

Leuger, Beutel:

Bewertung der Betriebserfahrungen mit der Gasspeicherkaverne Huntorf K6



Bewertung der Betriebserfahrungen mit der Gasspeicherkaverne Huntorf K6

Dipl.-Ing. Bastian Leuger, Institut für Geotechnik (IGtH), Abteilung für unterirdisches Bauen (IUB), Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Deutschland
Dipl.-Geol. Thomas Beutel, Untertagetchnik, Abteilungsleiter, EWE Gasspeicher GmbH, Oldenburg, Deutschland

Die Gasspeicherkaverne Huntorf K6 wird durch die EWE Gasspeicher GmbH betrieben. Im Hinblick auf die Auslegung der soltechnisch hergestellten Speicherkaverne mit einem Volumen von etwa 1.100.000 m³ wurde im Jahr 1999 eine gebirgsmechanische Dimensionierung durchgeführt. Diese Dimensionierung umfasst unter anderem die Erarbeitung von Empfehlungen bezüglich des maximal zulässigen und minimal erforderlichen Kaverneninnendrucks. Im Jahr 2011 wurde eine Nachbetrachtung der bisherigen saisonal geprägten Betriebsgeschichte der Kaverne Huntorf K6 durchgeführt und bezüglich der empfohlenen gebirgsmechanischen Dimensionierungsparameter unter Berücksichtigung des bisherigen Druck- und Temperaturverlaufs in der Kaverne bewertet. Es galt zu überprüfen, inwieweit auf der einen Seite die Erfahrungen aus dem bisherigen saisonalen Betrieb für die Dimensionierung hochfrequenter Gasspeicherkavernen genutzt werden können und auf der anderen Seite die Berücksichtigung von Temperaturänderungen im saisonalen Betrieb einen Einfluss auf die bisherigen gebirgsmechanischen Grenzen des Minimal- beziehungsweise Maximaldruck haben.

Assessment of the operational experience with the gas storage cavern Huntorf K6: *The gas storage cavern Huntorf K6 is operated by the EWE Gasspeicher GmbH. With respect to the design of the solution mined storage cavern produced with a volume of about 1,100,000 m³ in 1999 rock-mechanical calculations have been carried out. These investigations include the development of recommendations regarding the maximum and minimum internal cavern pressure. In 2011, a subsequent review of the previous seasonal operating history of cavern Huntorf K6 was performed. The rock mechanical design parameters were checked taking into account the actual loading history. The aim was the assessment of transfer the operating experience to the layout of gas caverns with high frequency operations. Additionally the influences of temperature changes during the seasonal storage on the conventional design have to be evaluated.*

Die von der EWE GASSPEICHER GmbH betriebene Gasspeicheranlage Huntorf liegt in der Nähe von Oldenburg im „Norddeutschen Becken“. Das Kavernenfeld Huntorf wird seit dem Jahr 1972 entwickelt, wobei bis 1978 die Kavernen K1 bis K4 mit geometrischen Volumina

zwischen 57.300 m³ bis 375.000 m³ gesolt und komplettiert wurden [1]. Im Jahr 2003 wurde die Kaverne K5 mit einem Volumen von 506.800 m³ in den Betrieb genommen. Die Kaverne Huntorf K6 ging im Herbst 2005 in Betrieb. Mit einem geometrischen Volumen von 1.100.000 m³ ist sie die größte in Europa existierende Gasspeicherkaverne. Das Bild 1 zeigt die Kavernenanlage Huntorf.

Das große Volumen der Kaverne K6 ist aufgrund der Homogenität des anstehenden Steinsalzgebirges und der mächtigen Salzscheibe von über 500 m oberhalb des letzten zementierten Rohrschuhs möglich. Die Kaverne hat eine Höhe von rund 480 m, wobei der Rohrschuh in einer Tiefe von 1.020 m liegt. Der Durchmesser beträgt im Maximum 80 m. Das Bild 2 zeigt ein 3D-Modell der echometrischen Vermessung der K6 aus dem Jahr 2005. Die Tabelle 1 beschreibt das geologische Profil der der Kavernenbohrung.

