

## Herzlichen Dank und positive Schwingungen.



Das Jahr 2020 hat uns alle vor große Herausforderungen gestellt. Dank der langjährigen und vertrauensvollen

Zusammenarbeit mit unseren Kunden und Geschäftspartnern konnten unsere Ingenieure viele Projekte auch unter schwierigen Bedingungen umsetzen. Für dieses Vertrauen möchte ich mich bei Ihnen ganz herzlich bedanken.

Wir starten daher mit viel Zuversicht und Tatendrang ins neue Jahr.

Unsere aktuelle Ausgabe der Good Vibrations gewährt Ihnen wieder einen Einblick in unsere Projektarbeit und soll auch dafür sensibilisieren, Schwingungsprobleme früh zu erkennen oder durch gute Planung zu vermeiden.

Ich wünsche Ihnen allen „positive Schwingungen“ im Jahr 2021.

Ihr Dr.-Ing. Johann Lenz

## Inhalt

- **Wasserstoff in GDRM-Anlagen – der Umgang mit veränderten Schwingungen.**
- **Schwingungen an einem Stahlgerüst mit 14 Pressen.**
- **Nachhaltige Energieversorgung und ruhiges Wohnen im Einklang**
- **Erstinstallation der neuen Tilgerbaugröße MAGIC TUBE XS.**
- **Termine:**  
**24. Workshop Kolbenverdichter und neue Webinare**

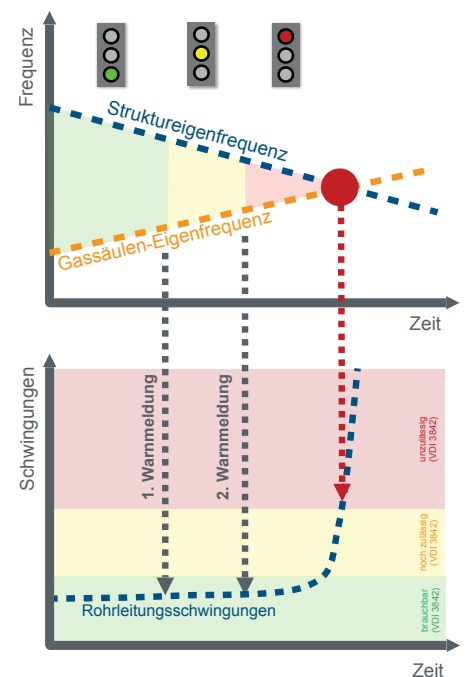
## Wasserstoff in GDRM-Anlagen – der Umgang mit veränderten Schwingungen.

**Die Einspeisung von Erdgas in nachliegende Erdgasnetze sollte trotz schwankendem Eingangsdruck und -volumenstrom bei möglichst konstantem Enddruck erfolgen. Dafür sorgen eine Vielzahl von Gasdruckregel- und Messanlagen (GDRM-Anlagen). Lange Zeit wurden GDRM-Anlagen aus schwingungstechnischer Sicht nicht im Detail betrachtet. Dies änderte sich, nachdem erhöhte Schwingungen als Grund für eine Havarie im Jahr 2002 an einer Verteilerstation in Ostdeutschland aufgetreten war.**

Durch den Expansionsprozess im Druckregler einer GDRM-Anlage wird das Rohrleitungssystem breitbandig angeregt. Dabei können sich die Druckschwankungen in verschiedenen Rohrleitungsabschnitten in Form von „stehende Wellen“ ausprägen und verstärken. Man spricht von einer sogenannten „akustischen Resonanz“. Die Untersuchung zahlreicher GDRM-Anlagen durch KÖTTER Consulting Engineers (KCE) hat gezeigt, dass in etwa jede achte Anlage auffällige Schwingungen aufweist. Als Ursache konnte ein Zusammenfallen von akustischen und mechanischen Eigenfrequenzen des Systems festgestellt werden.

