

## **2. KÖTTER-Workshop Gasmengenmessung**

**10. / 11. März 2004**

### **Vortrag 12**

# **Lärmentstehung und Schallausbreitung bei Regelarmaturen**

**Dipl.-Ing. Robert Missal**

**KÖTTER Consulting Engineers**

## Lärmentstehung und Schallausbreitung bei Regelarmaturen

**Dipl.-Ing. Robert Missal**  
**KÖTTER Consulting Engineers**

Beim Neubau von Gasregel- und Messstationen spielt die Lärmsituation in der Nachbarschaft oft eine untergeordnete Rolle. Die Stationen werden weit außerhalb der Wohnbebauung errichtet, so dass die Einhaltung der Richtwerte für die Lärmimmissionen in der Nachbarschaft nach der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) kein großes Problem darstellt. Ist jedoch die Planungssituation noch offen und von Seiten der Gemeinde eine Ausweisung von Wohngebieten in der Nachbarschaft geplant, kann z. B. im Genehmigungsverfahren gefordert werden, dass an der Grundstücksgrenze der Station die Lärmimmissionen unterhalb eines Richtwertes von 45 dB(A) bleiben.

Diese Forderung verlangt vom Planer der Anlage eine sorgfältige Prüfung und gezielte Dimensionierung der in der Station eingebauten Komponenten, insbesondere der dort eingesetzten Regelarmaturen. Die von einer Armatur abgestrahlte Schalleistung ist in erster Linie abhängig von dem Differenzdruck der Armatur und dem Massenstrom. Da diese beiden Parameter bei der Planung der Station in der Regel bereits bekannt sind, kann in einem relativ frühen Planungsstadium die Schalleistung der dominierenden Lärmquellen berechnet werden. Hierzu liefert die VDMA-Richtlinie 24422 oder die VDI-Richtlinie 3738 die Berechnungsgrundlagen, wobei neben den Daten des Mediums auf der Einlaß- und Auslaßseite auch die Kenndaten der Regelarmatur in die Berechnung einfließen. Stehen die Kenndaten der vorgesehenen Armatur nicht zur Verfügung, können die erforderlichen Daten beim Hersteller der Armatur angefragt werden. In der Regel erhält der Planer vom Armaturenhersteller den in der Rohrleitung „stromab“ der Armatur erwarteten Schalleistungspegel und den Schalldruckpegel, der in einem Abstand von einem Meter „stromab“ der Armatur und 1 Meter seitlich von der Rohrleitung gemessen werden kann. Dieser Schalldruckpegel ist der sogenannte Schalldruckpegel unter Freifeldbedingungen nach der DIN 45635, das heißt, bei einem Einbau der Armatur in einem Raum sind die dort vorhandenen Reflexionen an den Raumbegrenzungsflächen nicht berücksichtigt. Da dieser Fall eher die Ausnahme sein dürfte, betrachten wir im weiteren die Aufstellung der Armatur im Freien.

### **Vergleich unterschiedlicher Fabrikate**

Die folgende Tabelle zeigt die zu drei verschiedenen Fabrikaten berechneten Schalleistungspegel bzw. Schalldruckpegel in einem Meter Abstand von der Armatur bei gleichen Betriebsbedingungen.

## Eingangsdaten der Berechnung:

Druck Eingangsseite	55	bar_a
Druck Ausgangsseite	41	bar_a
Volumenstrom	1400000	Nm <sup>3</sup> /h
Temperatur	10	°C
Medium	Erdgas trocken	
Rohrleitung	32	" ANSI 600

	Fabrikat A	Fabrikat B	Fabrikat C
Schalldruckpegel in dB(A) in 1 m Abstand	107,6	103,3	86,1
Innerer Schalleistungspegel in dB(A)	145,5	141,3	124,3

**Tabelle 1:** Schalldruck- und Schalleistungspegel unterschiedlicher Fabrikate

Wie aus den Werten der Tabelle 1 zu erkennen ist, kann durch die geeignete Auswahl des Fabrikats bereits in der Planungsphase die Lärmsituation auf der Station erheblich beeinflusst werden.

Die Erfahrung aus der Vergangenheit hat gezeigt, dass die Angabe des Schalleistungspegels in der Rohrleitung „stromab“ der Armatur oft unterschätzt wird. Zwar ist die Schalldämmung einer Rohrleitung mit den oben genannten Abmessungen nicht unerheblich (siehe Tabelle 2). Aber aufgrund der Länge der (oberirdisch verlegten) Rohrleitung und der geringen Pegelabnahme (bei einer Rohrleitung ohne Einbauten) ist der von der Rohrleitung abgestrahlte Schalleistungspegel in vielen Fällen deutlich höher als der von der Armatur abgestrahlte Schalleistungspegel.

### Schallabstrahlung der Rohrleitung

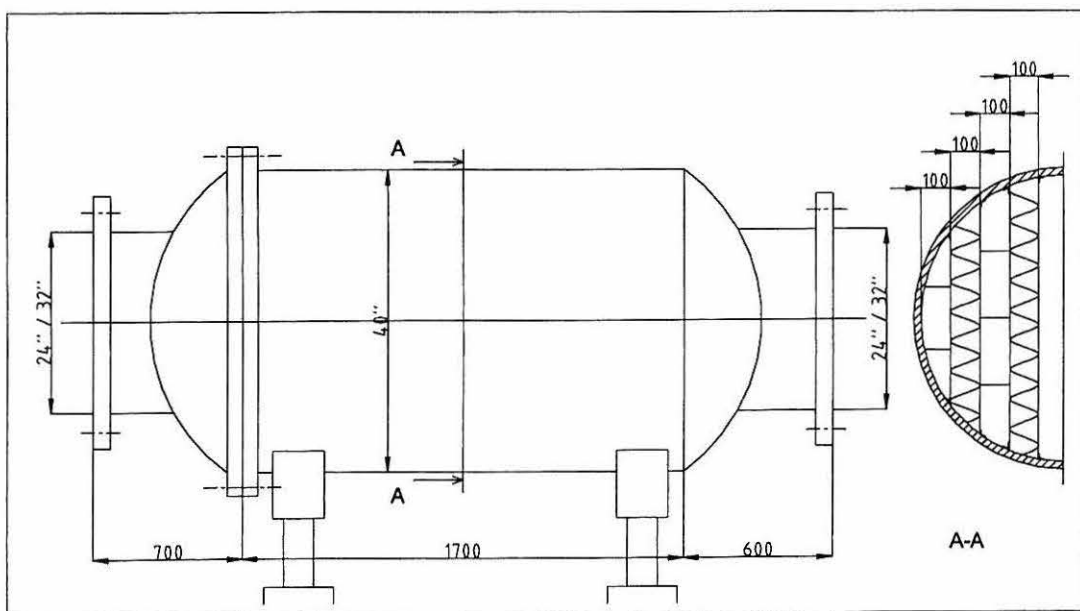
Zur Verdeutlichung dieser Problematik betrachte man folgendes Rechenbeispiel:

Für die oben erwähnte Armatur des Fabrikats C sind in der nachstehenden Tabelle 2 der Oktavband-Schalleistungspegel, die Schalldämmung der Rohrleitungswandung, der in einem Meter Abstand von der Rohrleitung berechnete Schalldruckpegel sowie der von 100 m Rohrleitung abgestrahlte Schalleistungspegel zusammengestellt.

	Oktavbandmittenfrequenz						Einheit
	Gesamt	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	
Innerer Schalleistungspegel	<b>124,3</b>	109,4	112,4	115,4	118,4	121,4	dB
Schalldämmung der Rohrleitung		34,2	28,1	22,1	31,2	40,2	dB
Schalldruckpegel in 1 m Abstand von der Armatur einschl. 1 m Rohrleitung beiderseits	<b>85,7</b>	74,2	78,9	80,2	80,0	77,9	dB(A)
Schalleistungspegel der Armatur einschl. 1 m Rohrleitung beiderseits	<b>98,2</b>	86,7	91,4	92,7	92,5	90,4	dB(A)
Schalleistungspegel von 100 m Rohrleitung	<b>118,3</b>	101,7	109,5	114,9	113,0	107,5	dB(A)

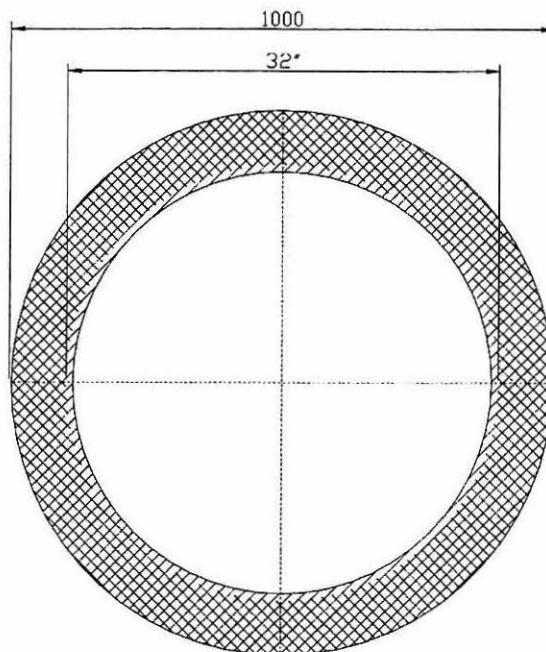
**Tabelle 2:** Schalleistungspegel der Armatur (Fabrikat C) und daraus berechneter Oktavband-Schalleistungspegel von 100 m Rohrleitung

Die Tabelle 2 zeigt, dass selbst bei der großen Schalldämmung der Rohrleitungswandung aufgrund der Länge und oberirdischen Verlegung der Rohrleitung deren abgestrahlte Schalleistung deutlich höher ist als die Schalleistung der Armatur. Eine Kapselung oder eine Installation der Armatur innerhalb eines Gebäudes wäre daher in diesem Berechnungsbeispiel eine ungeeignete Maßnahme zur Verringerung der Lärmimmissionen in der Nachbarschaft. Viel effektiver wäre die Verringerung der Schallabstrahlung der Rohrleitung durch die Installation einer Rohrleitungsisolierung oder die Installation eines Rohrleitungsschalldämpfers unmittelbar hinter der Armatur (siehe Abb.1).



**Abb. 1:** Rohrleitungsschalldämpfer

In der Abbildung 1 ist zu erkennen, dass die Abmessungen eines derartigen Absorptionsschalldämpfers nicht unerheblich sind und die Kosten einer derartigen Minderungsmaßnahme (Herstellung und Wartung) nicht unterschätzt werden dürfen. Auch die Kosten einer Sanierungsmaßnahme in Form einer Rohrleitungsisolierung (siehe Abb. 2) sind je nach Verlauf und Verzweigung der Rohrleitung nicht gering.



Aufbau der Isolierung:

Mineralwolle 100 mm

Stahlblech 1 mm entdröhnt

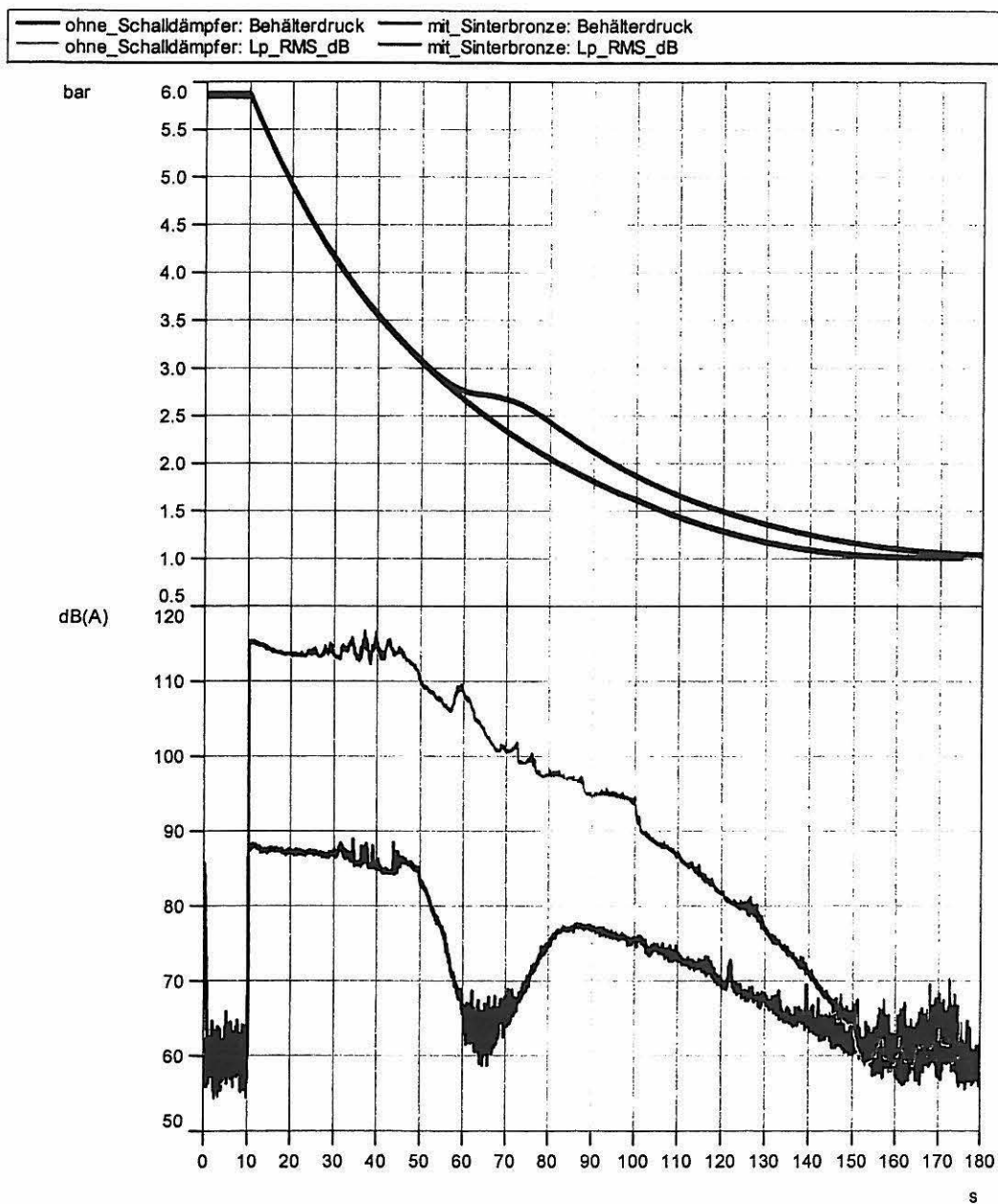
**Abb. 2:** Rohrleitungsisolierung

Wesentlich effektiver und in der Regel auch kostengünstiger ist daher die Minderung unmittelbar an der Quelle, das heißt: Auswahl einer lärmarmen Armatur.

**Lärmerzeugung und -beeinflussung innerhalb der Armatur**

Die Lärmentstehung bei der überkritischen Drosselung - im engsten Querschnitt der Armatur strömt das Medium mit Schallgeschwindigkeit - ist auf das Zusammenbrechen von Schockwellen und die turbulente Vermischung der Strömung an den Grenzflächen zum Strömungskanal zurückzuführen. Das Grundprinzip einer lärmarmen Armatur besteht deshalb darin, dass der Druckabbau mehrstufig erfolgt und somit die maximale Geschwindigkeit am Austritt der Druckreduzierung begrenzt wird. Zusätzlich wird bei Verwendung von Lochplatten oder Sieben das Wirbelvolumen verkleinert, indem der

Strahlquerschnitt auf viele Einzelstrahlen aufgeteilt wird. Wie effektiv diese Maßnahme sein kann, zeigt das folgende Beispiel:



08.02.04 13:41:42

**Abb. 3:** Zeitverlauf des Behälterinnendruckes und des Schalldruckpegels in 1 m Abstand beim Abblasen eines Behälters mit 0,5 m<sup>3</sup> Volumen mit und ohne Schalldämpfer aus Sinterbronze

Wie in der Abbildung 3 zu erkennen ist, konnte der Schalldruckpegel bei gleichem Differenzdruck durch den Einsatz des Schalldämpfers aus Sinterbronze um über 25 dB gemindert werden. In diesem Beispiel wurde die Zeit zum Entspannen des Behälters trotz

Einsatzes des Schalldämpfers und Vereisung der kleinen Kanäle innerhalb der Sinterbronze (bei  $t = 48$  bis  $85$  Sekunden) nur unwesentlich verlängert. Dieser Effekt wird von vielen Armaturenherstellern genutzt, indem unmittelbar nach der Armatur Lochscheiben oder ähnliches eingesetzt werden.

### **Kugelhahn mit Lochscheibe**

Auf einer Gasmeß- und Regelstation ist ein Regelkugelhahn eingebaut worden, da bei dem Einsatz einer konventionellen Regelarmatur Fehlmessungen in dem „stromauf“ liegenden Ultraschallzähler befürchtet wurden. Bei der Inbetriebnahme der Station wurde die Lärmsituation im Bereich der Regelstrecke bemängelt, so dass vom Hersteller des Regelkugelhahnes eine Nachbesserung gefordert wurde. Durch eine Messung der von der Rohrleitung abgestrahlten Schalleistung wurde zunächst die vorhandene Situation erfasst (siehe Abb. 4). Auf der Grundlage der Messergebnisse wurde in Zusammenarbeit mit dem Armaturenhersteller und dem Betreiber der Anlage eine Minderungsmaßnahme ausgelegt, die mit möglichst geringem Aufwand in die bestehende Regelschiene integriert werden konnte. Das Ergebnis der Berechnungen war jeweils eine Lochplatte mit einem speziellen Lochbild, die auf der Eingangs- und Ausgangsseite des Kugelhahns eingebaut wurde (siehe Abb. 5).

