

Schwingungstechnische Aspekte zur Überholung von Kolbenverdichtern in einem Erdgasspeicher

– Berechnungen, Maßnahmen und messtechnische Kontrolle

Von H. BERGER und J. STEINHAUSEN*

1 Einleitung

Im Zuge des Um- und Ausbaus des Gasspeichers der EWE am Standort in Nüttermoor wurde auch eine Überarbeitung der bestehenden Kolbenverdichteranlage auf dem Betriebsplatz I mit insgesamt vier 2-stufigen, 4-kurbeligen Kolbenverdichtern geplant.

Das primäre Ziel des Umbaus der Verdichteranlage war, die Verdichter auf die wachsenden Anforderungen des Speicherbetriebs bezüglich der anzufahrenden Gasmengen und Betriebsbedingungen flexibler zu gestalten. Daher sollte die Mengenregelung modernisiert werden, indem die Verdichter von einer gestuften auf eine stufenlose Saugventilabhebung (HydroCOM) umgerüstet werden. Außerdem sollten die Verdichter zukünftig neben der Einspeicherung auch für den Ausspeichervorgang genutzt werden können. Entsprechend wurde das Anlagenpiping, das ehemals in weiten Teilen unterflur verlegt war, komplett erneuert und nun zumeist überflur oder auf Rohrbrücken verlegt.

2 Schwingungstechnische Planung

2.1 Altanlage – Technische Daten und Betriebsbedingungen

Die Verdichteranlage umfasst insgesamt vier Kolbenverdichter, die 4-kurbelig und 2-stufig in Boxerbauart ausgeführt sind. Die Maschinen wurde ca. 1978 gebaut und besitzen die Anlagenbezeichnungen K-201/K-202 und K-205/K-206. Die ursprüngliche Konstruktion aller Verdichter geht auf den Hersteller Halberg, Typ 4B2 75/16, zurück. Die beiden Verdichter K-205/K-206 wurden von der Firma Neuman & Esser in Details überarbeitet (z. B. Zylinderdurchmesser, durchgesteckte Kolbenstangen) und variieren daher leicht von den Halberg-Maschinen

* Dipl.-Ing. Heinz Berger, EWE Gasspeicher GmbH, Oldenburg; Dr.-Ing. Jan Steinhausen, KÖTTER Consulting Engineers GmbH & Co. KG, Rheine (E-mail: Steinhausen@koetter-consulting.com. Vortrag, gehalten auf dem 18. Workshop Kolbenverdichter 2014, 22.–23. Oktober 2014, Rheine.

0179-3187/15/2

© 2015 URBAN-VERLAG Hamburg/Wien GmbH



Abb. 1 Blick auf die Gasspeicheranlage der EWE in Nüttermoor nach dem Ausbau

K-201/K-202. Alle Kompressoren werden mit einer konstanten Drehzahl von ca. 490 1/min betrieben.

Die Verdichter K-201 und K-202 sind an ein gemeinsames saug- und druckseitiges Rohrleitungssystem angeschlossen. Gleiches gilt für die Verdichter K-205 und K-206. Die Abbildung 2 zeigt die Anordnung der Verdichter in der Situation vor dem Umbau. Die Rohrleitungen zwischen den Verdichtern und den Gaskühlern verlaufen zum großen Teil unterflur.

In Tabelle 1 sind die wesentlichen technischen Daten der Kolbenverdichter aufgeführt. Einen Überblick zu den Betriebsbedingungen der Verdichteranlage gibt die Tabelle 2.

2.2 Geplante Neuerungen für den zukünftigen Betrieb

2.2.1 Mengenregelung

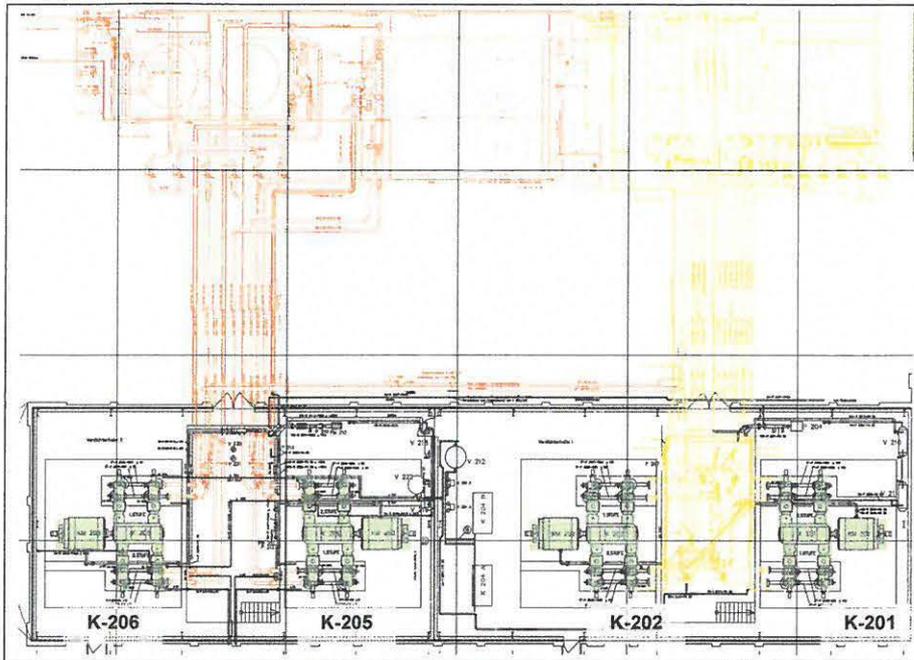
Bei fester Drehzahl der Verdichter erfolgte die Mengenregelung bislang mit Hilfe einer gestuften Saugventilabhebung und einer Schadraumschaltung mit insgesamt 15 bzw. 18 Abstufungen. Für einen flexibleren Einsatz der Verdichter im Hinblick auf die