Werden neue GDRM-Anlagen geplant, kann die Lage der akustischen Eigenfrequenzen mithilfe einer Pulsationsstudie im Vorfeld ermittelt und notwendige Anpassungen bereits in der Planungsphase umgesetzt werden. Dabei wird auch das mechanische System betrachtet und die Struktureigenfrequenzen berechnet. Es gilt, das reale System möglichst genau abzubilden um verlässliche Ergebnisse zu erzielen. Als ausschlaggebende Größe zur Berechnung der akustischen Eigenfrequenzlagen zählt neben den Geometrien der Anlage ebenfalls die Schallgeschwindigkeit des Mediums.

Die Schallgeschwindigkeit idealer Gase ist neben dem sogenannten Adiabatenexponenten und der Temperatur von der molaren Masse des Gases abhängig. Im Zuge der voranschreitenden Zunahme erneuerbarer Energien im Energiemix Deutschlands spielt auch die Umwand-



**Abb. 1:**  
Früherkennung kritischer Betriebszustände

lung von Energie in chemisch gebundene Energie in Form von Wasserstoff eine immer wichtigere Rolle. Durch das verhältnismäßig geringe molare Gewicht von Wasserstoff gegenüber Erdgas ist die Schallgeschwindigkeit von Wasserstoff in etwa drei Mal so groß wie bei Erdgas (siehe Tabelle 1). Bei zukünftig zunehmenden Wasserstoffanteilen im Erdgasnetz hat dies ebenfalls Auswirkungen auf das akustische System von GDRM-Anlagen, die im Rahmen einer Pulsationsstudie berücksichtigt werden müssen.

Fortsetzung von Seite 1

Medium	Schallgeschw. in m/s
Erdgas	430
Wasserstoff	1.300

**Tabelle:**  
Schallgeschwindigkeit bei 20°C

Bei bestehenden GDRM-Anlagen wurde diese veränderte Schallgeschwindigkeit in der Auslegung noch nicht berücksichtigt. Demzufolge kann es bei vermehrter Einbringung von Wasserstoff in das Erdgasnetz zu einem nicht vorhergesehenen Zusammenfallen einer akustischen mit einer mechanischen Eigenfrequenz kommen und so erhöhte Schwingungen an Anlagen auftreten, die zuvor unauffällig waren (siehe Abbildung 1). Damit dies frühzeitig erkannt wird und Minderungsmaßnahmen bei Bedarf zeitnah umgesetzt werden können, bietet sich eine Dauerüberwachung von GDRM-Anlagen an.

Im Rahmen unserer Firmenkonsolidierung und unserer neuen „KÖTTER Solutions“ möchten wir Ihnen in Zukunft nicht nur beratend weiterhelfen, sondern auch konkrete Problemlösungen anbieten. Ein erstes Pilotprojekt an einer GDRM-Anlage wurde bereits zusammen mit unserem Partner Beckhoff Automation installiert und befindet sich derzeit im einjährigen Testbetrieb.

Dieses Überwachungssystem zeichnet Schwingungen an mehreren Positionen auf und ermöglicht somit eine kontinuierliche Analyse zur Bestimmung der Struktureigenfrequenzen während des Betriebes. Ergänzend erfolgt eine fortlaufende Bestimmung der Gassäulen-Eigenfrequenzen in den relevanten Rohrleitungsabschnitten mithilfe von Sensorik zur Erfassung des dynamischen Drucks.

