

NATÜRLICHER WASSERSTOFF

Ein vielversprechender Lieferant für saubere Energie

Das Vorkommen von natürlichem Wasserstoff ist seit den 1920ern bekannt. Frühe Entdeckungen wurden jedoch entweder vergessen oder vernachlässigt (Australien, Kansas, USA, Brasilien, Mali), oder die Funde befanden sich in entlegenen Gebieten, so dass sie nur eine geringe oder gar keine Beachtung durch die Wirtschaft erfuhren (Mittelozeanischer Rücken, Gebirgsketten). In den letzten zehn Jahren aber haben die Ambitionen, diesen Wasserstoff als Energiequelle zu nutzen, kontinuierlich zugenommen.

Die Wasserstoffgewinnung hat bei Geowissenschaftlern jüngst ein erneutes Forschungs- und Entwicklungsinteresse geweckt. Man weiß, dass H_2 in Mittelozeanischen Rücken (MOR), in Ophioliten (Gesteinsserien des Ozeanbodens, die auf Gebirgsketten geschoben wurden), in kontinentalen Kratonen (sehr alte Kontinentalgesteine) und in hydrothermalen Flüssigkeiten vorkommt. Bisher konzentrierten sich industrielle Forschungsprojekte rund um eine potenzielle Wertschöpfung aus dieser Ressource vorwiegend auf kontinentale Kratone. Tatsächlich scheint in diesen Kernbereichen der Kontinente die Produktion von natürlichem Wasserstoff mit kostengünstigen Technologien bei hohen H_2 -Konzentrationen und -strömen besonders effektiv zu sein. In diesem Dokument werden zwei Fälle mit ersten Erkundungs- und Geschäftsplänen vorgestellt: ein Wasserstoffgebiet in Mali und ein Areal mit aktiven Wasserstoffsystemen in Brasilien.

DIE MALI-FALLSTUDIE 1987 wurde am Rande des Dorfes Bourakébougou (Kati-Kreis) ein 110 Meter tiefer Wasserbrunnen gebohrt. Dabei stieß man auf eine Gasblase, die sich anschließend am Bohrlochkopf entzündete. Der Brunnen wurde zementiert und aufgegeben, bis das Unternehmen Hydroma ihn 2011 erneut öffnete und gleichzeitig in der Umgebung ein Erkundungsrecht für Block 25 mit einer Fläche von 43.174 km² erwarb. Ziel war es, Wasserstoff in dem Gebiet zu erforschen. Im östlichen Teil des genannten Blocks wurden daraufhin sogenannte Feenkreise beobachtet (ähnlich wie die in Brasilien in Abbildung 2) und Wasserstoffemissionen in diesen oberflächlichen Strukturen gemessen (Prinzhofer et al., 2018).

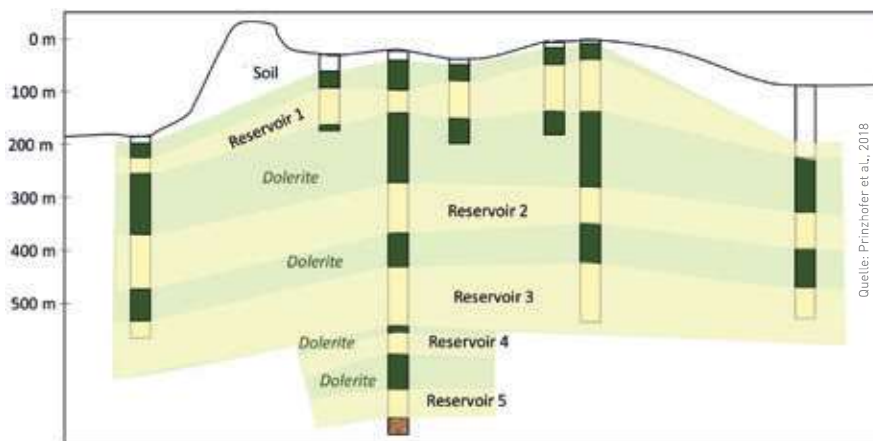


Abb. 1: Künstlicher Querschnitt des Wasserstoffgebiets in Boukarébougou mit Überlagerung von fünf Gasereservoirs

Das ausgeströmte Gas in dem ursprünglichen Brunnen (namens Bougou-1) besteht zu 98 Prozent aus Wasserstoff und zu 2 Prozent aus Methan und Stickstoff sowie aus Spuren schwererer gasförmiger Kohlenwasserstoffe und Helium. Kurz danach konnte das Unternehmen Hydroma eine Pilotanlage zur Gasförderung errichten, um das Dorf Bourakébougou mit Strom zu versorgen. Seitdem wurden viele geologische, geophysikalische und geochemische Studien durchgeführt, zum Beispiel

eine Studie zur seismischen Reflexion in der Region Bourakébougou. Diese ermöglichte eine Kartierung des Dolerits, das sich über das Gebiet erstreckt, wie eine Versiegelung wirkt und Wasserstoff in Reservoirs ansammeln könnte.

