

## KCE feiert 40-jähriges Firmenjubiläum.



Anlässlich der Gründung von KÖTTER Consulting Engineers am 01.07.1978, waren alle Mitarbeiter in diesem Jahr zum 40-jährigen Firmenjubiläum nach Hamburg eingeladen.

Das abwechslungsreiche Programm bot den Kolleginnen und Kollegen aus Rheine und Berlin zahlreiche Gelegenheiten, sich auszutauschen. Natürlich durfte auch ein Ausflug mit akustischem Hintergrund nicht fehlen, der durch einen Besuch der Elbphilharmonie in die Tat umgesetzt wurde.

Weitere Nachrichten, Termine und Projekte finden Sie auf den folgenden Seiten.

## Inhalt

### ■ Mechanische Schwingungen von Mantelrohrkühlern.

### ■ Probleme nach der Revision an einem NH<sub>3</sub> Verdichter.

### ■ Ungewöhnliche Wellenschwingungssignale an einem Verdichter.

### ■ Nachrichten im Überblick: Schwingungen und Pulsationen in LDPE-Anlagen · NEU: Seminar zum Spezialthema LDPE-Anlagen · NEU: KCE-Web-Konferenzen · Infobroschüre „Schall- & Schwingungen in chemischen Anlagen“ · KCE-Veranstaltungen 2018

## Mechanische Schwingungen von Mantelrohrkühlern.

Für die Herstellung von Kunststoffgranulaten auf Basis von Ethylen sind in Abhängigkeit der gewünschten Produkteigenschaften zum Teil extreme Drücke von bis zu 3.000 bar erforderlich. Hierzu werden mehrstufige Kolbenverdichter eingesetzt. Die Zwischenkühlung erfolgt dabei bis zu Drücken von 275 bar meist in Rohrbündelwärmetauschern; darüber hinaus kommen Mantelrohrkühler zum Einsatz. Diese Kühlrohre selbst sind mehrere Hundert Meter lang und werden auf Ständerwerken gelagert.

Aufgrund ihrer Geometrie liegen die Resonanzfrequenzen dieser Bauteile üblicherweise im direkten Anregungsbereich der langsam laufenden Kolbenverdichter. Die Abbildung zeigt exemplarisch einen Mantelrohrkühler und drei seiner Eigenschwingungsformen.

berührungslose Erfassung der Schwingungen über eine Distanz von bis zu 300 m und damit auch außerhalb einer potentiell im Bereich der Kühler eingerichteten EX-Zone, die im Verdichterbetrieb nicht betreten werden darf. In Kombination mit einer nicht-invasiven Messung

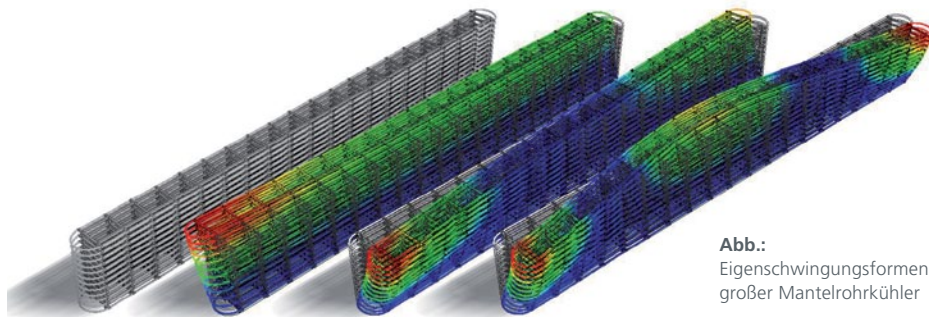


Abb.:  
Eigenschwingungsformen großer Mantelrohrkühler

Typische Schäden an diesen Elementen sind gelöste oder gerissene Schraubverbindungen des Ständerwerkes, Leckagen des Kühlwassermantels oder Risse in den Stahlträgern der Unterkonstruktion. In diesen Fällen ist es naheliegend, eine erhöhte Schwingungsbeanspruchung zu vermuten. Für die finale Klärung der Ursache ist jedoch eine genaue Analyse erforderlich, um die mögliche Anregung durch den pulsierenden Gasstrom des Kolbenverdichters im Zusammenspiel mit möglichen akustischen und mechanischen Resonanzen nachzuweisen.

der Druckpulsationen und einem vereinfachten numerischen Modell der Rohrleitungakustik lässt sich eine umfassende Analyse der Ursache durchführen.