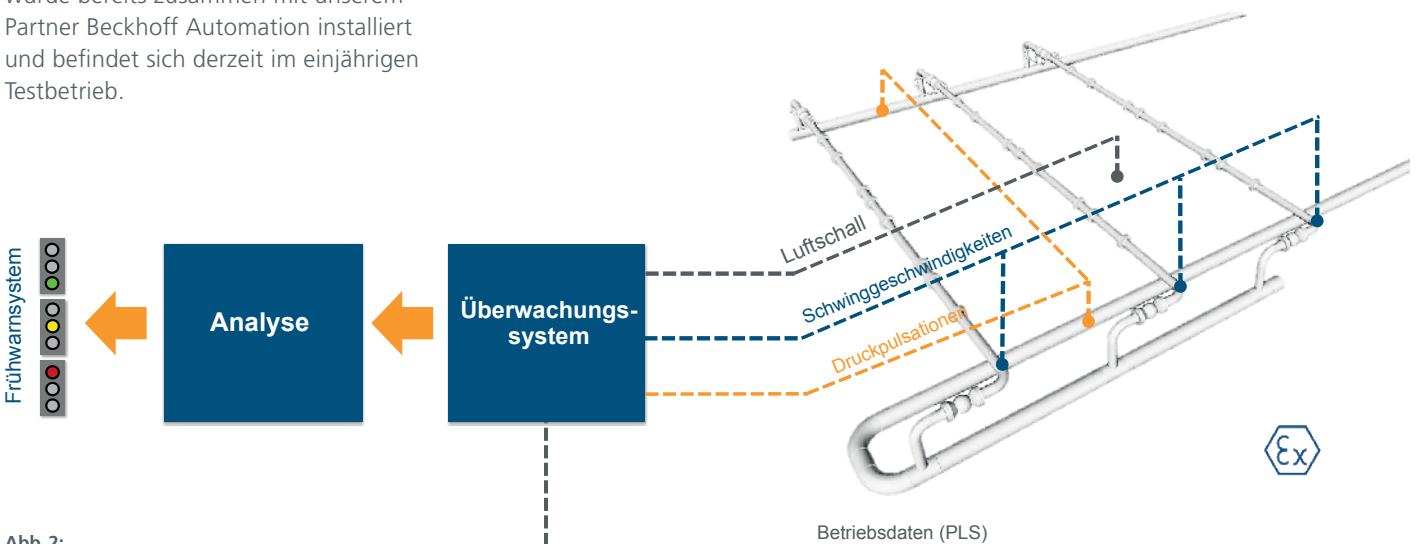
Durch Korrelation dieser automatisierten Analyseergebnisse wird unter Beachtung weiterer bereits existierender Messstellen für beispielsweise Durchfluss, Absolutdruck und Temperatur geprüft, ob eine akustische mit einer mechanischen Eigenfrequenz koinzidiert. Über einen langen Zeitraum können Erfahrungswerte in Abhängigkeit der vorliegenden Betriebsparameter gesammelt und Alarmschwellwerte präzisiert werden.

Das ganze System ist modular aufgebaut, erweiterbar und auch über GDRM-Anlagen hinaus in unterschiedlichen Einsatzbereichen anwendbar. Dabei werden alle Anforderungen an Messtechnik im Ex-Bereich erfüllt.

Ergänzend zur strukturdynamischen und strömungsmechanischen Überwachung wird die Gesamtanlage ebenfalls durch Erfassung des Luftschalls mithilfe eines ex-geschützten Mikrofons überwacht (siehe Abbildung 2). In den Betriebs-schwingungen diagnostizierte, maßgebliche Frequenzen zeigen sich auch im Frequenzspektrum des Luftschalls.

So kann zukünftig nach Sammlung von genügend Erfahrungswerten auf Messstellen verzichtet werden und eine Überwachung im Idealfall nach einer messtechnischen Initialuntersuchung mit nur einem Mikrofon erfolgen.

**Möchten Sie ebenfalls eine Anlage kostengünstig und zielgerichtet überwachen? Dann rufen Sie uns an. Gerne prüfen wir, ob unser System geeignet ist, Ihre Bedürfnisse zu erfüllen.**



**Abb. 2:**  
Prinzip einer abgestimmten Schwingungsüberwachung für GDRM-Anlagen



**M. Sc. Henning Ledendecker**  
Telefon: +49 5971 9710-62  
h.ledendecker@koetter-consulting.com

# Schwingungen an einem Stahlgerüst mit 14 Pressen.

Zur Produktion von Spanplatten mit röhrenförmigen Hohlräumen werden üblicherweise spezielle Strangpressen verwendet. Hierbei werden beleimte Späne einer Presse zugeführt, die die Späne komprimiert und als Endlosplatte herstellt. In dem vorliegenden Fall führte eine Erweiterung des Betriebs um zusätzliche Pressen zu starken Schwingungen und Schäden.