Schließlich wurden 24 zusätzliche Brunnen für die Wasserstoffgewinnung gebohrt. Alle Brunnen befinden sich in einem Kreis mit einem Durchmesser von 20 km um das Dorf Bourakébougou herum. Wasserstoff wurde in allen Brunnen in verschiedenen Tiefen vorgefunden. Die erste Ansammlung tritt nachweislich in einer Tiefe von rund 100 Metern auf. Außerdem wurden vier weitere, tiefere Reservoirs entdeckt. In einem Bohrloch, das die Sedimentreihe kreuzt, um das Fundament zu erreichen, fand sich ebenfalls Wasserstoff (Prinzhofer et al., 2018).

Die Sedimentreihe, die rund 1.400 Meter dick ist, wird von zahlreichen Doleritbänken aus dem Trias durchzogen. Diese Sedimentreihe stellt den ältesten Teil des Taoudéni-Beckens (Tamboura-Teilbecken, hauptsächlich Neoproterozoikum) dar, das sich über einen großen Teil Westafrikas erstreckt. Die paläozoischen Formationen, die darüber liegen, sind vor allem in Algerien gut entwickelt und zeigen bekannte Erdölssysteme. Dagegen enthalten die proterozoischen Gesteine nur wenig organische Materie. Sie gelten heute als „überreif“ und haben kein Erdölpotenzial. Dieses nahezu vollständige Fehlen von organischem Kohlenstoff erklärt möglicherweise die gute Konservierung des natürlich produzierten Wasserstoffs. Dieser würde andernfalls über die Sabatier-Reaktion schnell mit Kohlenstoff reagieren und hauptsächlich Methan erzeugen.

Diese gasförmigen Ansammlungen eröffnen die Chance, in naher Zukunft eine industrielle Entwicklung dieser neuen Energiequelle ins Auge zu fassen. Die Kosten für die Förderung von natürlichem Wasserstoff liegen, jedenfalls im Fall von Mali, unterhalb derer einer Produktion dieses Gases, vor allem wenn man die Synthese von grünem Wasserstoff, der mittels Elektrolyse von erneuerbarer Elektrizität erzeugt wird, betrachtet (siehe Abb. 1). >>

Da die Gasmengen nahezu linear mit dem Druck und der Tiefe zunehmen, ist die Gesamtmenge des angesammelten Wasserstoffs in tieferen Reservoiren bei einem gleichwertigen Volumen und ähnlicher Porosität größer.

Das Pilotprojekt für den Pionierbrunnen Bougou-1 hat gezeigt, dass sich der Gasdruck am Bohrlochkopf seit 2011 nicht verringert hat. Tatsächlich ist er sogar leicht gestiegen, was kaum mit einer fossilen Ansammlung von Wasserstoff erklärbar ist. In diesem Fall wäre der Wasserstoffgehalt nach Jahren der Förderung erschöpft, wie es typischerweise bei einer Ölgewinnung mit anschließendem Druckabfall am Bohrlochkopf passiert. Verschiedene geochemische und physikalische Argumente (insbesondere die sehr hohe chemische Reaktivität und die hohe Dispersivität des Wasserstoffmoleküls) deuten darauf hin, dass Wasserstoffgas, das in einem bestimmten geologischen Kontext vorgefunden wird, noch nicht lange vorhanden sein kann. Tatsächlich liegt die geschätzte Zeit der Erzeugung, Migration, Konservierung und Ansammlung von natürlichem Wasserstoff zwischen 10 und 100 Jahren, einem relativ kurzen Zeitraum, der mit der Aufwertung erneuerbarer Energien durch den Menschen einhergeht.

Eine gründliche Drucküberwachung am Bohrlochkopf würde weitere Erkenntnisse zur Geometrie des Reservoirs liefern, in Kombination mit einer genaueren Bemessung des Erzeugungs- und Migrationsstroms dieses erneuerbaren, natürlich vorkommenden Gases. Die Oberflächenmessungen im brasilianischen Beispiel der Feenkreise scheinen ebenfalls auf einen Produktionsstrom hinzuweisen, der mit den Eigenschaften dieses Kurzzeitzyklus übereinstimmt.

