

gwf

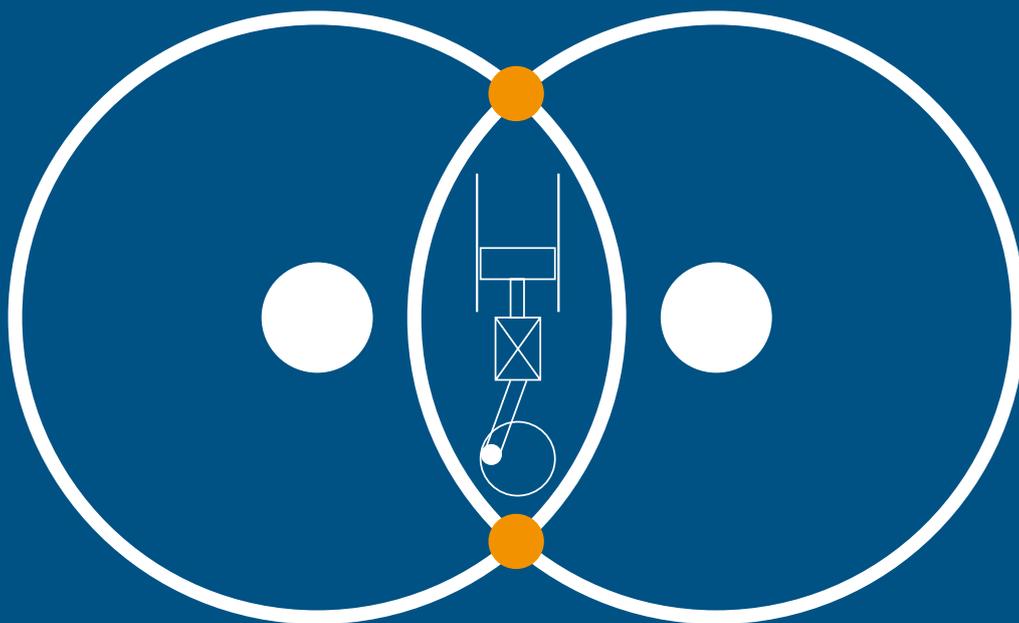


Auch grüner Wasserstoff kann pulsieren

Erfolgreicher Einsatz eines Helmholtz-Resonators

Dr.-Ing. Johann Lenz, Dipl.-Ing. Franz-Josef Düttmann und Bernd Rucker-Greve

UNSERE LEISTUNGEN IM BEREICH WASSERSTOFF



Weitere Infos:
Hier geht es zu
unserer Homepage



- | Pulsations- und Schwingungsstudien
- | Lärmtechnisches Engineering von gastechnischen Anlagen
- | Beratung und Troubleshooting bei der Gasmengenmessung
- | Kundenspezifische Lösungen: Magic Tube | Pulsations-Dämpferplatte

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

www.koetter-consulting.com

Auch grüner Wasserstoff kann pulsieren

Erfolgreicher Einsatz eines Helmholtz-Resonators

Johann Lenz, Franz-Josef Düttmann und Bernd Rücker-Greve

Regel- und Messtechnik, Wasserstoff, Drehkolbenzähler, Pulsation, Helmholtz-Resonator, Elektrolyse

Für die Wasserstoffeinspeisung in das bestehende Ferngasnetz wurde in Haurup bei Handewitt eine 1 MW Elektrolyse direkt angrenzend zum benachbarten Windpark installiert. Hierzu werden zwei Membrankolbenverdichter verwendet, die den Wasserstoff mit bis zu 2 % Volumenanteile in das Erdgasnetz einspeisen. Bei der Inbetriebnahme der Anlage fiel bei Mengenmessungen durch Drehkolbenzähler eine deutliche Mehranzeige auf, die keinen Regelbetrieb der Anlage ermöglichte. Als Ursache konnten erhöhte Pulsationen des Verdichters identifiziert werden. Zur Lösung wurde ein spezieller Helmholtz-Resonator ausgelegt und installiert. Hierdurch ist nachweislich eine Pulsationsreduzierung von bis zu 96 % erreicht worden. Die Anlage kann seitdem ohne jegliche Pulsationsprobleme im Regelbetrieb grünen Wasserstoff einspeisen.

Green hydrogen is also able to pulsate – Successful use of a Helmholtz resonator

For injection of hydrogen into the existing natural gas pipeline system, a 1 MW electrolysis plant was installed in Haurup near Handewitt, directly adjacent to the neighboring wind farm. For this purpose, two diaphragm piston compressors are used, which inject the hydrogen with up to 2 % volume fractions into the natural gas pipeline system. During commissioning of the plant, volume measurements by rotary piston meters showed a significant over-reading, which did not allow regular operation of the plant. Increased pulsations of the compressor could be identified as the cause. To solve the problem, a special Helmholtz resonator was designed and installed. As a result, a pulsation reduction of up to 96% was achieved. Since then, the plant has been able to inject green hydrogen during regular operation without any pulsation problems.

1. Einführung

Im Rahmen der Umstellung auf nachhaltige Energielösungen wird die Verwendung von Wasserstoff als Energieträger zunehmend wichtiger [1]. Dabei ermöglicht der Einsatz von Wasserstoff ein hohes Potenzial zur Einsparung von Treibhausgasemissionen.

Durch den stark zunehmenden Anteil von erneuerbaren Energien am Strommix kommt es immer häufiger zu temporären Erzeugerspitzen. Um ein stabiles Stromnetz zu gewährleisten, müssen bei derartigen Leistungsüberschüssen vereinzelt Windenergieanlagen abgeregelt

oder gar abgeschaltet werden. Um diese Spitzen zu nutzen, kann z. B. der Windstrom vor Ort elektrolytisch in Wasserstoff umgewandelt („Power-to-Gas“) und dann in das Erdgasnetz eingespeist werden.

Im nachfolgenden Beitrag geht es um die konkreten Probleme bei der Inbetriebnahme einer solchen Wasserstoffeinspeiseanlage. Um den aus einer Elektrolyse generierten Wasserstoff in das bestehende Erdgassystem einzuspeisen, muss vorab eine Verdichtung des Wasserstoffes erfolgen. Hierzu werden Kolbenverdichter mit variablen Fördermengen (Drehzahlregelung, Bypass) ein-

gesetzt, um den Wasserstoff mit einem Druck bis zu ca. 84 bar in das bestehende Erdgasleitungsnetz einzubringen.