Gebirgsmechanische Dimensionierung

Die Aufgabe bei der gebirgsmechanischen Dimensionierung ist es unter anderem, die zulässigen Innendrucke, die daraus resultierenden Konvergenzen und die zulässigen Standzeiten auf Minimaldruckniveau für den Betrieb zu

Bild 1. Kavernenanlage Huntorf.



berechnen und zu empfehlen. Dabei spielt die angestrebte Betriebsweise der Kaverne eine entscheidende Rolle. Wurde die Kaverne in der Vergangenheit für eine saisonale Gasspeicherung dimensioniert, so sind die Dimensionierungsaufgaben heute eher für high-frequency Speicherungen durchzuführen. Eine saisonale Fahrweise ist dadurch gekennzeichnet, dass die Kaverne vorzugsweise im Sommer und Herbst bis zum Maximaldruck gefüllt und im Winter und Frühjahr, wenn der Gasverbrauch klimatisch bedingt hoch ist, entleert wird. Dies bedingt, dass es nur eine einmalige Absenkung pro Jahr von P_{max} auf P_{min} gibt. Dabei wird der Innendruck in der Kaverne über einen langen Zeitraum abgesenkt, sodass durchschnittliche Druckänderungsraten von bis zu 2,0 bar/Tag entstehen.

Bei dem so genannten high-frequency Speicherbetrieb hingegen wird die Kaverne in einer dem Gasmarkt angepassten Fahrweise betrieben. Dabei werden schnelle Gasein- und -ausspeiseraten angestrebt, sodass mehrere Gasumschläge pro Jahr möglich sind. Dies bedingt gebirgsmechanisch die Berücksichtigung der thermodynamischen Vorgänge in der Kaverne und die explizite Bewertung der daraus resultierenden thermisch induzierten Spannungen.

Die Dimensionierung der Kaverne K6 im Jahr 1999 wurde auf der Basis eines saisonalen Speicherbetriebs erstellt. Dabei wurde ein maximaler Innendruck P_{max} von 185 bar bezogen auf Rohrschuhteufe und ein minimaler Innendruck P_{min} von 38 bar bezogen auf eine Referenzteufe in 1.359 m empfohlen.

Nachbetrachtung der Kaverne K6 nach vier Betriebsjahren

Druckdaten

Für die Nachbetrachtung und Bewertung des Betriebs der Kaverne K6 wird der Betriebsverlauf der ersten vier Jahre nach der Inbetriebnahme im September 2005 betrachtet. Das Bild 3 stellt den gemessenen Kopfdruck der Kaverne Huntorf K6 über einen Zeitraum von September 2005 bis September 2009 dar. Die obere schwarze Linie beschreibt den um den Gasdruckgradienten reduzierten Maximaldruck am Kavernenkopf, die untere schwarze Linie den reduzierten Minimaldruck am Kavernenkopf.

Der Betrieb zeigt einen saisonal geprägten Druckverlauf, das heißt, pro Jahr gibt es eine Druckabsenkphase bis zu einem Jahresminimum. Danach wird die Kaverne nach einer Standzeit wieder auf den Maximaldruck befüllt. Der Minimaldruck wurde in den betrachteten vier Jahren nie angefahren. Auffällig ist, dass es während der gesamten vier Jahre, auch während Standzeiten, in denen in der Kaverne kein Gasumschlag stattfindet, permanent zu Innendruckänderungen kommt. Im Bild 3 sind diese Zeiträume steigenden Drucks mit einer „1“ gekennzeichnet und solche

