

GOOD VIBRATIONS



M a i 2 0 0 5

Optimaler Phasenversatz = 15°!

Pulsationsstudie für Hyperkompressoren

In einer Anlage zur Herstellung von Polyethylen wurden zwei Hyperkompressoren (2-stufig, 8 Zylinder, 5 MW Synchronmotor pro Verdichter) mit einem Enddruck von 2.250 bar parallel betrieben. Aus Verfahrensgründen sollte der Enddruck auf 2.400 bar angehoben werden. Hierzu war es erforderlich, ein Auslösen der Sicherheitsbetriebsventile (SBV) infolge der pulsationsbedingten Druckspitzen zu verhindern und kritische Verdichter- und Rohrleitungsschwingungen infolge veränderter Pulsationskräfte zu unterbinden. Diese Aufgabe wurde an KÖTTER Consulting Engineers übertragen, die – gemeinsam mit dem Betreiber – eine gezielte Bearbeitung in zwei Phasen realisierten.

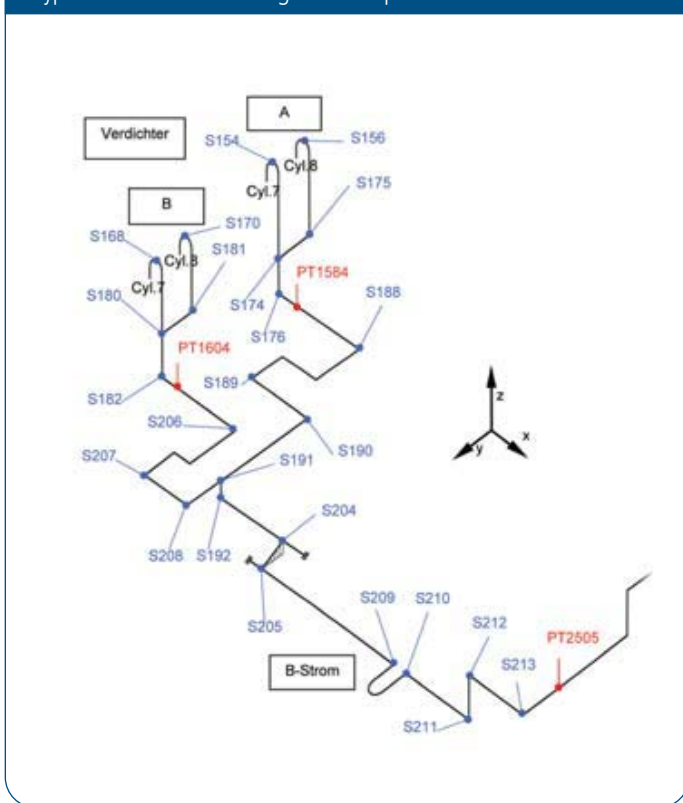
In Phase I wurden die tatsächlich vorhandenen Druckpulsationen und Schwingungen der Anlage für die aktuelle Situation von 2.250 bar Enddruck meßtechnisch erfaßt. Für die Druckmessungen wurden hierzu die fest installierten Drucktransmitter des Prozeßbleit-systems benutzt, so daß keine aufwendigen Meßvorbereitungen in der Anlage erforderlich waren. In Kenntnis der physikalischen Zusammenhänge wurde in Phase II eine Pulsationsstudie durchgeführt. Hierbei wurde das numerische Modell im

ersten Schritt durch die Meßdaten aus Phase I verifiziert. Anschließend wurde das abgestimmte Modell zur Berechnung der Pulsationen für die Situation mit angehobenem Enddruck sowie zur Auslegung von Minderungsmaßnahmen benutzt.

Ein Ausschnitt der 2. Stufe sowie der berechneten und gemessenen Druckpulsationen in diesem Abschnitt ist in den Bildern 1+2 dargestellt. Die beiden Verdichter haben in dieser Situation eine feste Phasenbeziehung (Synchronmotoren), die sich zufällig beim Anfahren

(Fortsetzung auf Seite 2)

Bild 1: Skizze eines Ausschnitts der Enddruckseite der beiden Hyperverdichter und der Lage der Meßpunkte



In eigener Sache...