Auf einer 6 m hohen Stahlgerüstplattform wurden gleichartige Pressen betrieben, die in einer Linie aufgereiht installiert sind. Diese Pressen besitzen an jeder Seite ein Schwungrad sowie ein Pleuel, mit dem ein Joch in oszillierende Hubbewegung versetzt wird. Der Takt liegt zwischen 2,5 bis 3 Hübe/s.

Nach der Erweiterung um mehrere Pressen und einer entsprechenden Verlängerung des Stahlgerüsts traten stark spürbare horizontale Schwingbewegungen des Gerüsts auf, die auch zu Schäden führten und die Statik in Frage stellten. Je nachdem welche Pressen in Betrieb waren, bemerkte man starke Schwebungen der Schwingungsamplituden. Daher wurde von KÖTTER Consulting Engineers eine umfangreiche Schwingungsmessung und Analyse durchgeführt.

Zunächst wurde eine Presse im Einzelbetrieb schwingungstechnisch untersucht um die Wirkungszusammenhänge der auftretenden Kräfte zu analysieren. Jede

Presse verursacht durch den Kurbeltrieb eine „Unwucht“ durch einen Anteil der Pleuelmasse. Laufen mehrere Pressen gleichzeitig, so überlagern sich diese Kräfte. Da die Pressen durch Keilriemen angetrieben werden, ist die Drehfrequenz untereinander leicht unterschiedlich und führt zu Schwebungserscheinungen (periodisch auf- und abschwellige Schwingungen, siehe Abbildung 1). Diese Schwingungen machten sich hauptsächlich in der weicheren horizontalen Richtung des Stahlbaus bemerkbar.

Als nächstes wurde bei abgeschalteten Pressen der Stahlbau mit einem starken externen Unwuchterreger zu Schwingungen angeregt, um die Struktureigenfrequenzen zu ermitteln.

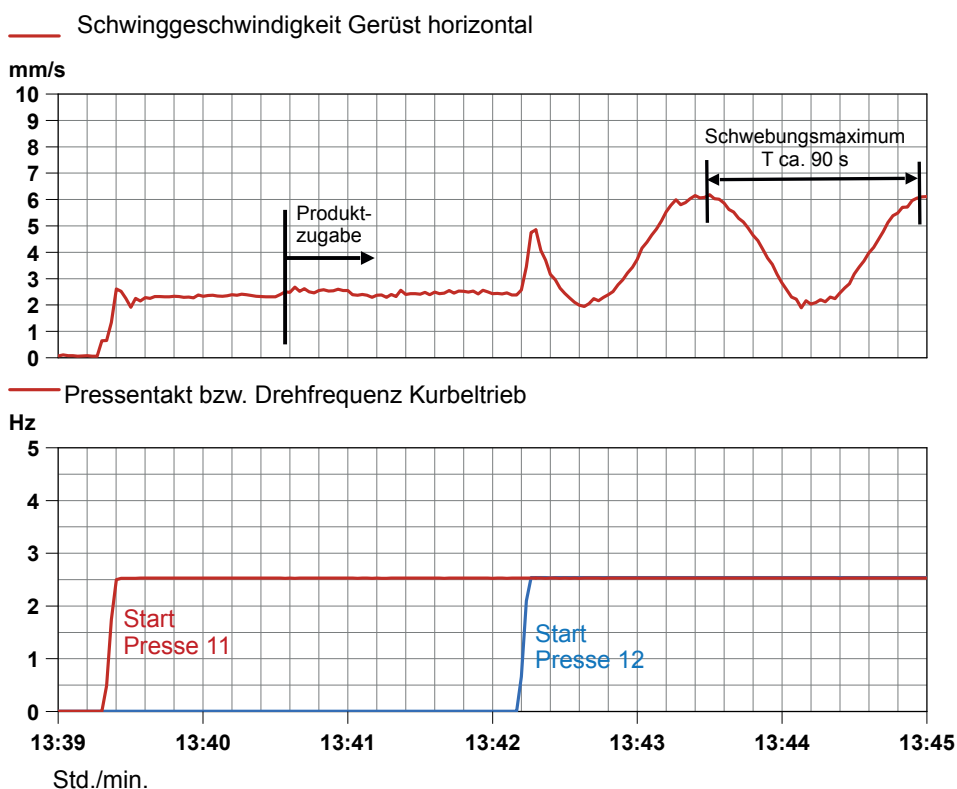
Dieser Unwuchterreger liefert bei niedriger Drehfrequenz noch relativ hohe Rotationskräfte (bei 2,6 Hz noch rund 3.400 N). Es zeigte sich, dass im Bereich der Drehfrequenz der Pressen mehrere