Tabelle 1 Technische Daten der Verdichter

Hersteller	Halberg	Neuman & Esser
Bezeichnung	K-201/K-202	K-205/K206
Typ	4B2 75/16	2SVL 190-070
Leistung	1.370 kW	1.450 kW
Drehzahl	490 min ⁻¹	485 min ⁻¹
Kolbendurchmesser 1. Stufe	180 mm	190 mm
Kolbendurchmesser 2. Stufe	165 mm	165 mm
Kolbenhub	275 mm	275 mm

Tabelle 2 Betriebsbedingungen der Kolbenverdichter im Erdgasspeicher

Saugdruck	28–71 bar a
Förderdruck	71–151 bar a
Temperatur Saugseite	0–35 °C
Temperatur Förderseite	15–115 °C
Maximaler Normvolumenstrom	
2-stufige Einspeicherung	ca. 50.000 Nm ³ /h
1-stufige Einspeicherung	ca. 90.000 Nm ³ /h



← **Abb. 2 Grundriss der alten Verdichteranlage (links: Verdichterhaus 2, rechts: Verdichterhaus 1) vor dem Umbau**

Variation des Volumenstromes wurde für den zukünftigen Betrieb geplant, auf eine stufenlose Ventilabhebung umzurüsten. Es ist bekannt, dass die Art und Weise der Mengenregelung einen wesentlichen Einfluss auf die Anregung der Pulsationen im angeschlossenen Rohrleitungssystem hat. Beispielsweise dominiert in der Regel bei doppelwirkenden Zylindern und 100 % Durchsatz, d. h. alle Saugventile sind aktiv, die Pulsationsfrequenz der 2-fachen Drehfrequenz (2. Ordnung). Ist bei Saugventilabhebung nur ein Verdichtungsraum je Zylinder aktiv (ca. 50 % Durchsatz), dominiert die einfache Drehfrequenz (1. Ordnung). Generell müssen die Pulsationsdämpfer auf den Verdichterbetrieb und damit auf die sich ändernden Verhältnisse beim Verfahren der Menge sauber abgestimmt sein. Für den ursprünglichen Betrieb mit Saugventilabhebung sind die Verdichter mit kugelförmigen Pulsationsdämpfern ausgerüstet worden, siehe Abbildung 3. Dadurch ergab sich zum geplanten Umbau eine der primären Aufgaben für die dynamischen Berechnungen, nämlich die Überprüfung der Eignung der vorhandenen Kugeldämpfer für die neue Mengenregelung mit einer stufenlosen Saugventilabhebung.



Abb. 3 Kolbenverdichter K-201 im Originalzustand mit kugelförmigen Pulsationsdämpfern

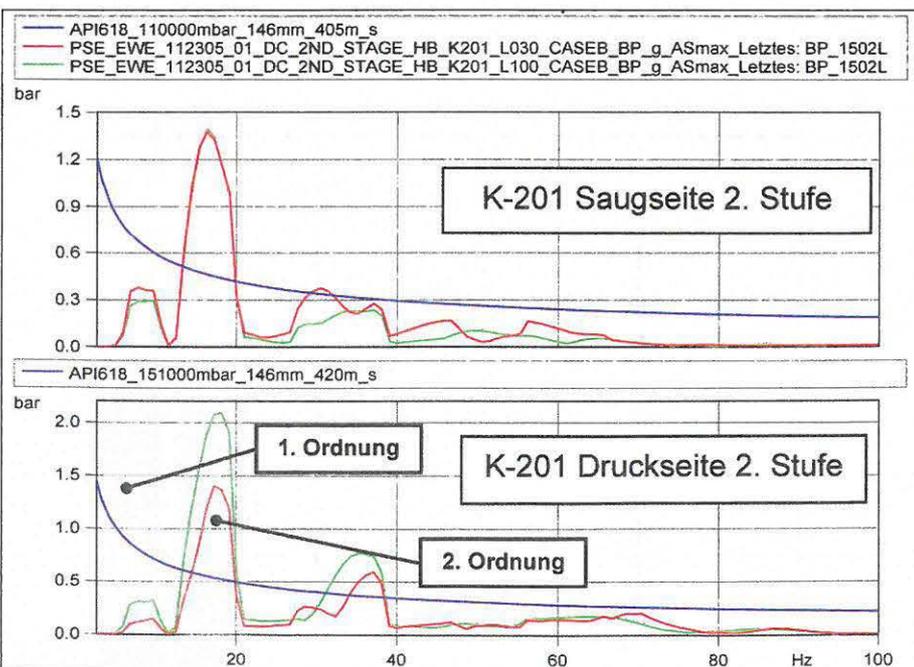
2.2.2 Hochliegende Rohrleitungsführung

Das Rohrleitungssystem wird im neuen Rohrleitungslayout vorwiegend überflur geführt. Das heißt, von den Verdichterschläüssen verlaufen die Leitungen zunächst im Keller, stoßen durch die Gebäudewand und laufen dann senkrecht nach oben links und rechts außen vor der Verdichterrhalle auf neue Rohrbrücken in ca. 4 bis 6 m Höhe, siehe Modell in Abbildung 7. Die Leitungsführung weist zahlreiche Bögen und Umlenkungen auf, an denen Pulsationskräfte angreifen.