Durch den Übergang vom einfachen Regelkugelhahn zu Viellochscheiben werden verschiedene Effekte zur Lärminderung genutzt. Zum einen entsteht aus einem großen Freistrahle beim Durchströmen der teilgeöffneten Armatur eine Vielzahl kleiner Freistrahle. Hierdurch wird die Frequenz maximaler Schalleistung in einen höheren Frequenzbereich verschoben. Die Schalldämmung der Rohrwand nimmt jedoch oberhalb der Ringdehnfrequenz mit der Frequenz zu, so daß die Lärmpegel in der Umgebung der Rohrleitung reduziert werden. Des weiteren wird die Kennlinie der Armatur in Verbindung mit einem kleineren  $K_{VS}$ -Wert abgeflacht. Entsprechend wird für einen benötigten  $K_V$ -Wert - im Vergleich zur unveränderten Armatur - eine größere prozentuale Öffnung der Regelkugel benötigt. Die bauartbedingten Strömungsablösungen „stromauf“ und „stromab“ der Armatur werden damit verkleinert, so daß auch die größeren Wirbelstrukturen, die für die tieffrequente Lärmerzeugung maßgeblich sind, verkleinert werden. Analog hierzu wirkt sich die verbesserte Strömungsführung durch die Langlöcher der Viellochscheiben aus (drallfreie Strömung).

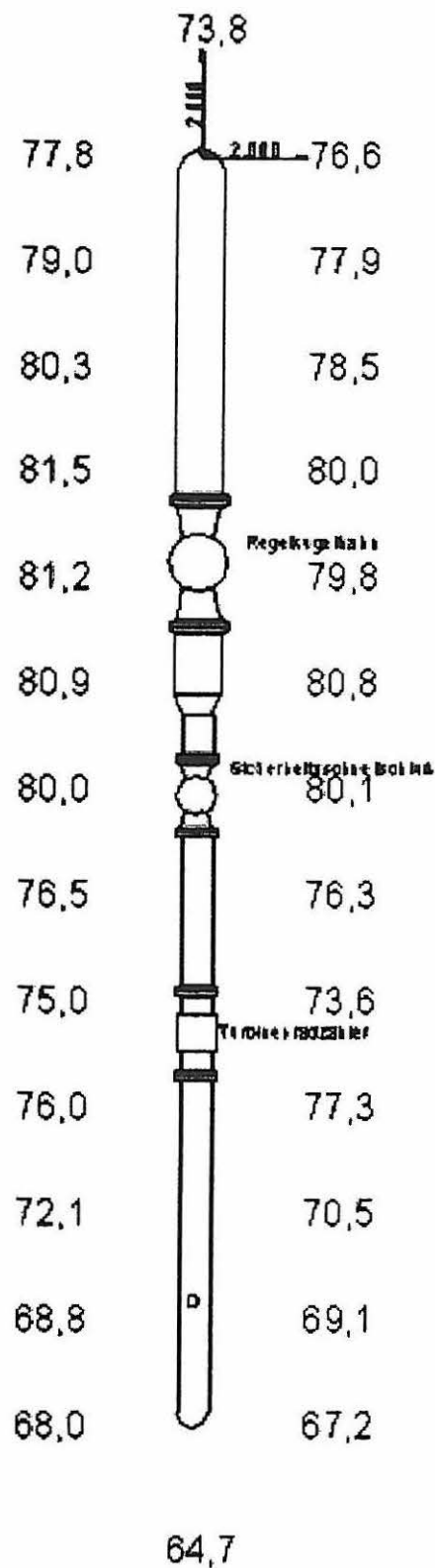
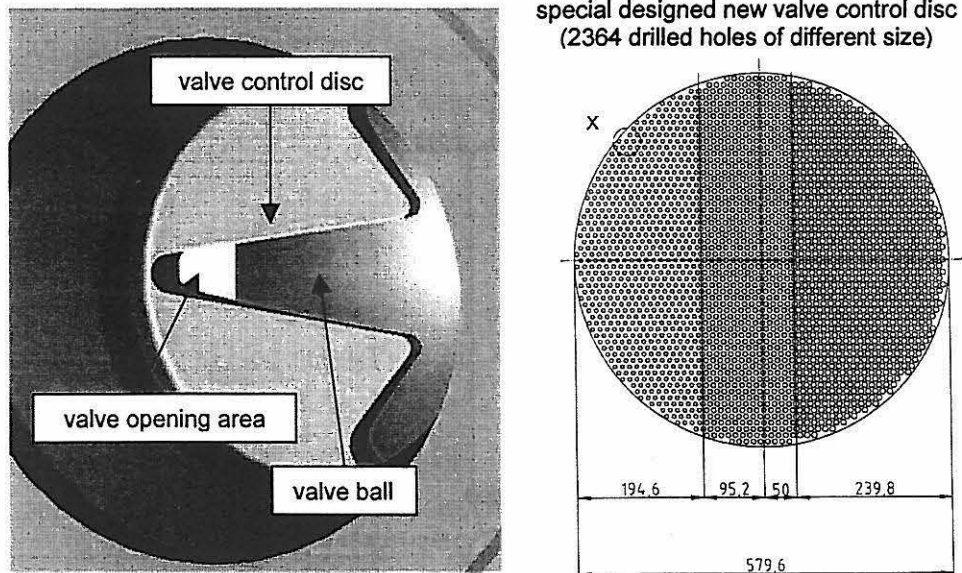


