

Bestens gerüstet für die Zukunft.



Durch den Einsatz innovativer Technik erweitert KÖTTER die Möglichkeiten bei der Erkennung und Erfassung, aber auch

bei der Sanierung von Schwingungsproblemen.

- Mithilfe unserer speziellen Kamera lassen sich Betriebsschwingungen visualisieren und Schwachstellen im System orten, die dann mit gezielten Detailmessungen beurteilt und saniert werden können.
- Unser Laservibrometer ermöglicht über eine Strecke bis zu 400 m präzise Messungen in Gefahrenbereichen, Höhen oder an extremen Oberflächentemperaturen, wo konventionelle Messtechnik an ihre Grenzen stößt.
- Mit dem Magic Tube wurde in unserem Hause ein neuer zweidimensionaler Schwingungstilger entwickelt. Der universelle Aufbau ermöglicht es, vorgefundene Schwingungsprobleme bereits während der messtechnischen Untersuchung zu lösen.

Mehr Informationen zu den Vorteilen und Einsatzmöglichkeiten finden Sie auf den folgenden Seiten.

Ihr Dr.-Ing. Johann Lenz

Inhalt

- **Erfolgreiche Schwingungsanalyse an einer 200 MW Pumpturbine in Luxemburg.**
- **Schwingungsmessung mit über 2 Mio. Messpunkten.**
- **Reduktion von Brennkammerpulsation.**
- **Mit dem Magic Tube Schwingungsprobleme „On-site“ lösen!**
- **Kopplungseffekte bei Parallelbetrieb von Kühlwasserpumpen.**
- **Das Unmögliche messen.**

Erfolgreiche Schwingungsanalyse an einer 200 MW Pumpturbine in Luxemburg.

Im Kraftwerk Vianden in Luxemburg wird zur Speicherung von Überschussenergie bzw. zur Erzeugung von Spitzenstrom ein Pumpspeicherkraftwerk der SEO mit einer Gesamtleistung von 1.300 MW betrieben. Zur Inbetriebnahme der Maschine 11 (M11) Ende 2014 reiste unser damaliger Bundespräsident Joachim Gauck im Rahmen eines Staatsbesuches an, um mit dem Großherzog Henri von Luxemburg mit einem gemeinsamen Knopfdruck die Maschine 11 in Betrieb zu setzen.

Die M11 ist mit einer Francisturbine (Durchmesser 4,3 m) ausgestattet und kann mit einem Nenndurchfluss von 78.200 l/s bei einer Turbinenleistung von 197 MW und einer Pumpleistung von 196 MW betrieben werden. Im Turbinenbetrieb tritt seit der Erstinbetriebnahme eine markante 150 Hz Axialschwingung auf, die im Gebäudekomplex der unterirdischen Kaverne als Einzelton markant wahrnehmbar ist.

1 mm, brachten nicht den erhofften Erfolg. Um sicherzustellen, dass die unklare Situation sich nicht verschlechtert, wurde KCE beauftragt, regelmäßige Kontrollmessungen („Fingerprint-Messungen“) durchzuführen.

Zusätzlich wurden wir angefragt, unabhängig von den bisherigen Gutachten, eine Ursachenanalyse vorzunehmen. Dazu sind mehrere Messreihen bei ver-



Abb. 1: Druckrohrleitung der M11 nach Fertigstellung der Oberflächenbeschichtung

Zur Ursachenfindung wurden verschiedene, internationale Gutachter speziell für diesen Maschinentyp kontaktiert. Die erarbeiteten und vorgeschlagenen Maßnahmen, u.a. Tiefsetzen des Laufrades um

schiedenen Betriebsbedingungen sowie akustische Simulationsrechnungen durch-

geführt worden. Zuerst bestand aufgrund hoher Druckpulsationen oberhalb des Laufrads der Verdacht, dass ein entscheidender Mechanismus durch die Akustik der Deckelentlastungsleitung verstärkt wird. Durch einen einfachen Verschluss bei zwei der vier Deckelleitungen wurde in einem Versuch festgestellt, dass dieser Einfluss keine Rolle spielt.

