

Hannover – Leipzig

Dr.-Ing. Veenker
Ingenieurgesellschaft mbH

Heiligengeiststraße 19
30173 Hannover

T +49 511 / 28499 - 0
F +49 511 / 28499 - 99

mail@veenkermbh.de
www.veenkermbh.de

Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH * Heiligengeiststr. 19 * 30173 Hannover

IAB – Institut für Angewandte Bauforschung

Weimar gGmbH

Herrn Dr. Berger

Über der Nonnenwiese 1

99428 Weimar

Hannover, 22.11.2023 * 10524 * T * SDa/Vee

G:\2024\10524\2024-01-17_IAB\10524_Skript_IAB_Veenker.docx

70525 – Forschungsvorhaben der Veenker-Stiftung zur Regasifizierung verflüssigter Gase in Kavernen

Vor dem Hintergrund der politischen Lage in Osteuropa und der damit verbundenen abzuwendenden Gasknappheit in Deutschland ist der Import von verflüssigtem Erdgas (LNG) sowie dessen Regasifizierung und Einspeisung in das Erdgasversorgungsnetz in den letzten Jahren in den Vordergrund gerückt und aus der Sicht der Versorgungssicherheit erfolgreich praktiziert worden. Energetisch betrachtet, ist die Verflüssigung und eine spätere Regasifizierung (Verdampfung) von Erdgas und Gasen im Allgemeinen energieintensiv und daher kostspielig. Zwar haben wir als Käufer auf die Verflüssigung des Erdgases im Wesentlichen keinen Einfluss, so liegen die Wertschöpfungskette und damit die Energie- und zuletzt auch die CO₂-Ströme nach dem Erwerb des verflüssigten Gases vollständig in unseren Händen. In einer ideellen Anschauung muss bei der Regasifizierung des verflüssigten Gases dieselbe Energiemenge wieder hinzugeführt werden, die bei der Verflüssigung einst abgeführt wurde. Beispielsweise wird bei der aktuellen Regasifizierung des LNG in der Regel Meerwasser als Energieträger in einem Wärmeüberträger verwendet, was jedoch witterungsbedingt und in Abhängigkeit des erforderlichen Massenstromes in kalten Jahreszeiten nicht auskömmlich sein kann, weswegen das sogenannte Boil-Off-Gas (verdampfte Gasphase) als Brenngas mitverwendet wird. Mit der Verbrennung des Boil-Off-Gases gehen jedoch eine gewisse CO₂-Bilanz sowie die Reduktion der gesamtheitlichen Effizienz im einstelligen Prozentbereich einher.

Sparkasse Hannover
IBAN DE17 2505 0180 0000 5640 44
BIC SPKHDE2HXXX

Vereidigter Sachverständiger
Dipl.-Ing. Jörg Himmerich

Amtsgericht Hannover
HRB 57 606
USt-IdNr.: DE 198 708 104

Geschäftsführer
Jörg Himmerich

Ein Blick in die Glaskugel würde uns verraten, ob die „heiße“ LNG-Phase bereits hinter uns liegt, ob importierter Wasserstoff ein wesentlicher Bestandteil der Energiewende sein wird und ob dieser – ebenfalls wie LNG – als H₂ verflüssigt transportiert wird oder ob gar andere verflüssigte Gase sowohl als Werkstoff als auch als Energieträger in Deutschland regasifiziert werden müssen. Doch eine solche Glaskugel steht bedauerlicher- und auch glücklicherweise nicht zu Verfügung.

Aus diesem Grunde hat sich die Veenker-Stiftung entschlossen, sich der Beantwortung der Fragestellung zu widmen, ob es technisch möglich und kostengünstig ist, verflüssigte Gase direkt in eine Kaverne einzufüllen, um sie dort durch die vorhandene Erdwärme zu regasifizieren. Die Vorteile eines solchen Vorgangs sind verlockend: kostenfreie und CO₂-freie Regasifizierung durch Nutzung der Erdwärme und der Wärme des Kissengases. Zudem wäre der Druckaufbau in der Kaverne durch den Regasifizierungsvorgang ebenfalls kosten- und CO₂-neutral.