Damit war eine weitere Hauptaufgabe für die Pulsationsstudie definiert: Ist der Stahlbau der Rohrleitungsbrücken ausreichend dimensioniert, um die dynamischen Lastreaktionen aus den Pulsationskräften aufnehmen zu können?

2.3 Konzept zur Vermeidung überhöhter Rohrleitungsschwingungen

Aufgrund der ungünstigen neuen Leitungsführung in Bezug auf die Anregbarkeit durch Pulsationen wurde von KÖT



← **Abb. 4 Überprüfung der Wirkung der Kugeldämpfer: Amplitudenspektren der Druckschwingungen an den rohrlingsseitigen (reflexionsfreien) Anschlüssen der Kugeldämpfer der 2. Stufe, 100 % Last (grün), 35 % Last (rot), frequenzabhängige Richtwerte des API Standards 618 (blau), Beispiel Verdichter K-201 (Halbreg)**

TER Consulting Engineers als Lieferant der Pulsationsstudie das primäre Ziel verfolgt, ein möglichst geringes Pulsationsniveau zu erreichen, um aufwändige strukturelle, d. h. aussteifende Maßnahmen am Stahlbau der Rohrleitungsbrücken und Halterungen weitestgehend zu vermeiden. Hierzu ist vorrangig eine gute Wirkung der Pulsationsdämpfer über den gesamten Betriebsbereich der Verdichter sicherzustellen.

3 Schwingungstechnische Berechnungen zum geplanten Umbau

3.1 Neues Design der Pulsationsdämpfer

Die akustischen Simulationsrechnungen für den umgerüsteten Verdichter mit stufenloser Ventilabhebung zeigten, dass die bisherigen Kugeldämpfer nur eine unzureichende pulsationsdämpfende Wirkung besitzen. Der sogenannte »Damper Check«, bei dem das an den Verdichter angeschlossene Rohrleitungssystem zunächst noch als reflexionsfrei betrachtet wird, zeigte ein Pulsationsniveau, das bereits in dieser Konfiguration sowohl in der 1. als auch in der 2. Stufe die Richtwerte nach API Standard 618 deutlich überschritt.

Die Abbildung 4 zeigt beispielhaft die Pulsationsspektren an den leitungsseitigen Pulsationsbehälteranschlüssen der 2. Verdichterstufe für zwei unterschiedliche Lastfälle. Es ist gut zu erkennen, dass die Pulsationen im Frequenzbereich der 2. Ordnung, d. h. der doppelten Drehfrequenz, zwischen ca. 14 Hz und 20 Hz die höchsten Werte zeigen und teilweise bis zu 400 % des API 618 Richtwertes erreichen.

Mit dieser zu schwachen pulsationsdämpfenden Wirkung zeigten sich die Kugeldämpfer für den zukünftigen Betrieb als ungeeignet. Aus diesem Grund ist das Design der Pulsationsdämpfer von KÖTTER Consulting Engineers grundlegend modifiziert worden. Für eine deutlich bessere Wirkung wurde ein 3-Kammer-Reflexionspulsationsdämpfer entworfen, an den beide Zylinder einer Stufe gemeinsam angeschlossen sind, siehe Skizze in Abbildung 5.

Die unterste Filtereckfrequenz des Reflexionspulsationsdämpfers wurde so gewählt, dass sie zwischen der 1. und 2. Ordnung der Drehfrequenz des Verdichters liegt. Für dieses Vorhaben war der Umstand günstig, dass die Verdichter nur mit konstanter Drehzahl betrieben werden. Da die Drehzahlen darüber hinaus für beide Verdichtertypen (Halberg und NEA) praktisch identisch sind, kann der Dämpfer auch ohne weitere Veränderungen bei beiden eingesetzt werden.

Die Behälter mussten aus Platzgründen relativ schlank gestaltet werden. Das hatte jedoch den Vorteil, dass derselbe grundlegende Entwurf für alle Verdichterstufen auf der Saug- und Druckseite verwendet werden konnte. Es wurden lediglich die Wandstär-

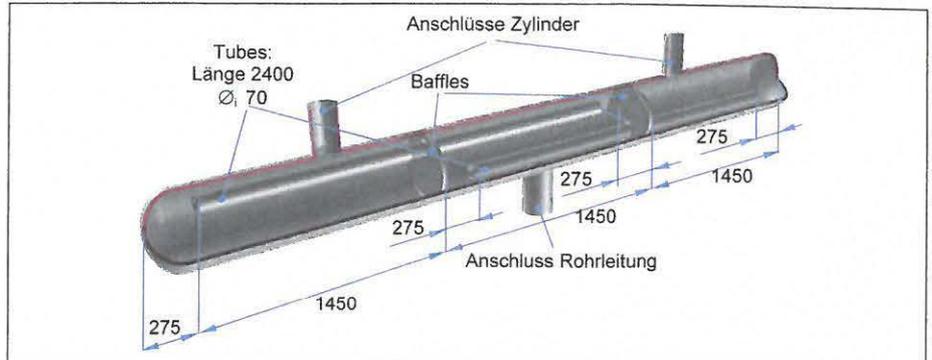


Abb. 5 Schematische Skizze zum Entwurf eines neuen Reflexionspulsationsdämpfers mit drei Kammern und Anschluss beider Zylinder einer Verdichterstufe