Im Rahmen verschiedener aktueller Projekte konnten wir erhöhte Schwingungen auf mechanische Resonanzen zurückführen und durch gezielte Modifikationen eine wirkungsvolle Verstimmung der dynamischen Eigenschaften erreichen. Gerne arbeiten wir auch mit Ihnen an der schwingungstechnischen Optimierung ihrer Anlagen.

Als ein sehr wirkungsvolles Werkzeug hat sich hierbei die messtechnische Untersuchung mit Hilfe eines speziellen Lasers erwiesen. Dieser „Sensor“ erlaubt die



Dr.-Ing. Christian Jansen  
Telefon: +49 5971 9710-30  
c.jansen@koetter-consulting.com

# Probleme nach der Revision an einem NH3 Verdichter.

In einer chemischen Anlage wurden in den 60er Jahren insgesamt 6 baugleiche, Kolbenverdichter zur Verdichtung von Ethylen installiert (Antriebsleistung 1.300 kW, Drehzahl 329 U/min). Die 3-stufigen, 4-zylindrigen Verdichter in Boxer-Ausführung (doppelt wirkend) wurden im Laufe der Jahre mehrfach modifiziert. So wurden unter anderem die Verdichter auf eine 2-stufige Verdichtung von Ammoniak umgebaut.

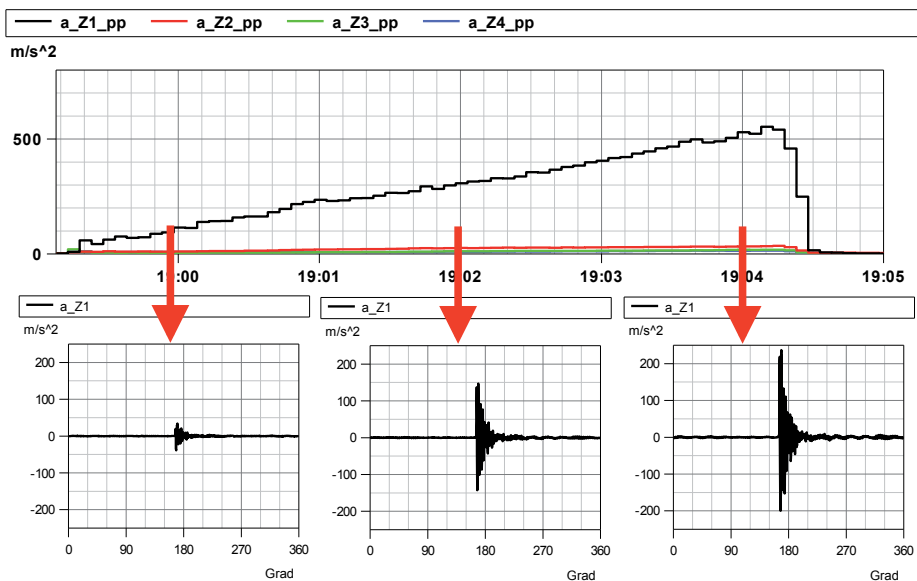
Trotz des Umbaus entsprachen die Verdichter nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik, da unter anderem die Leckagemengen deutlich zu groß waren. Durch eine Revision an den Verdichtern sollte daher die Dichtigkeit und die Schwingungssituation auf den aktuellen Stand der Technik verbessert werden.

Bei den ersten Probeläufen ohne Last nach der Revision mit einer Minute und fünf Minuten Laufzeit wurden zunächst keine Auffälligkeiten festgestellt. Als jedoch bei dem Probelauf mit einer Laufzeit von über 10 Minuten der Verdichter aufgrund erhöhter Schwingungen ausfiel und eine Ortung der Quelle aufgrund der

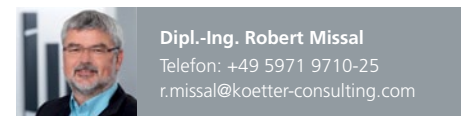
begrenzten Laufzeit bis zur Abschaltung nicht möglich war, wurde zur Ursachenanalyse eine umfangreiche messtechnische Analyse durch KÖTTER Consulting Engineers beauftragt.