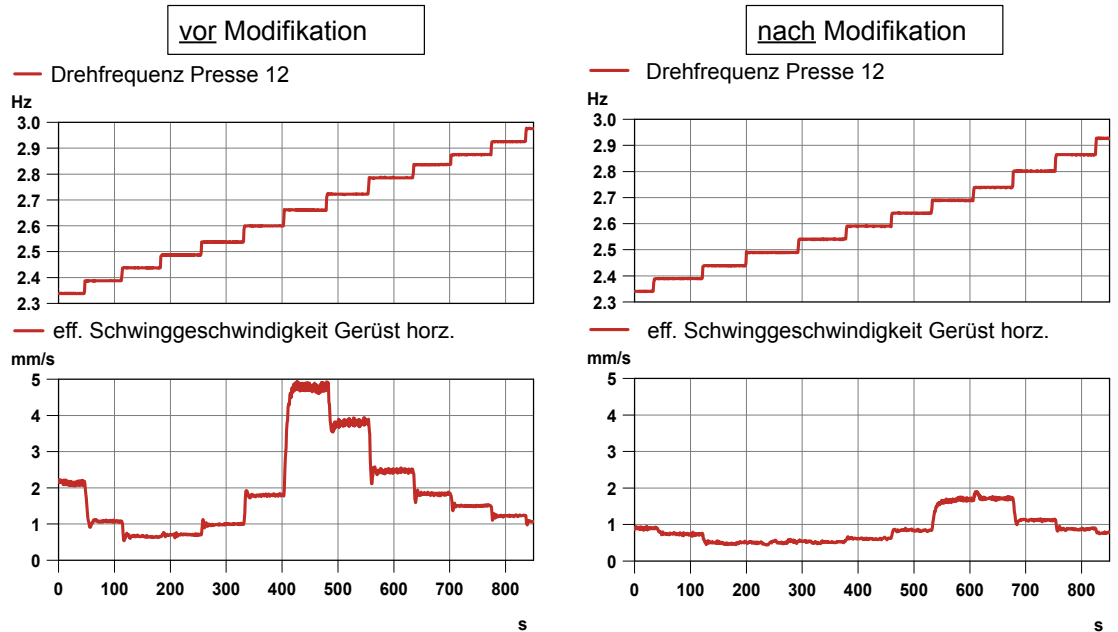
**Abb. 2:** Abgestimmte Gegengewichte am Schwungrad der Presse

Struktureigenfrequenzen des Stahlbaus liegen, die eine zusätzliche Verstärkung der Schwingungsanregung bewirkten.

Hieraufhin wurde versuchsweise der Kurbeltrieb vor Ort „gewuchtet“, indem bei einer Presse in Gewicht und Einbaulage abgestimmte Gegengewichte an den beiden Schwungradern installiert wurden (Abbildung 2). Der Erfolg dieser Maß-



**Abb. 1:** Überlagerung der Schwingungen und Einfluss (Schwebung) beim Parallelbetrieb



**Abb. 3:**  
Stahlbauschwingungen bei Einzelbetrieb von Presse Nr. 12 im Originalzustand (links) und mit abgestimmten Gegengewichten (rechts)

nahme wird in der Abbildung 3 dargestellt.

Im Originalzustand der Presse ist eine resonante Überhöhung der Stahlbauschwingungen mit 5 mm/s eff. bei ca. 2,65 Hz zu erkennen. Nach der Auswuchtung ist diese Überhöhung bei der genannten Frequenz verschwunden.