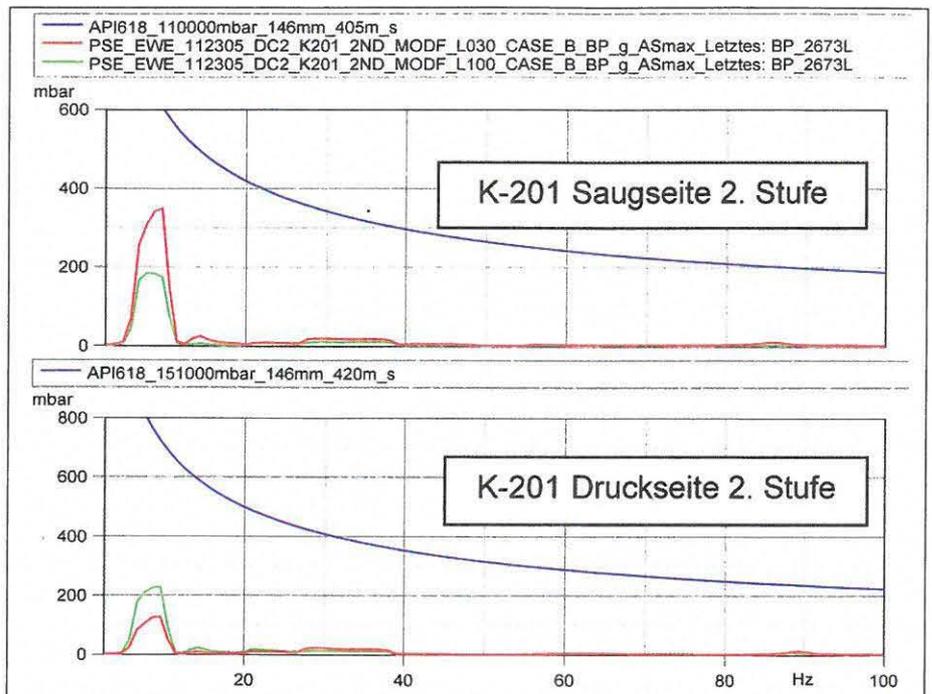


Abb. 6 Amplitudenspektren der Druckpulsationen an den rohrlingsseitigen (reflexionsfreien) Anschlüssen der 3-Kammer-Pulsationsdämpfer, 2. Stufe bei 100 % Last (grün) und 35 % Last (rot) sowie frequenzabhängige Richtwerte nach API Standard 618 (blau), Beispiel Verdichter K-201 (Halberg)

ken entsprechend des mittleren Leitungsdruks angepasst.

Die akustische Wirkung ist im Vergleich von Abbildungen 4 und 6 zu erkennen. Der neue Dämpferentwurf filtert nahezu den gesamten Frequenzbereich oberhalb der 1. Ordnung heraus, also ab ca. 12 Hz, siehe Abbildung 6.

3.2 Akustische Maßnahmen nach Simulation des Gesamtsystems

Auf eine Berechnung der Pulsationen in der Gesamtanlage für die Situation nach dem Umbau des Piping aber noch mit den alten Kugeldämpfern (Zustand 1) wurde verzichtet.

Die Ergebnisse des Damper Checks ließen

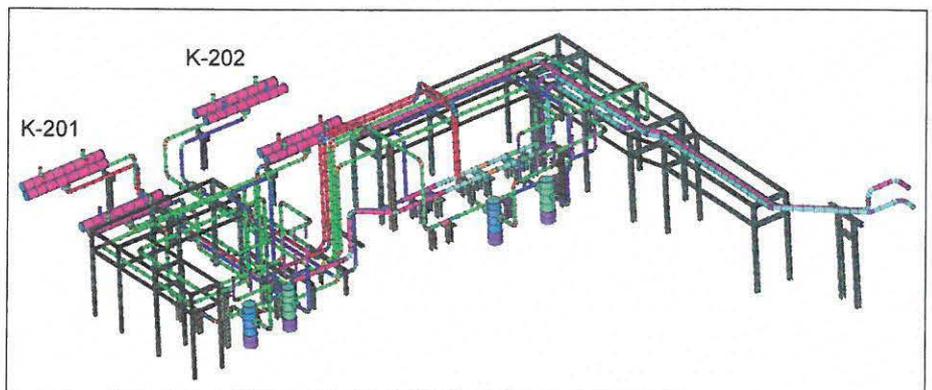


Abb. 7 FEM-Modell der Rohrleitungsführung und Stahlbaustruktur des Verdichtersystems K-201/K-202

