



Foto: Fotolia

Vassiliki Theodoridou, Stephan Bauer

Underground Sun Storage und das Risk-Assessment der Wasserstoffuntergrundspeicherung

Die systematische Erfassung und Bewertung von Sicherheitsrisiken mit dem Ziel diese zu kontrollieren ist mittlerweile gängige Praxis in der Erdöl- und Erdgasindustrie. Der Einsatz von neuen Technologien, welche mit hohen Herausforderungen und Komplexität behaftet sind, erfordert Methoden die diesen Anforderungen gerecht werden können. Das Forschungsprojekt Underground Sun Storage, welches die Speicherfähigkeit von Wasserstoff als Beimengung zu Erdgas/synthetischem Methan in Porenlagerstätten untersucht, bedingt solche Lösungen. Eine kurze Darstellung des dafür angepassten Bow-Tie Risk Assessments soll einen Überblick über die vorgesehenen methodischen Schritte bieten.

I EINLEITUNG

Das Thema der „Energiewende“ und die damit verbundenen Wege zur Realisierung einer nachhaltigen Energieversorgung werden in den letzten Jahren sehr intensiv diskutiert. Kürzlich haben die Teilnehmer des EU-Gipfels sich auf ein umfassendes Klima- und Energiepaket mit Zielen bis 2030 geeinigt. Im Vergleich zu 1990 soll der Ausstoß des Treibhausgases Kohlendioxid verbindlich um mindestens 40 Prozent sinken. Zusätzlich sollen die Energieeffizienz und der Anteil der erneuerbaren Energien – aus Wind oder Sonne – auf jeweils mindestens 27 Prozent steigen (APA, 2014).

Für das Erreichen dieser Ziele ist sowohl die Entwicklung von geeigneten technischen Lösungen, wie auch die angemessene Ausgestaltung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen entscheidend (Acatech, 2012).

Die Forschung nach technischen Lösungen wird derzeit intensiviert und auch durch unterschiedliche Förderinitiativen auf Landes- und EU-Ebene unterstützt. Einige der Forschungsprojekte setzen sich mit Fragestellungen auseinander, welche sich aus dem weiteren Ausbau von volatil erzeugter Energie ableiten. Ein erheblicher Ausbau der erneuerbaren Energie wäre derzeit nicht möglich, da bestehende Energiesysteme an ihre Grenzen stoßen. Die Ursache dafür liegt in den stark wetterbedingten Schwankungen

bei der Stromgewinnung aus Sonne und Wind.

Als Achillesferse des Systems erweist sich die Speicherung – siehe Tabelle 1 – und die schnelle Wiederbereitstellung von großen Energiemengen. Eine Vielzahl an Forschungsprojekten fokussiert

Technologie	Effizienz %	Kapazität MW	Dauer der Speicherung
Pumpspeicher	70-85%	1-5000	Stunden-Monate
Li-Ion Batterie	80-90%	0,1-50	Minuten-Tagen
Bleisäure Batterie	70-80%	0,05-40	Minuten-Tagen
Power to Gas	30-75%	0,01-1000	Minuten-Monate
Druckluftspeicher	70-75%	50-300	Stunden-Monate
Vanadium-Redox Batterie	65-75%	0,2-10	Stunden-Monate
Natrium-Schwefel Batterie	75-85%	0,05-34	Sekunden-Stunden
Nickel-Cadmium Batterie	65-75%	45	Minuten-Tagen
Schwungradspeicher	85-95%	0.1-20	Sekunden-Minuten

TABELLE 1: ÜBERBLICK ÜBER AUSGEWÄHLTE PARAMETER UNTERSCHIEDLICHER ENERGIESPEICHERTECHNOLOGIEN (LEHNER, M. ET.AL. 2014, DIAS-GONZALEZ, F., ET.AL 2012, BEAUDIN, M., ET.AL 2010)

diese Problematik. Dabei werden verschiedene Lösungsansätze untersucht, wie die Druckluftspeicherkraftwerkstechnologie, die Redox-Flow-Batterie, thermochemische Speicher, Latentwärmespeicher und die stoffliche Speicherung in Wasserstoff und Methan.