Die Minderung der Stahlbauschwingungen betrug mehr als 80%. Durch die direkte Umsetzung der Minderungsmaßnahme konnte bewiesen werden, dass mit der Kenntnis des genauen Wirkungsmechanismus aus schwingungsanregenden Kräften und dynamischer Verstärkung durch die Stahlbaustruktur gezielte Minderungsmaßnahmen

zum Erfolg führen. Eine entsprechende Schwingungsmessung ist hierfür jedoch unerlässlich.



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

## VORSCHAU

# 24. Workshop Kolbenverdichter

**Save the date: 27. und 28. Oktober 2021**

Werden Sie Referent und reichen Sie jetzt Ihr Vortragsthema ein.  
Mehr Infos unter:  
[www.koetter-consulting.com/workshop-kolbenverdichter-2021](http://www.koetter-consulting.com/workshop-kolbenverdichter-2021)

Der etablierte Branchentreff gilt als exzellente Plattform zum Wissens- und Erfahrungsaustausch zwischen Herstellern und Betreibern von Kolbenverdichtern! Die hervorragenden Beiträge ausgewählter Referenten aus Industrie, Wirtschaft und Wissenschaft sowie das Rahmenprogramm aus Fachausstellung, technischen Versuchsvorfürungen und Networking sorgen für ein abwechslungsreiches Event mit höchsten Qualitätsansprüchen.

# Neue Webinar-Termine

**Jetzt kostenfrei anmelden!**

**Ab dem 11. März 2021  
immer donnerstags  
von 10.00 - 11.00 Uhr**

Alle Themen finden Sie auf unserer Website unter:  
<https://koetter-consulting.com/webinar/>

# Nachhaltige Energieversorgung und ruhiges Wohnen im Einklang.

Aufgrund des zunehmenden Interesses an einer nachhaltigen, effektiven und umweltfreundlichen Energieversorgung werden mehr und mehr dezentrale Heizkraftwerke inmitten von Wohngebieten geplant und realisiert. Durch die verbrauchernahe Anordnung ergeben sich Vorteile geringer Energie-Transportverluste bei vergleichsweise hohem Gesamtwirkungsgrad durch die Ausnutzung einer gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme, beispielsweise eines Blockheizkraftwerkes (BHKW). Auf der anderen Seite können insbesondere bei kurzen Entfernungen zu benachbarten Wohnbebauungen Erschütterungen durch das BHKW hervorrufen werden, die je nach Art, Ausmaß und Dauer zu erheblichen Belästigungen von Bewohnern führen können. Daher ist bereits in der Planungsphase eines Bauvorhabens eine gründliche erschütterungstechnische Untersuchung unerlässlich.

Die von einem BHKW eingeleiteten Erschütterungen werden im Allgemeinen durch unterschiedliche Vorgänge auf dem Übertragungsweg zu den Immissionsorten beeinflusst. Sie werden zum Beispiel durch die Schwingungsisolierung des BHKW, bodendynamischen Effekte, die Boden-Bauwerks-Interaktion und die dynamischen Effekte der Bauwerksstruktur vermindert oder verstärkt.

Je nach Situation und Aufgabenstellung sind unterschiedliche Herangehensweisen bei der Prognose von Erschütterungsimmissionen zweckmäßig. Soweit die Voraussetzungen es ermöglichen, empfiehlt sich eine messtechnische Untersuchung des Übertragungsverhaltens auf dem Ausbreitungsweg vom Aufstellungsort der geplanten Erschütterungsquelle zum Immissionsort sowie innerhalb des betroffenen Wohngebäudes. Dadurch lassen sich die tatsächlich vorliegenden Übertragungseigenschaften direkt erfassen.