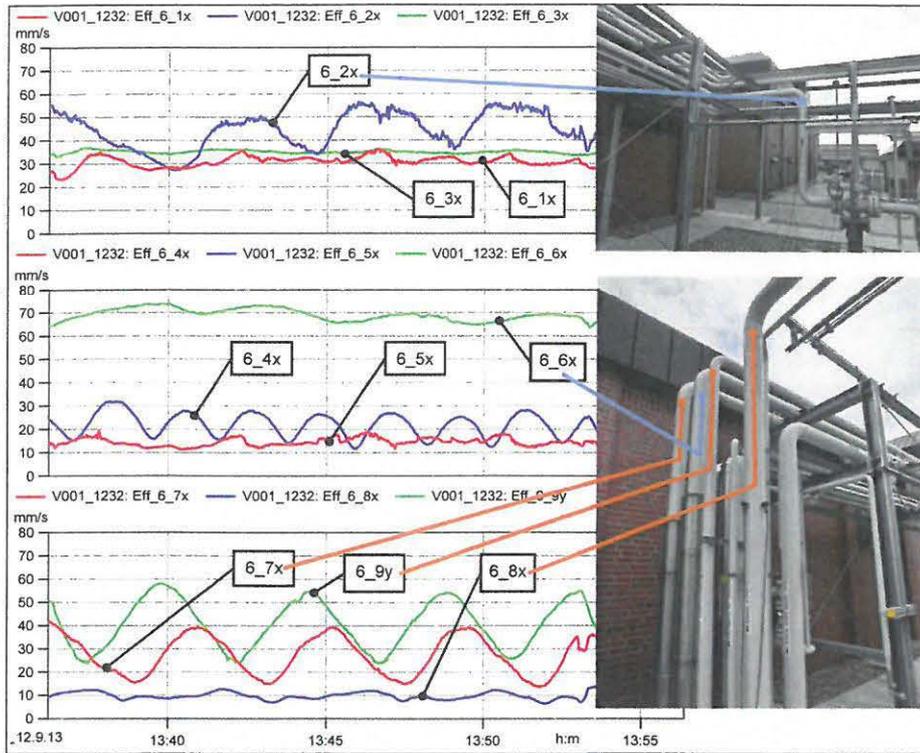


Abb. 8 Zeitverlauf der Effektivwerte der Schwinggeschwindigkeit an ausgewählten Messpunkten des Rohrleitungssystems K-206, Parallelbetrieb K-205/K-206, 100 % Last

aber erwarten, dass für diesen Zustand überhöhte Pulsationen auftreten. Die Ergebnisse der akustischen Simulationsrechnungen der Pulsationsstudie für die Gesamtanlage (Kompressoren, Pulsationsdämpfer, Piping, Kühler etc.) zeigten unter der Verwendung der neuen Reflexionspulsationsdämpfer nur noch an vereinzelten Stellen im Leitungsbereich der Halberg-Verdichter (K-201/K-202) stärkere Überschreitungen der API 618 Richtwerte. Diese möglichen akustischen Resonanzen konnten mit dem Einsatz von zwei Lochblenden (jeweils am Eintritt der Pulsationsdämpfer Saugseite der 1. und 2. Stufe) auf mindestens API 618 Niveau reduziert werden.

3.3 Strukturmechanische Maßnahmen nach Studie des Gesamtsystems

Aufgrund der relativ komplexen Leitungsführung waren auch für die drehzahlfest be-

triebenen Verdichter und unter Einhaltung des API 618 Pulsationsniveaus einige strukturmechanische Modifikationen zu erwarten. Abbildung 7 zeigt das FEM-Modell der Rohrleitungsstruktur der Verdichter K-201/K-202.

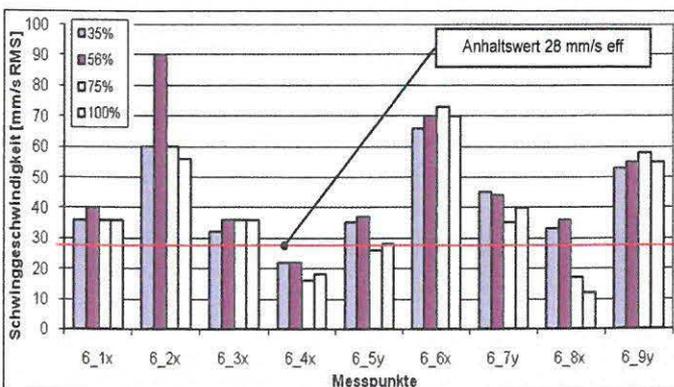


Abb. 9 Maxima der Schwinggeschwindigkeiten (Effektivwerte) bei Parallelbetrieb K-205/K-206 bei unterschiedlicher Last (Stellgröße)

In diesem Bereich wurden für insgesamt acht Positionen mit Hilfe der FEM-Simulationen vorwiegend aussteifende Maßnahmen ausgearbeitet (zusätzliche Stützen, Aussteifung des Stahlbaus durch Einziehen zusätzlicher Stahlprofile etc.). Vor der Ausführung der einzelnen Maßnahmen wurden diese mit dem Anlagenbauer (PSE Engineering GmbH) abgestimmt und auf Umsetzbarkeit geprüft.

4 Messtechnische Kontrolle der Schwingungssituation – Zustand 1

Der größte Teil des Umbaus der Verdichteranlage wurde Anfang 2013 fertiggestellt. Wie bereits geschildert, wurde die Anlage planmäßig zunächst mit den alten kugelförmigen Pulsationsdämpfern wieder in Betrieb genommen (Zustand 1). In diesem Zustand waren erhöhte Pulsationen und daraus resultierend auch erhöhte Rohrleitungsschwingungen zu erwarten, siehe Abschnitt 3.2. Daher wurde im März 2013 eine erste messtechnische Kontrolle der Pulsationen und der Rohrleitungsschwingungen durchgeführt.

Während der nach dieser ersten Messung beginnenden Einspeicherphase änderten sich die Betriebsbedingungen (steigender Kaverndruck, 2-stufiger Verdichterbetrieb etc.) langsam und es wurden zunehmend stärkere Rohrleitungsschwingungen beobachtet. In diesem Zeitraum sind an kleineren Leitungsdurchmessern (1", 2") Anrisse sowie