II POWER TO GAS

Bei der chemischen Speicherung von Energie in Form von Methan und Wasserstoff handelt es sich um den weit verbreiteten und viel versprechenden Ansatz der „Power to Gas“ Technologie. Das System umfasst im weitesten Sinn alle Technologien und Prozesse in denen aus elektrischer Energie ein gasförmiger Energieträger erzeugt wird (Gahleitner, G. Tichler, 2012). Wie man der Abbildung 1 entnehmen kann, handelt es sich um ein flexibles System. Im ersten Schritt des Systems wird aus regenerativ erzeugtem Strom mittels Elektrolyse Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Dabei steckt im Wasserstoff 70 % der Stromenergie, und der Rest steht als Abwärme zur Verfügung (Schmid, J. 2011). Der Wasserstoff kann anschließend zwischengespeichert werden und zu einem späteren Zeitpunkt zur Stromerzeugung genutzt werden. Dies geschieht in Brennstoffzellen, wo die darin enthaltene Energie zu etwa 60 % in Strom und 40 % Prozent in Wärme umgewandelt wird (Schmid, J. 2011). Desweiteren lässt sich reiner Wasserstoff als Treibstoff in spe-

ziell ausgestattete Fahrzeugmotoren und über die direkte Einspeisung in der vorhandenen Gasinfrastruktur bis zu einem geringen Anteil nutzen. Verfolgt man den Weg zum synthetischen Methan, dann reagiert Wasserstoff mit Kohlendioxid im Methanreaktor nach biotechnologischen bzw. chemisch-katalytischen Verfahren. Das Produkt kann dann nach einer Aufbereitung und Veredelung in das Erdgasnetz gespeist werden.

Wie ersichtlich, umfasst das System „Power to Gas“ eine Vielzahl von Prozessmöglichkeiten und bindet verschiedene Technologien von unterschiedlichem Reifegrad ein. Da aktuell in dem Bereich geforscht wird, befindet sich das System in einer ständigen Anpassung. Die österreichische Forschungs- und Entwicklungslandschaft beschäftigt sich seit mehr als fünf Jahren mit dem Thema, in einer durchaus beachtlichen Anzahl von Projekten. Hierbei geht es um die technische Optimierung der einzelnen Systemelemente und um die Überprüfung der damit verbundenen wirtschaftlichen, volkswirtschaftlichen, rechtlichen und sicherheitstechnischen Aspekte. In einem weiteren Schritt sollen Pilotprojekte die Machbarkeit der einzelnen Vorhaben demonstrieren.

Das langfristig verfolgte Ziel wäre „Power to Gas“ zu etablieren, da diese Technologie die Speicherung von großen Mengen an fluktuierend erzeugtem Strom in Form von Wasserstoff und/

oder Methan über lange Zeit erlaubt. Letzteres wiederum würde die Integration von großen Anteilen an erneuerbaren Energien ermöglichen und somit die Entkarbonisierung der Energieversorgung beschleunigen. Da die Technologie die Nutzung der vorhandenen Erdgasinfrastruktur – Verteilernetz und Speicher – vorsieht, könnte dies ohne hohe zusätzliche Investitionen implementiert werden. Dieser Umstieg vom Stromnetz in das Erdgasnetz würde die räumliche und zeitliche Entkoppelung der Energieeinspeisung und Entnahme erlauben.

III UNDERGROUND SUN STORAGE

Aus heutiger Sicht scheint die direkte Wasserstoffbeimengung zum Erdgas, aufgrund des höheren erzielten Wirkungsgrades und der noch schlechten Verfügbarkeit von geeigneten Kohlendioxidquellen, der wirtschaftlich einfachere und sinnvollere Weg zu sein.