Zur Lokalisierung des Bauteils, welches für die Klopfgeräusche und erhöhten Schwingungen verantwortlich ist, wurden an den Zylindern und Kreuzkopfbahnen Schwingungssensoren installiert. Zusätzlich wurde eine OT-Markierung einmal pro Umdrehung erfasst. Alle Messdaten wurden auf einem mehrkanaligen Messwerterfassungssystem zeitsynchron mit hoher Abtastrate aufgezeichnet (Abbildung 1).

Durch die zeitsynchrone Messung an unterschiedlichen Messpunkten konnte der Entstehungsort der bemängelten Geräusche schnell lokalisiert werden. Werden die gemessenen Signale über dem Kurbelwinkel dargestellt, kann darüber hinaus der Zeitpunkt mit dem starken Anstieg des zum Klopfgeräusch korrelierenden Beschleunigungssignals der OT Position des Kolbens auf der Deckelseite des Zylinders Z1 zugeordnet werden. Durch die Erwärmung des Verdichters dehnt sich offensichtlich die Kolbenstange stärker aus als das Gehäuse und es kommt zu einem Anschlag des Zylinders Z1 im OT. Durch eine Vergrößerung des deckelseitigen Totraumes konnten die Spiele so eingestellt werden, dass auch im betriebswarmen Zustand keine Klopfgeräusche mehr auftraten.



**Abb. 1:** 5 Sekunden Spitze-Spitze-Wert der Beschleunigung an den 4 Zylindern (s. oberes Diagramm) und Verlauf der Schwingbeschleunigung an dem Zylinder Z1 über den Kurbelwinkel zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten (s. die unteren drei Diagramme)



## Schwingungen und Pulsationen in LDPE-Anlagen.

Im Juni haben wir gleich an zwei Veranstaltungen teilgenommen – dem 6. LDPE Symposium von Burckhardt Compression in Xi'an, China und der 13. Uhde LDPE Plant Improvement Conference in Bangkok, Thailand. Dort hatten wir die Gelegenheit, den teilnehmenden Experten zwei technische Vorträge zu präsentieren. Zum einen wurden die speziellen Herausforderungen

hinsichtlich der „**Vibration and pulsation optimization of LDPE plants**“ vorgestellt, zum anderen berichteten wir über „**Contactless measurement and assessment of vibrations at tubular LDPE reactors in bunkered installations**“.

Für diesen Vortrag erhielt unser Referent Herr Dr.-Ing. Christian Jansen den „Best Paper Award“ in der Kategorie „Supplier“.



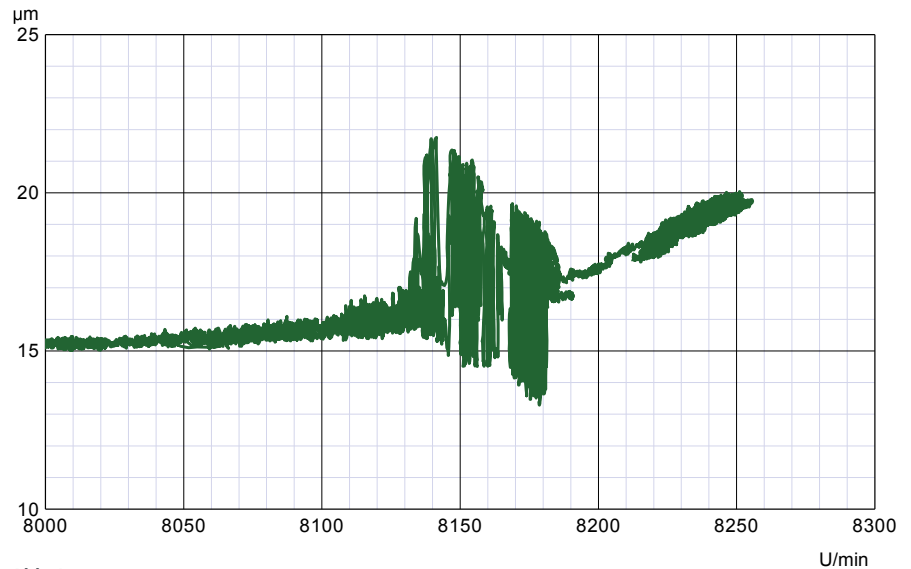
# Ungewöhnliche Wellenschwingungssignale an einem Verdichter.

