

GOOD VIBRATIONS



Mai 2004

Minus 170° C ... und sie läuft doch!

Rotordynamische Untersuchung an einer Kreiselpumpe für Flüssigmethan

Letzte Vorbereitungen an der Sensorik der Kreiselpumpe vor der Wiederinbetriebnahme in der Anlage



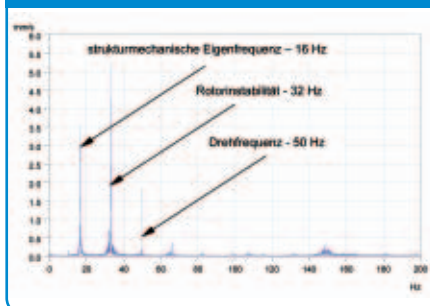
Für eine neue Anlage zur Kohlenmonoxid-erzeugung setzt ein Industriebetrieb beim Prozess der Methanwäsche des CO-Produkts zur Förderung des Flüssigmethans bei ca. -170°C eine mehrstufige Tauchmotorkreiselpumpe in Topfbauweise (mit senkrechter Welle) ein. Nach der Inbetriebnahme der Anlage sind an dieser Kreiselpumpe mehrfach Schäden an den Wälzlagern aufgetreten (Standzeiten ca. 6 Wochen), so dass schließlich auf eine Pumpe eines anderen Herstellers mit Radialgleitlagern im Fördermedium und ölgeschmierter Axiallagerung außerhalb der Förderflüssigkeit umgerüstet wurde. Jedoch trat auch hier nach ca. 1 Woche Betriebsdauer ein erster Schaden verbunden mit einer auffälligen Geräusentwicklung auf. Die Maschine wurde daraufhin überprüft und wieder in Betrieb genommen. Bereits nach kurzer Zeit verlor die Pumpe jedoch erneut an

Förderhöhe, so dass sie wieder außer Betrieb gesetzt werden musste. Seitens des Auftraggebers wurde nun vermutet, dass rotordynamische Effekte den Ausfall der Kreiselpumpe verursachen.

Mit dem Ziel während der folgenden Wiederinbetriebnahme eine schwingungstechnische bzw. rotordynamische Bewertung des Pumpenbetriebs vorzunehmen wurde KÖTTER Consulting Engineers mit der Konzeption und Durchführung einer Untersuchung beauftragt. Das Konzept umfasste im wesentlichen drei Schritte:

1. Die Auswahl geeigneter Sensorik für Tief-temperaturenanwendungen.
2. Messtechnische Bestimmung eines Referenzzustandes für die Kreiselpumpe unter Prüfstandbedingungen.
3. Überwachung der Maschine während der Wiederinbetriebnahme in der Anlage mit Flüssigmethan bei -170°C .

Frequenzspektrum der Schwinggeschwindigkeit nach ca. 15 Betriebsstunden – Meßposition am Eintritt der Hydraulikeinheit



Im ersten Schritt wurden nach der Auswahl der geeigneten Sensorik die Beschleunigungssensoren und deren notwendige Kapselung im Labor auf ihre Eignung unter Verwendung von Flüssigstickstoff überprüft.

Gasmarkt – lange nichts gehört?

Das könnte vielleicht daran liegen, dass viele Unklarheiten weiter bestehen! Liberalisierung und Globalisierung – so einfach wie diese Worte sich aussprechen lassen, scheinen die Vorgänge dahinter nicht zu sein.



Aber die Regierung versucht unter Berücksichtigung der EU-Gasrichtlinie aktuell Regelungen zu finden, die zwischen Versorgungssicherheit und Wettbewerb liegen. Ab 1. Juli 2004 wird auf Grundlage der EU-Gasrichtlinie auch der Netzzugang in Deutschland reguliert. Basis hierfür ist ein kompliziertes Netzzugangsmodell. Die deutsche Gaswirtschaft hat dazu an die zukünftige Regulierung klare Anforderungen gestellt. Z.B., dass wirtschaftliche Freiräume weiterhin gewährleistet und Anreize geschaffen werden, um in leistungsfähige Infrastrukturen zu investieren. Wichtig ist auch die Respektierung bestehender Eigentumsrechte an Gas-Netzen. Das dem Bundeswirtschaftsministerium von der deutschen Gaswirtschaft vorgelegte Entry-Exit-Netzzugangsmodell berücksichtigt diese wichtigen Grundlagen.