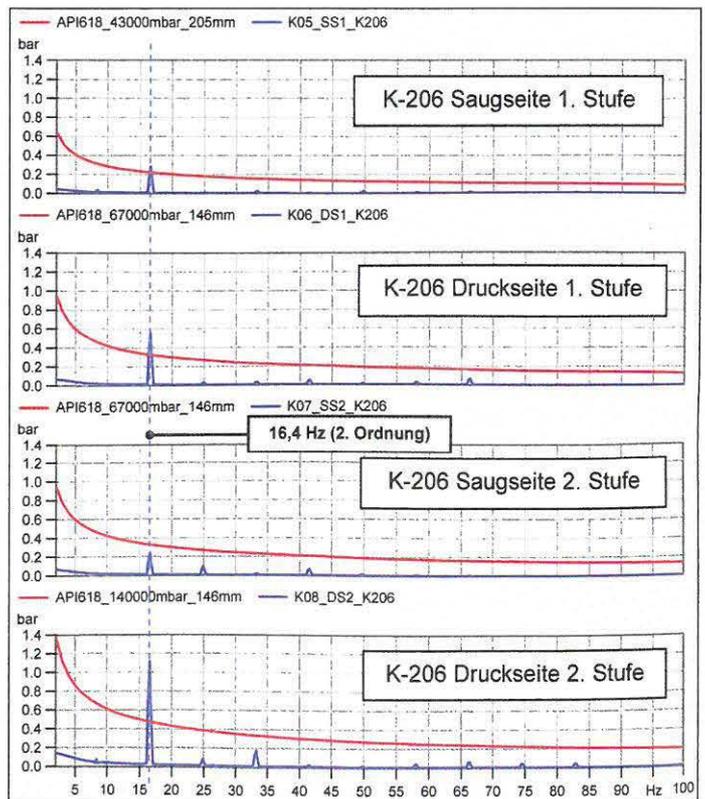


Abb. 10 Amplitudenspektren der Druckpulsationen (Maximalwerte) für die Messpositionen am Verdichter K-206, Richtwerte des API Standards 618 (rot), Parallelbetrieb der Verdichter K-205/K-206 bei 56 % Last (Stellgröße Saugventilabhebung)

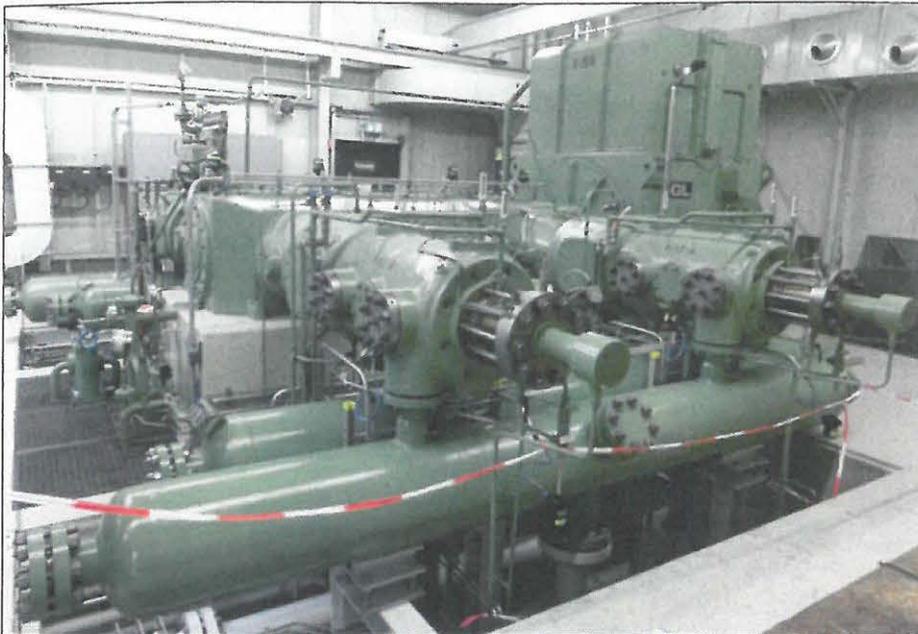


Abb. 11 Verdichter K-205 nach Montage der neuen Pulsationsdämpfer, Blick auf die Zylinder der 1. Stufe

Schäden an Rohrleitungshalterungen aufgetreten.

Im September 2013 wurde die Schwingungssituation dann umfassend messtechnisch untersucht. Abbildung 8 zeigt exemplarisch für ausgewählte Messpositionen am Rohrleitungssystem des Verdichters K-206 den zeitlichen Verlauf des Schwingungsniveaus bei Parallelbetrieb unter 100 % Last. An fast allen Messpunkten ist ein auf- und abschwelliges Schwingungsniveau zu erkennen. Dieser als »Schwebung« bekannte Effekt wird durch den leichten Unterschied der Drehzahlen beider Verdichter K-201 und K-202 verursacht.

Die gemessenen Schwinggeschwindigkeiten lagen an vielen Stellen nicht nur oberhalb des Anhaltswertes von 28 mm/s eff, siehe Abbildung 9, sondern auch oberhalb der zulässigen frequenzselektiven Richtwerte nach VDI 3842.

Auch die Kontrolle der aufgetretenen dynamischen Spannungen (Messungen vor Ort und nach Berechnung aus Messwerten der Schwinggeschwindigkeiten) ergab zum Teil Werte oberhalb des hierfür anzusetzenden Anhaltswertes von 10 N/mm² Spitze-Spitze. Insgesamt zeigten die gemessenen Rohrleitungsschwingungen ein Bild, das aus schwingungstechnischer Sicht gegen einen Betrieb der Verdichteranlage ohne weitere Maßnahmen sprach. Vorwiegend waren die überhöhten Schwingungen auf die Anregung von lokalen strukturmechanischen Resonanzen der entsprechenden Rohrleitungsbereiche zurückzuführen, die in der Nähe der 2. Ordnung der Verdichterdrehzahl, d. h. bei ca. 16,5 Hz, lagen. Dies war das Resümee der im Stillstand der Verdichter durchgeführten Eigenfrequenzmessungen (Anschlagversuche).

