

Konzept einer effizienten Obertageanlage für Untertagegasspeicher

Efficient Overground Facilities for Underground Gas Storage

Von F. TRIESCH*

ABSTRACT

Underground gas storage plants are still equipped with overground facilities consisting of tried-and-tested individual components for natural gas extraction and gas transport structured in groups and arranged in a »chequered« formation. Only a few elements are used for both feed and feed-out, and any subsequent increase capacity is only possible with great difficulty. The goal was to develop space-saving, efficient overground facilities especially designed for the needs of gas storage which overcome the disadvantages of combined plants and are easily expandable.

This aim was achieved by giving the overground facilities a railed design, allowing individual 'multipurpose' components to be used for feed, feed-out and circulation.

Particular efficiency is achieved by combining the functions of various individual components in new equipment, the usage of a single substance as a lubricant, absorption agent and hydrate inhibitor, the coupling of the compressor with an ejector, and two-stage pressure reduction.

KURZFASSUNG

Noch immer werden die Obertageanlagen für Untertagegasspeicher aus bewährten Einzelkomponenten der Erdgasförderung und des Gastransportes gruppenförmig strukturiert und »im Karree« angeordnet. Nur wenige Komponenten werden sowohl bei der Ein- als auch bei der Ausspeisung genutzt. Spätere Leistungssteigerungen sind nur mit Problemen möglich.

In diesem Artikel werden Überlegungen zur Realisierung einer flächensparenden effizienten Obertageanlage vorgestellt, die speziell für die Belange der Gasspeicherung ausgelegt ist und die Nachteile kombinierter Anlagen überwindet sowie leicht erweiterbar ist.

Dies wird dadurch erreicht, dass die Obertageanlage schienenförmig ausgeführt wird und die Anlagenkomponenten sowohl bei der Ein- als auch bei der Ausspeisung und Umschleusung genutzt werden.

Besondere Effekte werden durch die Zusammenfassung der Funktionen mehrerer Ein-

zelkomponenten in neuen Apparaten, die Nutzung eines einheitlichen Schmier- und Absorptionsmittels sowie Hydratinhibitoren, die Kopplung des Verdichters mit einem Ejektor und durch die zweistufige Druckreduzierung erzielt.

ANFORDERUNGEN AN EINE OBERTAGEANLAGE FÜR UNTERTAGEGASSPEICHER

Grundsätzlich dient die Obertageanlage von Untertagegasspeichern den Prozessen der Einspeisung von Gas aus einer Ferngasleitung in den untertägigen Teil des Untertagegasspeichers bzw. der Ausspeisung von eingelagertem Gas in die Ferngasleitung, insbesondere zur Deckung der Heizgasspitze im Winter und bei Ausfall der Gasbezugsquelle. Diese Grundprozesse erfolgen verschieden in Abhängigkeit vom zulässigen Druckspiel im untertägigen Teil und dessen Verhältnis zum Druck in der angeschlossenen Ferngasleitung und je nach Art des Speichertyps und der in diesem im Laufe der Speicherung erfolgenden Veränderungen der Gasqualität. So werden die Speicherprozesse teils expansiv, teils mit Verdichtung vorgenommen. Bei der Einspeisung wird das Gas gefiltert, bei expansiven Prozessen vor der Druckreduzierung erwärmt, nach einer Verdichtung gekühlt. Die eingespeisten Mengen werden mit hoher Genauigkeit messtechnisch bilanziert. Das auszuspeisende Gas muss von mitge-

föhrtm Lagerstättenwasser und ggf. auch von Feststoffen getrennt, seltener bei großen Speicherteufen gekühlt, von schwefeligen u. a. Bestandteilen gereinigt und durch eine Trocknung auf die geforderten Transportbedingungen [1] konditioniert werden. Auch die ausgespeisten Mengen müssen bei expansiven Prozessen vor der Druckreduzierung erwärmt, nach einer Verdichtung gekühlt und messtechnisch bilanziert werden. Ein- und Ausspeisung sind in ihren Teilprozessen in Abbildung 1 gegenübergestellt.