Die Diagnose von Wellenschwingungssignalen ist seit Jahrzehnten ein bewährtes Mittel zur Beurteilung von hochbelasteten Gleitlagern an rotierenden Maschinen. In dem vorliegenden Fall betreibt eine Raffinerie einen Prozessgas-Turboverdichter im Drehzahlbereich zwischen 7.000 und 8.700  $\text{min}^{-1}$  mit einem sehr auffälligen Schwingungsverhalten.

Die vorhandene Wellenschwingungsmessung zeigte an einem der beiden Gleitlager der HD-Stufe in einem ganz bestimmten Drehzahlbereich sprunghafte Änderungen des Spitze-Spitze-Wertes an beiden um  $90^\circ$  versetzten Sensoren (Abbildung 1). Unterhalb von  $8.130 \text{ min}^{-1}$  und oberhalb von  $8.185 \text{ min}^{-1}$  sind die Werte relativ konstant, in dem kleinen Bereich dazwischen springen die Schwingungswerte. Dieses Phänomen war beliebig reproduzierbar. Insgesamt lagen die Wellenschwingungswerte mit maximal  $22,8 \mu\text{m}$  (S-S) im zulässigen Bereich. Die DIN ISO 7919 gibt für uneingeschränkten Dauerbetrieb einen Grenzwert von  $96 \mu\text{m}$  (S-S). Da aber nicht ausgeschlossen werden konnte, dass es sich um einen sich anbahnenden Schaden handelt, wurden von KÖTTER Consulting Engineers umfassende Messungen und Analysen durchgeführt, zumal die Lagertemperatur an einem Lager schon etwas höher lag als am zweiten Lager.

Die Auswertung des Schwingungsortbit, d.h. der Bewegung der Wellen um die Mittelachse, ergab zunächst keine eindeutige Information, da dieser offensichtlich durch Runout-Effekte, sog. Unrundheiten der Wellenoberfläche, gestört war.

Die Amplitudenspektren der Wellenschwingungssignale (Abbildung 2) zeigten



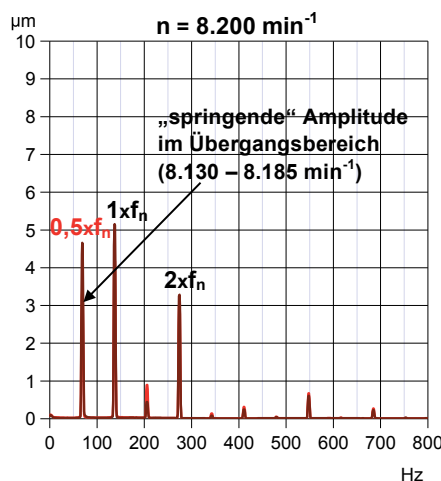
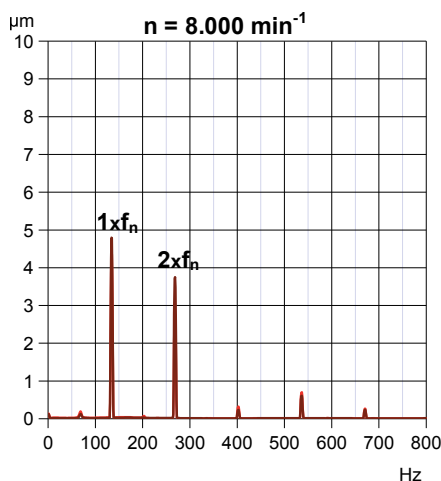
**Abb. 1:** Darstellung des Spitze-Spitze-Wertes eines Wellenschwingungssignals der HD-Stufe über der Drehzahl

unterhalb von  $8.130 \text{ min}^{-1}$  Schwingungskomponenten der Drehfrequenz sowie deren Harmonische (Restunwucht und Runout). Oberhalb dieser Drehzahl trat jedoch eine Schwingungskomponente bei halber Drehfrequenz auf, die bis zu einer Drehzahl von  $8.185 \text{ min}^{-1}$  anwesend war und wieder verschwand, allerdings oberhalb von  $8.185 \text{ min}^{-1}$  immer vorhanden war. Dieses führt zu dem in Abbildung 1 dargestellten Verhalten. Die Analyse zeigte, dass diese zusätzliche Schwingungskomponente exakt und

phasenstarr bei halber Drehzahl lag. Dieses Phänomen kann dann auftreten, wenn z.B. das Lagerspiel nicht korrekt ist und sich gleichzeitig eine Biegeeigenfrequenz in der Nähe der halben Drehzahl befindet. Laut Typenschild liegt die 1. Biegeeigenfrequenz bei  $4.250 \text{ min}^{-1}$ , direkt benachbart mit 4,5% zur halben Drehzahlfrequenz.