2. Technische Projektbeschreibung

In dem Projekt Windgas Haurup [2] in der Nähe von Handewitt wird, wie vorher umschrieben, überschüssiger Windstrom mittels Elektrolyse in Wasserstoff umgewandelt und in das Gasnetz eingespeist. Das Projekt ist Teil des Programms „Norddeutsche EnergieWende 4.0“ (NEW 4.0), in dessen Rahmen Technologien mit besonderem Nutzen für die Energiewende in der Praxis erprobt werden.

2.1 Elektrolyse

Die Umwandlung von überschüssigem Windstrom in Wasserstoff wird durch einen H-TEC SYSTEMS ME450/1400 Elektrolyseur (Bild 1) ausgeführt.

Für die H₂-Zumischung wird das existierende Gasnetz vor Ort genutzt. So kann die bestehende Infrastruktur Speicherung und Transport des Wasserstoffs schnell und einfach mit übernehmen.

Die elektrische Nominaleistung beträgt 1 MW, die Produktionsrate 210 Nm³/h. Die technischen Informationen sind in Tabelle 1 aufgelistet.

2.2 Wasserstoffverdichtung

Zur Verdichtung des Wasserstoffs von ca. 30 auf 84 bar werden in Haurup zwei Kolbenmembranverdichter (Bild 2) eingesetzt. Kolbenmembran- wie auch Kolbenverdichter zeichnen sich durch ihren sehr breiten Einsatzbereich mit variierenden Betriebsbedingungen hinsichtlich Saug- und Enddrücken sowie der guten Regelbarkeit bzgl. der Fördermenge aus. Bezogen auf diese hohe Flexibilität bieten Kolbenverdichter ausgezeichnete Wirkungsgrade und ein besonders robustes Betriebsverhalten. Ein wesentlicher Vorteil bei der Verdichtung von Wasserstoff sind unter anderem mögliche Enddrücke von bis zu 500 bar. Ein Nachteil des Kolbenverdichters ist sein periodisches Arbeitsprinzip und die damit verbundenen dynamischen Anregungsmechanismen hinsichtlich Pulsationen und Schwingungen.

Pulsationen und Schwingungen an verdichternahen Rohrleitungssystemen hängen häufig unmittelbar zusammen. Denn Pulsationen innerhalb der Anlage führen an jeglichen Querschnittsänderungen, Rohrleitungsbögen und sonstigen Einbauten zu dynamischen Kräften, welche eine unmittelbare Anregung für das Rohrleitungssystem darstellen und häufig Schwingungen zur Folge haben. Um mögliche unzulässige Schwingungen bereits in der Planungsphase zu unterbinden, werden im Vorfeld häufig sogenannte Pulsationsstudien durchge-

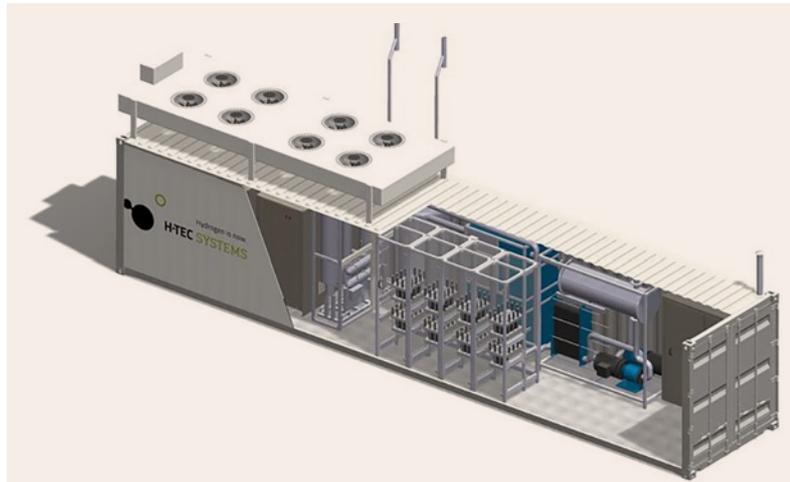


Bild 1: Verwendeter Elektrolyseur H-TEC SYSTEMS ME450/1400 (Windgas-Haurup o.D. [3])

Tabelle 1: Leistungsübersicht der in Haurup eingesetzten PEM-Elektrolyse (Windgas-Haurup o.D.)

Type	PEM-Elektrolyse (Protone-Exchange-Membrane)
Leistung	1 MW; 210 Nm ³ /h
Hersteller	H-TEC Systems (www.h-tec-systems.com)
Betreiber	Energie des Nordens
Strombezug	Windenergie
Fahrweisen	Überschussstrom (EinsMan); Regelleistungsangebot
Nutzung des Wasserstoffs	Einspeisung in das Gasnetz (Wärmeversorgung)
Überschlägige Wasserstoffproduktion	ca. 3.000 MWh/a
Mögliche Wärmeversorgung	600 Wohnungen*
Potenzielle CO₂-Vermeidung	530 t pro Jahr**

* bei einem angenommenen Jahresdurchschnittsverbrauch für eine 50-m²-Wohnung von 5.000 kWh Gas

** bei 25 g CO₂e-Emissionen je eingesetzter kWh grünem Wasserstoff gegenüber 202 g CO₂e/kWh Erdgas; Entspricht der jährlichen Speicherkapazität von 53 ha Wald

führt. Bei Pulsationsstudien wird das Zusammenspiel des Verdichters mit der dazugehörigen Anlage numerisch überprüft. Falls erhöhte Pulsationen im angeschlossenen Rohrleitungssystem zu erwarten sind, werden Optimierungen am Anlagendesign oder grundsätzliche Gegenmaßnahmen erarbeitet. Ein wesentliches Ergebnis einer solchen Pulsationsstudie ist die Auslegung und Dimensi-

onierung von meist individuell gefertigten Pulsationsdämpfern. Diese werden möglichst nahe an die Zylinderflansche installiert und ermöglichen eine erste signifikante Reduktion der durch den Verdichterbetrieb induzierten Pulsationen.