EIN FALL IN BRASILIEN In Brasilien sind zahlreiche Wasserstoffvorkommen zu beobachten. Unter anderem haben wir ein Gebiet im Sao-Francisco-Becken in den Bundesstaaten Minas Gerais und Bahia untersucht. Das Becken stammt aus dem Neoproterozoikum, und bei vielen Öl- und Gasbohrungen wurde Wasserstoff in großen Konzentrationen gemessen. Ein laufendes ENGIE-Forschungsprojekt versucht, die langfristigen Wasserstoffexsudationen in verschiedenen Bereichen des Beckens zu bewerten. Semipermanente H_2 -Sensoren wurden in den Boden gelassen, um zwei Feenkreis-Strukturen zwei Jahre lang geochemisch zu überwachen (Prinzhofer et al., 2019; Moretti et al., 2020; siehe Abb. 2).

Wasserstoffemissionsdaten in der Atmosphäre sind weder räumlich noch zeitlich konstant. Abbildung 3 zeigt, dass für eine bestimmte Stelle in der Struktur ein großer H_2 -Puls sporadisch über 24 bis 48 Stunden auftritt (und mehrere Prozent H_2 im Boden erreicht). Dem großen Anstieg folgt eine Entspannungsphase mit kleineren täglichen Pulsen. Konzentrationen können Werte von mehreren Hunderten ppm über mehrere Wochen erreichen. Interessanterweise wurde festgestellt, dass auf der Fläche des Feenkreises die beobachteten großen Pulse sehr oft auftreten, aber von den angrenzenden Sensoren nicht gemessen werden, das heißt, dass Gasaustritte anscheinend im Messskala-Bereich lokalisiert sind.

Große H_2 -Emissionen scheinen mit einer H_2 -Freisetzung aus tieferen Horizonten übereinzustimmen. Die täglichen Schwankungen könnten mit der Freisetzung des verbleibenden H_2 im Boden zusammenhängen und zum Beispiel durch den unterschiedlichen Luftdruck am Tag und in der Nacht begünstigt werden (Cathles und Prinzhofer, 2020). Diese Studie schlägt eine bessere Bewertung des realen Exsudationsstroms des Wasserstoffs in diesen Strukturen vor, der in diesem brasilianischen