Auf Basis erweiterter Analysemethoden und akustischer Simulationen konnte anschließend eine akustische Verstärkung über einen Helmholtz-Resonator identifiziert werden. Dieser setzt sich aus dem Nabenhohlraum des Laufrades und anliegenden Entlüftungsbohrungen zusammen. Ähnlich wie bei dem Beispiel einer überblasenden Flasche kommt es dann bei Drehung des Laufrades zu einer Anregung.

Zum Nachweis dieser These wurde gezielt Druckluft bei Turbinenbetrieb der Anlage in das Laufrad aufgegeben, um so die mediumabhängige Schallgeschwindigkeit zu beeinflussen und die entscheidenden Bedingungen, die zur akustischen Resonanz führen, aufzuheben.

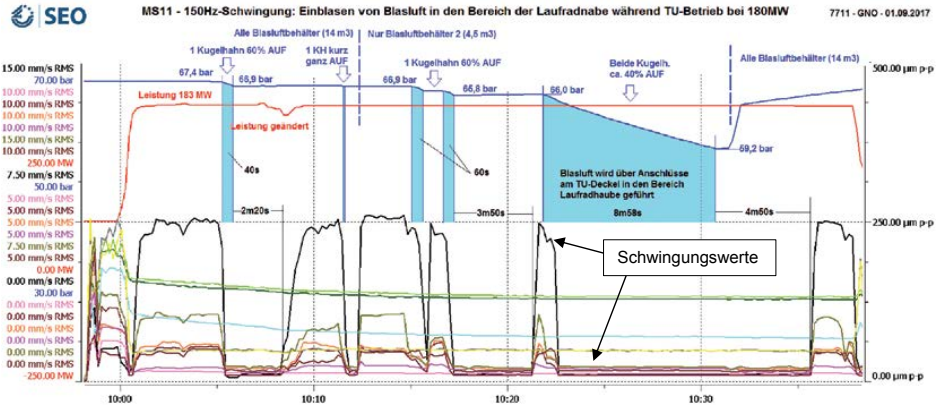


Abb. 2: Prozessleitdaten zum wiederholten Einblasen von Druckluft in den Bereich der Laufradnabe (Quelle: SEO)

Nach einer Einblaszeit von ca. 20 Sekunden war das Schwinggeräusch nicht mehr wahrnehmbar. Der Versuch wurde direkt vom Betreiber mit dem bestehenden Schwingungsüberwachungssystem für verschiedene Bedingungen wiederholt durchgeführt. Das Ergebnis ist in Abbildung 2 dokumentiert.

Es zeigt sich eindrucksvoll, wie die Schwingungen komplett verschwinden und dann nach einiger Verweilzeit ohne weiteres Einblasen wieder auftreten. Im nächsten Schritt ist jetzt zu prüfen, ob

neben der vorgestellten Maßnahme auch konstruktive Änderungen zum direkten Erfolg führen.

Dr.-Ing. Johann Lenz
 Telefon: +49 5971 9710-47
 j.lenz@koetter-consulting.com

M.Sc. Patrick Tetenborg
 Telefon: +49 5971 9710-46
 p.tetenborg@koetter-consulting.com

Schwingungsmessung mit über 2 Mio. Messpunkten.

Mit Hilfe einer Spezialkamera, die über eine optische Auflösung von maximal 1920 x 1080 Bildpunkten verfügt, ist es möglich, Schwingungen sichtbar zu machen. Hierfür wird zuerst ein kurzer Film der schwingenden Struktur aufge-

zeichnet. Anschließend wird mit Hilfe eines speziellen Algorithmus die Änderung der Lichtintensität jedes Pixels in eine Bewegung umgerechnet. Im Rahmen der Analyse kann die berechnete Bewegung verstärkt und zeitlich gedehnt dargestellt

werden. Ist die Bewegung der Struktur bekannt, kann im nächsten Schritt durch die Installation von herkömmlichen Schwingungssensoren die Höhe der Schwingungen an den kritischen Positionen exakt ermittelt und für eine Beurteilung der Situation genutzt werden.