... möchte ich heute über die Fortbildungsveranstaltungen, Konferenzen und Seminare aus dem Hause KÖTTER Consulting Engineers informieren. In diesem Jahr gab es aus unserem Fachbereich



Maschinen + Anlagen bereits drei Fortbildungsseminare mit den Inhalten: „Schalltechnik – Grundlagen der technischen Akustik“ und „Durchfluss- und Mengmessungen in Rohrleitungen“. Diese und weitere Veranstaltungen bieten wir als unabhängig beratende Ingenieure an, um Wissenstransfer zu ermöglichen, um Erfahrungswerte weiterzugeben und um Sensibilität für den Bereich Schall- und Schwingungen zu schaffen. Wir freuen uns, daß die bei uns erworbenen Kenntnisse oft in der Praxis anwendbar sind und dort umgesetzt werden.

Der nächste Termin für das Seminar zur Schalltechnik ist übrigens der 7. Juni. Sie finden mehr dazu auf den nächsten Seiten! In diesem Jahr findet außerdem der „9. Workshop Kolbenverdichter 2005“ am 26. und 27. Oktober statt: Der Treffpunkt der Chemie-, Öl- und Gasbranche. Mehr Informationen zu allen Terminen finden Sie unter www.koetter-consulting.com

Ich würde mich freuen, neben den bekannten Personen, auch Sie einmal in unserem Hause begrüßen zu können...

Herzlichst
Ihr
Erwin W. Kötter

Aus dem Inhalt

- Optimaler Phasenversatz = 15°
- Mechanische Schwingungen an Schraubenverdichtern und Rootsgebläsen
- Ethylenverdichter ruhig gestellt
- Auf der Suche nach dem Verursacher...
- Schalltechnik:
Viel Zuspruch für Seminar

(Fortsetzung von Seite 1)

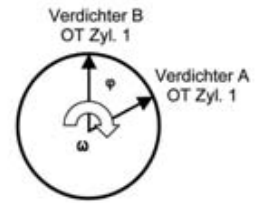
der Anlage ergeben hatte (Bild 3). Insgesamt zeigen sich erhebliche Pulsationen, die durch die Berechnung gut abgebildet werden. Zur Reduktion der pulsationsbedingten Druckspitzen wurde untersucht, inwiefern sich die

Pulsationen durch eine veränderte Phasenbeziehung der beiden Verdichter in der Situation mit angehobenem Enddruck minimieren lassen. Als optimal ergab sich ein konstanter Phasenversatz von $\varphi = 15^\circ$. Ein Auslösen der Sicherheitsbetriebsventile

war bei dieser Phasenbeziehung rechnerisch nicht mehr zu befürchten, so daß zusammen mit dem Betreiber die Umsetzung dieser Maßnahme entschieden wurde. Des weiteren wurden auf Basis der Messungen und begleitender Strömungs- und Struktursimulationen Maßnahmen zur Minderung der Strukturschwingungen vorgeschlagen und realisiert.

Bereits während der erneuten Inbetriebnahme stellte der Be-

Bild 3: Synchronisation der Verdichter mit einem festen Phasenwinkel φ



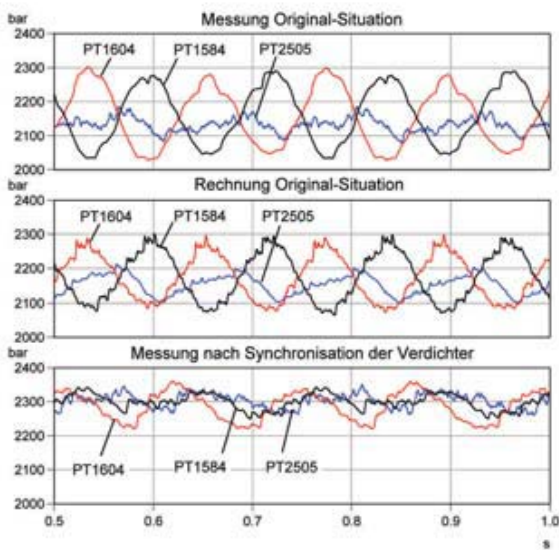
treiber ein deutlich ruhigeres Laufverhalten der gesamten Anlage fest. Der angestrebte Enddruck konnte im weiteren ohne Auslösen der SBV und ohne Schwingungsprobleme eingestellt werden.