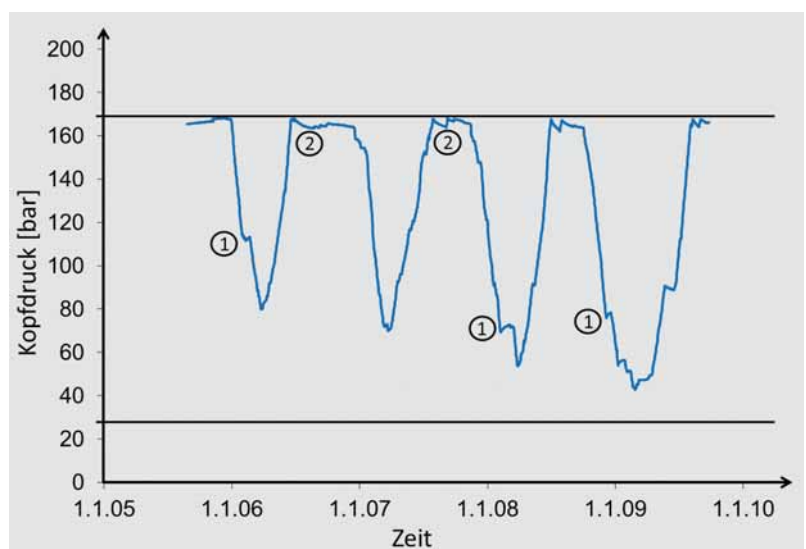
Tabelle 1. Geologisches Profil der Kavernenbohrung.

Teufe, TVD	Schicht
30,0 m	QUARTÄR
	Pleistozän
343,0 m	TERTIÄR
143,2 m	Mittelmiozän
204,8 m	Mittelloligozän
236,0 m	Obereozän
343,0 m	Untereozän
438,5 m	KREIDE
433,0 m	Oberkreide
438,5 m	Unterkreide
Endteufe 1500,5 m	ZECHSTEIN
497,3 m	Caprock
1.500,5 m	Staßfurt-Steinsalz (Na2)



Bild 2. Kaverne Huntorf K6, 3D-Ansicht.

Bild 3. Betriebsgeschichte der Kaverne Huntorf K6 von 09/2005 bis 09/2009, gemessener Kopfdruckverlauf.



Leuger, Beutel:
Bewertung der Betriebserfahrungen mit der Gasspeicherkaverne Huntorf K6