Die genauen Berechnungsausführungen sind in dem API Standard 618 (American Petroleum Institute) [5] festgelegt. Die weiteren akustischen Berechnungen beziehen sich auf die „Gassäulenschwingungen“ innerhalb des angeschlossenen Rohrleitungssystems. Erfahrungsgemäß bieten sich hierzu eindimensionale Strömungssimulationen im Zeitbereich an, um das zu erwartende Pulsationsniveau im Betrieb von Kolbenverdichternanlagen bereits in der Planungsphase zu berechnen und erforderliche Maßnahmen auszuarbeiten.

Neben der Betrachtung der Druckpulsationen in den Rohrleitungen kann eine Pulsationsstudie auch eine strukturmechanische Betrachtung des Anlagenlayouts beinhalten. Der Umfang so einer Studie hängt dabei

meist von den individuellen Anforderungen an die Anlage ab. Ein Kriterium für die Auswahl können, wie beispielsweise im vorliegenden Anwendungsfall, die zulässigen Pulsationsamplituden sein.

2.3 Mengenmessung

Zur Mengenmessung von reinem Wasserstoff sind die Möglichkeiten im Vergleich zur geeichten Erdgasmengemessung bisher begrenzt. In Haurup wurde auf ein für Wasserstoff bewährtes Messverfahren in Form des Drehkolbenzählers zurückgegriffen, das für diesen Anwendungsfall einen guten Kompromiss zwischen Baulänge (so gut wie keine Ein- und Auslaufstrecken erforderlich), Messbereich, Genauigkeit sowie Wirtschaftlichkeit darstellt.

Der Drehkolbenzähler ist ein volumetrisch messender Zähler nach dem Verdrängerprinzip. Bei einem Druckunterschied zwischen Ein- und Ausgangsseite wird ein Drehmoment auf die Drehkolben ausgeübt und diese beginnen sich zu drehen. Das Volumen der jeweils eingeschlossenen Gasräume ist bekannt. Die beiden sich drehenden Kolben sind durch einen sehr engen Spalt von ca. 1/100 mm getrennt und berühren sich nicht, da sie über Zahnräder synchronisiert werden.

Die Umdrehungen werden über ein Getriebe mechanisch auf ein Rollenzählwerk übertragen und sind ein Maß für das durchgesetzte Gasvolumen. Des Weiteren sind häufig elektrische Impulsgeber als Niederfrequenzsignal (NF-Signal, 1 bis 10 Impulse/m³) oder Hochfrequenzsignal (HF-Signal, 1.000 bis 15.000 Impulse/m³) anzutreffen. Ein Nachteil dieses Zählerprinzips ist die Arbeitsweise, die zu Druckschwankungen und daraus resultierenden Schwingungen im angeschlossenen Rohrleitungssystem führen kann. Zudem sind Drehkolbenzähler hinsichtlich der Messgenauigkeit empfindlich gegenüber von außen eingebrachten Pulsationen. Neben der häufigen Ausführung in zweiflügeliger Kolbenform (siehe Bild 3), war im vorliegenden Fall eine dreiflügelige schraubenförmig verdrachte Kolbenform im Einsatz. Diese ist, bedingt durch



Bild 2: Riemengetriebener Kolbenmembranverdichter zur Wasserstoffverdichtung sowie im Hintergrund erkennbare stehende saug- und druckseitige Pulsationsdämpfer

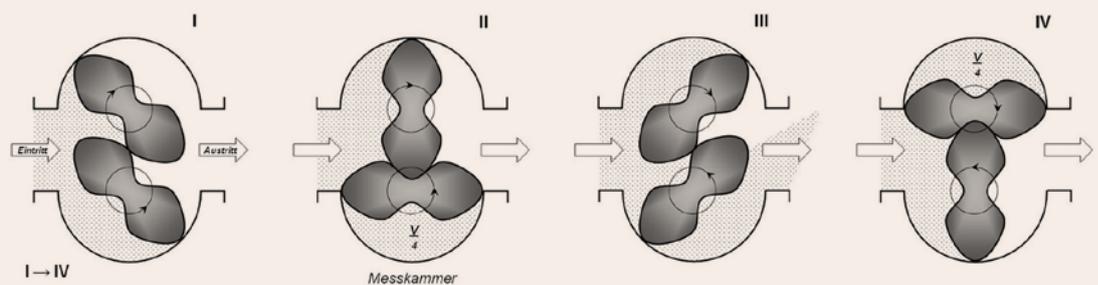


Bild 3: Funktionsprinzip eines Drehkolbenzählers (Wikipedia [4])

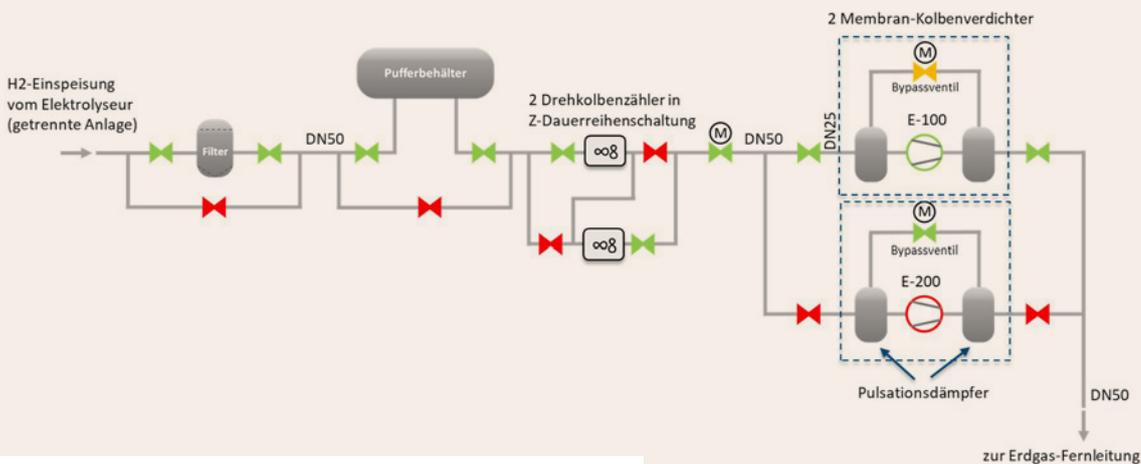


Bild 4: Schemadarstellung der Wasserstoffverdichtung nach der Elektrolyse

die kontinuierlich schräg verlaufende Austrittskante, als nahezu pulsationsarm zu bezeichnen.

