aus rund zehn Prozent Wasserstoff und rund 90 Prozent Erdgas in den Speicher eingebracht. Dabei wurde ein Lagerstättendruck von rund 78 bar (a) erreicht. Während der gesamten Versuchszeit waren Druck- und Temperaturmessgeräte in der Sonde verbaut, um eventuelle chemische Reaktionen feststellen zu können. Nach einer rund dreimonatigen Einspeicherphase folgte eine Einschlussphase des Speichers, in der nur punktuell Gasproben analysiert wurden. Im Oktober 2016 wurde mit dem Entnahmebetrieb begonnen, der Anfang Januar 2017 beendet wurde. Während der Entnahme wurden regelmäßig Proben gezogen und Tests durchgeführt, um die Lagerstättenper-



[www.deutscher-energiekongress.de](http://www.deutscher-energiekongress.de)

12. Deutscher Energiekongress · 5. und 6. September 2017 im MVG-Museum München

## Energiewirtschaft im Wandel – kann sich die Branche neu erfinden?

**Moderation:** Michael Bauchmüller, Energiepolitischer Korrespondent, Süddeutsche Zeitung

Mit Beiträgen u. a. von:



**Rainer Baake**  
Bundesministerium für  
Wirtschaft und Energie



**Jochen Flasbarth**  
Bundesministerium für  
Umwelt, Naturschutz, Bau  
und Reaktorsicherheit



**Jochen Homann**  
Bundesnetzagentur



**Johannes Kempmann**  
BDEW / Städtische Werke  
Magdeburg GmbH & Co. KG



**Dr. Marie-Luise  
Wolff-Hertwig**  
ENTEKA AG



**Dr. Susanna Zapreva**  
Stadtwerke Hannover AG

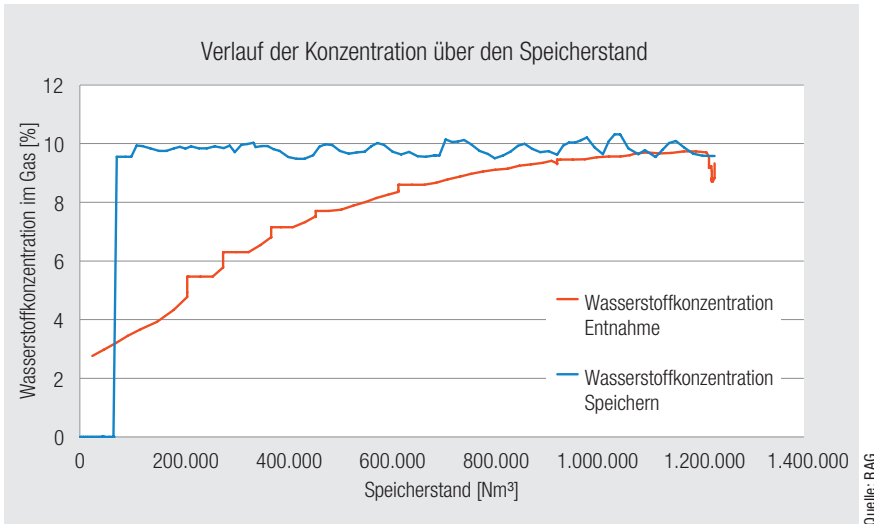


Abb. 2: Gegenüberstellung des Wasserstoffanteiles im Erdgasstrom bei Speicherung und Entnahme im Rahmen des Sonnenspeicher Feldversuches

formance zu überwachen. Während des gesamten Versuchszeitraumes kam es nie zu wasserstoffinduzierten Problemen, die die Integrität oder Sicherheit des Speicherbetriebs gefährdet hätten.

**Versuchsergebnisse**

Eine Detailauswertung der Daten ist noch nicht abgeschlossen. Dennoch können die Ergebnisse aus dem Feldversuch wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Speicherung von Erdgas mit zehn Prozent Wasserstoffanteil/10 bar Partialdruck Wasserstoff scheint in Erdgasporenspeichern der RAG technisch ohne Probleme möglich. In dieser Betrachtung wurden Verdichter, über die es bereits Publikationen gibt, ausgenommen. Die Installation von Wasserstoffsensoren sowie die Aufrüstung von Gasqualitätsüberwachungseinrichtungen seien vorausgesetzt.
- Mit den aus dem Versuch gewonnenen Daten wurde eine Wasserstoffbilanzierung durchgeführt. Eine Lagerstätte selbst stellt ein äußerst komplexes System dar, das in weiterer Folge über Modellbetrachtungen dargestellt werden kann. Von den eingebrachten Wasserstoffmengen konnten bis zum Ende des Versuches rund 82 Prozent wiedergewonnen werden. Am Ende der Entnahmephase war immer noch Wasserstoff im Erdgas enthalten, obwohl bereits