AKTUELLER STAND BEIM BAU VON OBERTAGEANLAGEN FÜR UNTERTAGEGASSPEICHER

Wie aus dieser Gegenüberstellung (Abb. 1) hervorgeht, sind zumindest alle Teilprozesse der Einspeisung auch bei der Ausspeisung erforderlich. Trotzdem werden gleichartige Prozesse der Ein- und Ausspeisung derzeit meist mit unterschiedlichen Apparaten und Aggregaten durchgeführt.

Auch wenn zum Teil abweichende Durchsatzleistungen zu realisieren sind, besteht hierfür kein überzeugender Grund. Im Gegenteil – Messstrecken verfügen zumindest in einem Leistungsbereich von 1:10 über eine hohe Genauigkeit, Verdichter sind häufig bei gutem Wirkungsgrad drehzahl-, schaudraum- oder ventiltüregelt, Abscheidungsprozesse erfolgen bei Minderlast effektiver, der Druckverlust in der Anlage ist bei kleineren Gasgeschwindigkeiten geringer.

Die geforderte Leistungsfähigkeit der einzelnen Prozesse wird durch die Installation einer entsprechenden Anzahl parallelgeschalteter Einzelkomponenten erreicht, wobei nach dem Gruppenprinzip verfahren wird. Die gruppenförmige Anordnung wird der Forderung nach einer 30 bis 100 %igen Reserve für den Fall des Versagens einzelner Einheiten gerecht, um mit den Untertagegasspeichern die Versor-

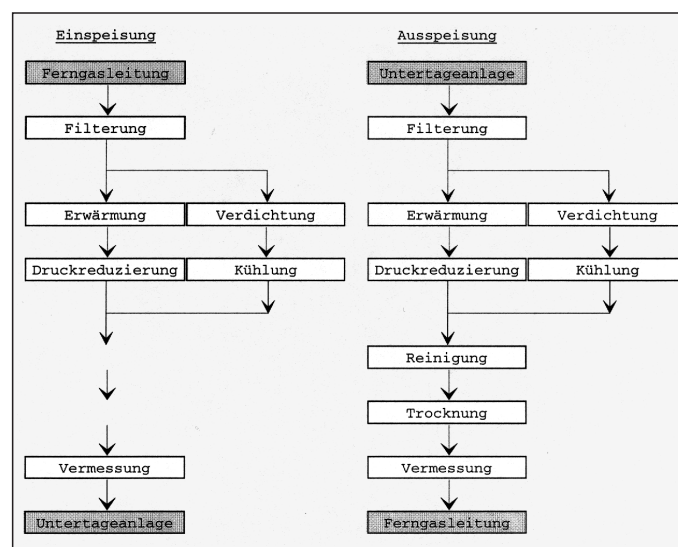


Abb. 1 Gegenüberstellung der Teilprozesse bei der Ein- und Ausspeisung auf einem Untertagegasspeicher

*Dr.-Ing. Frank Triesch, Ingenieurbüro Thermo Integral, Leipzig.