Zusätzlich bestätigte eine abschließende Messung die gute Wirkung der Maßnahmen (siehe Bild 2).

Zwei Verdichter im Einklang sind eben manchmal besser als einer.

Dr.-Ing. Andreas Brümmer
bruemmer@koetter-consulting.com

Bild 2: Druckpulsationen vor und nach Umsetzung der Synchronisation der beiden Verdichter



Mechanische Schwingungen an Schraubenverdichtern und Rootsgebläsen

Geforderter VDI Entwurf für Rotationsverdichter liegt vor

Da in der bisherigen DIN ISO 10816-1 die allgemeinen Anforderungen für die Messung und Bewertung von Schwingungen nur für nicht-rotierende Teile an Maschinen galten, bestand aus Sicht europäischer Hersteller, Betreiber und Kunden von Schraubenverdichtern und Rootsgebläsen der Bedarf nach Ergänzung. Auch Berater und Service-Unternehmen wollten eine verbindlich festgelegte Beurteilung der Schwingungen derartiger Maschinen. Die Vervollständigung der DIN für Rotationsverdichter, sollte dabei angelehnt an die Grundform der bisherigen Beurteilungskriterien für industrielle Maschinen nach DIN ISO 7919 ("Messung und Bewertung von Wellenschwingungen") erfolgen. Der VDI Richtlinien-Entwurf 3836 als Folge

der Forderungen, gibt nun Hinweise zum Messen und Bewerten der Schwingungen von zweiwelligen Drehkolbenverdichtern (Schraubenverdichter und Rootsgebläse).

Diese sind wegen der zyklischen Arbeitsweise der rotierenden Drehkolben in ihrem Schwingungsverhalten zwischen den Hubkolben- und Turboverdichtern einzuordnen. Sie verfügen nicht über oszillierende Massen, erzeugen aber einen mit der Ausstoßfrequenz pulsierenden Ausschub des Arbeitsfluids.

(teilw. Auszug aus dem VDI Entwurf 3836)

Martina Brockmann
brockmann@koetter-consulting.com

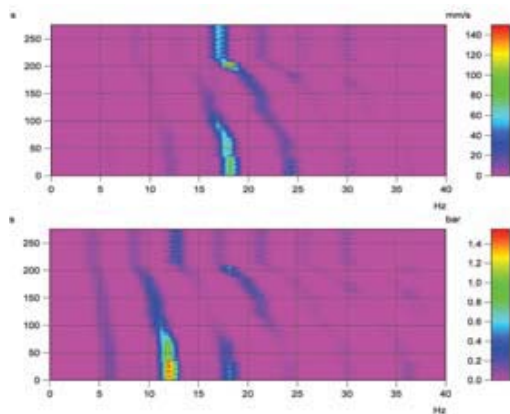
Wenige können vorhersehen, wohin sie ihr Weg führen wird, bis sie an sein Ende gelangen.

(J.R.R. Tolkien (John Ronald Reuel))

Ethylenverdichter ruhig gestellt!

Schwingungen- und Pulsationen bereiteten Sorgen

Abbildung 1: Zeit-Frequenz-Amplitudenspektren beim Abfahren der Verdichterdrehzahl von 374 1/min auf 262 1/min, oben: Strukturschwingungen an der Rohrleitung der Zwischenstufe mit lokaler Resonanz bei ca. 18 Hz, unten: Pulsationen in der Zwischenstufenleitung.