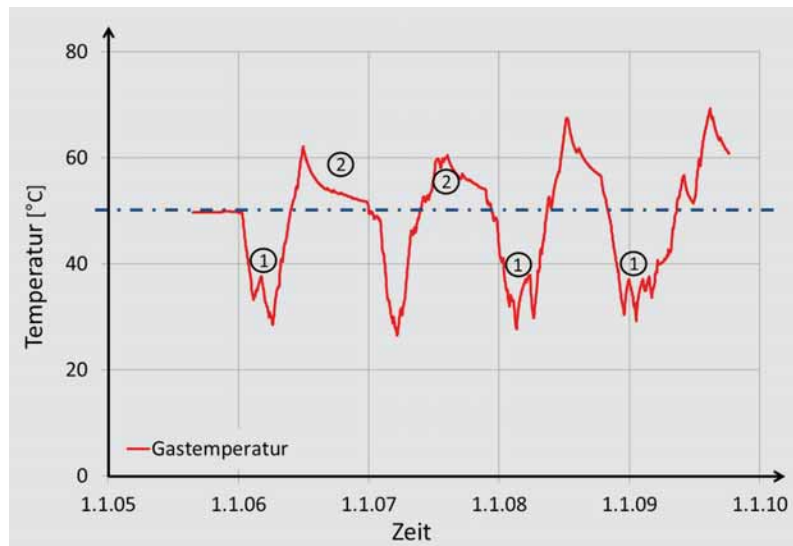


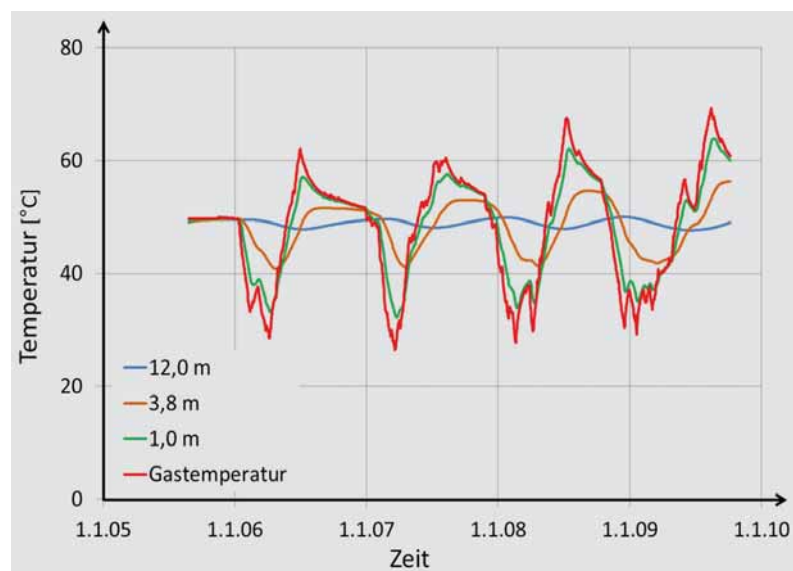
Bild 4. Betriebsgeschichte der Kaverne Huntorf K6 von 09/2005 bis 09/2009, berechneter Temperaturverlauf des Gases.

sinkenden Drucks mit einer „2“. Diese Phänomene lassen sich mit thermodynamischen Prozessen in der Kaverne erklären, welche im folgenden Abschnitt näher erläutert werden.

Temperaturdaten

Eine permanente Temperaturmessung in der Kaverne ist zum heutigen Zeitpunkt aus technischen Gründen nicht möglich. Für die thermodynamische Bewertung des gemessenen Kopfdruckverlaufs wird daher das Simulationsprogramm SCTS (Salt Cavern Thermo Simulator) [2] verwendet. Das Programm liefert auf Basis des gemessenen Kopfdruckverlaufs und des Volumenstroms die Gastemperatur in der Kaverne in mittlerer Kavernenteufe. Diese ist im Bild 4 dargestellt. Dabei stellt die blaue strichpunktierte Linie die

Bild 5. Betriebsgeschichte der Kaverne Huntorf K6 von 09/2005 bis 09/2009, berechneter Temperaturverlauf des Gases und die Auswirkung im Gebirge.



primäre Gebirgstemperatur für die maßgebliche Teufe dar.

Grundsätzlich zeigt sich, dass das System „gasumgebenes Gebirge“ immer einen Temperaturengleich anstrebt und somit nicht adiabatisch reagiert. Wird aufgrund einer Gasentnahme die Gastemperatur unter die Primärtemperatur abgekühlt, heizt das umgebende Gebirge das Gas auf, es wird also Wärmeenergie vom Gebirge in das Gas transportiert. Steigt die Temperatur über die Primärtemperatur, kehrt sich der Wärmestrom um, und es wird Wärmeenergie vom Gas in das Gebirge geleitet. Hierbei sind die maßgeblichen thermodynamischen Parameter die Wärmeleitfähigkeit λ und die spezifische Wärmekapazität c_p . Der Wärmestrom ist eine nichtlineare Funktion des ΔT bezogen auf die Primärtemperatur.

Der Wärmestrom zwischen dem Gas und Gebirge lässt sich an den mit „2“ gekennzeichneten Zeiträumen sehr gut erkennen. Durch die vorherige Gaseinlagerung und die daraus resultierende Druckerhöhung kommt es zur Erwärmung des Gases über die Primärtemperatur hinaus. Während der dann folgenden Standzeit der Kaverne sinkt die Temperatur ab und nähert sich asymptotisch der primären Gebirgstemperatur an. An den mit „1“ gekennzeichneten Standzeiten liegt die Temperatur unterhalb der primären Temperatur. Hierbei ist ein starker Temperaturanstieg erkennbar. Durch diese Temperaturänderungen in der Kaverne ist die permanente Druckänderung zu erklären.