Die Grundlage des Gedankenguts stellt zunächst das Patent von Herrn Dr.-Ing. habil. Steffen Päßler der Ontras Gastransport GmbH (ONTRAS) dar. In seinem Patent hat er den Einfüllvorgang des LNG in eine Kaverne sowie den Dispersionsvorgang über eine Prallplatte skizzenhaft beschrieben. Darauf aufbauend haben die Veenker-Ingenieure, Prof. Dr. Lux (TU Clausthal) und ONTRAS im Rahmen einer Machbarkeitsstudie untersucht,

- ob unter Annahme ideeller Bedingungen die Enthalpie des Kissengases ausreicht, um den Regasifizierungsvorgang des LNG mit technisch beachtenswerten Mengen durchzuführen,
- ob der ideale Normalisierungsvorgang, in dem das Erdreich und das Kissengas (und das Arbeitsgas) die Ausgangstemperatur wiedererlangen, eine technisch vertretbare Dauer in Anspruch nimmt,
- inwieweit eine Abkühlung der Kaverne und des anstehenden Gebirges aus geomechanischer und statischer Sicht zumutbar wäre und
- unter welchen Bedingungen der Komplettierung der gesamte Prozess (verfahrens-)technisch umsetzbar – also grundsätzlich technisch möglich wäre.

Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie waren insoweit positiv, dass aus physikalischen Gründen zunächst keine unüberwindbaren Hürden festgestellt wurden. Es ist eine maximal injizierbare Masse an LNG in der Größenordnung von 8.000 Tonnen sowie eine damit zusammenhängende Normalisierungsdauer von einigen Tagen

berechnet worden. Die gebirgsmechanischen sowie verfahrenstechnischen Untersuchungen wiesen zwar beachtenswerte Aspekte auf, jedoch keine, die das gesamte Verfahren als unmöglich postulierten. Gleichwohl sei angemerkt, dass die Machbarkeitsstudie lediglich eine Größenabschätzung sowie die Identifizierung von möglichen Unüberwindbarkeiten als Ziel hatte, und zwar aus ingenieurtechnischer Sicht.

Auf Grundlage der positiven Ergebnisse der Machbarkeitsstudie war es gerechtfertigt, sich diesem Thema forschend weiter zu widmen, sodass die Veenker-Stiftung zur Beantwortung der Forschungsfragen unter Hinzunahme und Mitwirkung diverser Partner folgende Projektstruktur aufgebaut hat:

Die Veenker-Stiftung wird vom Forschungsbeirat, bestehend aus erfahrenen Mitarbeitern der Firmen ONTRAS, VGS und Uniper beraten. Die Beantwortung der Forschungsfrage ist zweigeteilt. Die Forschung an der Kaverne übernimmt die Technische Universität Clausthal, Lehrstuhl für Geomechanik und multiphysikalische Systeme. Die Forschung zur Komplettierung ist wiederum zweigeteilt. Die Firma Untergundspeicher- und Geotechnologie Systeme GmbH (UGS) übernimmt die Fragestellung zur Konstruktion der Komplettierung und die Firma Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH beschäftigt sich mit der Frage der Bemessung der Komplettierung.

Die Fragestellungen der Geomechanik sind vielseitig. Die TU Clausthal erforscht sowohl theoretisch als auch empirisch in eigens dafür angelegten Versuchsreihen mögliche mechanische Veränderungen des Steinsalzes einer Kaverne durch zyklische Temperaturschwankungen sowie die Folgen von Zwängen und äußeren Kräften. Hierbei werden Fragestellungen zur Wärmeleitfähigkeit, thermisch induzierten Rissbildung, Risswachstum und Versprödung bearbeitet und Aspekte zu Dichtigkeit, Festigkeits- und Kriechverhalten bei unterschiedlichen Temperaturen und damit einhergehender Statik der Kaverne abgebildet. Dabei werden die Versuchsreihen zunächst bei relativ hohen Temperaturen (gemessen an minimal möglichen Temperaturen bei verflüssigten Gasen) an geeigneten Steinsalzkörpern durchgeführt und - sofern die Ergebnisse im Forschungssinne positiv sind - die Versuche mit einer tieferen Temperatur wiederholt. Dabei wird das Forschungsziel verfolgt, in empirischen Versuchen festzustellen, ob es eine Grenztemperatur gibt, die aus Dichtigkeits-, Festigkeits- und aus Gründen grundsätzlicher Sicherheitsabwägungen nicht unterschritten werden soll und ob diese Temperatur aus Sicht des zu betrachtenden Prozesses der Regasifizierung eine wesentliche Rolle spielt.