Eine andere Vorgehensweise bietet die Abschätzung mittels eines rechnerischen Näherungsverfahrens auf Basis der DIN 4150, Teil 1, bei der die Abnahme der Erschütterungen mit der Entfernung maßgeblich durch die geometrische Amplitudenabnahme und die Materialdämpfung des Untergrundes bestimmt wird. Aufgrund von komplexen Schwingungsvorgängen im Nahfeld einer Erschütterungsquelle ist dieses Verfahren allerdings nur für Fernfeldbetrachtungen geeignet. Für die Untersuchung eines direkt an das Heizkraftwerk angrenzenden Wohngebäudes zum Beispiel sind für die Prognose dann besondere rechnerische oder experimentelle Untersuchungen erforderlich.

Ziel der Untersuchung ist eine angemessene Berücksichtigung des Erschütterungsschutzes der Bewohner bereits in der Planungsphase bzw. der Genehmigungsphase. Die prognostizierten

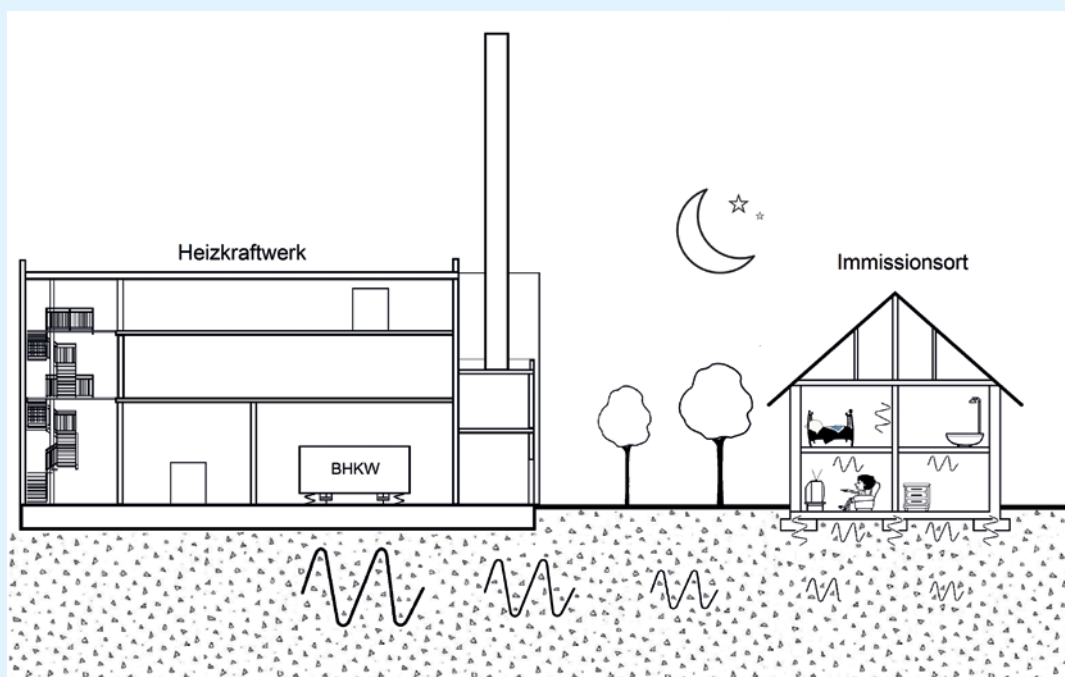
Erschütterungsimmissionen werden nach einschlägigen Normen und Richtlinien wie der DIN 4150 Teil 2 beurteilt.

Unsere Erfahrungen bestätigen, dass die Durchführung einer Erschütterungsprognose die Planungsicherheit wesentlich erhöht und zum Erfolg bei der Umsetzung des geplanten Energiekonzeptes beiträgt. Der Aufwand steht hierbei in keinem Verhältnis zu den Aufwendungen, die für nachträgliche Sanierungen anfallen können. Eine nachhaltige Energieversorgung und ruhiges Wohnen können damit frühzeitig in Einklang gebracht werden.