Druckpulsationen innerhalb der Rohrleitungen und der Strukturschwingungen (Rohrleitungen und Stahlbau) im verdichternahen Bereich der Anlage erfolgte. Die Messungen zeigten, dass im Bereich der Saugleitung bei Verdichterdrehzahlen über 374 1/min die Richtwerte für zulässige Pulsationen gemäß API Standard 618 nur leicht überschritten wurden. In der Rohrleitungsführung der Zwischenstufe er-

reichten die festgestellten Pulsationen jedoch aufgrund einer dort auftretenden akustischen Resonanz etwa das 6-fache der Richtwerte! Die gemessenen strukturellen Rohrleitungsschwingungen (Schwinggeschwindigkeiten) auf der Saugseite und der Zwischenstufe des Verdichters zeigten in mehreren Bereichen zum Teil deutliche Überschreitungen der zulässigen Richtwerte. Diese wurden zum einen durch die Anregung von strukturellen Eigenfrequenzen (Resonanzen) der Rohrleitung inklusive deren Halterungen verursacht (siehe Abb. 1). Zum anderen führte die Anregung durch die hohen Gaskräfte in der Zwischenstufe – aufgrund akustischer Resonanz – durch die Übertragung auf den relativ nachgiebigen Stahlbau auch zu hohen Schwingungen an der ebenfalls am Stahlbau befestigten Saugleitung. Zur wirkungsvollen Reduktion der Gaspulsationen in der Zwischenstufe wurde eine Pulsations Dämpferplatte nach dem KÖTTER-Prinzip an dem zu diesem Zweck berechneten optimalen Einbauort eingesetzt (ermittelt aus akustischer Simulation der Zwischenstufe). Zusätzlich wurde eine Aussteifung der Rohrleitungshaltekonstruktion durch massive Rohrleitungsstützen vorgenommen. Die hierzu geeigneten Positionen wurden rechnerisch ermittelt. Die damit erreichte Verschiebung der lokalen mechanischen Eigen-

Dr.-Ing. Jan Steinhausen
steinhausen@koetter-consulting.com

Tatsachen hören nicht auf
 zu bestehen, nur weil
 man sie ignoriert. (Aldous Huxley)

Ein Chemiewerk betreibt im Bereich der organischen Produkte zur Verdichtung von Ethylen einen zweistufigen Kolbenverdichter (2-kurbelig, vier Zylinder, doppeltwirkend, Boxeranordnung). Dieser wird von einer Dampfturbine über ein Planetengetriebe angetrieben. An der Verdichteranlage wurden vom Betreiber seit längerem, im Bereich der Pulsationsdämpfer-Behälter und an den Prozessrohrleitungen, vor allem auf der Saugseite, sowie der Bedienbühne erhöhte Schwingungen beobachtet. In der Vergangenheit führten diese bereits mehrmals zu besorgniserregenden Abrissen von Rohrleitungsbefestigungen.

Pulsations-Dämpferplatte nach dem KÖTTER-Prinzip

KÖTTER Consulting Engineers wurde damit beauftragt, die Ursache für die beobachteten Rohrleitungsschwingungen zu ermitteln. Zur Erreichung eines sicheren Betriebes der Anlage sollten wirkungsvolle Maßnahmen benannt werden. Hierzu wurde zunächst eine mehrkanalige messtechnische Untersuchung durchgeführt, bei der eine synchrone Messung der