Damit Sie sich ein Bild von der Leistungsfähigkeit unserer neuen Messtechnik machen können, haben wir unter folgendem Link einen kurzen Film eines schwingenden Kolbenverdichters bereitgestellt.

www.koetter-consulting.com/optische-schwingungsmessung

Gerne unterstützen wir Sie bei der Analyse und Lösung Ihrer „Schwingungsprobleme“.

Dipl.-Ing. Robert Missal
 Telefon: +49 5971 9710-25
 r.missal@koetter-consulting.com



Abb. 1: Viele Augen sehen mehr als zwei. Facettenaugen von Insekten dienen als Vorbild für High-Tech-Kameras

Reduktion von Brennkammerpulsation.

Um die strenger werdenden Emissionsrichtwerte einzuhalten, können die Brenner von Gasturbinen auf einen sogenannten Vormischbetrieb umgerüstet werden. Die Reaktionsgeschwindigkeit dieser kinetischen Verbrennung reagiert auf Druckschwankungen und bildet unter bestimmten Umständen ein sich selbst verstärkendes System.

Im Rahmen eines umfassenden Modernisierungsprogramms für eine alte Gasturbine in einer Erdgasfernleitungsstation wurde der Brenner modifiziert. Bei der Wiederinbetriebnahme wurden auffällige Schwingungen durch die Schwingungsüberwachung der Gasturbine angezeigt.

Durch eine messtechnische Untersuchung konnte deutlich gemacht werden, dass die Schwingungen durch Druckpulsationen im Flammrohr hervorgerufen werden. Auf Basis der Messdaten wurde daraufhin ein akustisches Modell des Flammrohrs

abgestimmt und analysiert. Damit konnte gezeigt werden, dass bei Vormischbetrieb eine stehende Welle im Brennröhre angeregt wird (siehe Abb. 1). Durch diese akustische Resonanz wurden dabei Pulsationswerte erreicht, die unter bestimmten Betriebsbedingungen die üblichen Orientierungswerte erreichen (siehe Abb. 2).

Um die Situation zu verbessern, wurde in Abstimmung mit dem Betreiber der Anlage eine Optimierung zur Stabilisierung der Flamme unternommen: Zu diesem Zweck wurde das Luftverhältnis so angepasst,

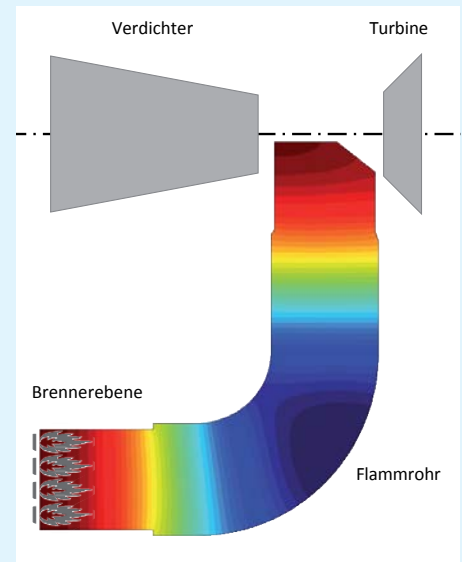


Abb. 1:
Eigenform der Druckschwankungen einer stehenden Welle im Flammrohr zwischen der Brennebene und Turbine

dass bei Einhaltung der zulässigen Emissionen von Stickoxid minimale Druckschwankungen erreicht wurden. Auf diese Weise konnte die dynamische Belastung der Anlage ohne eine weitere konstruktive Anpassung um 20% verringert werden.