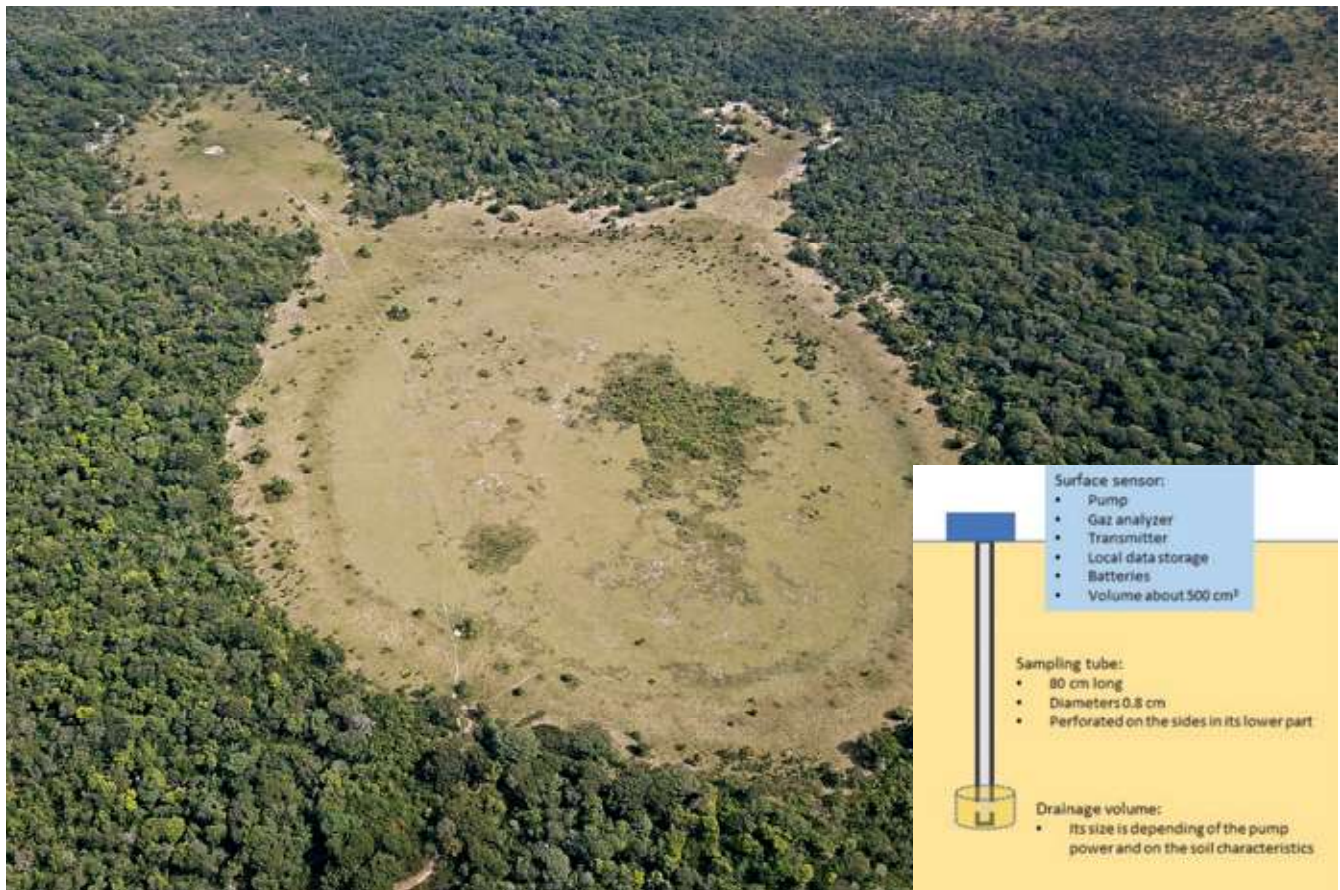


Abb. 2: Einer der überwachten Feenkreise im Sao-Francisco-Becken (Brasilien) und Skizze des Messprinzips bei 1 Meter Tiefe. Der größere Kreis hat einen Durchmesser von rund 600 Metern. [Quelle: Moretti et al. (2020)]

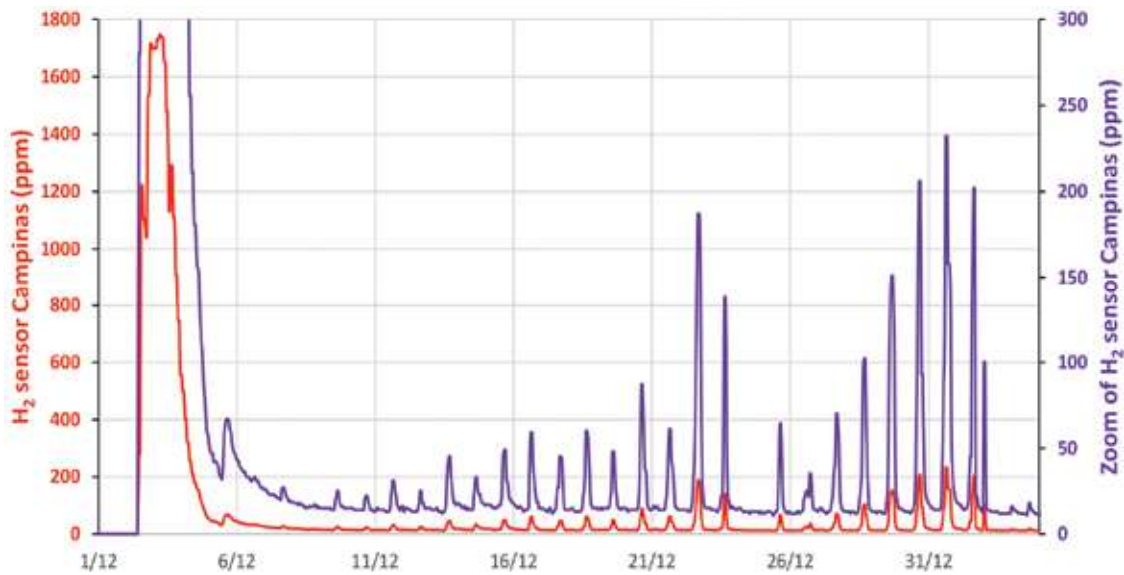


Abb. 3: Zeitliche Entwicklung über einen Monat eines mit einem Sensor überwachten Wasserstoffpulses. Nach einem großen anfänglichen Anstieg (rote Skala) und einigen Tagen fast vollständigen Fehlens von Emissionen geben regelmäßige tägliche Pulse kleinere Mengen H_2 frei (lilafarbene Skala). [Quelle: Moretti et al., (2020)]

nischen Fall auf rund $0,02$ bis $0,04 \text{ m}^3/\text{Tag}/\text{m}^2$ geschätzt wird. Dieser ist ein wichtiger Parameter, um die Gaserzeugung in einem Wasserstoffsystem zu messen und um zu schätzen, wie schnell sich Wasserstoffansammlungen erneuern.