Die Wasserstofftoleranz der Erdgasinfrastruktur wird aktuell in zahlreichen Studien untersucht. Allerdings sind die Auswirkungen von Wasserstoff auf die eigentlichen Speicher in der Erdgasinfrastruktur – die Untertage-Gasspeicher – noch nicht bekannt. Die Speicherfähigkeit von Wasserstoff durch Beimengung zu Erdgas/synthetischem Methan in Porenlagerstätten wird im Projekt „Underground Sun Storage“ – welches vom österreichischen Klima- und Energiefond gefördert wird – aktuell erforscht. Im Zuge des Projekts wird die Speicherfähigkeit für Wasserstoffgehalte bis 10 % überprüft.

Neben der Rohöl-Aufsuchungs AG (RAG), die mit der Führung des Konsortiums betraut ist, sind die Montanuniversität Leoben, die Universität für Bodenkultur Wien, die Johannes Kepler Universität Linz, der Stromkonzern Verbund und das Prozesstechnikunternehmen Axiom am Projekt beteiligt. Im Zuge des Projekts werden unterschiedliche Laborversuche, Simulationen und ein In-situ Versuch im industriellen Maßstab an einer existierenden Lagerstätte, durchgeführt. Diese Untersuchungen werden durch eine Risikobewertung begleitet. Zusätzlich werden mögliche Geschäftsmodelle identifiziert und die dazugehörigen rechtlichen Rahmenbedingungen überprüft. Für diese Geschäftsmodelle

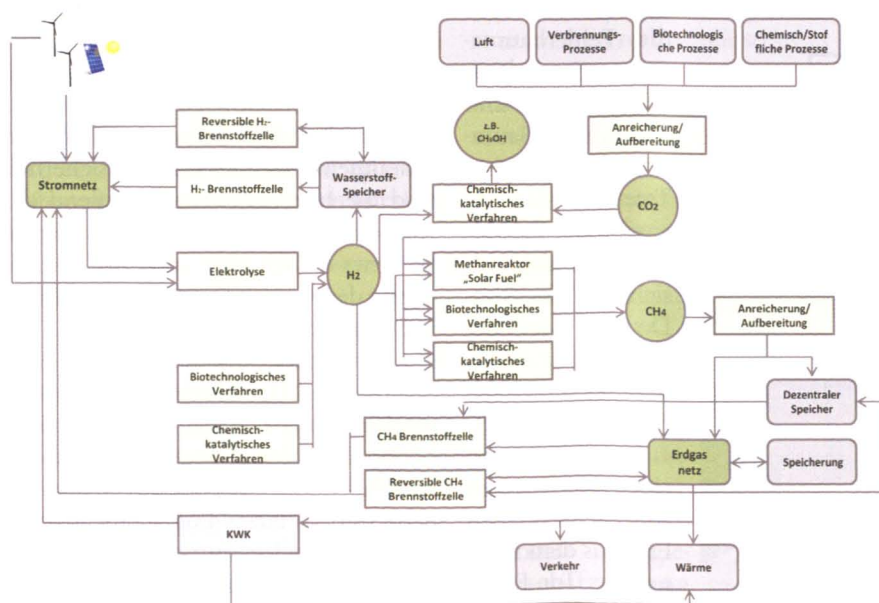


ABB 1: ÜBERBLICK ZU UNTERSCHIEDLICHEN PROZESS-MÖGLICHKEITEN UNTER DER EINBEZIEHUNG VERSCHIEDENER TECHNOLOGISCHER KOMPONENTEN INNERHALB DES POWER-TO-GAS-SYSTEMS (TICHLER, R. 2013,S.5)

werden auch die volkswirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen analysiert. Durch einen Abgleich der Ergebnisse aus Labor, Simulationen und In-situ Versuch mit den im Rahmen dieses Projektes entwickelten Simulationstools werden letzere kalibriert, damit die Untersuchung ähnlicher Fragestellungen für andere Speicherstrukturen möglich wird.