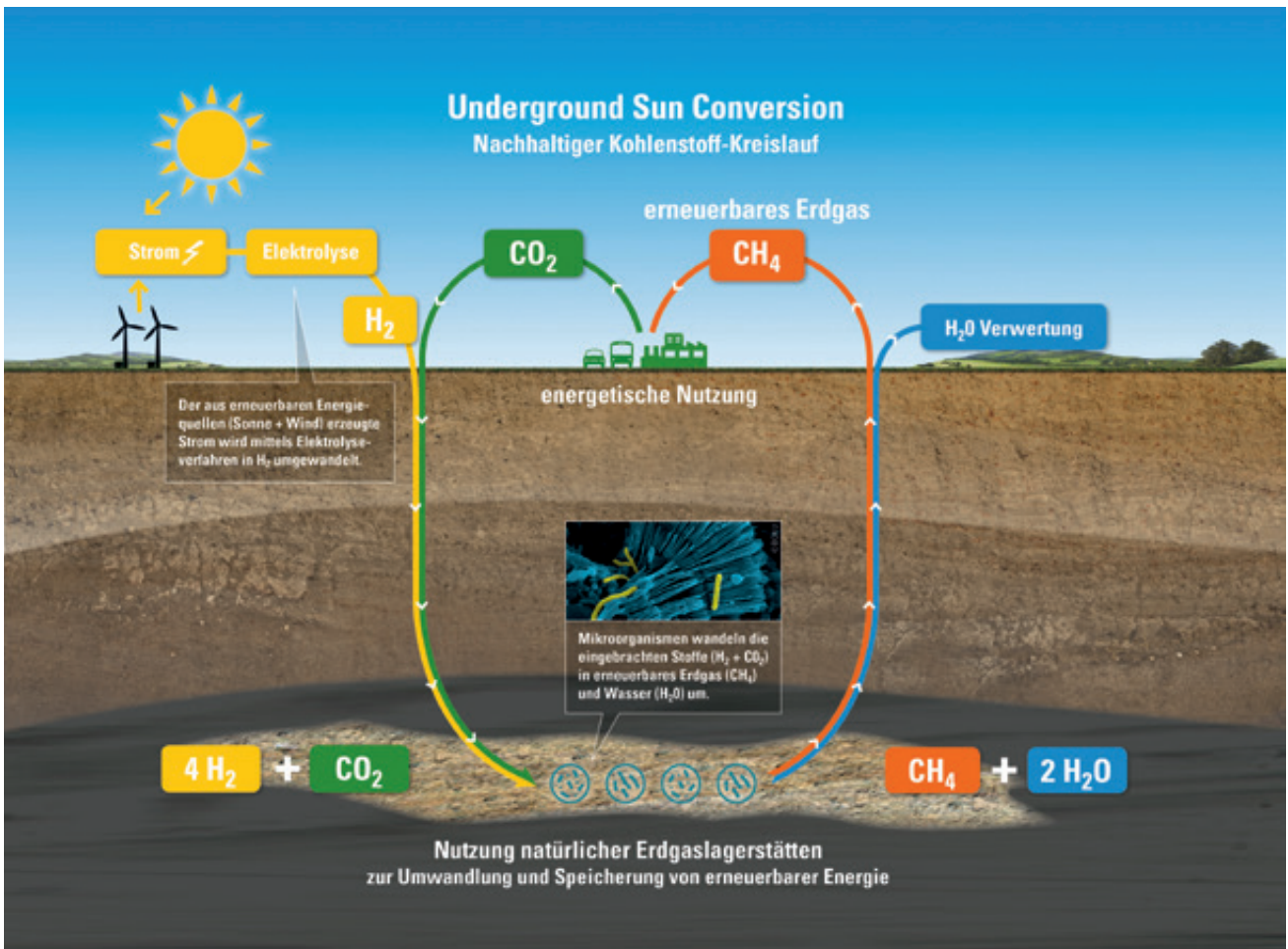


Abb. 3: Funktionsschema Underground Sun Conversion



eine dem gesamten eingespeicherten Volumen äquivalente Gasmenge entnommen wurde (Abb. 2). Dies lässt sich damit erklären, dass Wasserstoff während seiner Lagerung in das schon in der Lagerstätte befindliche Gas eingewandert (Diffusion) ist. Die restlichen Mengen können über analytische Rechenmodelle mit mikrobieller Umsetzung und Lösung im Lagerstättenwasser erklärt werden.