**Dipl.-Ing. Thomas Giemsa**

Telefon: +49 5971 9710-52  
t.giemsa@koetter-consulting.com



**Abb.:**  
Erschütterungsübertragung in ein benachbartes Wohnhaus



# Erstinstallation der neuen Tilgerbaugröße MAGIC TUBE XS.

Nach zahlreichen erfolgreichen Installationen unseres Schwingungstilgers MAGIC TUBE haben wir unser Sortiment erweitert. Die Erfahrungen in unterschiedlichen Projekten haben gezeigt, dass es auch für kompakte Komponenten in der chemischen Industrie häufig einen Bedarf an individuellen Lösungen zur Schwingungsreduktion gibt.

Insbesondere bei Sicherheits- oder Absperrarmaturen von peripheren Prozessleitungen treten häufig resonanzbedingte Schwingungen auf. Hier bieten klassische Verstrebungen nicht immer einen effektiven Schutz vor unzulässigen dynamischen Belastungen.

Um diese Resonanzeffekte erfolgreich zu unterbinden kann hier alternativ ein kompakter Schwingungstilger direkt an den Ventilkörpern eingesetzt werden. Hierzu haben wir weiteren Forschungsaufwand betrieben und unsere neue Baugröße, den MAGIC TUBE XS, ins Leben gerufen. Auch dieser ermöglicht durch seine individuelle Konfiguration stets eine problemspezifische Verbesserung des

strukturdynamischen Übertragungsverhaltens und ist somit auch bei variablen Betriebsbedingungen einsetzbar. Bei der Erstinstallation wurden direkt mehrere Schwingungstilger MAGIC TUBE XS an Absperrarmaturen in einem Chemiewerk installiert. Die Abbildungen 1 und 2 zeigen die Installation sowie den messtechnischen Nachweis des Erfolgs dieser Maßnahme zur Reduktion des Schwingungsniveaus.

Aktuell sind bereits weitere Anwendungen in der Projektierung. Eine besonders vielversprechende Anwendung stellt die Installation an schwingungsanfälligen Schlaugläsern dar (s. Abb. 3). Zudem gibt es weitere Bestrebungen, auch

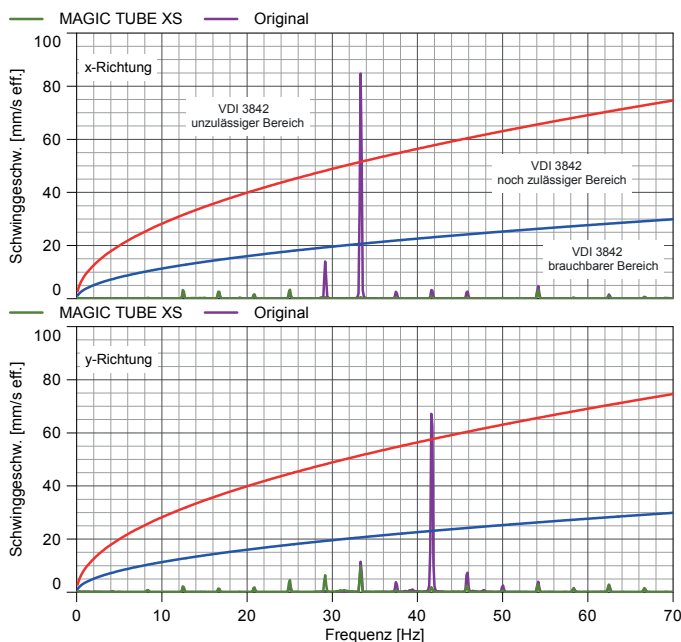
eine größere Baugröße XL für schwere Anwendungen aufzulegen. Gerne passen wir den Tilger bei Schwingungsproblemen auch individuell an.



**Abb. 3:** Installation an einem schwingungsanfälligen Schauglas



**Dr.-Ing. Patrick Tetenborg**  
Telefon: +49 5971 9710-46  
p.tetenborg@koetter-consulting.com



**Abb. 1:** Vergleichende Frequenzspektren der Betriebsschwingungen vor und nach Installation der Schwingungstilger im Vergleich zu den Richtwerten der VDI-Richtlinie 3842



**Abb. 2:** Exemplarische Installation des Schwingungstilgers MAGIC TUBE XS an einem Ventilkörper

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