Bewertung

Aufgrund der sich ständig ändernden Temperaturverhältnisse in der Kaverne kommt es zu permanent wechselnden Spannungszuständen in dem die Kaverne umgebenden Gebirgsbereich. Es ist zu prüfen, ob aus der Temperaturänderung Spannungszustände entstehen, welche die Standsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit der Kaverne beeinträchtigen. Das Bild 5 zeigt den Einflussbereich der Temperatur in das Gebirge hinein. Die rote Linie zeigt erneut die Gastemperatur. Die grüne Linie zeigt die Gebirgstemperatur 1,0 m hinter der Kavernenwand. Die Temperatur in 3,8 m Entfernung ist in orange und in 12,0 m Entfernung in blau dargestellt.

Der Einfluss der Gastemperaturänderung klingt sehr schnell im Gebirge ab. Betrachtet man das gesamte ΔT von T_{min} bis T_{max} innerhalb eines Zyklus, beträgt dieses 3,8 m vom Hohlraumrand entfernt etwa 30 % des ΔT des Gases. In 12,0 m Entfernung sind es nur noch rund 5%. Daraus resultiert, dass die thermisch induzierten Spannungen auf den Nahbereich um die Kaverne beschränkt sind und somit eine generelle Beeinträchtigung der Standsicherheit auszuschließen ist. Für die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit wird das Konzept des Auslastungsgrads des Gebirges angewendet. Der Auslastungsgrad η beschreibt das Verhältnis der deviatorischen Spannung zur Kurzzeitfestigkeit des Salzgesteins, welche im Labor ermittelt

wird. Aufgrund der schnellen Erwärmung nach einer Druckabsenkung wird bei einer thermomechanischgekoppelten Berechnung gegenüber einer rein mechanischen Berechnung der Auslastungsgrad schneller abgebaut. Eine Änderung der Empfehlungen hinsichtlich des Minimaldrucks ist somit nicht erforderlich.

Fazit

Die thermische Nachrechnung der vierjährigen Betriebserfahrung der Kaverne Huntorf K6 hat gezeigt, dass die Temperatur einen großen Einfluss auf den Nahbereich der Kaverne hat. Allerdings ist eine Änderung der Empfehlungen hinsichtlich der Betriebsparameter P_{\min} und P_{\max} in diesem Fall nicht erforderlich. Bei einer Neudimensionierung einer Kaverne wird zukünftig der Temperatureinfluss mit berücksichtigt werden.

Gerade im Hinblick auf den high-frequency Betrieb mit höheren Ein- und Ausspeicherraten und den daraus resultierenden hohen Temperaturänderungen müssen die thermisch induzierten Spannungen bewertet werden. Salzgestein besitzt nur eine geringe Zugfestigkeit mit Werten von etwa 1,0 bis 1,5 MPa. Da aufgrund von schnellen Druckänderungen und der damit einhergehenden Temperaturänderung im Gas

Spannungszustände auftreten können, die im Zugbereich liegen, ist es nicht auszuschließen, dass diese thermisch induzierte Zugspannung zu makroskopischen Rissen führt. Die Rissausbreitung, insbesondere unter Berücksichtigung eines Gasdrucks ist momentan Gegenstand der Forschung [3]. Bei der Dimensionierung ist daher nach jetzigem Stand der Technik zu vermeiden, dass an der Kavernenwand Zugspannungen und somit Risse auftreten.

Zugspannungen sind bei der Nachrechnung der bisherigen Betriebsgeschichte der Kaverne Huntorf K6 nicht aufgetreten.

Quellenverzeichnis

- [1] Riekenberg, R.; Hartmann, U.; Staudtmeister, K.; Zander-Schiebenhöfer, D.: Recommendation of Maximum Cavern Pressures for the Gas Storage Caverns at Huntorf on the Basis of Three-Dimensional Numerical Models. Solution Mining Research Institute Conference, Fall 2004, Berlin, Germany, (2004).
- [2] Nieland, J. D.: Salt Cavern Thermal Simulator, Version 2.0 User's Manual. RESPEC, Rapid City, South Dakota, March 2004.
- [3] Zapf, D.; Staudtmeister, K.; Rokahr, R. B.: Analysis of Thermal Induced Fractures in Rock Salt. Solution Mining Research Institute Conference, Spring 2012, Regina, Canada.