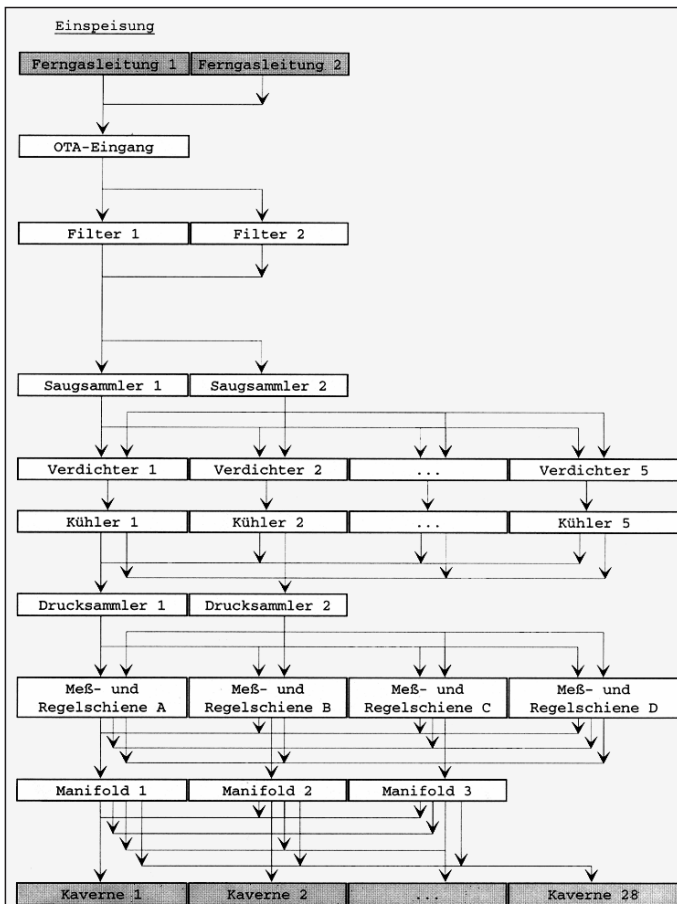


Abb. 2 Typische gruppenförmige Anordnung von Einzelkomponenten der Obertageanlage (OTA) eines Kavernenspeichers

gungsaufgaben der Gaswirtschaft zuverlässig gewährleisten zu können. Die Abbildung 2 zeigt ein typisches Beispiel der gruppenförmigen Anordnung von Einzelkomponenten einer Obertageanlage.

Die Zuverlässigkeit einer gruppenförmig strukturierten Obertageanlage ist sehr hoch. Defekte Einzelkomponenten sind jedoch in der Betriebsruhe des Speichers instandzusetzen, da die Gasfreiheit einer Einzelkomponente durch das Absperrern der Betriebsarmaturen nicht immer zu gewährleisten ist. Für die Instandsetzung sind deshalb meist die Gruppen vollständig und damit der gesamte Untertagegasspeicher außer Betrieb zu nehmen.

Bei der Gruppenanordnung besteht die Möglichkeit der gleichmäßigen Leistungsverteilung auf alle Einzelkomponenten, was bei Verdichtern oder Trocknungsanlagen jedoch zu erhöhten Betriebskosten führen kann. Zur Verringerung des Platzbedarfes werden

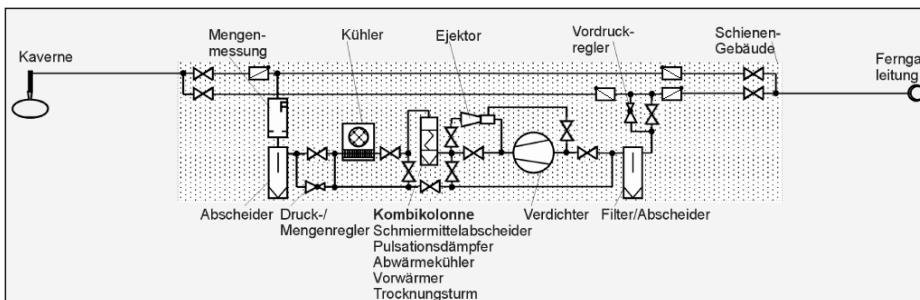


Abb. 3 Schienenförmige Obertageanlage eines Untertagegasspeichers

auf den vorhandenen Obertageanlagen die Gruppen der gleichartigen Einzelkomponenten meist »im Karree« angeordnet. Eine bisher auf nahezu jeder Obertageanlage erforderlich gewordene Leistungssteigerung entweder durch einen kontinuierlichen Ausbau der untertägigen Einrichtungen oder durch eine Anhebung der zulässigen Sondenkopfdücke war dadurch stets sehr aufwendig und mit größten Schwierigkeiten verbunden. Entweder weisen die die Gruppen untereinander verbindenden Rohrleitungen für die größeren Leistungen zu geringe Durchmesser auf oder die Platzverhältnisse lassen die Erweiterung um eine zusätzliche Einzelkomponente nicht zu. Oft ist die Leistungssteigerung nur

durch den Austausch vorhandener gegen leistungsfähigere Komponenten und Rohrleitungen oder den parallelen Aufbau einer kompletten Neuanlage möglich. So führt der Ausbau vorhandener Obertageanlagen zu hohen Aufwendungen und vielen Kompromissen für den späteren Betrieb.