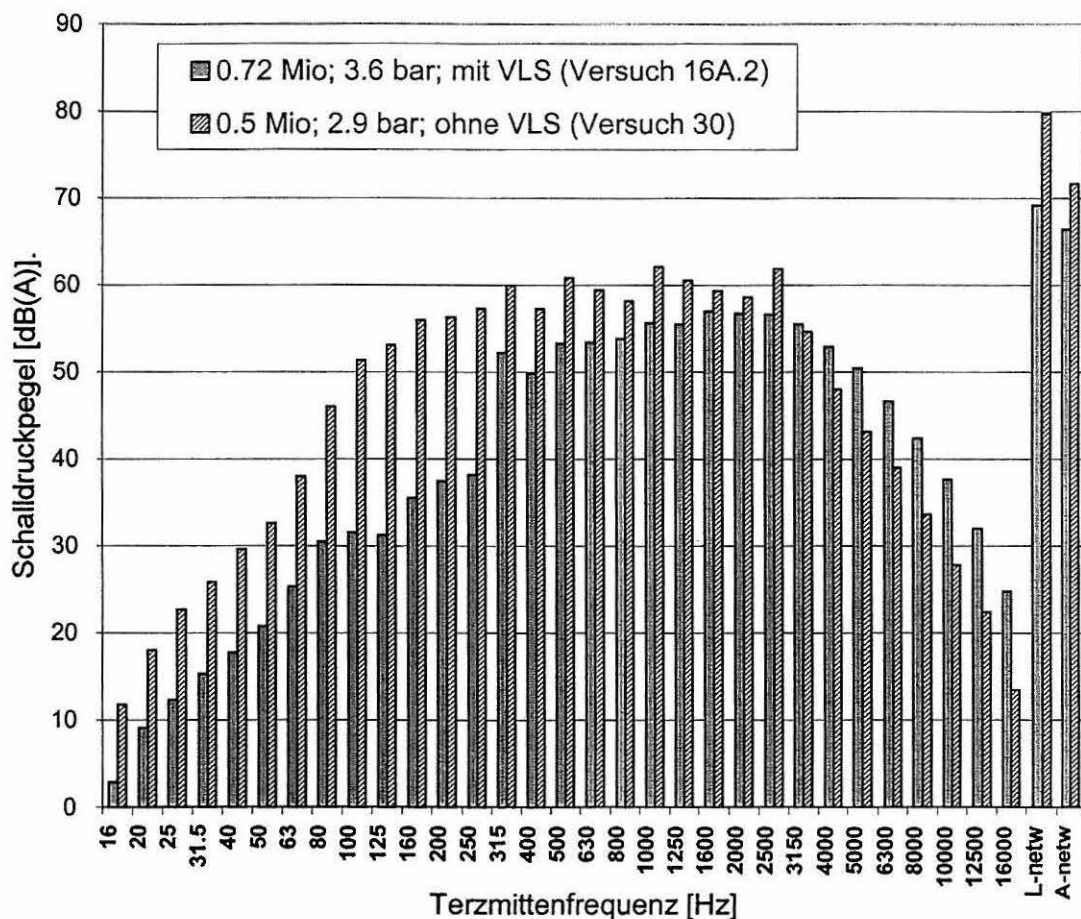
Abb. 4: Schalldruckpegel in dB(A) in 2 m Abstand von der Rohrleitung





**Abb. 5:** Skizze des Regelkugelhahns in der Position 25° geöffnet und der durch KÖTTER Consulting Engineers speziell ausgelegten Regelscheibe zur Minimierung der Schall- und Turbulenzemissionen des Regelkugelhahns

Durch den Einbau dieser Viellochplatte konnte der Schalleistungspegel der Rohrleitung im Mittel um ca. 8 dB reduziert werden (siehe Abb. 6). Die geplante Verschiebung der Frequenzbereiche mit den hohen Schalleistungspegeln konnte durch die nachfolgend abgebildete Vergleichsmessung nachgewiesen werden. Da die Lärmsituation in der Nachbarschaft im wesentlichen durch die tieffrequenten Geräuschanteile bestimmt wird, war die erzielte Lärminderung an den nächstgelegenen Immissionsorten in der Nachbarschaft deutlich höher.



**Abb. 6:** Mittlerer Messflächenschalldruckpegel der Rohrleitung im Bereich des Regelkugelhahns mit und ohne Viellockscheibe (VLS)

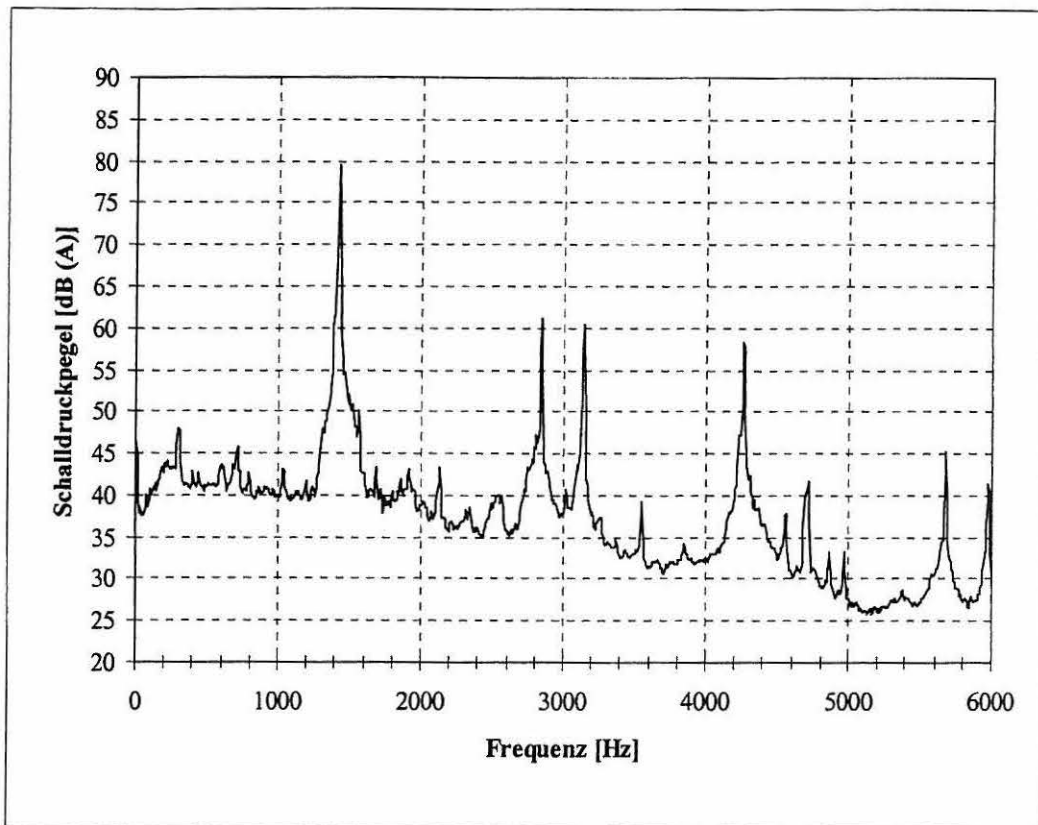
Als weiterer Nebeneffekt konnte der angezeigte Volumenstrom eines „stromauf“ installierten Wirbelzählers durch die Viellockscheiben am Regelkugelhahn in Abhängigkeit vom Betriebspunkt um bis zu 1 % vergrößert werden, so dass die jetzt vorhandene Gleichlaufabweichung zwischen Ultraschallzähler und Wirbelzähler gegenüber der Ausgangssituation deutlich verbessert ist.