Vor diesem Hintergrund fand der 2. KÖTTER Workshop Gasmengenmessung statt. Mehr dazu finden Sie in dieser Ausgabe!

Herzlichst Ihr
Erwin W. Kötter

AUS DEM INHALT

- **Minus 170° C ... und sie läuft doch!**
- **Lämminderung an Gasregel- und messstationen**
- **8,5 MW-Generatorstrang, stabil oder instabil?**
- **Defektes Druckventil – Theorie und Praxis**
- **Gasmengenmessung – Methoden, Erfahrungen und Phänomene**
- **Schwingungen in Rohrleitungssystemen**
- **Fortbildung zur Durchflussmesstechnik**

Zur Einschätzung des grundlegenden schwingungstechnischen Betriebsverhaltens der Kreiselpumpe und zur Ermittlung eines Referenzzustandes sind im zweiten Schritt Messungen auf dem Prüfstand des Herstellers beim Betrieb mit Wasser durchgeführt worden. Hierbei wurden auch die relevanten strukturellen Eigenfrequenzen der Kreiselpumpe bestimmt.

Bei der Wiederinbetriebnahme zeigten die Schwingungsmessungen nach dem Start der Kreiselpumpe ein zunächst unauffälliges Schwingungsverhalten. Die Meßsignale waren zu diesem Zeitpunkt qualitativ mit den auf dem Prüfstand ermittelten vergleichbar. Nach etwa 15 Betriebsstunden konnte gleichzeitig mit dem Beginn des Abfalls der Förderhöhe – und damit einem erneuten Schaden – eine drehzahlsynchrone Frequenzkomponente in den Schwingungssignalen festgestellt werden. Diese bildete sich hauptsächlich in der Messebene am Eintritt (Inducer) der Hydraulikeinheit aus. Bei gleichzeitigem Anstieg des breitbandigen Schwingungsniveaus wurde auch die erste mechanische Biegeeigenfrequenz der Hydraulikeinheit angeregt. Insgesamt wurden an den Mess-

positionen an der Hydraulikeinheit innerhalb des Pumpentopfes die Grenzwerte erheblich überschritten. Jedoch blieb das Schwingungsniveau an den Messpositionen außerhalb des Pumpentopfes unterhalb der zulässigen Grenzwerte.

Durch die Analyse der Messsignale konnte belegt werden, dass primär eine auftretende Rotorinstabilität als Schadensursache zu benennen ist. Durch eine dezentrierende Wirkung der Kräfte in den Lager- und/oder Dichtspalten kommt es zu einer Destabilisierung des Rotors und damit zu Schwingungen, die als drehzahlsynchrone Komponenten in den Signalen zu erkennen sind. Als Abhilfemaßnahmen wurden von KÖTTER Consulting Engineers u.a. die folgenden Modifikationen empfohlen:

- a) Verstärkung der Tragfähigkeit der Radiallager.
- b) Reduktion der Umfangsgeschwindigkeit des Fluids innerhalb der Dichtspalte.
- c) Überprüfung der Auslegung des Inducers, evtl. Verzicht auf den Inducer.

Bei der Überarbeitung der Kreiselpumpe durch den Hersteller wurde insbesondere die



Tragfähigkeit des Gleitlagers am Eintritt der Hydraulikeinheit verbessert und auf den Inducer für diesen Einsatzfall der Kreiselpumpe verzichtet.

Die Kreiselpumpe läuft nun doch! Seit ca. 6 Monaten ohne Auffälligkeiten trotz minus 170 °C.