Weiterhin arbeiten die wegen ihrer hohen Universalität, Effizienz und Zuverlässigkeit auch auf Untertagegasspeichern häufig installierten Kolbenverdichter mit ölschmierten Zylindern. Bei der Verdichtung wird Öl vom Gasstrom aufgenommen, was auch in Separatoren nicht vollständig wieder abgeschieden werden kann. Dieses Öl führt zur Erhöhung des Strömungswiderstandes für das Gas in den technologischen Ausrüstungen und im Untertage teil insbesondere von Aquifer- oder Kluftspeichern, wenn es sich dort als Film niederschlägt und stetig ansammelt. Das vom Gas in die Trocknungsanlage eingebrachte Öl verunreinigt das Ab-

sorptionsmittel und beeinträchtigt es in seiner Wirkungsweise.

Der in Separatoren aus dem Gas abgeschiedene Schmieröl-Teilstrom wird als Altöl unter hohem Kostenaufwand einer Wiederaufarbeitung zugeführt. Nicht regenerierbare Kondensate aus dem Speicher oder in geringerem Umfang aus der Ferngasleitung werden durch Endlagerung oder Verbrennung entsorgt.

Neben dem Öl, Altöl- und Kondensatsystem bestehen separate Systeme für das frische, regenerierte und verwässerte Absorptionsmittel der Gastrocknungsanlage. Diese sechs Systeme bestehen aus vernetzten Rohrleitungen, Armaturen, Regel- und Sicherheitsventilen, Vorrats- und Pufferbehältern, Filtern, Pumpen usw., sind kostenintensiv bei Errichtung, Betrieb und Wartung.

KONZEPT EINER SCHIENENFÖRMIGEN OBERTAGEANLAGE

Eine Analyse der Vor- und Nachteile vorhandener Obertageanlagen von Untertagegasspeichern führte zu der Überlegung, alle für einen vollständigen Speicherprozess erforderlichen Einzelkomponenten in einer Schiene zu vereinen [2].

Diese Schiene verbindet den Ferngasleitungsanschluss mit dem Untertage teil und realisiert die Umschlagprozesse, d. h. die Gasein- und Gasauspeisung sowie die Umschleusung innerhalb des Untertage teils und gewährleistet dabei gleichzeitig die geforderte Gasqualität.

Wie der Abbildung 3 zu entnehmen, ist mit dem Ferngasleitungsanschluss ein kombinierter Staub- Flüssigkeitsabscheider verbunden. Der Eingang des Abscheiders ist ebenfalls an die zur Auspeisung vorgesehene Sammelleitung angeschlossen. Zur Eingangsarmatur des Abscheiders parallel ist ein Regelventil angeordnet. Der Abscheider ist dem Kolbenverdichter vorgeschaltet. Dem Verdichter folgen eine Kombikolonne mit einem eingebauten Rohrbündelwärmeübertrager und der Gaskühler.

An die Gaskühlung schließt sich ein Flüssigkeitsabscheider an, der ausgangsseitig über eine Vermessung wahlweise mit der zur Einspeisung vorgesehenen Sammelleitung oder mit der Ferngasleitung verbunden wird. Ein Bypass mit Querverbindungen zum Hauptstrang und einem zweiten Mengen- oder Druckregelventil vor dem Flüssigkeitsabscheider ergänzen die Schiene für bestimmte weiter unten beschriebene Fahrweisen sinnvoll.

Die Obertageanlage kann in Baustufen in Abstimmung mit dem untertägigen Teil ausgebaut werden, indem weitere Schienen parallel angeordnet und sowohl auf der Seite der Ferngasleitung als auch der des untertägigen Teils durch Verteilerleitungen (Manifolds) miteinander verbunden werden (Abb. 4). Dabei wird der Betrieb der bestehenden Anlage nur bei wenigen erforderlichen Einbindungen gestört.

Bei Bedarf ist über eine solche schienenförmig gestaltete Obertageanlage auch die Um-