## **Auftreten von Einzeltönen**

Neben dem breitbandigen Geräusch, welches durch die Druckreduzierung mit den hohen Verwirbelungen erzeugt wird, treten an derartigen Armaturen auch immer wieder Einzeltöne auf. Diese Einzeltöne führen neben einer erhöhten subjektiven Geräuschempfindung auch zu einer erhöhten Lärmimmission, da das Auftreten derartiger Einzeltöne nach der TA-Lärm bzw. DIN 45681 mit einem Einzeltonzuschlag von bis zu 6 dB „bestraft“ wird. Ursache derartiger Einzeltöne können z. B. schadhafte Bauteile innerhalb einer Armatur oder überblasene Hohlräume innerhalb der Rohrleitung bzw. der Armatur sein. Nachfolgend werden einige typische Beispiele für derartige Einzeltöne vorgestellt.

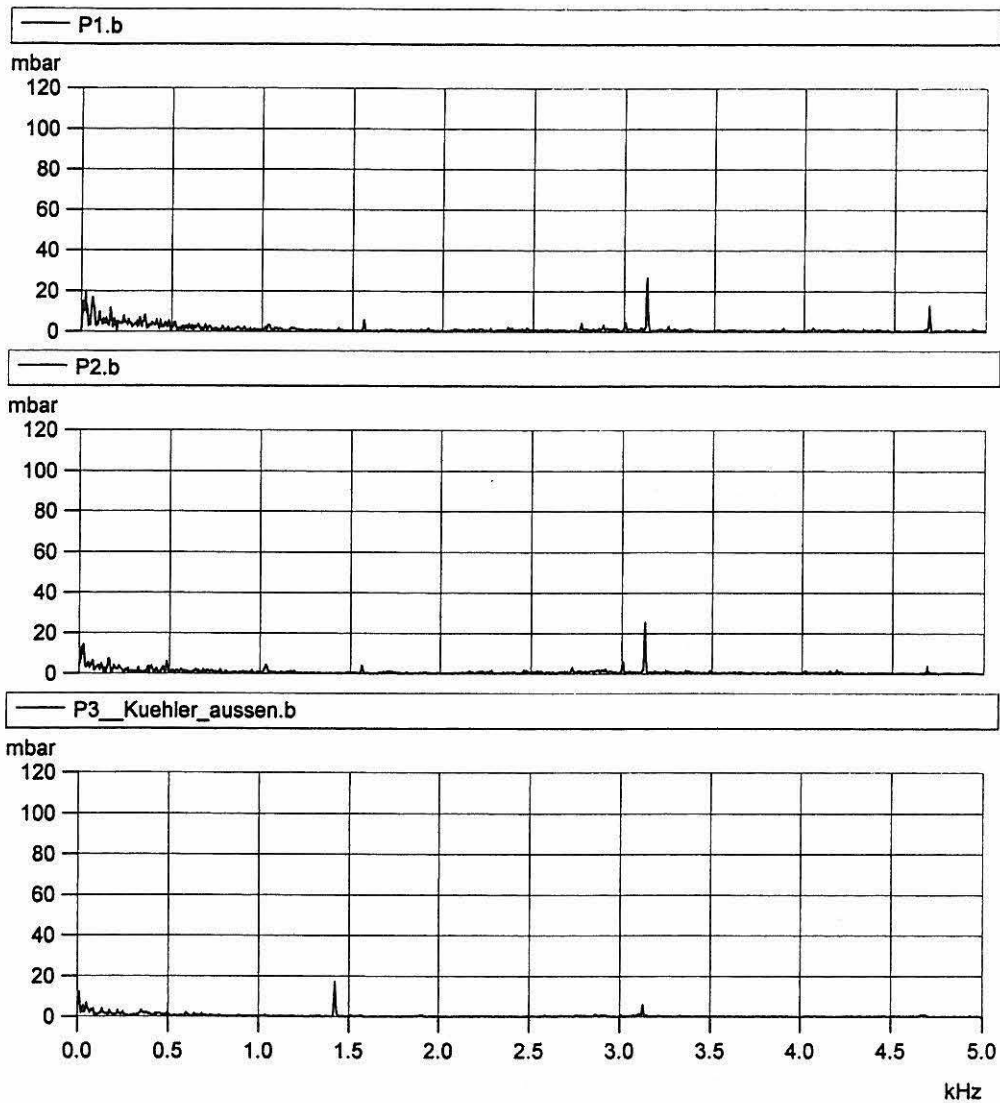
## **Einzeltonprobleme am Kühler eines Turboverdichters**

In einem Erdgasspeicher sind 2 Turboverdichter installiert worden. Nach der Inbetriebnahme wurde insbesondere beim Betrieb des zweiten Verdichters die Lärmsituation in der Nachbarschaft bemängelt. Von Seiten des Planers wurde vermutet, dass der Abstand zwischen dem Laufrad des Turboverdichters und dem nachgeschalteten Diffusor zu gering war und dadurch eine Druckschwankung innerhalb der Rohrleitung erzeugt wurde, die zu den beobachteten Einzeltönen im Luftschall führte. Modifikationen am Diffusor zeigten in bezug auf die Intensität des Einzeltons keine deutliche Verbesserung der Situation, so dass KCE mit der Untersuchung der Ursache und der Ausarbeitung von Lärminderungsmaßnahmen beauftragt wurde.