reichten die festgestellten Pulsationen jedoch aufgrund einer dort auftretenden akustischen Resonanz etwa das 6-fache der Richtwerte! Die gemessenen strukturellen Rohrleitungsschwingungen (Schwinggeschwindigkeiten) auf der Saugseite und der Zwischenstufe des Verdichters zeigten in mehreren Bereichen zum Teil deutliche Überschreitungen der zulässigen Richtwerte. Diese wurden zum einen durch die Anregung von strukturellen Eigenfrequenzen (Resonanzen) der Rohrleitung inklusive deren Halterungen verursacht (siehe Abb. 1). Zum anderen führte die Anregung durch die hohen Gaskräfte in der Zwischenstufe – aufgrund akustischer Resonanz – durch die Übertragung auf den relativ nachgiebigen Stahlbau auch zu hohen Schwingungen an der ebenfalls am Stahlbau befestigten Saugleitung. Zur wirkungsvollen Reduktion der Gaspulsationen in der Zwischenstufe wurde eine Pulsations Dämpferplatte nach dem KÖTTER-Prinzip an dem zu diesem Zweck berechneten optimalen Einbauort eingesetzt (ermittelt aus akustischer Simulation der Zwischenstufe). Zusätzlich wurde eine Aussteifung der Rohrleitungshaltekonstruktion durch massive Rohrleitungsstützen vorgenommen. Die hierzu geeigneten Positionen wurden rechnerisch ermittelt. Die damit erreichte Verschiebung der lokalen mechanischen Eigen-

* Info * Info * Info * Info * Info *

„Wissen ist unser kostbarstes Gut“ -Reflexionen von der Hannover Messe-

Ausbildung und Innovationen
 Der Vorstandsvorsitzende der Bosch Rexroth AG (Lohr am Main) Manfred Grundke „bezeichnet gut ausgebildete Mitarbeiter und Innovationen als wichtiges Kapital der Industrie und Wirtschaft Deutschlands.“ Erkenntnis über die fundamentale Bedeutung dieser Faktoren ist notwendig und trägt zum Erfolg von Unternehmen bei.

Maschinenbau will Sicherheit
 Der Branchenverband VDMA fordert die Politik auf, Bremsklötze für Investitionen im Inland zu lösen. Die Senkung der Unternehmensbesteuerung könnte nach ersten abgeschlossenen Bund-Länder-Verhandlungen zum 1. Januar 2006 ernsthaft erfolgen. Auf der Hannover Messe machte der Maschinenbauverband VDMA entsprechenden Druck, zu einem schnellen Ergebnis zu kommen. Die Unternehmer misstrauen bloßen Versprechungen.

Auf der Suche nach dem Verursacher...

Beim Neubau einer Müllverbrennungsanlage wurde u.a. eine große Staubsauganlage eingebaut, die mit Hilfe eines Rootsgebläses den Staub im Kesselgebäude absaugt und in einem Sichter auf der Saugseite sammelt. Im darunter liegenden Aschebunkerraum klagte das Bedienpersonal über einen unangenehmen Lärmpegel, sobald die Absauganlage in Betrieb war (gemessen: $L_{AFmax} = 101$ dB).

Es wurde von Kundenseite vermutet, dass das auf der Geschossdecke aufgestellte Rootsgebläse die Decke des Aschebunkers zu Körperschall anregt und dieser als Luftschall in den Aschebunkerraum abgestrahlt wird. Um die Vermutung zu untermauern, wurde KÖTTER Consulting Engineers (KCE) mit einer gezielten

Schall- und Schwingungsmessung beauftragt. Unter anderem wurden die Schwingungsisolierungen des Rootsgebläses, die Schallemissionen des Gebläses und die Schwingungen der Geschossdecke untersucht. Die Messungen zeigten, dass der dominierende Ton von rund 200 Hz durch die druckseitige Gebläseleitung, welche unterhalb der Decke (Höhe: 12 m) in die gegenüber liegende Ecke der Aschebunkerbeladung hineinreicht, verursacht wurde. Der Rest-Schalleistungspegel am Mündungsstück der Leitung lag immerhin noch bei $L_{WA} = 106$ dB, obwohl direkt nach dem Gebläse ein funktionsfähiger Schalldämpfer installiert worden war. Schallanteile, die anschließend durch die reinen Deckenschwingungen induziert wur-

den, konnten vernachlässigt werden. Die erste schnelle Vermutung war also, wie so häufig, nicht richtig. Zur Lösung des Problems wurden verschiedene Varianten vorgeschlagen. Die Wahl des Kunden fiel letztendlich auf den von KCE empfohlenen, breitbandig wirkenden Absorptionsschalldämpfer, der zusätzlich nachgeschaltet wurde. Eine Messung von unabhängiger Seite nach Einbau des Schalldämpfers zeigte die gewünschte Pegelreduzierung um insgesamt 27 dB.