Die während der Messungen gleichzeitig erfassten Druckpulsationen zeigten, dass das Pulsationsniveau mit den alten Kugeldämp-

fern deutlich über dem angestrebten Niveau lag, das nach dem Austausch gegen die neuen Pulsationsdämpfer erzielt werden sollte. Insbesondere war die 2. Ordnung die dominierende Frequenzkomponente, siehe Abbildung 10, genau jene Frequenz also, die hauptsächlich verantwortlich für die überhöhten strukturmechanischen Resonanzschwingungen war. Die hier entscheidende 2. Ordnung sollte jedoch erwartungsgemäß nach dem Einbau der neuen Pulsationsdämpfer nur noch eine untergeordnete Rolle

spielen, vgl. Abbildung 6. Damit gab es zwei naheliegende Alternativen für eine Lösung:

1. Massive Aussteifung der einzelnen Rohrleitungsbereiche durch zusätzlichen Stahlbau in der aktuellen Konstellation oder
2. Reduzierung des Pulsationsniveaus durch den Einbau der neuen auf den Betrieb der Verdichter abgestimmten Pulsationsdämpfer.

5 Einbau der neuen Pulsationsdämpfer

Da die Umsetzung von Strukturmaßnahmen gemäß Punkt 1 auch Zeit und Kosten erfordert hätte und Ende 2013 ohnehin der planmäßige Einbau der neuen Pulsationsdämpfer vorgesehen war, wurde entschieden, diesen abzuwarten und keine Sofortmaßnahmen in Angriff zu nehmen. Nach dem Einbau der Pulsationsdämpfer, siehe Abbildung 11, konnten die Maschinen K-205/K-206 im Januar 2014 wieder in Betrieb genommen werden.

6 Messtechnische Kontrolle der Schwingungssituation – Zustand 2

Im Februar 2014 unmittelbar nach der Wiederinbetriebnahme der beiden Verdichter K-205 und K-206 wurde die Schwingungs- und Pulsationssituation nun mit den neuen Reflexionspulsationsdämpfern (Zustand 2) messtechnisch kontrolliert. Die Messergebnisse zeigten, dass die neuen Pulsationsdämpfer gut auf den Betrieb der Kolbenkompressoren mit der stufenlosen Mengenregelung abgestimmt sind. Das Pul-

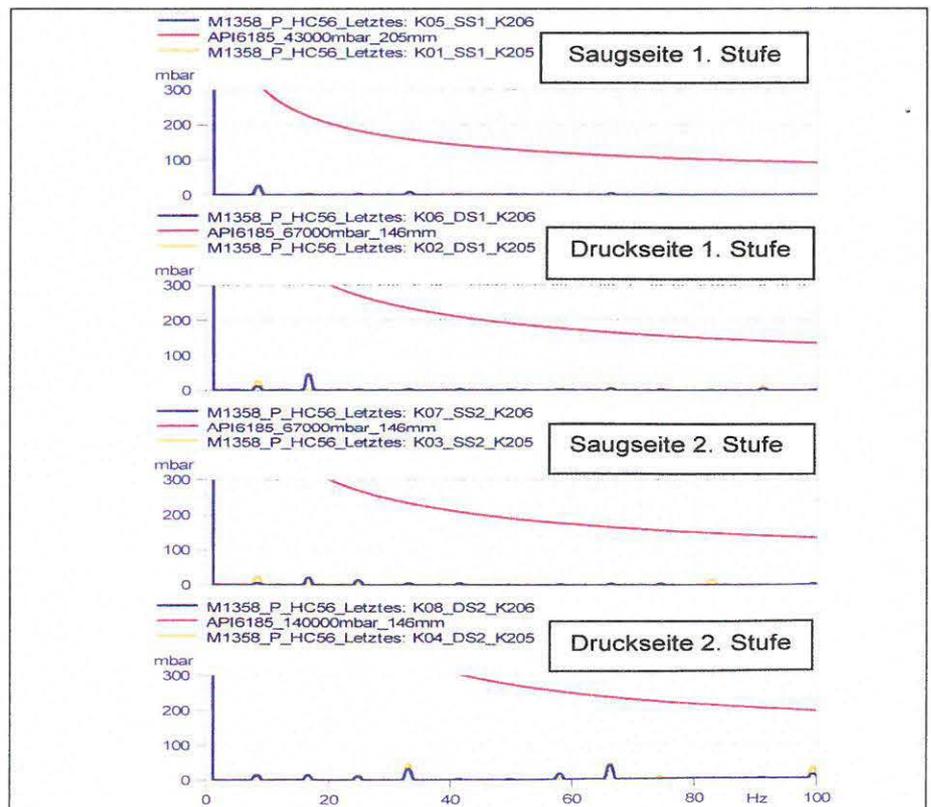


Abb. 12 Amplitudenspektren der Druckpulsationen an K-205 (gelb) und K-206 (rot) nach dem Einbau der neuen Pulsationsdämpfer, Parallelbetrieb, 56 % Last, vgl. auch Abbildung 10

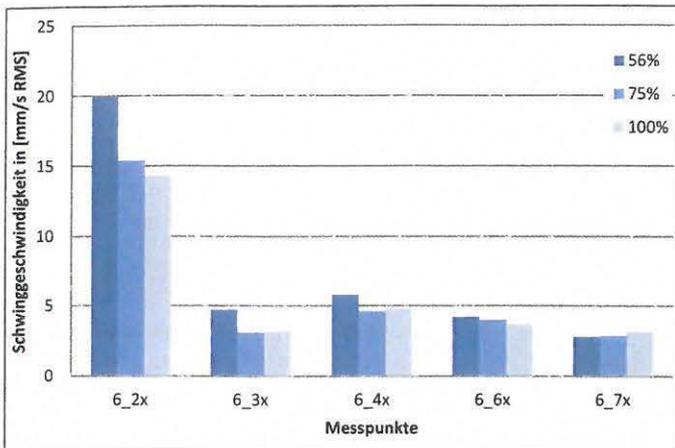


Abb. 13 Maxima der Schwinggeschwindigkeiten (Effektivwerte in mm/s) mit den neuen Pulsationsdämpfern, Parallelbetrieb K-205/K-206 mit unterschiedlicher Last (Stellgröße), vgl. Abbildung 9

sationsniveau lag an den Messpositionen wie erwartet deutlich unterhalb der Richtwerte des API Standards 618, siehe Abbildung 12. Beispielsweise wurden auf der Druckseite der 1. Stufe in der 2. Ordnung maximal noch ca. 50 mbar erreicht. Im alten Zustand 1 der Anlage lag diese Komponente bei ca. 600 mbar.