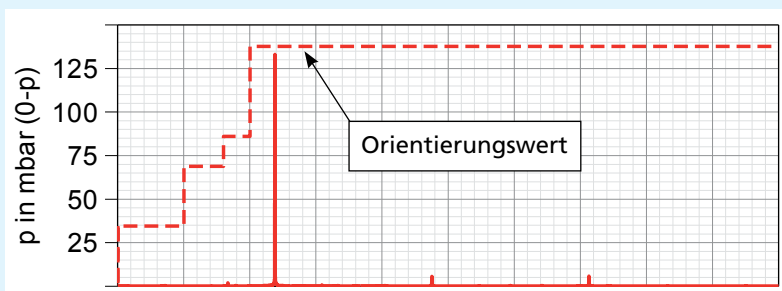


Abb. 2:
Druckpulsationen im Flammrohr im Vergleich mit Orientierungswerten



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

21. Workshop Kolbenverdichter 2017.

Am 18. und 19. Oktober trafen sich zahlreiche Unternehmen aus der Öl- und Gasbranche, dem Maschinen- und Anlagenbau, der chemischen Industrie sowie Hochschulen und wissenschaftliche Institute zum Workshop Kolbenverdichter bei KÖTTER Consulting Engineers (KCE) in Rheine.

Das Anliegen von KCE, eine neutrale Plattform für den offenen Austausch zwischen Betreibern, Herstellern und Serviceunternehmen anzubieten, wurde auch in diesem Jahr wieder von zahlreichen Besuchern gut angenommen. Durch ein abwechslungsreiches Workshop-Programm – bestehend aus Fachvorträgen, Versuchsvorführungen und Fachaustellung – sowie einem attraktivem Rahmen-

programm ergaben sich für die Teilnehmer immer wieder Gelegenheiten, die bestehenden Kontakte zu pflegen und das persönliche Netzwerk zu erweitern.

An dieser Stelle möchten wir schon auf den **22. Workshop Kolbenverdichter am 24. und 25. Oktober 2018** hinweisen. Wer bereits eine Idee für einen Vortrag im nächsten Jahr hat, kann diese bei



Abb.:
Versuchsvorführung des patentierten Magic Tube durch Patrick Tetenborg, M.Sc. und Milena Bavaresco, B.Sc., Masterarbeitsstudentin von der Federal University of Paraná, Brasilien

KCE einreichen. Ob innovative Ideen bei der Konstruktion oder beim Betrieb von Kolbenverdichtern, erfolgreiche Behebung von Schäden oder Problemen, Erfahrungen mit neuen Instandhaltungskonzepten, Dokumentation, Digitalisierung, etc... Auf diese Weise kann jeder seine Expertise mit einbringen.

Mit dem Magic Tube Schwingungsprobleme „On-site“ lösen!

In der Industrie treten oft erhöhte Schwingungen an Maschinen, Pumpen, Kompressoren oder Turbinen und häufig auch am angeschlossenen Rohrleitungssystem auf. Diese Schwingungen können unterschiedlichste Ursachen haben. Meist sind strukturdynamische Resonanzeffekte einer der verantwortlichen Mechanismen. Resonanzen treten dann auf, wenn ein schwingungsfähiges System in seiner Eigenfrequenz angeregt wird. Häufig reicht bereits eine geringe Anregung – wie z. B. durch Pulsationen in der Rohrleitung – aus, um kritische dynamische Belastungen der Struktur hervorzurufen.

Eine mögliche Maßnahme zur Behebung von Resonanzproblemen ist die Verstimmung des Systems. Dabei wird die Eigenfrequenz z. B. durch eine zusätzliche Versteifung verschoben. Für eine effektive Wirkung müssen diese Maßnahmen jedoch individuell geplant, gefertigt und installiert werden. Das kostet Zeit und kann bei kritischen Anlagenzuständen zu Produktionsausfällen und hohen Kosten führen.

Diesen Zeit- und Kostenfaktor hat KCE als Herausforderung aufgefasst, um für unsere Kunden eine kurzfristig – also noch während der messtechnischen Untersuchung – einsetzbare Lösung zu entwickeln: Der Magic Tube ist ein variabler, zweidimensional wirkender Schwingungstilger, der universell vor Ort konfiguriert werden kann (siehe Abbildung 1). Eine typische Anwendung stellen resonanzbedingte Schwingungsüberhöhungen an Rohrleitungen dar, wo insbesondere die zweidimensionale Wirkweise zum Tragen kommt. Als

weiterer Einsatzbereich für den Tilger kommen sämtliche Maschinen- und Anlagenbereiche in Frage. Erste Testreihen an einer Versuchsstruktur haben die Variabilität und den Erfolg des Magic Tube als schwingungsreduzierende Maßnahme bestätigt. Das Schwingungsniveau konnte exemplarisch um einen Faktor von über „20“ reduziert werden, vgl. Abbildung 2.