2.4 Gesamtanlage Wasserstoffeinspeisung

Die der Elektrolyse nachgeschaltete Wasserstoffeinspeisanlage besteht aus einer Filtereinheit, einem $V = 5 \text{ m}^3$ großen Pufferbehälter, zwei in Reihe geschalteten Drehkolbenzählern sowie den zwei einstufigen, einzylindrigen Membrankolbenverdichtern mit der Bezeichnung E-100/200, siehe **Bild 4**. Die Verdichter sind redundant ausgeführt und werden nicht parallel betrieben.

Der große Pufferbehälter (**Bild 5**) dient dazu, den Regenerationsbetrieb des Hochdruck-PEM-Elektrolyseurs (Pausieren der Wasserstoffherzeugung für ca. 20 min. und bis zu 48 Mal am Tag) zu überbrücken. Die Mengenzähler stellen sicher, dass die maximal eingespeiste Wassermenge in der Ferngasleitung einen Volumenanteil von 2 % nicht überschreitet. Die Fördermenge wird in erster Linie mit einem Verdichter-Bypass zwischen Druck- und Saugseite eingestellt. Für höhere Fördermengen kann auch die Drehzahl des Verdichters erhöht werden.

3. Probleme bei der Inbetriebnahme

Schon während der Inbetriebnahme zeigte sich, dass sich der gemessene Volumenstrom erheblich von den eingespeisten Mengen (Sollwerte vom Elektrolyseur) unterschied. Im Teillastbetrieb wurde über die Drehkolbenzähler grundsätzlich eine viel zu große Menge ermittelt (geschätzter Fehler $\geq 20 \%$). Bei größeren Mengen schien dieser Fehler abzunehmen. Des Weiteren besteht die technische Anforderung, die Wasserstoffeinspeisung ins Ferngasnetz mehrmals am Tag ohne Verdichterabschaltung zu unterbrechen. Der Verdichter soll in diesem Fall mit geöffnetem Verdichter-Bypass, bzw. ohne Förderung, weiterlaufen. Das Problem dieser Fahrweise war, dass



Bild 5: Pufferbehälter ($V = 5 \text{ m}^3$) zur Überbrückung beim Regenerationsbetrieb

über die Drehkolbenzähler eine scheinbare Fördermenge von bis zu ca. $\frac{1}{4}$ der Maximalmenge angezeigt wurde, obwohl definitiv kein Wasserstoff gefördert wurde. Eine genaue Mengenregelung des Wasserstoffs auf 2 % Volumenanteile in der Ferngasleitung war unter diesen Voraussetzungen nicht möglich.

Es wurden daraufhin alle Komponenten der Anlage nochmals überprüft und verschiedene Tests gefahren. Die wirkliche Ursache für die Fehlmessung blieb jedoch unklar, sodass eine gezielte Untersuchung in Betracht gezogen wurde.

4. Messtechnische Untersuchung

Zur genauen Ursachenanalyse wurde KÖTTER Consulting Engineers GmbH & Co. KG (KCE) vom Anlagenhersteller, der Fa. Streicher Anlagenbau GmbH & Co. KG, beauftragt,

Bild 6: Messpunkte zur Erfassung der Druckpulsationen

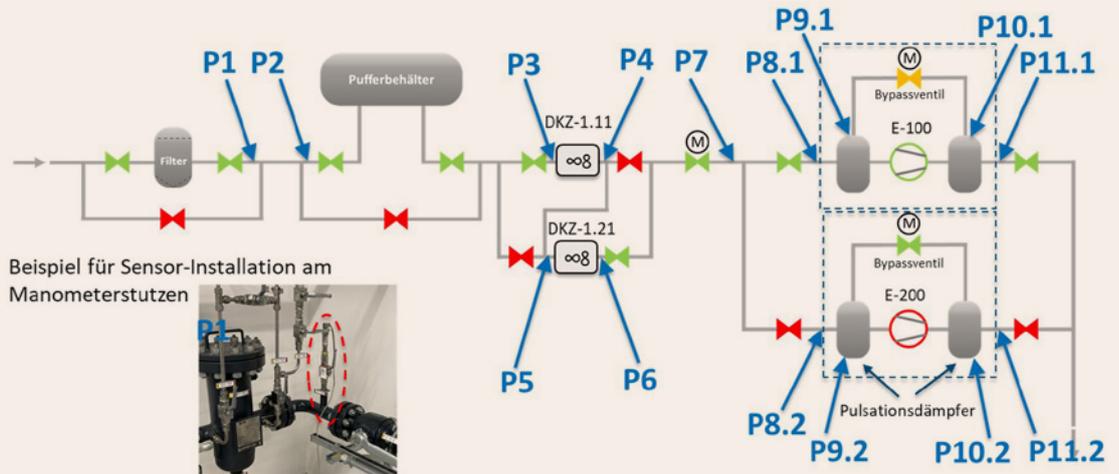


Bild 7: Sollgröße (Zahlenangabe) und gemessener Normvolumenstrom (gemittelt und ungemittelt) beider Drehkolbenzähler sowie die Druckpulsationen an verschiedenen Messpunkten