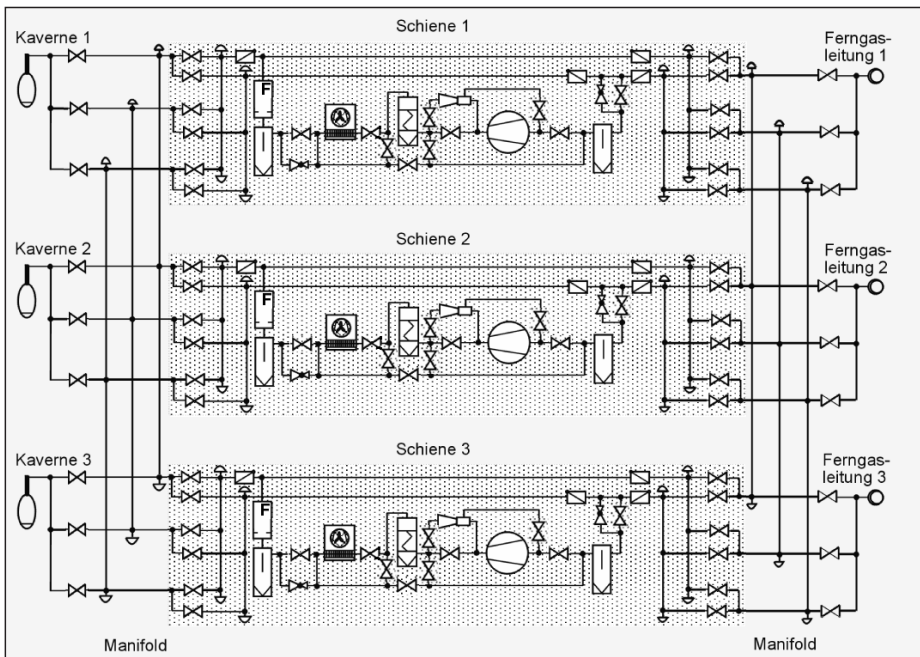


Abb. 4 Obertageanlage aus drei Einzelschienen, verbunden durch Manifolds

schleusung innerhalb des Untertageteils, die Netzzwischenverdichtung zwischen mehreren Ferngasleitungen und eine Reihenfahrweise von Schienen, z. B. zum gegenseitigen Abgleich der Messschienen möglich.

Der Einsatz gleicher Einzelkomponenten in allen Schienen sichert hohe Reparaturfreundlichkeit. Dennoch ist die Verwendung von Weiterentwicklungen einzelner Komponenten in neuen Schienen nicht ausgeschlossen, sofern dadurch zu einem späteren Zeitpunkt wesentliche Vorteile erzielt werden können.

Bei Revisionen, Defekt oder Instandsetzung von Einzelkomponenten werden die Schienen komplett stillgelegt. Zur Erhöhung der Zuverlässigkeit der Gesamtanlage können sinnvolle Querverbindungen zwischen den jeweiligen Einzelkomponenten und peripheren Einrichtungen aller Schienen geschaffen werden.

Die gesamte Obertageanlage ist in ihrer Druckstufe auf den maximal zulässigen Speicherdruck im Untertage teil ausgelegt. Damit verbundene Mehrkosten werden durch die kompakte Bauweise mehr als ausgeglichen. Außerdem sind dadurch Umschleusungen mit Verdichterbetrieb zwischen unterschiedlichen Abschnitten des Untertage teils auch bei Drücken möglich, wo bisher immer eine Vordruckreduzierung erforderlich war.

Zur Verhinderung der Gasströmung entgegen der vorgesehenen Fließrichtung können zusätzlich zu Absperrarmaturen Rückschlagklappen eingesetzt werden.

Zur Erhöhung des Gasumschlages bei relativ niedrigen Druckverhältnissen insbesondere zu

Beginn der Ein- und Auspeisung kann an die Saug- und Druckseite des Verdichters jeweils die passive und die aktive Düse eines Ejektors angeschlossen werden.

Dabei wirkt sich die Nutzung des nach der Verdichtung heißen Gases als Treibstrahl im Ejektor positiv auf dessen Ejektionskoeffizienten aus. Äußerst niedrige Investitions- und Wartungskosten sowie ein geringer Platzbedarf für diese passiven Maschinen gleichen zum Teil den schlechteren Wirkungsgrad gegenüber Kolben- oder Turboverdichtern aus.

Der Übergang zur eingehausten Bauweise ist besonders vorteilhaft bei der schienenförmigen Struktur der Obertageanlage realisierbar. Alle witterungs- bzw. frostgefährdeten und geräuschemittierenden Einzelkomponenten wie Armaturentriebe, Filter/Abscheider, Verdichter, Mess- und Regelschienen und

die entsprechende Automatisierungstechnik können platz- und kostensparend in einem Gebäude untergebracht werden (Abb. 3). Es entstehen in jeder Beziehung kurze Wege für Rohrleitungen, Kabel und Betriebspersonal.