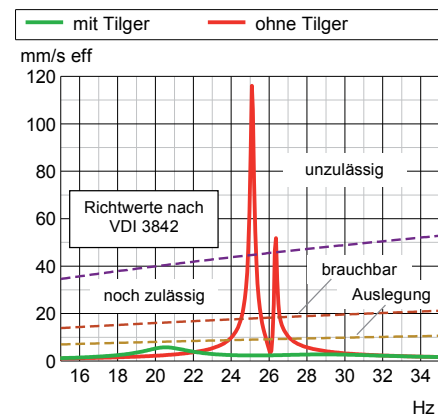


Abb. 2:
Einfluss des Magic Tube

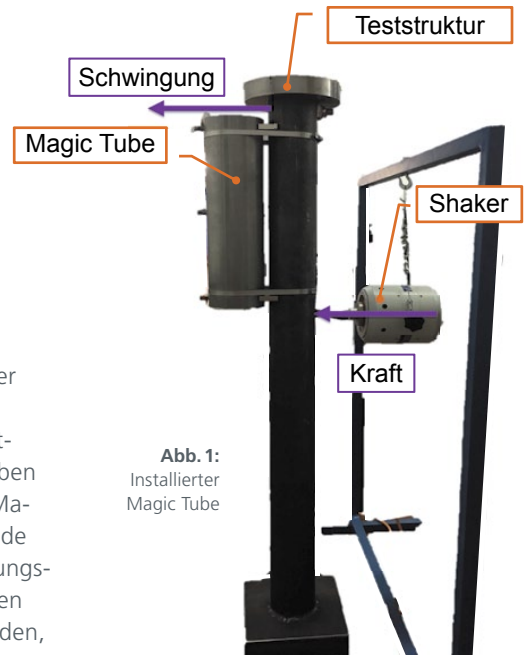


Abb. 1:
Installierter
Magic Tube

Aktuell wird der erste Magic Tube für einen Praxiseinsatz in einer petrochemischen Anlage vorbereitet und soll noch in diesem Jahr installiert werden. Für Anfang 2018 sind bereits weitere Installationen geplant und aktuell in der Projektierung.



M.Sc. Patrick Tetenborg
Telefon: +49 5971 9710-46
p.tetenborg@koetter-consulting.com

KCE-Veranstaltungen 2018

■ Seminar Durchfluss- und Mengenmessung in Rohrleitungen

06. März 2018

Leitung: Dr.-Ing. Christian Jansen, KCE und Prof. Dr.-Ing. Andreas Brümmer, TU Dortmund



Quelle:
Netze BW GmbH

■ 9. Workshop Gasmengenmessung –Gasanlagen – Gastechnik 2018

07. und 08. März 2018

Nach dem großen Interesse im Jahr 2016 geht der Workshop Gasmengenmessung in die nächste Runde. Die Fachtagung wird alle zwei Jahre von KÖTTER Consulting Engineers in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Dortmund in der KCE-Akademie in Rheine durchgeführt.

Das etablierte deutschsprachige Forum zum Informations- und Erfahrungsaustausch richtet sich an Fachleute aus der Chemie-, Öl- und Gasindustrie, der Energieversorgung, der Anlagenplanung sowie an Verbände, Hersteller von Gasmengenmessgeräten, Serviceunternehmen, Genehmigungsbehörden etc.

Weitere Informationen und Anmeldung unter:
www.koetter-consulting.com

Kopplungseffekte bei Parallelbetrieb von Kühlwasserpumpen.

In einer Raffinerie in Norddeutschland wurden bei Parallelbetrieb von drei Kühlwasserpumpen stark erhöhte Betriebsschwingungen festgestellt. Die drei Kühlwasserpumpen sind als einstufige Vertikalpumpen mit einer Drehzahl von 988 1/min und einer Fördermenge von bis zu 2.000 m³/h ausgeführt.