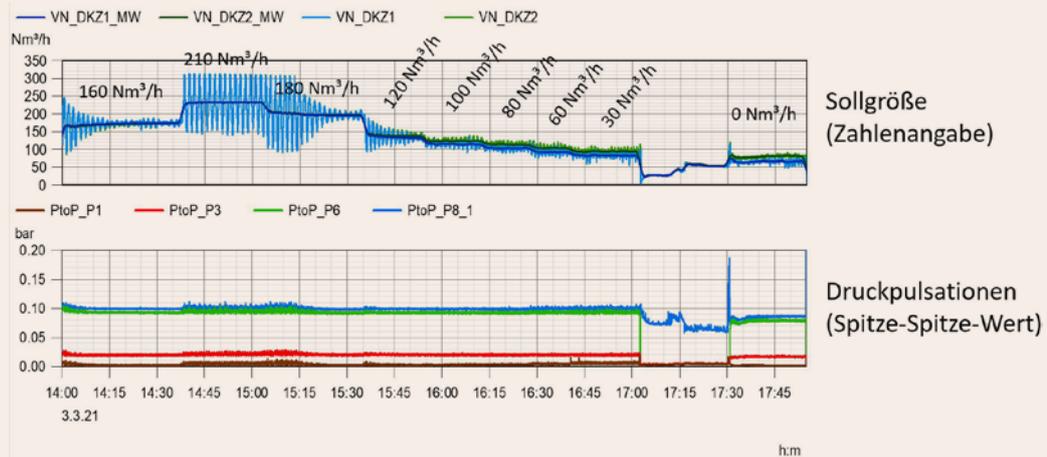


Tabelle 2: Auszug der während der Messung angefahrenen Betriebspunkte

Uhrzeit (Beginn)	Liefermengen der Wasserstoff-erzeugung (Sollgröße) Nm³/h	Drehzahl Verdichter min ⁻¹	Saugdruck MP P8_1 bar abs	Gastemperatur °C	Bypassstellung Verdichter %	Angezeigte Menge (Umwert) Nm³/h
14:00 Uhr	160	285	35,2	–	25-29	181-166
14:37 Uhr	210	285	35,1-35,3	6,9	0-35	140-310
15:04 Uhr	180	285	35,1-35,3	7,0	24-28	183-203
15:35 Uhr	120	285	35,1-35,3	7,2	36-39	107-124
15:55 Uhr	100	285	35,1-35,3	1)	1)	105-120
16:13 Uhr	80	285	35,1-35,3	1)	1)	94-108
16:28 Uhr	60	285	35,1-35,3	1)	1)	81-97
16:40 Uhr	30	285	35,1-35,3	8,6	48-51	76-91
17:02 Uhr	30	253	32,5	9,3	43,5	26
17:17 Uhr	50	253	28,0	9,9	28-32	50
17:30 Uhr	0	253	31,0	10,8	100	50-72

eine Untersuchung der Problematik durchzuführen. Hierzu wurde im ersten Schritt eine umfassende Messung der Druckpulsationen durchgeführt. Bei der vorliegenden Aufgabenstellung war die Sachlage nicht eindeutig, da sowohl vom Kolbenverdichter Pulsationen erzeugt werden, gleichzeitig aber auch der Betrieb eines Drehkolbenzählers zu erzwungenen Druckschwankungen führt und darüber hinaus die Akustik des Rohrleitungssystems die Pulsationen durch akustische Resonanzen positionsabhängig verstärken kann. Aus diesem Grund wurden die Messpunkte für Pulsationen umfassend in der Anlage appliziert (vgl. **Bild 6**).

Zusätzlich wurden die Verdichterdrehzahl und die HF-Signale der beiden in Reihe geschalteten Drehkolbenzähler mit aufgezeichnet. Alle Messgrößen wurden über eine zentrale Datenerfassung zeitsynchron und hochfrequent für verschiedene Betriebspunkte (vgl. **Tabelle 2**) erfasst. Hierbei wurde von der Elektrolyseanlage eine Liefermenge als Sollgröße vorgegeben und die Anlage über den Verdichterbypass entsprechend dieser Fördermenge geregelt.

Dabei stellte sich sehr früh heraus, dass neben unerwünschten Reglerschwankungen der Drehkolbenzähler, deutlich höhere Liefermengen am Umwerter anzeigt, als von der Elektrolyse Wasserstoff als Sollgröße geliefert wurden. Dieses Phänomen war nahezu unabhängig vom Betriebspunkt (vgl. **Bild 7**, oben VN_DKZ = Normvolumenstrom vom Drehkolbenzähler). Die gleichzeitig vermessenen Druckpulsationen an den Messpunkten P7 und P8.1 auf der Saugseite der Kolbenverdichter zeigen, unabhängig von den Betriebsbedingungen, einen Spitze-Spitze-Wert von ca. 100 mbar. Diese liegen unter den geforderten 0,5 % des Absolutdruckes im saugseitigen Rohrleitungssystem.

In **Bild 8** sind unabhängig von **Bild 7** chronologisch aufeinanderfolgende Frequenzspektren der Druckpulsationen am Messpunkt P6 sowie gleichartige Frequenzspektren der Volumenstromschwankung des Drehkolbenzählers DKZ-1.21 (ermittelt aus dem HF-Signal) dargestellt. Die Spektren zeigen eine weitere Messreihe, in der über mehrere Stunden konstante Normvolumenströme zwischen 210 Nm³/h und 30 Nm³/h eingestellt worden sind. Zu erkennen ist für beide Signale eine konstante Hauptfrequenz von 4,7 Hz. Diese entspricht der Drehzahl des Verdichters ($n = 284 \text{ min}^{-1} \approx 4,73 \text{ Hz}$).

Allgemein ist bekannt, dass Druckpulsationen und im Besonderen – ein damit einhergehender pulsierender Differenzdruck bei Drehkolbenzählern – häufig zu einer Mehranzeige führen. Der Einfluss ist hierbei stark von den Eigenschaften des Drehkolbenzählers abhängig (z. B. Massenträgheit der Drehkolben).

Bei der vorliegenden Anwendung wurde der Differenzdruck über den zweiten Drehkolbenzähler DKZ 1.21