Gelingt durch das Projekt ein positiver Nachweis, könnten die Gasspeicher mit ihren enormen Speichervolumina (allein 7 Mrd. m³ entsprechend 77.000 GWh in Österreich) im Energiesystem der Zukunft neu positioniert werden und als Ausgleichspeicher für erneuerbare Energien dienen. (Underground Sun Storage, 2014)

IV DAS RISK-ASSESSMENT

Über mehr als drei Jahrzehnte wird in Österreich Erdgas in ausgeförderten Lagerstätten gespeichert. Diese Speicher tragen wesentlich zur Gasversorgungssicherheit Österreichs und ganz Mitteleuropas bei. Ein sicherer Betrieb dieser kann durch regelmäßig durchgeführte Überprüfungs-, Kontroll-, Instandhaltungs- und Wartungsmaßnahmen gewährleistet werden. Die Integrität dieser Speicher ist von primärer Bedeutung sowohl für den Betreiber des Speichers, wie auch für die Behörden und für Anrainer und Umwelt. Systemausfälle und die daraus resultierenden unerwünschten Folgen sind auszuschließen. Im Fall der Was-

serstoffbeimengung zum Erdgas in Porenlagerstätten wäre zu prüfen, ob und welche zusätzlichen Risiken durch das geänderte Medium entstehen können. Diese sind dann zu analysieren und zu bewerten, um daraus Strategien zur Vermeidung und Überwachung ableiten zu können. Die hierfür angewendete methodische Vorgehensweise wird hier kurz vorgestellt. Als Startpunkt galt die detaillierte Erfassung aller Systemelemente der Untergrundspeicherung. Aufgenommen wurden neben den technischen Daten auch Druck, Temperatur und Werkstoffe. Eine ausgiebige Literaturrecherche diente zur ersten Identifizierung von Risiken. Die Ergebnisse sind in Form einer Gefahrenmatrix dokumentiert, wobei die eine Achse die Systemelemente und die andere die in der Literatur erwähnten Risiken erhielt. Da es auch vereinzelt Hinweise für mögliche Risiken in bestimmten Systemelementen gab, war es notwendig Parallelitäten unter den Elementen zu überprüfen, um dadurch Elemente zu identifizieren die auch gefährdet sein könnten. Die Gefahrenmatrix wurde dementsprechend aktualisiert und diente dann als Basis für die Gestaltung der ersten Befragungsrunde einer Delphi Studie. In dieser Runde wurden bereits identifizierte Risiken, sowie die Möglichkeit der Existenz von weiteren Gefahren hinterfragt, um die Matrix vervollständigen zu können.

Nach dem Schritt der Risikoidentifikation wäre festzulegen wie diese zu analysieren sind. Häufig werden hierfür

arbeitet sich dann in Form einer Baumstruktur von der Spitze bis nach unten zu dem Ursprung des Top-Ereignisses. Die ETA stellt im Gegensatz dazu die Folgen eines Top-Ereignisses dar. Letzteres wird im ETA als Startereignis betrachtet und dann werden dessen mögliche Auswirkungen auf das Gesamtsystem untersucht. Die „Bow-Tie“ Analyse die hier eingesetzt wird ist ein Ansatz, der eine Fehlerbaumanalyse (auf der linken Seite) und eine Ereignisbaumanalyse (auf der rechten Seite) miteinander kombiniert. Dies ermöglicht sowohl die Ursachen wie auch die Folgen eines Top-Ereignisses zu analysieren und graphisch darzustellen. Die Grundstruktur der Fehlerbaum- und der Ereignisbaumanalyse ist im Falle der Wasserstoffbeimengung zum Erdgas auf Basis bekannter Erkenntnisse aufgebaut und unter Mithilfe von Experten vervollständigt.

Dieser traditionelle „Bow-Tie“ Ansatz ist aber nicht in der Lage Modellunsicherheiten, die durch die Annahme von Unabhängigkeit zwischen den verschiedenen Ereignissen beruht, zu charakterisieren. Da eine Unabhängigkeit zwischen den Ereignissen in dem zu untersuchenden System nicht vorliegt wird Fuzzy-Logik eingesetzt. Es werden Fuzzy-Wahrscheinlichkeiten für die Hauptereignisse in Fehlerbaum- und Fuzzy-Wahrscheinlichkeiten des Ausgangsereignisses abgeleitet, um so fundierte Aussagen über künftige Folgen zu ermöglichen.