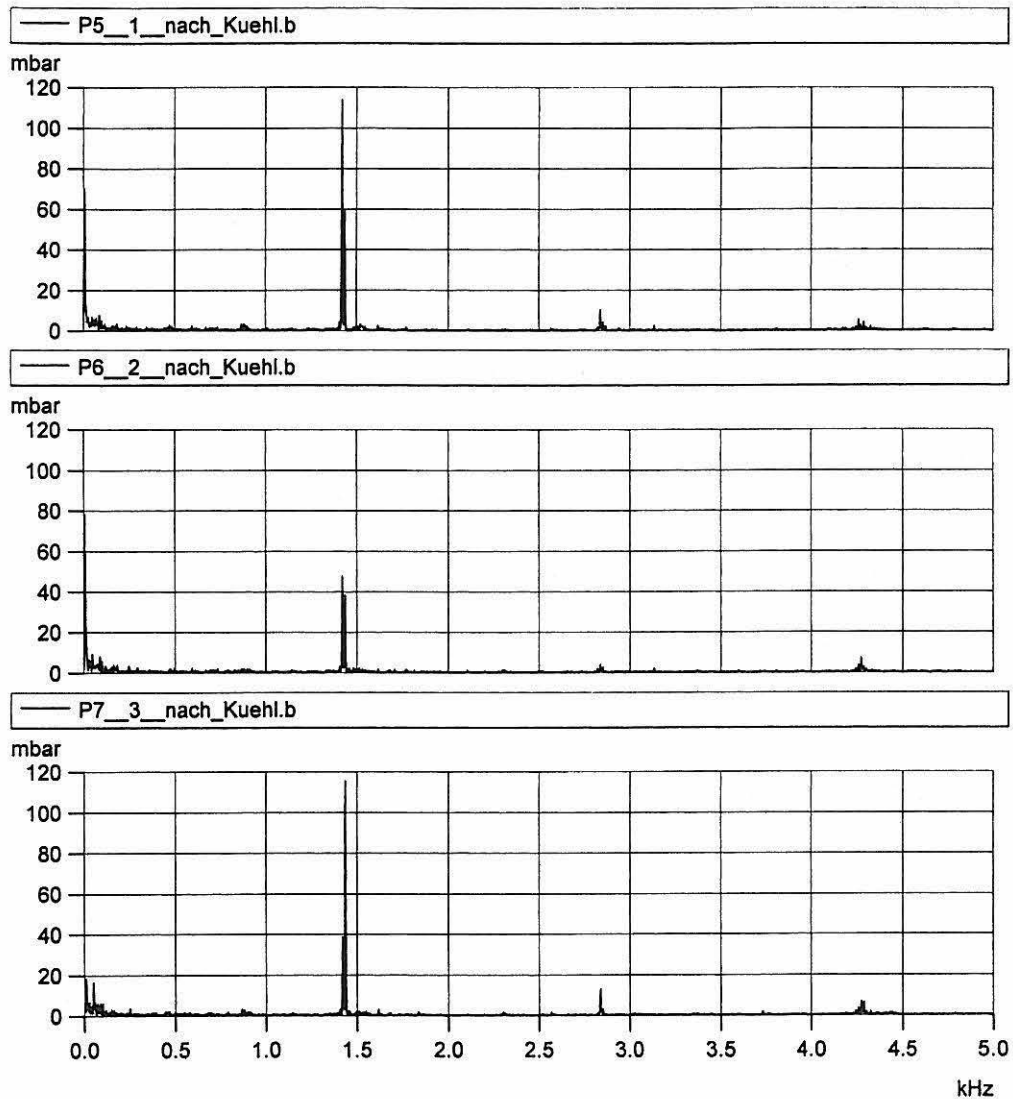


**Abb. 7:** FFT-Analyse der Schalldruckpegel, gemessen ca. 1 m über dem Kühler auf der Druckseite des Verdichters

Messungen innerhalb der Rohrleitung hinter dem Turboverdichter haben ergeben, dass die Intensität der Druckpulsationen bei den Einzeltonfrequenzen unmittelbar am Austritt aus dem Verdichter geringer ist als am Kühler (siehe Abb. 8). Daraufhin wurden auch in dem Rohrleitungsstück hinter dem Kühler Messsensoren eingebaut. Die nachfolgend dargestellte Messung zeigte hinter dem Kühler deutlich höhere Intensitäten als vor dem Kühler, so dass der Verdichter als Verursacher dieser Einzeltöne ausgeschlossen werden konnte (Abb. 9). Durch weitere Messungen im Nahfeld der Rohrleitung konnte eine Rückschlagklappe als Ort mit den höchsten Intensitäten lokalisiert werden, so dass eine Inspektion dieser Klappe vorgeschlagen wurde. Bei der daraufhin durchgeführten Kontrolle wurde festgestellt, dass eine Führung innerhalb der Rückschlagklappe ausgeschlagen war. Nach der Reparatur der Rückschlagklappe war der bemängelte Einzelton in der Anlage verschwunden.



**Abb. 8:** FFT-Analyse der Druckpulsationen innerhalb der Rohrleitung zwischen dem Verdichter und dem Kühler



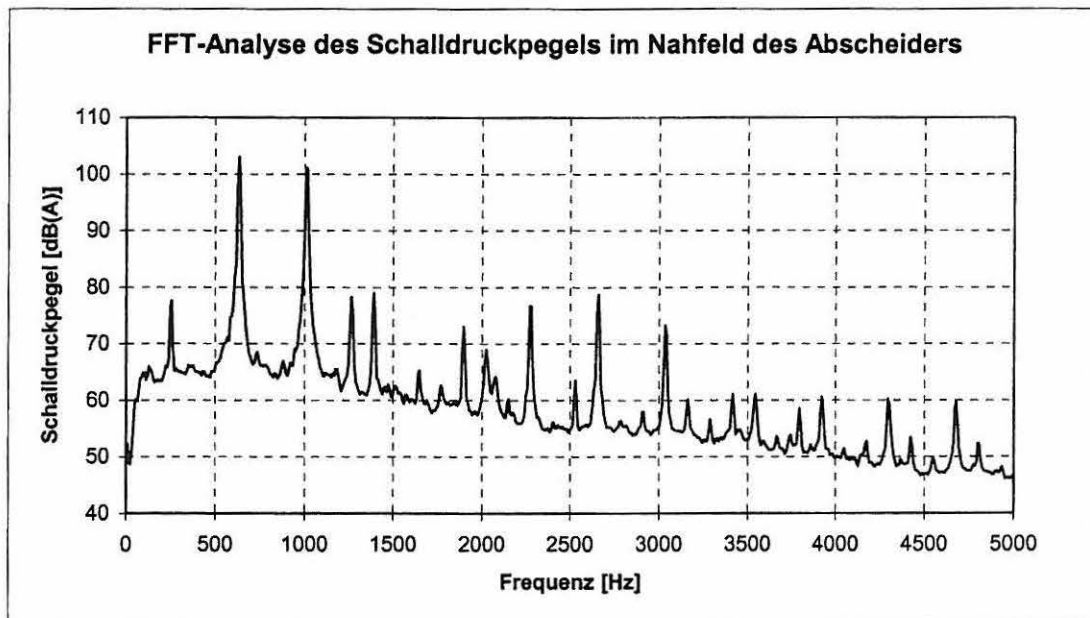
**Abb. 9:** FFT-Analyse der Druckpulsationen innerhalb der Rohrleitung hinter dem Kühler