Auf unsere Empfehlung hin wurde daher zum nächsten planmäßigen Stillstand das Lager geöffnet und ein zu kleines Lagerspiel entdeckt (falsch gewählte Lagerschalen). Nach der Korrektur wurde der Wellenstrang wieder angefahren und läuft seitdem ohne die sprunghaft schwankende Schwingungssignale einwandfrei.

**Abb. 2:** Amplitudenspektren der Wellenschwingungssignale bei unterschiedlichen Drehzahlen



Dipl.-Ing. Franz-Josef Düttmann  
Telefon: +49 5971 9710-26  
fj.duettmann@koetter-consulting.com



## NEU: Seminar zum Spezialthema LDPE-Anlagen

Am 26. und 27. Juni 2019 bieten wir in Rheine das englisch-sprachige Seminar „Vibrations & Pulsations in LDPE Plants“ an. Unter der Leitung von Herrn Dr.-Ing. Christian Jansen und Herrn Dr.-Ing. Jan Steinhausen werden die folgenden Schwerpunkte behandelt: Theoretical Basis, Equipment Specific Vibration Issues, Assessment, Mitigation Measures und Case Studies.

Mehr Informationen unter: <https://koetter-consulting.com/seminar-ldpe-plants/>

## NEU: KCE-Web-Konferenzen

Anlässlich immer wieder auftretender Schwingungsprobleme in chemischen Anlagen bieten wir eine Reihe von Web-Konferenzen an, in denen konkrete Fallbeispiele aus der Praxis vorgestellt werden. Hierbei werden Ursache, Wirkung und Sanierungsmöglichkeiten vorgestellt.

Die Teilnahme an den Konferenzen ist kostenfrei und erfolgt über Webex. Nach unserer erfolgreichen Auftaktveranstaltung zum Thema „Schwingungsprobleme bei der Inbetriebnahme eines Getriebeturboverdichters“ sowie „Der neue Schwingungstilger MAGIC TUBE – Funktionsweise und Projektbeispiele“ finden Sie nun die weiteren Themen und Termine unter <https://koetter-consulting.com/web-konferenz/>

### Nächste Web-Konferenz:

Donnerstag, 29. November, 10.00 Uhr  
Thema: Schwingungen an GDRM-Anlagen  
Referent: Dr.-Ing. Johann Lenz

## KCE-Veranstaltungen 2018

■ **Seminar Schwingungen und Pulsationen in Kolbenkompressoranlagen**  
15. November 2018  
Referent: Dr.-Ing. Jan Steinhausen



■ **Seminar Technische Akustik**  
20. November 2018  
Referent: Dipl.-Ing. Robert Missal



**JETZT ANMELDEN!**  
[www.koetter-consulting.com](http://www.koetter-consulting.com)

## Infobroschüre „Schall und Schwingungen in chemischen Anlagen“

Welche Effekte aus dem Bereich der Schall- und Schwingungstechnik treten typischerweise in chemischen Anlagen auf? Welche Maßnahmen können in der Planungsphase ergriffen werden und welche Lösungsmöglichkeiten gibt es bei Umbauten oder Bestandsanlagen?

**Verschaffen Sie sich einen Überblick und bestellen Sie unsere kostenfreie Infobroschüre.** Senden Sie dazu eine E-Mail mit Ihrer Postanschrift an [nyhuis@koetter-consulting.com](mailto:nyhuis@koetter-consulting.com).



Illustration: VCI

KÖTTER Consulting Engineers GmbH & Co. KG  
Bonifatiusstraße 400 · 48432 Rheine  
Telefon: +49 5971 9710-0 · Telefax: +49 5971 9710-43  
[rheine@koetter-consulting.com](mailto:rheine@koetter-consulting.com)

KÖTTER Consulting Engineers Berlin GmbH  
Balzerstraße 43 · 12683 Berlin  
Telefon: +49 30 526788-0 · Telefax: +49 30 5436016  
[berlin@koetter-consulting.com](mailto:berlin@koetter-consulting.com)

[www.koetter-consulting.com](http://www.koetter-consulting.com)