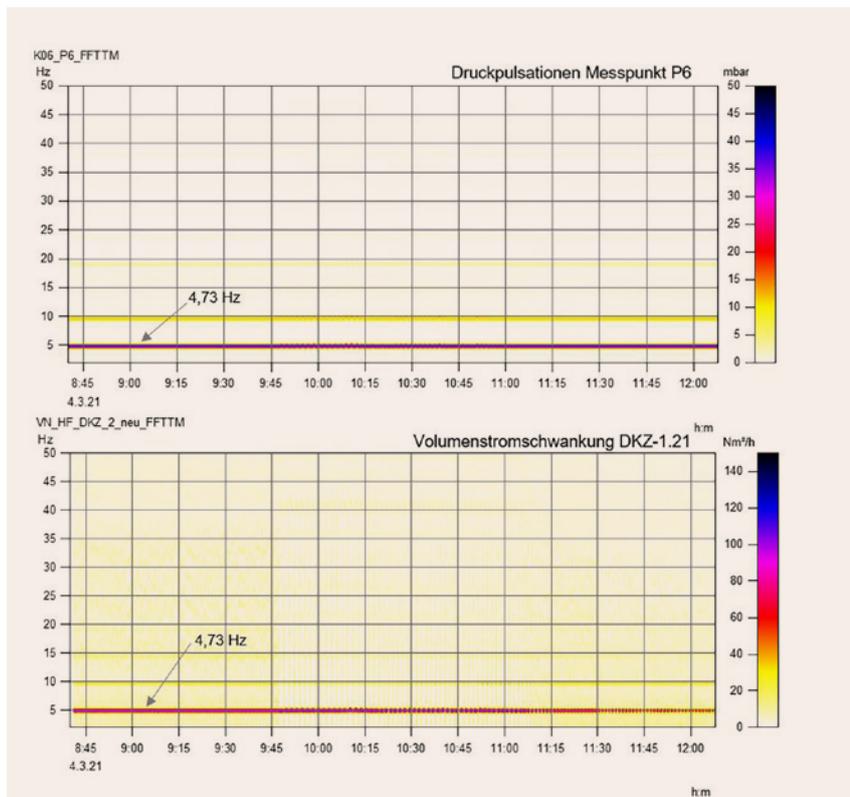


Bild 8: Farb-Amplitudenspektren der Druckpulsationen am Messpunkt P6 und der Volumenstromschwankungen des Drehkolbenzählers DKZ-1.21 für verschiedene Betriebszustände

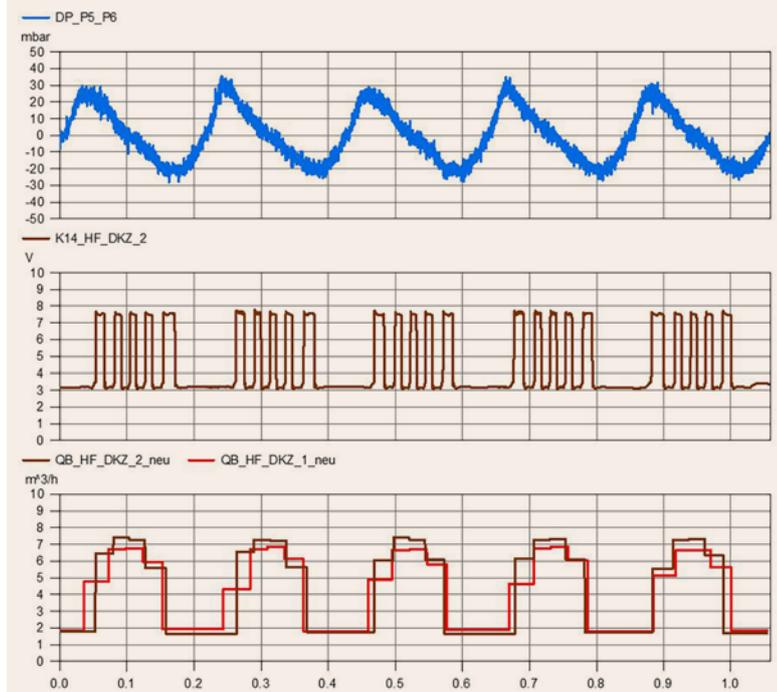


Bild 9: Zeitverlauf der Druckdifferenz, HF-Signal und der daraus berechnete Betriebsvolumenstrom der Drehkolbenzähler bei 140 Nm³/h

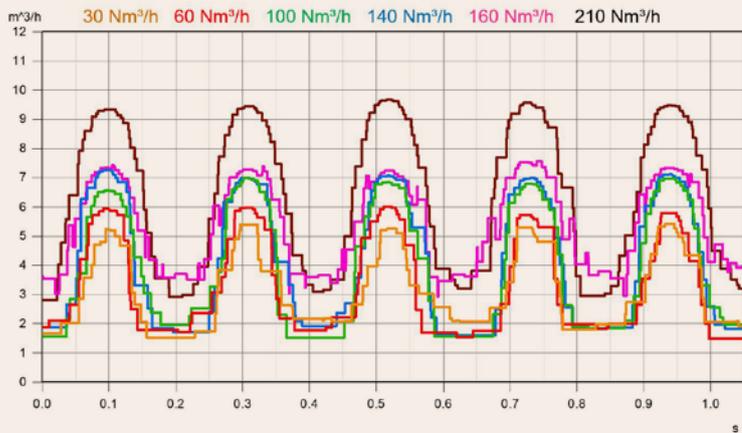


Bild 10: Aus dem HF-Signal des Drehkolbenzählers DKZ-1.21 gemittelter Betriebsvolumenstrom für die vermessenen Betriebszustände

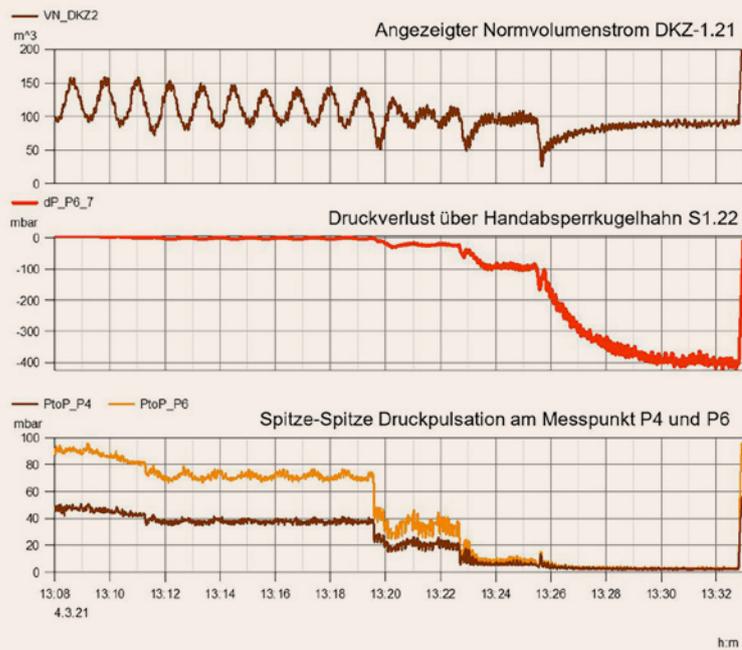


Bild 11: Drosselversuch: Normvolumenstrom und Druckverlust über den Handabsperrkugelhahn S1.22 sowie Darstellung der Druckpulsation am Messpunkt P4 und P6 (jeweils stromab der DKZ), eingestellter Sollwert: 100 Nm³/h