Die Messungen zeigten, dass im Parallelbetrieb aller drei Pumpen die Richtwerte an zwei benachbarten Pumpen deutlich überschritten wurden. Bereits im Einzelbetrieb dieser Pumpen traten erhöhte Schwingungen am Antriebsmotor primär bei der Drehfrequenz auf. Zudem zeigte sich an der benachbarten, still stehenden Pumpe ein ähnlich hohes Schwingungsniveau wie an der laufenden.

Die im Stillstand durchgeführten Anschlagversuche zeigten, wo der „Hase im Pfeffer“ lag.

Das Anschlagen einer Pumpe führte aufgrund einer mechanischen Kopplung über das gemeinsame Fundament (Pumpe 1 und 2) zum Pendeln der Ausschwingkurve zwischen den beiden kritischen Pumpen, s. Abbildung 2. Ursache für die überhöhten Schwingungen war daher die Kombination aus Resonanz- und Koppelschwingung beider Pumpen.

In diesem vorliegenden Fall bot es sich an, die entscheidende Eigenfrequenz der beiden auffälligen Pumpen abzusenken. Zur Schwingungsreduzierung wurde auf Basis einer Finite-Elemente-Berechnung daher jeweils eine Zusatzmasse von 500 kg an beiden Antriebsmotoren installiert (siehe Abb. 3).

Dadurch konnte die Eigenfrequenz der Pumpen um 1,2 Hz abgesenkt und somit die Resonanzschwingungen erheblich reduziert werden. Seit Umsetzen der Maßnahme werden die Pumpen ohne Probleme wieder im Parallelbetrieb gefahren.



Abb. 1:

Kühlwasserpumpenanlage: Drei nebeneinander aufgestellte baugleiche Vertikalpumpen

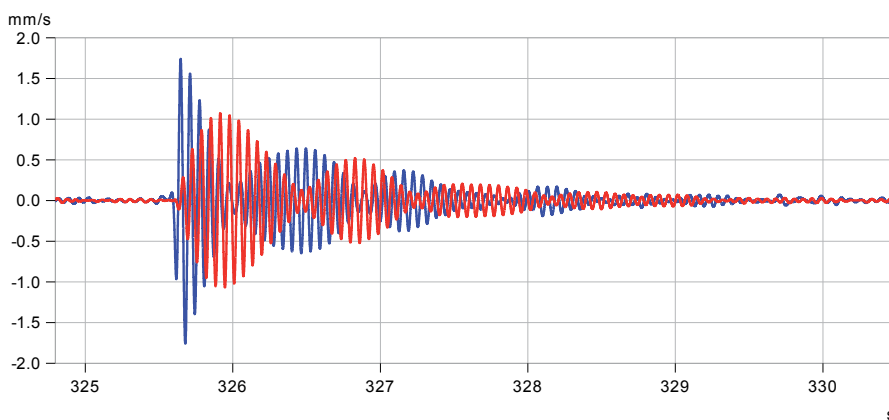


Abb. 2:

Verlauf der horizontalen Schwinggeschwindigkeit jeweils am Messpunkt in der obersten Ebene des E-Motors (Lüfterseite), Pumpe 1 (rote Kurve) und Pumpe 2 (blaue Kurve) nach dem Anschlagen an Pumpe 2 in x-Richtung am Messpunkt



Abb. 3:

Kühlwasserpumpen 1 und 2 (rechts) mit „Stahring“-Aufsatz als zusätzliche schwingende Masse am oberen Ende der E-Motoren