SCHLUSSFOLGERUNGEN Nach mehreren Jahren der Forschung und Entwicklung kann Folgendes über diese neue Energiequelle festgehalten werden: Geologische Wasserstoffsysteme werden über oberflächliche Exsudationen beobachtet, die kreisförmige Vertiefungen darstellen, die sogenannten Feenkreise. Diese Strukturen stehen im Allgemeinen mit Gestein aus dem Proterozoikum in Verbindung und sind die ersten Orientierungshilfen für die Förderung der Ressource Wasserstoff.

Natürlicher Wasserstoff kann in verschiedenen geologischen Umgebungen vorkommen: In Mittelozeanische Rücken, Ophioliten, Kratonen und hydrothermalen Flüssigkeiten. Von diesen unterschiedlichen Umgebungen scheinen Kratone am vielversprechendsten und am wertvollsten zu sein.

Kratonischer Wasserstoff scheint oft mit geologisch altem Gestein, meistens aus dem Neoproterozoikum, in Verbindung zu stehen. Dieses geologische Zeitalter entspricht einem Zeitpunkt der Deoxygenierung der Erdatmosphäre, die mit der reduzierenden Eigenschaft des H_2 -Moleküls in Zusammenhang stehen könnte.

Ein Wasserstoffsystem hat wie ein Kohlenwasserstoffsystem einen Entstehungsherd, einen Migrationskanal für Gas bis zur Oberfläche sowie mögliche Porositätskontraste im geschichteten Gestein, was auf Ansammlungen schließen lässt.

Die typische Aufenthaltsdauer von natürlichem Wasserstoff unter der Oberfläche deutet darauf hin, dass es sich um eine erneuerbare Quelle nach menschlichen Zeitmaßstäben handelt. Diese erneuerbare Eigenschaft, die mit nicht-umweltbelastenden Verbindungen aus der Wasserstoffverbrennung (deren Produkt Wasser ist) zusammenhängt, macht ihn zu einem interessanten, neuen potenziellen Energielieferanten.

Natürlicher Wasserstoff kommt auf jedem Kontinent vor, sodass eine Dezentralisierung dieser Energiequelle vorstellbar ist, die mit dem Paradigma fossiler Energien bricht: Diese waren aufgrund ihres konzentrierten geologischen Vorkommens zentralisiert.

Doch noch wissen wir längst nicht alles über Wasserstoffsysteme. Die generativen Prozesse, die in der Tiefe stattfinden, die Geschwindigkeit und Ströme der Gasmigration sowie das Gleichgewicht aus erzeugtem bzw. angesammeltem und verbrauchtem bzw. dispergiertem Wasserstoff müssen weiter untersucht werden.

Mehrere Industrieprojekte finden zurzeit in unterschiedlichen Ländern statt. Sie werden es ermöglichen, das Potenzial dieser Ressource für unseren zukünftigen Energiebedarf besser zu verstehen. ||

Literatur:

- Cathles, L.; Prinzhofer, A. (2020): What Pulsating H_2 Emissions Suggest about the H_2 Resource in the Sao Francisco Basin of Brazil. *Geosciences* 2020, 10, 149, doi:10.3390/geosciences10040149
- Moretti I., A. Prinzhofer, J. Françolin, C. Pacheco, M. Rosanne, F. Rupin and J. Mertens. 2020. Long term monitoring of natural hydrogen superficial emissions in a Brazilian cratonic environment. Sporadic large pulses versus daily periodic emissions. *International Journal of Hydrogen Energy*, in press
- Prinzhofer A., Cissé C.S. and Diallo A.B. (2018): Discovery of a large accumulation of natural hydrogen in Bourakébougou (Mali). *Intern. Journal of Hydrogen Energy*, vol. 43, issue 42, p. 19315-19326.
- Prinzhofer, A.; Moretti, I.; Françolin, J.; Pacheco, C.; D'Agostino, A.; Werly, J.; Rupin, F. (2019): Natural hydrogen continuous emission from sedimentary basins: The example of a Brazilian H_2 -emitting structure. *Int. J. Hydrog. Energy* 2019, 44, 5676–5685

Autor:



Alain Prinzhofer
GEO4U, Rio de Janeiro,
Brasilien
→ alain.prinzhofer@
geo4u.com.br