Dipl.-Ing. Franz-Josef Düttmann
duettmann@koetter-consulting.com

Viel Zuspruch für Seminar zur Schalltechnik

Neue Richtlinie zum Arbeitsschutz in 2006

Am 22. Februar 2005 fand in den Seminar- und Laborräumen der KÖTTER Consulting Engineers ein Seminar zur Technischen Akustik statt. Diese Fortbildungsveranstaltung war mit der maximal gewünschten Teilnehmerzahl von 24 Personen aus verschiedenen Wirtschaftszweigen ausgebucht. Behandelt wurden, neben den Grundlagen der technischen Akustik und Lärmbekämpfung, vor allem die Bewertung und die Beurteilung von Schallquellen. Dazu gehörte auch eine Einführung in die aktuellen Regelwerke. Dem Leiter der Veranstaltung, Dipl.-Ing. Robert Missal, war es wichtig, dass

führungen im Laborbereich. Dort wurden verschiedene Absorptionsmaterialien sowie u.a. Schalldämpfer unterschiedlicher Bauart und deren Einflüsse auf die Schallausbreitung gezeigt. Der letzte Teil des Seminars konzentrierte sich auf die einschlägigen Regelwerke mit den gesetzlichen Grundlagen und Empfehlungen zur Vertragsgestaltung. Die rege Beteiligung an den Diskussionen bestätigte das große Interesse an diesen Themen. Spätestens bis zum 15.02.2006 wird die neue Europäische Richtlinie zum Arbeitsschutz auch in Deutschland verbindlich umgesetzt und zu Veränderungen in der geltenden Unfallverhütungsvorschrift „Lärm“ führen. Damit sind neue Begriffe und Grenzwertverschärfungen verbunden. Hierauf wird bei der nächsten Veranstaltung näher eingegangen.

Der nächste Seminartermin ist für Dienstag, 07. Juni 2005, festgelegt. Interessenten haben die Möglichkeit, sich bereits jetzt mit dem beiliegenden Coupon anzumelden, oder die Internetseite www.koetter-consulting.com zu nutzen; bzw. rufen Sie unsere Frau Brockmann an: Tel. 05971 – 9710.65

Martina Brockmann
brockmann@koetter-consulting.com

9. Workshop Kolbenverdichter 2005

am 26. / 27. Oktober

Der Branchentreff für Betreiber,
 Hersteller, Planer...

Termin vormerken, Einladung
 anfordern!

KÖTTER Consulting Engineers
 Bonifatiusstraße 400 48432 Rheine
 Tel. 05971 – 9710.65
 Fax 05971 – 9710.43
 Ihre Ansprechpartnerin:
 Martina Brockmann



KÖTTER Consulting Engineers
 Bonifatiusstr. 400 D-48432 Rheine
 Tel.: +49 – 05971 - 9710.0
 Fax: +49 – 05971 - 9710.43
 email: koetter@koetter-consulting.com

KÖTTER Beratende Ingenieure
 Berlin GmbH
 Balzerstr. 43 D-12683 Berlin
 Tel.: +49 – 030 – 52 67 88.0
 Fax: +49 – 030 – 54 36 016
 email: berlin@koetter-consulting.com

KÖTTER Beratende Ingenieure
 KBI Schallschutzberatung Dresden GmbH
 Radeburger Str. 124 D-01109 Dresden
 Tel.: +49 – 0351 – 8 11 62 .0
 Fax: +49 – 0351 – 8 11 62 .10
 email: info@kbi-dresden.com

www.koetter-consulting.com

Theorie und Praxis: Demonstrationsobjekte zur Geräuschentwicklung



die Teilnehmer die neuerworbenen Kenntnisse mit eigenen Berechnungen und anhand praktischer Beispiele umsetzen konnten. Besonderes Interesse fanden die Exponate und Vor-