Dr.-Ing. Jan Steinhausen

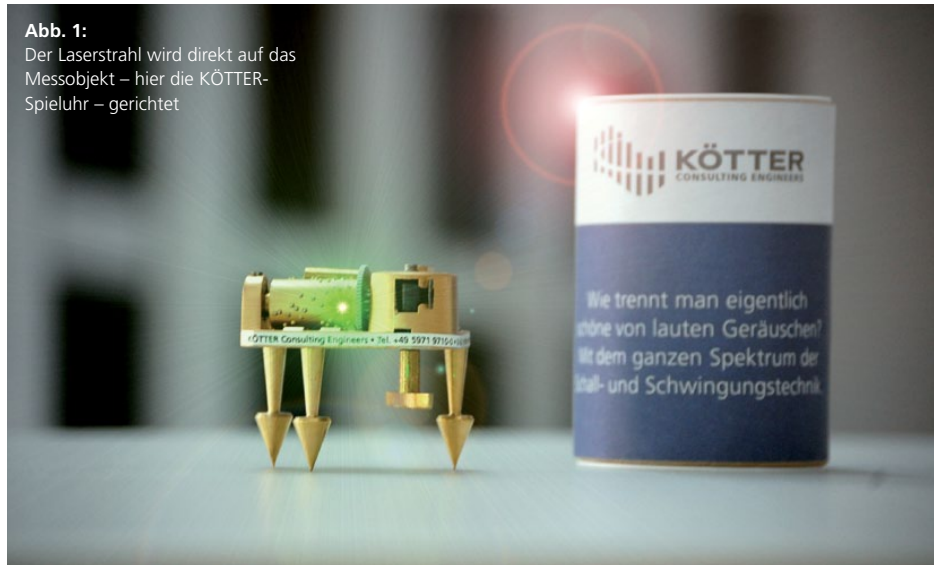
Telefon: +49 5971 9710-64
j.steinhausen@koetter-consulting.com

Das Unmögliche messen.

Gefahrenbereiche, Höhen, die Dimensionen von Messobjekten, extreme Oberflächentemperaturen: Es gibt Bedingungen, unter denen konventionelle Schwingungsmesstechnik an ihre Grenzen kommt. KÖTTER Consulting Engineers geht weiter. Schwingungsmessungen mit Hilfe von kohärentem Licht sind eine faszinierende Anwendung von Lasern in der angewandten technischen Schwingungslehre.

Im Rahmen des diesjährigen Workshops „Kolbenverdichter“ demonstrierte Herr Dr. Christian Jansen das Potential dieser Messtechnik in einem einfachen, aber eindrucksvollen Versuch. Dazu wurde eine kleine Spieluhr in Betrieb gesetzt und durch eine Schwingungsisolierung und eine schwere Glashaube von der Umgebung abgeschirmt. Obwohl eine Melodie im Inneren dieser Kuppel abgespielt wurde, war es unmöglich, außen auch nur einen einzelnen Ton wahrzunehmen. Dies ist eine perfekte Analogie zum Alltag in chemischen Anlagen und Raffinerien, wo das Schwingungsverhalten von Kompo-

Abb. 1:
Der Laserstrahl wird direkt auf das Messobjekt – hier die KÖTTER-Spieluhr – gerichtet



nenten zum Beispiel in Ex-Zonen nur mit extremen Aufwand oder überhaupt nicht gemessen und bewertet werden kann.

Indem ein Laserstrahl auf die Oberfläche des Federspeichers gerichtet wurde, war es möglich, die Schwingungen zu erfassen und die Melodie der Spieluhr über einen

Lautsprecher wiederzugeben. Um die Möglichkeiten dieser Technik zu verdeutlichen, ist zu erwähnen, dass der Laserstrahl in dieser Demonstration eine Entfernung von ca. 75 m zurücklegen musste und dabei von zwei Spiegeln reflektiert wurde. Nichtsdestotrotz ist die Qualität des Schwingungssignals beeindruckend.

Wir sind bereit, Sie bei der Beurteilung und Sanierung Ihrer unmöglichen Schwingungsprobleme zu unterstützen.



Abb. 2:

Der Laser zeichnet Schwingungen über eine Distanz von bis zu 400 Metern präzise auf und ist auch bei hohen Temperaturen, in ex-geschützten Bereichen oder bei sehr großen oder kleinen Messobjekten einsetzbar



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

KÖTTER Consulting Engineers GmbH & Co. KG
Bonifatiusstraße 400 · 48432 Rheine
Telefon: +49 5971 9710-0 · Telefax: +49 5971 9710-43
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

www.koetter-consulting.com