Ob diese Temperatur aus Sicht des zu betrachtenden Prozesses der Regasifizierung eine wesentliche Rolle spielt, ist eines der Ergebnisse aus dem Forschungsbereich um die Komplettierung. Die UGS entwickelt parametrisierbare Simulationsmodelle, um bei Zugrundelegung unterschiedlicher Eingangsgrößen den Einfüllvorgang sowie den Regasifizierungsvorgang thermodynamisch abzubilden. Im ersten Untersuchungsschritt erfolgt die Simulation an tatsächlichen (bekannten) Komplettierungen und Kavernen bei sich veränderten Einflussfaktoren wie Einfüllgeschwindigkeit, Strömungsart, Einfüllmenge, Eingangstemperatur des Mediums etc. Die auf die Komplettierung resultierenden einwirkenden Kräfte und Zwängungen sowie verfahrenstechnische Hindernisse in den jeweiligen Schichten wie Förderrohrtour, Ringraumfluid, Letzte Zementierte Rohrtour und Zementierung werden dabei bewertet. Werden verfahrenstechnische Hindernisse festgestellt, erfolgt im zweiten Schritt eine Prüfung, ob unter Berücksichtigung von bautechnischen Anpassungen an der Komplettierung diese Hindernisse überwunden werden können. Das verfolgte Forschungsziel ist die Erarbeitung einer Komplettierung (eindeutige Konstruktion), die verfahrenstechnisch und thermodynamisch einen definierten Einfüllvorgang und eine Regasifizierung von verflüssigten Gasen ermöglicht.

Die Fragestellung nach einer verfahrenstechnischen und thermodynamischen grundsätzlichen Durchführung eines definierten Einfüll- und Regasifizierungsvorgangs muss aus grundsätzlichen sicherheitstechnischen Erwägungen auch unter statischen und Aspekten der Dichtigkeit bewertet werden. Mit dieser Fragestellung beschäftigen sich die Veenker-Ingenieure. Hierbei gehen die Ergebnisse aus der Konstruktion der Komplettierung sowie die Ergebnisse der thermodynamischen Simulation als Eingangsgrößen in eine Finite-Elemente-Methode-Berechnung ein. Das Ziel dieser Arbeitsgruppe ist die Führung erforderlicher statischer Nachweise der durchgehenden Integrität der Komplettierung und der Letzten Zementierten Rohrtour.

Mit der Bearbeitung der jeweiligen Fragestellungen haben die Beteiligten des Forschungsvorhabens bereits begonnen und der globale Terminplan sieht vor, dass die ersten vorzeigbaren Ergebnisse Mitte/Ende 2024 erwartet werden. Zeigt diese Grundlagenforschung positive Ergebnisse im Sinne der Forschungsfrage, so eröffnet sich jetzt schon die Folgefrage nach der Durchführung eines Probebetriebs – ergo eines Prototyps. Hier kann aber schon verraten werden, dass diese Folgeaufgabe auf wesentlich mehr Schultern verteilt werden muss und sich die Veenker-Stiftung schon bald auf die Suche nach Umsetzungspartnern begeben wird.

Autor:

M.Eng. Stanislav Dashevski, Prokurist

Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH

Co-Autor:

Dr.-Ing. Manfred Veenker, Vorstandsvorsitzender

Veenker-Stiftung