Auch das resultierende mechanische Schwingungsniveau am Rohrleitungssystem der Kolbenverdichter K-205 und K-206 war nunmehr für den Dauerbetrieb der Anlage uneingeschränkt geeignet.

nahme waren so nicht mehr erforderlich.

Fazit

Das vorgestellte Projektbeispiel zum Umbau einer Kolbenverdichteranlage in einem Erdgasspeicher zeigt zunächst grundsätzlich, dass auch eine für Kolbenverdichter eher ungünstige – in diesem Fall hoch verlegte – Rohrleitungsführung realisiert werden kann, wenn man besonderes Augenmerk auf ein möglichst niedriges Pulsationsniveau legt. In diesem Fall wurde mit einem

Sämtliche Messwerte lagen unterhalb einer Schwinggeschwindigkeit von 20 mm/s RMS (Abb. 13).

Die Einschränkungen für den Betrieb der Verdichter, die sich im September 2013 aus den Messergebnissen mit den alten sphärischen Pulsationsdämpfern ergeben hatten, konnten aufgehoben werden. Aufwändige aussteifende Stahlbaumaßnahmen nach der Inbetrieb-

auf die neue Mengenreglung (HydroCOM) der Verdichter abgestimmten akustischen Pulsationsdämpferdesign ein deutlich geringeres Pulsationsniveau angestrebt und erzielt, als dieses beispielsweise nach API Standard 618 zulässig ist.

Die Vorteile einer »guten akustischen« Auslegung liegen im wesentlich geringeren Aufwand für erforderliche Stahlbaukonstruktionen und des Halterungskonzeptes der Leitungsführung. Insbesondere zeigt das hier vorgestellte Praxisbeispiel durch den (planmäßig) zeitlich späteren Einbau der neuen Pulsationsdämpfer sehr anschaulich die unangenehmen Auswirkungen eines auf den Betrieb der Verdichter nicht »zugeschnitten« Pulsationsdämpfersystems.

Literatur

- [1] VDI-Richtlinie 3842: Schwingungen in Rohrleitungssystemen. VDI Verlag Düsseldorf, 2004.
- [2] ISO 10816-8: Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts – Part 8: Reciprocating compressor systems. 2014.
- [3] Brümmer, A., Lenz, J.: Ursachenanalyse zur Schwingungsreduzierung an einer Erdgasverdichteranlage. Schwingungen in Anlagen und Maschinen, VDI Berichte 1606, VDI Verlag Düsseldorf, 2001.

Kleinigkeiten mit großer Wirkung

Revision eines Kolbenverdichters

Little Things Can Have Large Impacts – Overhaul of a Reciprocating Compressor

Von R. SCHUHMANN*

Abstract

After an incident a large 2-stage hyper compressor was severely damaged and had to be repaired. Due to the fact that the foundation had lowered over time, a major overhaul was done including the reconstructing of the foundation (lifting). During start up extremely high vibration amplitudes were observed at the compressor and the foundation. The article describes the root cause analyses and the final solution to reduce the vibrations.

* Dipl.-Ing. Roland Schuhmann, BASF SE, Ludwigshafen (E-mail: Roland.Schumann@basf.com). Vortrag, gehalten bei dem 18. Workshop Kolbenverdichter 2014, 22.–23. Oktober 2014, Rheine.

0179-3187/15/2
© 2015 URBAN-VERLAG Hamburg/Wien GmbH

Kurzfassung

Nach einem kapitalen Schaden an einem 2-stufigen Hyperverdichter wurde dieser von Grund auf instand gesetzt. Da das Fundament sich im Laufe der Zeit gesenkt hatte, wurde auch dies aufwendig korrigiert. Nach der Wiederinbetriebnahme traten hohe Schwingungsamplituden auf. Der Artikel beschreibt die Ursachenfindung und die Abhilfemaßnahmen.

Einführung

Die BASF SE betreibt weltweit einige hundert Verdichter, darunter sehr viele Turbo- aber auch viele Kolbenverdichter. In diesem Beitrag wird über einen Hyper-Kompressor berichtet, an dem nach einem kapita-

len, beinahe Totalschaden eine komplette Sanierung inklusive des Fundaments vorgenommen wurde.

Obwohl alle Maßnahmen mit größter Sorgfalt geplant und ausgeführt wurden, zeigten sich nach der Wiederinbetriebnahme hohe Schwingungsamplituden.

Nach einer kurzen Beschreibung der Schäden befasst sich der Beitrag zunächst mit der Beschreibung der Reparaturmaßnahmen. Danach wird die Schwingungssituation nach Wiederinbetriebnahme und die Detektivarbeit zur Ermittlung der Schwingungsursache aufgearbeitet.

Es soll hier aufgezeigt werden, dass kleine Details zum Erfolg bzw. Misserfolg einer großen Instandhaltungsmaßnahme führen können.