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

Lärminderung an Gasregel- und -messstationen

Beim Neubau einer Gasregel- und Messstation im Freien kann es zu Lärmimmissionsproblemen in der Wohnnachbarschaft kommen. Sinnvollerweise sollte schon die Planung auf Lärmvermeidung ausgerichtet sein. Hierzu bieten sich folgende Ansätze:

1. Auswahl einer lärmarmen Armatur

Erfahrungsgemäß können unterschiedliche Fabrikate bei vergleichbaren Leistungsdaten erhebliche Unterschiede in den Schallemissionen aufweisen (Größenordnung um 10 dB(A)). Dieses Lärminderungspotenzial wird häufig unterschätzt.

2. Berücksichtigung der Schallabstrahlung durch Rohrleitungen

Da die Wandungen angeschlossener Rohrleitungen typischerweise relativ hohe Schalldämmungen aufweisen, kann diese Teilschallquelle im Vergleich zur Armatur leicht als nachrangig angesehen werden. Beachtet man jedoch, dass die Rohrleitungen üblicherweise oberirdisch und in relativ großen Längen verlegt werden, so wird deutlich, dass aus dem Produkt von längenspezifischer

Schalleistung und Gesamtlänge der Rohrleitungen eine Gesamtschalleistung resultieren kann, die deutlich über derjenigen der Armatur liegt. Dann muß effiziente Lärminderung prioritär bei den Rohrleitungen ansetzen.

3. Beschränkung der Schallabstrahlung durch die Rohrleitungen

Hierzu kann als Primärmaßnahme ein geeigneter Rohrleitungsschalldämpfer (Praxisbeispiel s. Abb. 1) unmittelbar hinter der Armatur installiert werden und/oder eine Rohrleitungsisolierung (Praxisbeispiel s. Abb. 2) erfolgen.

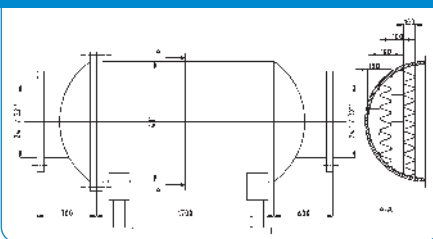
So sollte also nicht „irgendeine“ Armatur vorgesehen und dann aufwendig gekapselt werden. Vielmehr sollte von vornherein eine möglichst lärmarme Ausführung gewählt und die Schallabstrahlung der Rohrleitungen soweit wie erforderlich beschränkt werden.

Dipl.-Ing. Robert Missal
missal@koetter-consulting.com

Alles Wissen und alle Vermehrung unseres Wissens endet nicht mit einem Schlußpunkt, sondern mit einem Fragezeichen

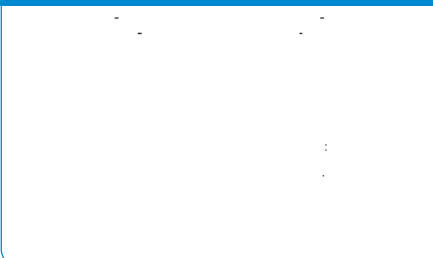
(Hermann Hesse, 1877-1962)

Rohrleitungsschalldämpfer (Praxisbeispiel)



Rohrleitungsisolierung (Praxisbeispiel)

Aufbau: 100 mm Mineralwolle, 1 mm Stahlblech - entdröhnt

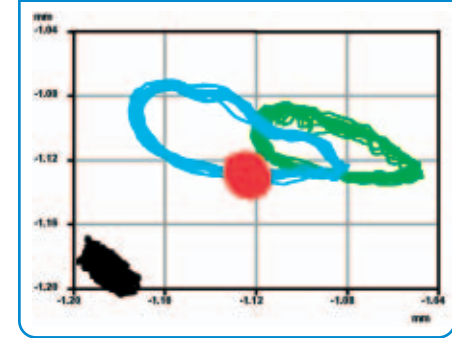


8,5 MW-Generatorstrang, stabil oder instabil?