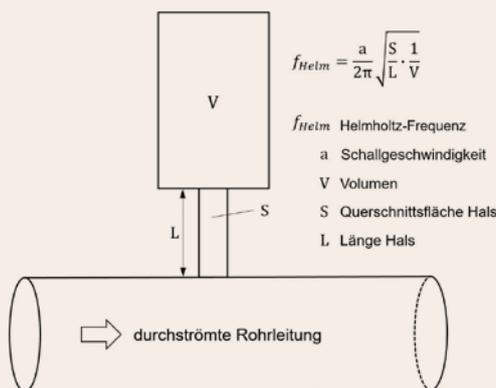


Bild 12: Helmholtz-Resonator als einfaches Modell an durchströmter Rohrleitung

ermittelt und zusammen mit dem Hochfrequenz(HF)-Impuls sowie dem daraus berechneten Betriebsvolumenstrom in **Bild 9** dargestellt. Es zeigt sich, dass mit zunehmendem Differenzdruck die Drehbewegung des Zählers verursacht wird. Durch die Drehträgheit der Kolben startet dieser zeitversetzt und dreht daher auch nachdem der Differenzdruck das Vorzeichen wechselt noch weiter.

Der Vergleich der Betriebsvolumenströme Q_B beider Zähler zeigt, dass diese fast gleichlaufen und sich nicht durch das eingeschlossene Gasvolumen zwischen den beiden dicht benachbarten Zählern beeinflussen lassen.

Bild 10 verdeutlicht den vorab genannten Zusammenhang für den gesamten Volumenstrombereich. Hier sind die aus den HF-Signalen gemittelten und umgerechneten Normvolumenströme für verschiedene Fördermengen bei konstanter Verdichterdrehzahl dargestellt. Die Verdichterdrehzahl ist konstant, die Fördermenge wird durch die Verdichterbypass-Stellung eingestellt. Bei kleiner werdenden Volumenströmen flachen die vorher sinusförmigen Volumenstromschwankungen ab und beeinflussen trägheitsbedingt das Messergebnis.

Um den Einfluss von Pulsationen auf die Drehkolbenzähler direkt zu reduzieren, wurde mit dem Handventil S1.22 (stromab DKZ-1.21) für kurze Zeit (ca. 13:20 Uhr bis 13:33 Uhr) ein zusätzlicher Druckverlust erzeugt. In **Bild 11** sind die Auswirkungen auf das Verhalten der Drehkolbenzähler dokumentiert.

Es zeigt sich, dass durch die Verminderung der Druckpulsationen auf rund 1/10 des Ausgangswertes (ab 13:23 Uhr), der vorgegebene Sollwert der Elektrolyse von 100 Nm³/h am DKZ-1.21 angezeigt wird. Hierzu ist jedoch ein Druckverlust von rund 100 mbar notwendig.

Nachfolgend werden die wichtigsten Erkenntnisse zusammengefasst: Die festgestellten Volumenstromschwankungen der Drehkolbenzähler werden durch die Pulsationen des Verdichters erzeugt und führen zu einer deutlichen Mehranzeige. Um die oben genannten Effekte zu minimieren, muss das Niveau der Druckpulsation und damit der Volumenstromschwankungen deutlich vermindert werden. Wie in dem zusätzlichen Versuch ermittelt, sollte die Druckpulsation einen Zielwert von rund 10 mbar (Spitze-Spitze Wert) im Bereich der Drehkolbenzähler nicht überschreiten.

5. Maßnahmenauslegung

Zur Erarbeitung von effektiven pulsationsreduzierenden Maßnahmen wurde eine akustische Pulsationsstudie durchgeführt. Zuerst wurde eine Validierung des akustischen Modells vorgenommen. Ein Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Druckpulsationen zeigt eine gute Übereinstimmung mit Amplitudenabweichungen kleiner 10 %.

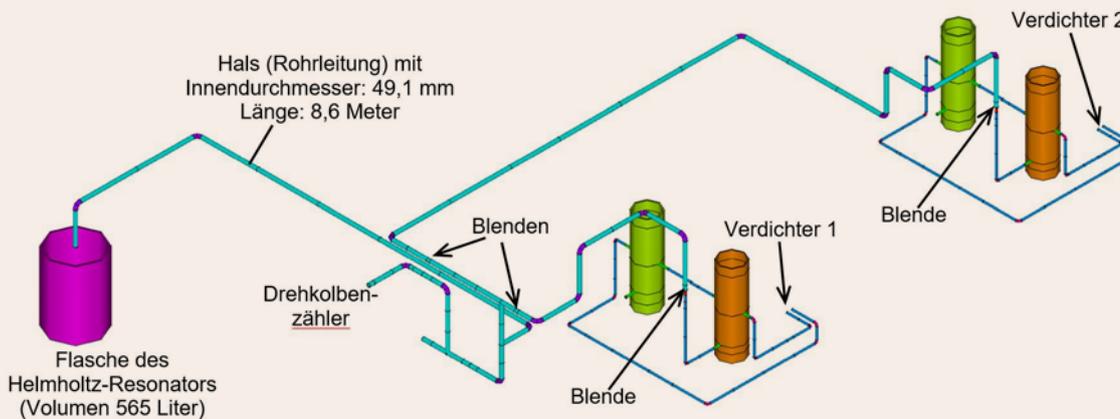


Bild 13: Das akustische Modell mit dem angeschlossenen Helmholtz-Resonator



Bild 14: Originalsituation (links) und nach Umsetzung der Minderungsmaßnahme Helmholtz-Resonator (rechts)

Anschließend wurden verschiedene Maßnahmen zur Reduzierung des Pulsationsniveaus untersucht.

Dabei ergab sich, dass für die unterschiedlichen Betriebsbedingungen die alleinige Pulsationsreduzierung durch den Einsatz von Blenden nicht ausreichend ist. Auch das Tauschen der Reihenfolge des vorhandenen Pufferbehälter und der Drehkolbenzähler konnte betriebsbedingt nicht umgesetzt werden.

Eine praktikable Lösung zeigt sich in der Kombination von Blenden mit einem zusätzlichen Volumen als nicht durchströmter Helmholtz-Resonator.