- In der Lagerstätte konnte wie auch im Labor eine Zehrung von Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid durch Mikroorganismen beobachtet werden. Allerdings wurde zu keinem Zeitpunkt Schwefelwasserstoff in der Lagerstätte gemessen, was darauf hinweist, dass schwefelreduzierende Bakterien (SRB), die in der Lagerstätte sehr wohl vorkommen, nicht an der Wasserstoffumwandlung beteiligt sind.
- Positiv ist auch, dass die in den mikrobiologischen Laborexperimenten gemessenen Parameter (pH, Leitfähigkeit, Salinität etc.) mit den in der Lagerstätte nach dem Feldversuch vorgefundenen Werten übereinstimmen. Somit sind die Laborversuche verifizierbar und können auch für weitere Projekte als aussagekräftige Näherung verwendet werden.
- Es konnte nachgewiesen werden, dass sich Wasserstoff im erwarteten Ausmaß im Lagerstättenwasser löst. Hierbei handelt es sich vermutlich um einmalige Verluste, da es zu keiner weiteren Lösung kommt, sobald in der Lagerstätte wieder ein geochemisches Gleichgewicht besteht bzw. das Lagerstättenwasser mit Wasserstoff gesättigt ist.
- Die in der Materialteststrecke eingebauten Materialien weisen augenscheinlich keine Veränderungen oder Schäden auf. Auch die an den Test-Coupons gemessenen Korrosionsraten liegen weit unter der Norm.
- Die Temperatur, die ein Indikator für chemische und mikrobiologische Reaktionen ist, verhielt sich während der ganzen Laufzeit unauffällig. Dies ist ein zusätzliches Indiz

dafür, dass es zu keinen signifikanten Verlusten durch Wasserstoffreaktion kam.

- Es kam zu einer messbaren Änderung der Permeabilität rund um die Speichersonde. Dies ist jedoch ein aus der Erdgasspeicherung bekanntes Phänomen, da die Wassersättigung durch die Injektion von trockenem Erdgas abnimmt. Damit steht dem Gas mehr Porenraum zur Verfügung.

Die letzten Gasmengen wurden Ende Februar 2017 aus dem Speicher entnommen und damit die Testphase des Projekts beendet. Außerdem wurden finale Wasser- und Gasproben entnommen. Die Ergebnisse des Projekts werden bewertet und zeitnah veröffentlicht.

### Zusammenfassung und Ausblick

Für die untersuchten geochemischen, geophysikalischen und materialtechnischen Gegebenheiten ist keine Beeinträchtigung der Speicherintegrität bei Wasserstoffbeimengungen von zehn Prozent bzw. 10 bar Wasserstoffpartialdruck zu erwarten. Bei der erstmaligen Beaufschlagung der Lagerstätte mit Wasserstoff wird es zu Initialeffekten kommen. Darüber hinaus wurde Potenzial identifiziert, Erdgaslagerstätten als natürliche Reaktoren für die mikrobiologische Methanisierung von Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid zu nutzen. Anhand der gewonnenen Erfahrungen mit den unterschiedlichen Untersuchungsmethoden und interdisziplinären Ansätzen kann in weiterer Folge die Übertragbarkeit auf andere Speicherformationen untersucht werden. Dazu wurden die wesentlichen Parameter definiert.

Die zuvor angesprochene mikrobielle Methanisierung in Erdgaslagerstätten gab den Ausschlag für das Folgeprojekt „Underground Sun Conversion“ (Abb. 3). Neben der Entwicklung einer saisonalen Speicherlösung für erneuerbare Energie kann zugleich erneuerbares Erdgas produziert und die bestehende Infrastruktur uneingeschränkt genutzt werden. Damit

entsteht ein nachhaltiger Kohlenstoffkreislauf. Nähere Informationen gibt es unter [www.underground-sun-conversion.at](http://www.underground-sun-conversion.at). ■

#### Literatur

- [1] S. Bauer und e. a.: Underground Sun Storage: Erneuerbare Energie untertage speichern, in: DVGW energie | wasser-praxis 65. Jg., S. 50 ff., 2014.
- [2] V. Reitenbach, D. Albrecht und L. Ganzer: Einfluss von Wasserstoff auf Untertagegasspeicher; DGMK Research Report 752, DGMK, Hamburg, 2014.
- [3] DVGW: Abschlussbericht DVGW-Projekt G1-02-12; Wasserstofftoleranz der Erdgasinfrastruktur inklusive aller assoziierten Anlagen, DVGW, Bonn, 2014.
- [4] K. Vidić: Untersuchung von ausgewählten Stählen auf die Empfindlichkeit gegenüber der Versprödung durch gasförmigen Wasserstoff, Bd. Diplomarbeit, Leoben: Montanuniversität Leoben, 2015.
- [5] GERG: Admissible Hydrogen Concentrations in Natural Gas Systems aka Hydrogen in Pipeline Systems (HIPS); Final Report, GERG, Brüssel, 2013.

### Die Autoren

**Dipl.-Ing. Stephan Bauer** ist Leiter Power to Gas Innovation & Entwicklung bei der RAG Rohöl-Aufsuchungs Aktiengesellschaft in Wien.

**Dipl.-Ing. Markus Pichler** ist Lagerstättentechniker und Senior Researcher UGS bei der RAG Rohöl-Aufsuchungs Aktiengesellschaft in Wien.

#### Kontakt:

Stephan Bauer  
RAG Rohöl-Aufsuchungs Aktiengesellschaft  
Schwarzenbergplatz 16  
1015 Wien  
Österreich  
Tel.: +43 (0) 50724 5377  
E-Mail: [stephan.bauer@rag-austria.at](mailto:stephan.bauer@rag-austria.at)  
Internet: [www.rag-austria.at](http://www.rag-austria.at)