ZUSAMMENFASSUNG MEHRERER FUNKTIONEN FÜHRT ZU WIRKUNGSVOLLEN SYNERGIEEFFEKTEN

Die Schienenbauweise erlaubt gleichzeitig, Funktionen mehrerer Einzelkomponenten bei hohem Synergieeffekt zusammenzufassen.

Die Pulsationsdämpfung vor einem Kolbenverdichter kann bei entsprechender Auslegung des Eingangsabscheiders durch diesen mit übernommen werden. Die Pulsationsdämpfung hinter einem Kolbenverdichter erfolgt ideal in der Kombikolonne. Hier wird gleichzeitig das mitgeführte Zylinderschmiermittel abgeschieden.

Bei der Ausführung der Einbauten dieser Kolonne als Rohrbündelwärmeübertrager, vorzugsweise in Sicherheits-Doppelrohrbauart mit Leckageschalter zur Absicherung gegen eventuelle Leckagen [3], kann die Verdichtungswärme aus dem Gas ausgekoppelt und für parallele Heizzwecke nutzbar gemacht werden.

Bei der Gasauspeisung kann der Rohrbündelwärmeübertrager der Kombikolonne zeitversetzt auch zur Gasvorwärmung genutzt werden. Die Oberfläche des Rohrbündels kann so gestaltet werden, dass an ihr gleichzeitig der Stoffübergang der absorptiven Trocknung des Erdgases erfolgen kann. Dazu wird im oberen Teil der Kombikolonne das Absorptionsmittel verteilt eingebracht, strömt entgegen dem Gas an der Oberfläche der Rohre des Bündels nach unten, entnimmt ihm absorptiv den Wasserdampf und wird im Sumpf wieder aufgefangen und ausgeschleust. Die Erwärmung des Gases und des Absorptionsmittels und besonders die hohen Wandtemperaturen des Rohrbündels verringern die Viskosität des Absorptionsmittels und wirken sich positiv auf den Trocknungsprozess aus.

Um Schwierigkeiten durch die Verschmutzung des Absorptionsmittels mit dem Zylinderschmiermittel zu vermeiden, sollten auch hier wie bereits auf Erdgaslagerstätten üblich [4], Schmierung und Trocknung mit einem einheitlichen Medium, zum Beispiel Triäthylenglykol erfolgen. Einige ausgewählte Eigenschaften von Glykol im Vergleich zu Mineralöl sind in der Tabelle 1 angeführt. Mehrkosten des Glykols gegenüber Mineralöl werden durch den Übergang zur Sparschmierung und den Wegfall der Entsorgung des Altöls ausgeglichen.

Für den wasserbeladenen Absorptions- und Hydratinhibitor sowie verbrauchtes Zylinderschmiermittel dient ein einheitliches Sammelsystem der Zufüh-

Tabelle 1 Einige ausgewählte Eigenschaften von Glykol im Vergleich zu Mineralöl

| | Mineralöl | Glykol |
|----------------------------------|------------------|-----------------------|
| Dichte 20°C, kg/m ³ | 880 | 1100 |
| Viskositätsindex | 100 | 100–200 |
| Scherstabilität | gut | gut |
| Pourpoint, °C | –15 | –40 – +20 |
| Kältefließigenschaften | gut | sehr gut |
| Mischbarkeit mit Mineralöl | – | nicht mischbar |
| Löslichkeit in Wasser | nicht mischbar | sehr gut bis schlecht |
| Angriff auf Dichtungsmaterialien | geringe Quellung | geringe Schrumpfung |
| Verhalten gegen Anstriche | gut | schlecht |
| Bioabbaubarkeit (CEC) % | 10–30 | 10–99 |
| Alterungsstabilität | gut | gut |
| Hydrolysestabilität | gut | – |
| Schlammneigungstendenzen | gut | – |
| Kosten | 1 | 2–4 |