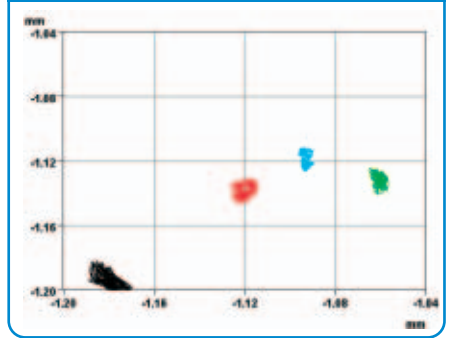
Bei der Inbetriebnahme eines Generatorstranges in Österreich wurden im Teillastbereich stark erhöhte Wellenschwingungen festgestellt, so daß die Abnahme vom Betreiber verweigert wurde. Da die Ursache für die Schwingungserhöhung unbekannt war, wurde KCE mit einer umfassenden meßtechnischen Untersuchung beauftragt. Ausgehend von der Dampfturbine (Nennleistung: 8,5 MW) mit einem Hochdruck- und Niederdruckteil sowie einer festen Betriebsdrehzahl von 12.065 1/min wurde das Drehmoment über ein einstufiges Getriebe mit Ritzel- und Radwelle auf die langsamlaufende Generatorwelle mit 1.500 1/min übertragen. Im Teillastbereich (0,3 MW - 2 MW) wurden am Getriebe erhöhte Lagerbockschwingungen in Höhe von $v_{eff} = 5,2$ mm/s sowie erhöhte Wellenschwingungen an der Ritzelwelle in Höhe von $S_{max} = 95$ µm festgestellt. Die erhöhten Schwingungen traten in erster Linie als subsynchrone Einzelfrequenzen von ca. 60 Hz auf. Zur weiteren Analyse der erhöhten Ritzelwellenschwingung wurden die Orbitdarstellungen des schnelllaufenden Wellenstranges für unterschiedliche Lasten verglichen.

Es zeigten sich an dem Ritzelwellenlager im Teillastbereich bei 2 MW stark erhöhte Amplituden. Die Laufrichtung, mit der die Orbits durchlaufen werden, war gleichlaufend, d. h. mit der Wellendrehrichtung. Die dominierende Schwingungsfrequenz lag bei ca. 1/3 der Drehfrequenz.

Orbitdarstellung der Wellenschwingungen der Turbinen- (schwarz und rot) und Ritzelwelle (blau und grün) bei Teillast – 2 MW



Orbitdarstellung der Wellenschwingungen der Turbinen- (schwarz und rot) und Ritzelwelle (blau und grün) bei Teillast – 4 MW



Der Wirkungsmechanismus dieser erhöhten subsynchronen Wellenschwingung beruht auf dem Auftreten einer Instabilität in Verbindung mit der Biegeeigenfrequenz des schnelllaufenden Stranges (Turbinenwelle). Die Ergebnisse der Untersuchung deuteten auf eine Gleitlagerinstabilität (oil-whip), obwohl die festgestellte subsynchrone Schwingungsfrequenz im untypischen Bereich zwischen dem 0,28- und 0,31-fachen der Drehfrequenz auftrat. Da insbesondere die eingesetzten Gleitlager hinsichtlich des Lagerspiels und der Umfangsgeschwindigkeit im Grenzbereich gefahren wurden, wurde von KCE als Maßnahme eine Modifizierung des Ritzelwellengleitlagersystems empfohlen. Dazu ist das radiale Lagerspiel durch Aufspritzen der Ritzelwelle reduziert worden. Nach dieser Realisierung waren keinerlei Instabilitäten des schnelllaufenden Stranges mehr festzustellen. Im zuvor

benämigten Lastbereich traten nunmehr lediglich radiale Ritzelwellenschwingungen von bis zu $S_{max} = 14$ µm auf, so dass die Anlage dem Betreiber jetzt auch hinsichtlich des Schwingungsverhaltens im „grünen Bereich“ übergeben werden konnte.

Dr.-Ing. Johann Lenz
lenz@koetter-consulting.com

Wir leben in einem gefährlichen Zeitalter. Der Mensch beherrscht die Natur, bevor er gelernt hat, sich selbst zu beherrschen.