Der Helmholtz-Resonator (**Bild 12**) ist aus der Akustik seit über 10.000 Jahren wohl bekannt. Er funktioniert wie ein 1-Massenschwinger mit dem Hauptvolumen V (Innenvolumen) als Feder und dem Gasvolumen im Hals als Masse und kann bei sorgfältiger Auslegung und Planung zur effektiven Pulsationsreduzierung eingesetzt werden.

Auf Basis der Studie wurden nachfolgende Maßnahmen detailliert vorgeschlagen: (**Bild 13**)

- die Implementierung eines Helmholtz-Resonators direkt stromabwärts des Regelventils in der Nähe des Messpunkt P7 (siehe **Bild 6**)
- die Implementierung von vier Blenden am verdichternahen Rohrleitungssystem

Mit diesen Maßnahmen liegt die maximale Pulsation an den Drehkolbenzählern rechnerisch unterhalb von 10 mbar (Spitze-Spitze-Wert).

Nach Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse wurde die Maßnahme fachgerecht vom Anlagenbauer umgesetzt (siehe **Bild 14**) und problemlos in Betrieb genommen.

Abschließend wurde - initiiert durch den Anlagenbetreiber, die Fa. Gasunie Deutschland Transport Services GmbH – der Erfolg dieser Maßnahme im Rahmen einer messtechnischen Untersuchung durch KCE überprüft. Im Vergleich zur Originalsituation zeigte sich, dass die Pulsationen am Drehkolbenzähler, unabhängig von den Betriebsbedingungen, um den Faktor 10 (!) reduziert

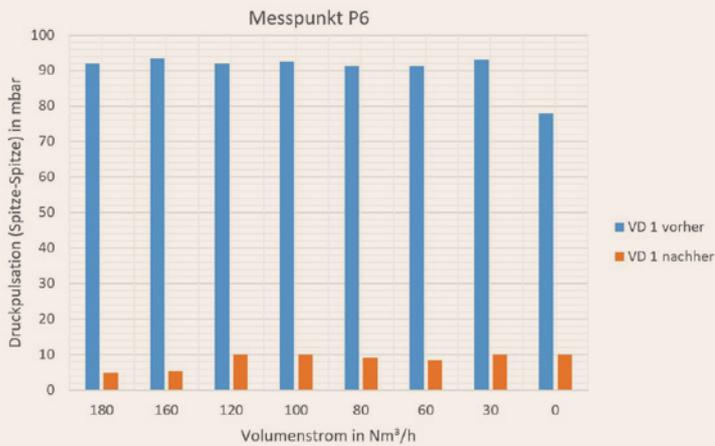


Bild 15: Druckpulsationen im Originalzustand (vorher) und nach Einsatz der Minderungsmaßnahme „Helmholtz-Resonator mit Blenden“ (nachher)

werden konnten (siehe **Bild 15**). Die Mengenanzeige der Drehkolbenzähler stimmte mit der Mengenangabe der Elektrolyse überein und ermöglicht dadurch ein problemlos regelbares Einspeisen von Wasserstoff durch den Verdichter.

Literatur

- [1] Nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung zu einer vielfältigeren Anwendung von Wasserstoff (<https://www.bmu.de/download/nationale-wasserstoffstrategie/>)
- [2] Windgas-Haurup (o.D): <https://www.windgas-haurup.de/das-projekt.html>
- [3] H-TEC SYSTEMS, <https://www.h-tec.com/produkte/detail/h-tec-pem-elektrolyseur-me450-1400/me450-1400/>
- [4] Wikipedia: Drehkolbenzähler, <https://de.wikipedia.org/wiki/Drehkolbenzähler>
- [5] API STD 618: Reciprocating Compressors for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services, 5th Edition, December 2007

Autoren



Dr.-Ing. **Johann Lenz**
 KÖTTER Consulting Engineers
 GmbH & Co. KG |
 Rheine |
 Tel.: +49 5971 9710 47 |
 J.Lenz@koetter-consulting.com



Dipl.-Ing. **Franz-Josef Düttmann**
 KÖTTER Consulting Engineers
 GmbH & Co. KG |
 Tel.: +49 5971 9710 26 |
 fj.duettmann@koetter-consulting.com



Bernd Rücker-Greve
 Gasunie Deutschland Transport Services
 GmbH |
 Hannover |
 Tel.: +49 4822 37887 13 |
 E-Mail: bernd.ruecker-greve@gasunie.de

UNSERE LEISTUNGEN

Das ganze Spektrum der Schall- und Schwingungstechnik

Messung · Planung · Berechnung · Beratung · Gutachtenerstellung · Troubleshooting

KÖTTER Consulting Engineers ist ein unabhängiges, beratendes Ingenieurunternehmen, das seit 1978 erfolgreich als Lösungsanbieter für schwierigste Probleme im Bereich der Schall- und Schwingungstechnik tätig ist. Wir beschäftigen rund 60 Mitarbeiter an den Standorten Rheine und Berlin und sind für unsere Kunden aus den unterschiedlichsten Branchen mit hochqualifizierten Spezialisten weltweit im Einsatz.

Wir sind ein von der DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025 : 2018 akkreditiertes Unternehmen und eine nach § 29b BImSchG in allen Bundesländern bekannt gegebene Messstelle für die Ermittlung von Geräuschen und Erschütterungen. Wir arbeiten in engem Kontakt mit wissenschaftlichen Einrichtungen wie z.B. der Technischen Universität Dortmund.



Maschinendynamik:

- | Anlagenschwingungen
- | Dauerüberwachung
- | Schwingungsisolierungen

Strömungstechnik:

- | Pulsationen
- | Mengmessfehler
- | Strömungssimulation

Pulsationsstudien:

- | Rohrleitungsschwingungen
- | Kolben- und Turbokompressoren

Technische Akustik:

- | Forschung & Entwicklung
- | Technischer Schallschutz
- | Konstruktionsakustik

Erschütterungen:

- | Bauwerksdynamik
- | Rammarbeiten
- | Dauerüberwachung

Windenergie:

- | Prognosen (Schall & Schattenwurf)
- | Schalltechnische Messungen
- | Konstruktionsakustik

Immissionsschutz:

- | Lärminderungsplanung
- | Verkehrslärm
- | Gewerbe-/Freizeitlärm

Bauphysik:

- | Bauakustik
- | Raumakustik
- | Bauteilprüfung

KCE-Akademie:

- | Seminare
- | Workshops
- | Schulungen