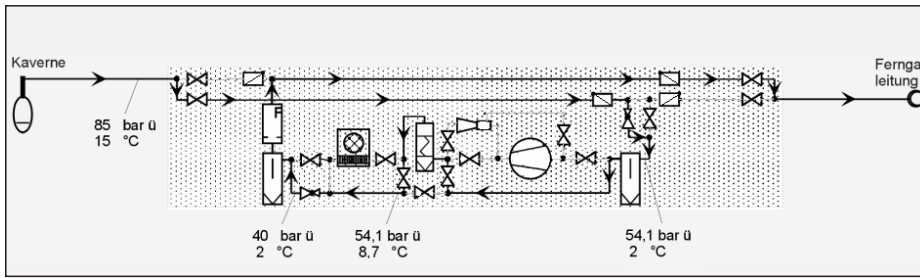


Abb. 5 Ablauf der zweistufigen Gasdruckreduzierung bei der Ausspeisung aus einer Gaskaverne

nung zur eigenen Regenerationsanlage. Regeneriertes Triäthylenglykol wird bei Bedarf wieder als Absorptionsmittel oder Hydratinhibitor eingesetzt. Für die Zylinderschmierung wird vorzugsweise frisches Triäthylenglykol verwendet, was gleichzeitig der Deckung der Verluste mit dem Gasstrom dient. Damit entfallen alle mit der Öl- und Kondensatwirtschaft verbundenen Aufwendungen. Mit in den Untertage teil eingebrachtes Absorptionsmittel hat gegenüber dem Zylinderschmieröl positive Wirkung, da es hier zur Verhinderung der Hydratbildung bei der Ausspeisung beiträgt. Damit sind zusätzliche Dosieranlagen an den Sonden nicht erforderlich.

ZWEISTUFIGE DRUCKREDUZIERUNG BEI EXPANSIVEN GASBEWEGUNGEN

Bei ausreichenden Druckdifferenzen erfolgt der Gasumschlag auf Untertagegas speichern expansiv. Dabei wird die Gasdruckreduzierung vorteilhafterweise zweistufig vorgenommen. Die Abbildung 5 zeigt den Ablauf der zweistufigen Gasdruckreduzierung anhand der expansiven Ausspeisung aus einem Gaskavernenspeicher.

Mit dem ersten Regelventil vor dem ein gangs angeordneten Abscheider erfolgt die Druckreduzierung auf einen Zwischendruck. Bei diesem adiabaten Prozess kühlt sich das Erdgas auf eine Zwischentemperatur ab. Ausfallendes Kondensat wird im nachfolgenden Abscheider vom Erdgas abgetrennt und ausgeschleust. Damit kann unter Nutzung des natürlichen Joule-Thomson-Effektes eine zusätzliche Trocknungswirkung erzielt werden [5]. Besteht bei diesem Prozess die Gefahr der Hydratbildung und des damit verbundenen inneren Verschlusses des Abscheiders, so wird vor dem ersten Regelventil über einen Düsenstock Absorptionsmittel eingedüst.

Nach dem kombinierten Filter/Abscheider gelangt das Gas über einen Bypass des Verdichters zur Kombikolonne und kann wie bereits beschrieben bei Bedarf vorgewärmt und getrocknet werden. Nach der Vorwärmung erfolgt im zweiten Regelventil die abschließende Druckreduzierung auf Fortleitungs- oder Speicherbedingungen. Begünstigt durch die mit der Druckabsenkung verbundene Temperaturabsenkung findet auch nach diesem Regelventil eine Abscheidung gegebenenfalls mit dem Gas mitgeführten Ab-

sorptionsmittels in dem bereits beschriebenen ausgangsseitig angeordneten Flüssigkeitsabscheider statt.

Eine Gasaustrittstemperatur von 2°C ist, orientiert an der winterlich tiefsten Bodentemperatur in Verlegungstiefe der Rohrleitungen in Deutschland durchaus ausreichend. Einerseits treten bei dieser Temperatur noch keine Probleme mit dem Rohr- und Isolationsmaterial auf, andererseits vereist die Rohrleitung von außen noch nicht und im Inneren treten keine weiteren Kohlenwasserstoffablagerungen auf. Durch diese Temperaturabsenkung des Gases am Ausgang der Obertageanlage auf 2°C gegenüber den derzeit 10°C kann mit der zweistufigen Druckreduzierung neben einem zusätzlichen Trocknungseffekt auch eine wesentliche Reduzierung des Wärmebedarfes für die Erdgasvorwärmung erzielt werden.