(Albert Schweitzer, 1875-1965)

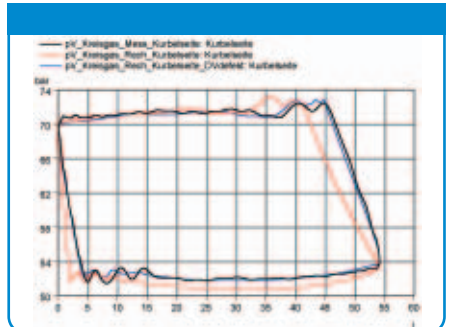
Defektes Druckventil – Theorie und Praxis

Es gibt das Gerücht – oder die Erfahrung –, daß es „gelegentlich“ zu einer Abweichung zwischen einer Berechnung und der Realität kommt. Dem können wir zustimmen! „Gelegentlich“ kommt es jedoch auch zu einer nützlichen Übereinstimmung; so denn auch in dem nachfolgend geschilderten Fall.

An einem Kolbenverdichter kam es zu einem erheblichen Abfall der Fördermenge. Die Ursache hierfür war nicht bekannt, obgleich eine Beschädigung der Ventile vermutet wurde. Leider konnte diese Theorie durch die gemessenen Ventilnest-Temperaturen nicht belegt werden.

Zur gezielten Analyse wurde daher der Zylinderraum-Innendruck (Indizierdruck) gemessen und in ein p-V Diagramm umgerechnet (siehe Abb.). Parallel wurde ein theoretisches p-V Diagramm für den Zylinder mittels eines Charakteristiken-Verfahrens unter Berücksichtigung der zeitlich veränderlichen Zylinderraum-Geometrie sowie der Ventile, Gaspassagen etc. berechnet, wobei zunächst von intakten Ventilen ausgegangen wurde. Es zeigten sich erhebliche Abweichungen gegenüber der Messung, die auf ein defektes Druckventil als Ursache für den Fördermengenverlust hindeuteten. Zur Verifikation dieser These wurde eine erneute Berechnung durchgeführt, bei der in dem numerischen Modell ein defektes Druckventil simuliert wurde. Das gemessene p-V Diagramm konnte auf diese Weise in guter Übereinstimmung mit der Theorie nachvollzogen werden. Durch das in den Zylinder zurückströmende Gas der Förderseite wird die Kompressionslinie steiler und die Expansionslinie flacher. Gleichzeitig verläuft die Ansauglinie flacher. Die so theoretisch analysierte Ursache für den Fördermengenverlust wurde durch die Praxis

bestätigt. Die angebauten Ventile zeigten erhebliche Ausdrücke. Eine gute Theorie ist eben „gelegentlich“ doch ein hilfreicher Ratgeber.



bestätigt. Die angebauten Ventile zeigten erhebliche Ausdrücke. Eine gute Theorie ist eben „gelegentlich“ doch ein hilfreicher Ratgeber.

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

Gasmengenmessung – Methoden, Erfahrungen und Phänomene

2. KÖTTER-Workshop Gasmengenmessung 2004 am 10. und 11. März

Die Zeit war um! Zwei Jahre sind vergangen seit der erste Workshop Gasmengenmessung stattfand. Der in diesem Rhythmus geplante Workshop wurde nun erneut am 10. und 11. März 2004 im Oktogon KÖTTER Consulting Engineers durchgeführt. Wie schon bei der ersten Veranstaltung waren rund 100 Teilnehmer zu dieser zweitägigen Fachtagung gekommen, die in engem Kontakt mit den Spezialisten des Hauses KÖTTER brennende Problemfelder diskutierten.

Die Liberalisierung und Globalisierung des Gasmarktes hat nach allgemeiner Meinung in der Praxis noch nicht vollständig stattgefunden. Technisch jedoch ist die Ausrichtung bereits deutlich zu spüren. Viele Chemieparks haben sich mittlerweile in eine Vielzahl kleinerer Projektcenter gesplittet. Dies führte zu vermehrtem Bedarf an abrechnungsrelevanten Gasmengenmessstellen, für die die richtigen Messeinrichtungen ausgewählt werden mussten. Verlässliche Methoden und Geräte,