Die zweite Runde der Delphi Studie dient, wie es der Abbildung 2 entnommen werden kann, der Vervollständigung der Bow-Tie-Analyse unter Unsicherheit. Hierbei werden die Wahrscheinlichkeiten bei Datenunsicherheit und die Interpedenzen betreffend der Modellunsicherheit bestimmt. Die Interviews dienen aber auch zur Bestimmung der Konsequenzen aufgrund von Datenunsicherheiten.

Für die Unsicherheiten bei den wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen Risikoereignissen wird aus den sprachlich formulierten Sätzen und Regeln mittels Fuzzy-Logik eine mathematische Beschreibung gewonnen. Die Modellierung von nichtlinearen Abhängigkeiten erfolgte über das Frank Copulae Modell für den Fall von bekannten Korrelationen und unter Nut-

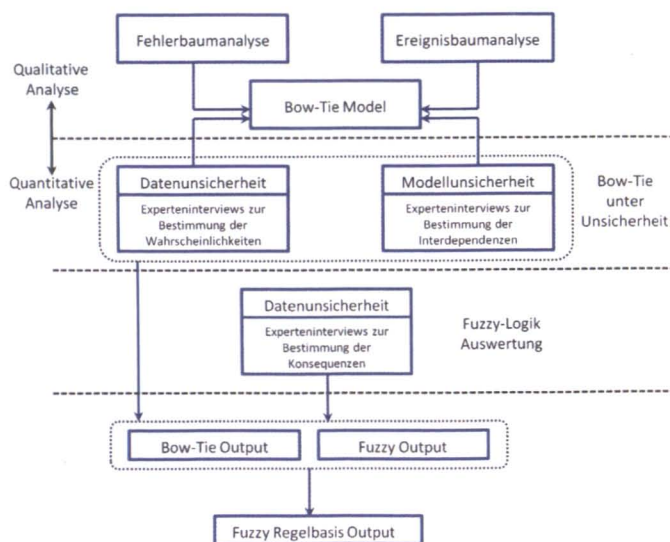


ABB. 2: VORGESCHLAGENER GENERISCHER ABLAUF FÜR DIE RISIKOANALYSE UNTER UNSICHERHEIT FÜR DIE UNDERGROUND WASSERSTOFF SPEICHERUNG (IN ANLEHNUNG AN SHAHRIAR, A.; ET.AL. 2011.)

zung der Fréchet-Hoeffding-Grenze im Fall von unbekanntem Korrelationen.

Um die Empfindlichkeit des Systems bei einer Variation dieser wechselseitig abhängigen Risikoereignisse zu überprüfen wird zusätzlich eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Auf Basis der Ergebnisse der Bow-Tie-Analyse unter Unsicherheit und der Sensitivitätsanalyse werden im letzten Schritt die Strategien zur Vermeidung und Überwachung der möglichen Gefahren definiert.

V FAZIT

Das langfristig gesetzte Ziel der Entkarbonisierung der Energieversorgung kann nur durch die massive Einbindung von regenerativ erzeugter Energie erzielt werden. Einzelne Schritte in diese Richtung erfolgen durch Projekte wie das „Underground Sun Storage“. An dieser Stelle ist hervorzuheben, dass es für solche Forschungsvorhaben sehr wesentlich ist sie ganzheitlich aufzubauen. Eine Überprüfung der technischen Machbarkeit und der ökonomischen Vorteilhaftigkeit von solchen Projekten ist bei weitem nicht ausreichend. Die Überprüfung der mit der Technologie verbundenen Risiken für Mensch und Umwelt ist von Anfang an zwingend notwendig. Die hier vorgestellte generische Vorgehensweise zur Identifizierung, Analyse und Bewertung von Risiken kann bei ähnlichen Vorhaben auch zur Anwendung kommen. Der Einsatz dieser setzt die enge Zusammenarbeit und das Wissen von mehreren Experten aus unterschiedlichen Disziplinen voraus. Die Autoren möchten diese Gelegenheit nutzen, sich bei den Experten, welche das Vorhaben stark unterstützt haben herzlich zu bedanken.