In Abbildung 6 sind die Gasdruck- und -temperaturentwicklung P, t sowie die erforderliche Heizleistung q bei ein- und zweistufiger Druckreduzierung für einen Ausspeisungsprozess auf einem Kavernenspeicher gegenübergestellt.

Gegenüber der üblichen einstufigen Druckreduzierung mit absorptiver Trocknung bei 10°C unter Ferngasleitungsdruck (Abb. 6, oben) wird die erforderliche Wärmemenge zur Erdgasvorwärmung durch die zweistufige Druckreduzierung (Abb. 6, mitte) auf 47 % gesenkt. Bei höherem Druck am Eingang der Obertageanlage bzw. in der Ferngasleitung ist auch die erzielbare Einsparung entsprechend höher.

Die zweistufige Gasdruckreduzierung führt am Anfang der Ausspeisung bereits eigenständig zu einer Senkung des Taupunktes des Gases in der Ferngasleitung auf -2,5°C (Abb. 6, mitte). Erst mit sinkender Druckdifferenz bei fortschreitender Ausspeisung ist zusätzlich die absorptive Trocknung erforderlich (Abb. 6, unten).

Bei Verdichterbetrieb übernimmt die absorptive Trocknung dann vollständig die erforderliche Taupunktreduzierung. Zu hohe Gas temperaturen in der Kombikolonne werden durch die Verdichtungswärmenutzung reduziert. Durch die anschließende Abkühlung im Gas-/Luftkühler ausfallendes Absorptionsmittel wird im nachfolgenden Flüssigkeitsabscheider abgetrennt und ausgeschleust.

LITERATUR

- [1] DVGW Arbeitsblatt G 260-Gasbeschaffenheit, herg. vom DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., April 1983.
- [2] DD 291523 Obertageanlage eines Untertagegas speichers B 65 G 5/00, 19.01.90, 04.07.91.
- [3] Triesch, F.: Zwei Varianten der Absicherung von Erdgas-Vorwärmanlagen nach DVGW Merkblatt G 499. gwf-gas/erdgas, 135(1994) Nr. 10.
- [4] Praxisbericht: Kobenkompressoren - flexibel, betriebssicher, wartungsarm. Erdöl, Erdgas, Kohle (1987) Nr. 1, S. 40.
- [5] DD 279182 Verfahren zur hydratfreien Druckreduzierung mit Trocknungseffekt. B 01 D 53/28, 04.01.89, 30.05.90.

| Einstufige Gasdruckreduzierung mit absorptiver Gastrocknung | | | | | | | | |
|---|----|------------|----|----------------------|----|-----------|----|-----------------|
| Untertage-anlage | → | Vorwärmung | → | Enddruck-reduzierung | → | Trocknung | → | Ferngas-leitung |
| P [bar ü] | 85 | | 85 | | 40 | | 40 | |
| t [°C] | 15 | | 28 | | 10 | | 10 | |
| q [kWh/10 ³ Nm ³] | | 7,6 | | | | | | |

| Zweistufige Gasdruckreduzierung (Gaskonditionierung) | | | | | | | | |
|--|----|----------------------|------|------------|------|----------------------|----|-----------------|
| Untertage-anlage | → | Vordruck-reduzierung | → | Vorwärmung | → | Enddruck-reduzierung | → | Ferngas-leitung |
| P [bar ü] | 85 | | 54,1 | | 54,1 | | 40 | |
| t [°C] | 15 | | 2 | | 8,67 | | 2 | |
| q [kWh/10 ³ Nm ³] | | | | 3,6 | | | | |

| Zweistufige Gasdruckreduzierung mit absorptiver Trocknung | | | | | | | | |
|---|----|----------------------|------|----------------------|------|----------------------|----|-----------------|
| Untertage-anlage | → | Vordruck-reduzierung | → | Vorwärmung/Trocknung | → | Enddruck-reduzierung | → | Ferngas-leitung |
| P [bar ü] | 85 | | 57,1 | | 57,1 | | 40 | |
| t [°C] | 15 | | 3,43 | | 10 | | 2 | |
| q [kWh/10 ³ Nm ³] | | | | 3,6 | | | | |

Abb. 6 Vergleich der ein- und zweistufigen Gasdruckreduzierung am Beispiel der Ausspeisung aus einem Kavernenspeicher