so zeigte sich, gibt es genügend. Über das Anforderungsprofil und die Vor- und Nachteile verschiedener Geräte sowie über die verschiedenen Einsatz-Erfahrungen wurde auf dem Workshop Gasmengenmessung berichtet. Auch zu möglichen Fehlerquellen, Störungen und physikalischen, strömungstechnischen Phänomenen, die auf die Messgenauigkeit Einfluss haben, gab es Fachbeiträge. Die Workshop-Teilnehmer erhielten vielfältige Anregungen für Arbeitsgespräche, sie hatten neben Fachvorträgen auch Gelegenheit die begleitende Ausstellung mit verschiedenen Produktpräsentationen zu besuchen. Außerdem wurden in unseren Laborwerkstätten interessante Versuche zur Gasmengenmessung und zu akustischen Erscheinungen gezeigt.

Martina Brockmann
brockmann@koetter-consulting.com

Workshop Gasmengenmessung 2004



8. Workshop Kolbenverdichter 2004

am 27./28. Oktober

„Low-Cost und High-Tech“ – Herausforderung + Chancen

Jetzt Vorträge einreichen!!!

KÖTTER Consulting Engineers
Bonifatiusstraße 400 · 48431 Rheine

Tel. 05971-9710.65

Fax 05971-9710.43

Ihre Ansprechpartnerin:
Martina Brockmann

Fortbildung zur Durchflussmesstechnik – 14. September 2004

In der eintägigen sehr praxisnahen Veranstaltung erarbeiten sich die Teilnehmer herstellerneutral wichtige Details für Planung, Installation und Instandhaltung von Mengeneinrichtungen. Unter anderem über Auswahl und Anordnung der richtigen Messtechnik, häufige Fehler in der Planung, Realisierung im Betrieb, mögliche Ursachen von Mengen-

messfehlern. Ebenso auch über Einflüsse der Anlagen- und Verfahrenstechnik und situationsabhängige Sanierungsmöglichkeiten.

Jetzt anmelden! – Nutzen Sie dazu den beiliegenden Coupon oder rufen Sie an, unter Tel. 05971-9710.65, Martina Brockmann.

Schwingungen in Rohrleitungssystemen

Nun ist es endlich soweit. Nachdem im September 2002 der Entwurf der VDI 3842 „Schwingungen in Rohrleitungssystemen“ der Öffentlichkeit vorgestellt wurde, erschien bereits im März diesen Jahres der Weißdruck dieser Richtlinie. Den Planern und Betreibern

von Rohrleitungen wird damit ein umfassendes Werk zur Verfügung gestellt, in dem die Berechnung, Messung, Beurteilung und Minderung von Rohrleitungsschwingungen ausführlich beschrieben wird.

+++ IT-OUTSOURCING +++

IT-Outsourcing hat Konjunktur, nicht nur in den USA. Bislang war Outsourcing im wesentlichen beschränkt auf Programmierung und Callcenter. Vor dem Hintergrund der enormen Kosten, welche die IT in den verschiedenen Industrien verschlingt, wird nicht nur zunehmend auf Low-Cost Infrastrukturen gesetzt, sondern es werden immer weitere Bereiche ausgelagert, mitunter auch sehr sensible Daten und

Prozesse. Neben den damit einhergehenden Sicherheitsbedenken und Sorgen um Abhängigkeiten, wird 2004 mit einer Diskussion über die damit verbundenen Arbeitsplätze aufkommen, insbesondere in den USA, da dort gewählt wird. Die dortigen Programmierer und Ingenieure stehen nun nicht mehr nur im Wettbewerb mit indischen Kollegen, der Wettbewerb kommt nun zunehmend auch aus China.



Rheine

Bonifatiusstraße 400 • 48432 Rheine
Tel. 0 59 71-9710.0 • Fax 0 59 71-9710.43
e-mail: info@koetter-consulting.com

Dresden GmbH

Radeburger Straße 124 • 01109 Dresden
Tel. 03 51-8 1162.0 • Fax 03 51-8 1162.10
e-mail: info@kbi-dresden.com

Berlin GmbH

Balzerstraße 43 • 12683 Berlin
Tel. 0 30-5 26788.0 • Fax 0 30-5 43 60.16
e-mail: berlin@koetter-consulting.com

www.koetter-consulting.com