LITERATUR

Acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V. (Hrsg.): Die Energiewende finanzierbar gestalten: Effiziente Ordnungspolitik für das Energiesystem der Zukunft (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer-Verlag 2012, S.9

APA: [http://journale.apa.at/cms/journale/aktuelles_detail.html?sessionid=D92292FB9CEAFE75E7A549DCDD03A1E1.cms1?doc=CMS1414139601527\(24.10.2014\)](http://journale.apa.at/cms/journale/aktuelles_detail.html?sessionid=D92292FB9CEAFE75E7A549DCDD03A1E1.cms1?doc=CMS1414139601527(24.10.2014))

Beaudin, M.; Zareipour, H.; Schellenberg, A.; Rosehart, W.: Energy storage for mitigating the variability of renewable electricity sources: An updated review, Energy for Sustainable Development, Volume 14, Issue 4, December 2010, Pages 302-314

Chen, H.; Ngoc Cong, T.; Yang, W.; Tan, C.; Li, Y.; Ding, Y.: Progress in electrical energy storage system: A critical review, Progress in Natural Science, Volume 19, Issue 3, 10 March 2009, Pages 291-312

Díaz-González, F.; Sumper, A.; Gomis-Bellmunt, O.; Villafáfila-Robles, R.: A review of energy storage technologies for wind power applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 16, Issue 4, May 2012, Pages. 2154-2171

Gahleitner, G. Tichler, R.: Power-to-Gas – Speicher-Technologie für das Energiesystem der Zukunft. Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, Energie Info 08/2012.

Lehner, M., Tichler, R., Steinmüller, H., Koppe, M.: Power-to-Gas: Technology and Business Models, 2014, Springer Verlag, S.4

Shahriar, A.; Sadiq, R. Tefamariam, S.: Risk analysis for oil & gas pipelines: A sustainability assessment approach using fuzzy based bow-tie analysis, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 25 (2012) Pages 505-523

Schmid, J. Speicherungsmöglichkeiten von Überschuss-Energie mit Wasserstoff oder Methan – ein Vergleich, Workshop von Bundesnetzagentur und Fraunhofer-Institut IWES in Berlin 22.22.2011, S.1

Tichler, R.: Volkswirtschaftliche Relevanz von Power-to-Gas für das zukünftige Energiesystem. 8. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, IEWT 2013, S. 2

Underground Sun Storage: <http://www.underground-sun-storage.at>, 17.11.2014

Autoren:

Dipl.-Ing. Vassiliki Theodoridou studierte an der Montanuniversität Leoben Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes. Sie ist seit Dezember 2008 am WBW tätig und verantwortlich für das IMBA Masterstudium. Der Fokus Ihrer Lehr- und Forschungstätigkeit liegt im Bereich der Erdölökonomie und des Risikomanagements.

Dipl.-Ing. Stephan Bauer hat das Studium für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft an der Universität für Bodenkultur Wien abgeschlossen. Er trat 2008 in das Unternehmen Rohöl-Aufsuchungs AG (RAG) ein und ist seitdem betraut mit der Leitung von Speicherausbauprojekten. In den letzten drei Jahren liegt der Schwerpunkt seines Aufgabengebiets in den Bereichen „Gas Innovationsoffensive“ und „Power to Gas“. Nach der erfolgreichen Entwicklung



Dipl.-Ing.

Vassiliki Theodoridou

wiss. Mitarbeiterin am Lehrstuhl f. Wirtschafts- u. Betriebswissenschaften, Montanuniversität Leoben

des Forschungsprojektes Underground Sun Storage hat er dessen Projektleitung übernommen. Stephan Bauer ist aktuell vertreten in diversen nationalen und internationalen Gremien: ÖVGW, Österreichische Power to Gas Plattform,



Dipl.-Ing.

Stephan Bauer

Projektleitung Rohöl-Aufsuchungs AG (RAG)

europäische Gasqualitätsnormierung, WEG Arbeitskreis „Gasbegleitstoffe in Untergrundspeichern“, GERG HIPS.