Durch die Instandsetzung der Armatur konnten die Schalldruckpegel bei den Frequenzen der bemängelten Einzeltöne so weit reduziert werden, dass die danach durchgeführte Abnahmemessung der Lärmimmissionen in der Nachbarschaft die Genehmigungsfähigkeit der Verdichterstation dokumentierte.

### **Einzeltöne am Abscheider eines Kreisgasverdichters**

In einer chemischen Anlage wurde die Lärmsituation auf der Ansaugseite eines Turboverdichters (Kreisgasverdichter) vom Betreiber bemängelt. Auffällig waren insbesondere Einzeltöne, die subjektiv im Bereich der kompletten Saugleitung zu hören waren. Als Ursache für diese Einzeltöne wurde vom Betreiber der sogenannte Drehklang (Produkt aus Drehzahl und Schaufelzahl des Verdichters) vermutet.

Durch Messungen der Druckpulsationen innerhalb der Rohrleitung konnte gezeigt werden, dass der Entstehungsort der Einzeltöne nicht der Verdichter sondern ein Schieber in der Saugleitung war. Dieser Schieber war in der Vergangenheit als Absperrschieber geplant gewesen, wurde aber im Laufe der Zeit auch zur Drosselung eingesetzt. Durch die hohen Turbulenzen innerhalb der Rohrleitung wurden die sogenannten Quermoden der Rohrleitung angeregt, so dass aufgrund der Verstärkung der Pulsationen bei diesen diskreten Frequenzen Einzeltöne von der angeschlossenen Rohrleitung abgestrahlt wurden.



**Abb. 10:** FFT-Analyse des Schalldruckpegels an der Ansaugleitung des Kreisgasverdichters

Die theoretische Berechnung der Frequenzen der Quermoden ergab bei den Betriebsbedingungen während der Messungen  $f_1 = 650$  Hz,  $f_2 = 1.050$  Hz.

Durch die Veränderung der Schieberstellung konnte noch während der Messung vor Ort gezeigt werden, dass die Einzeltonintensität beeinflusst werden kann.

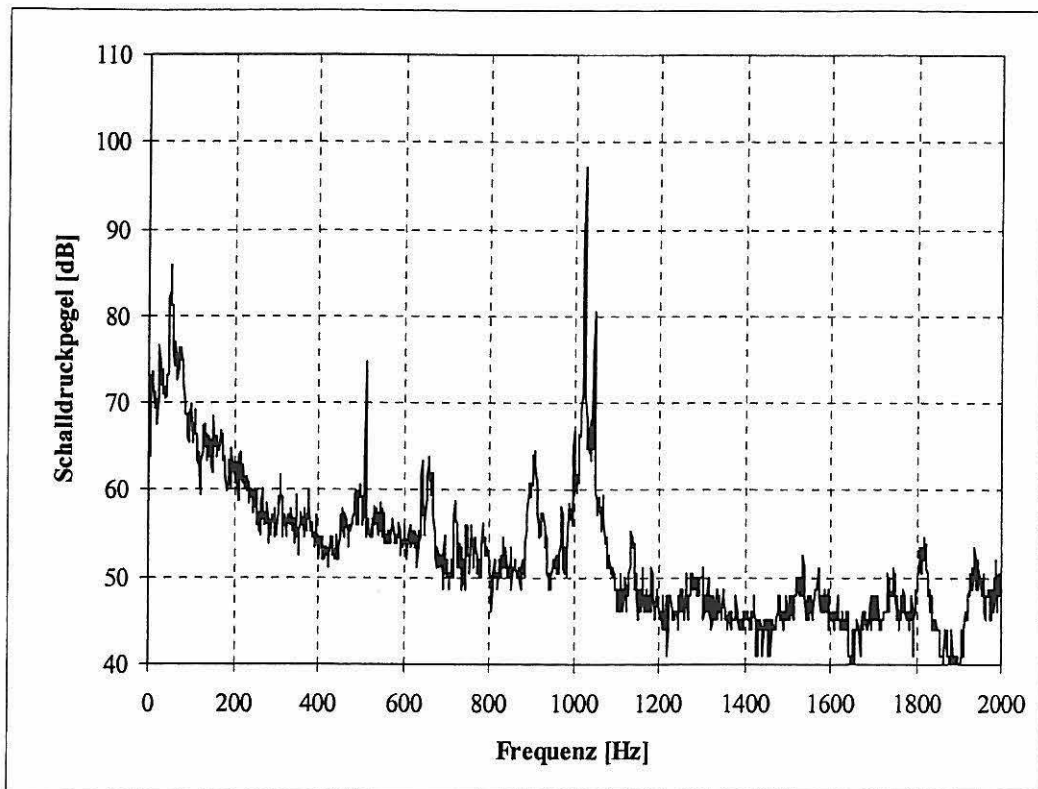


Abb. 12: FFT-Analyse des Schalldruckpegels im Nahfeld des Schiebers, Fall 1 (10 cm Abstand von der Spindel)

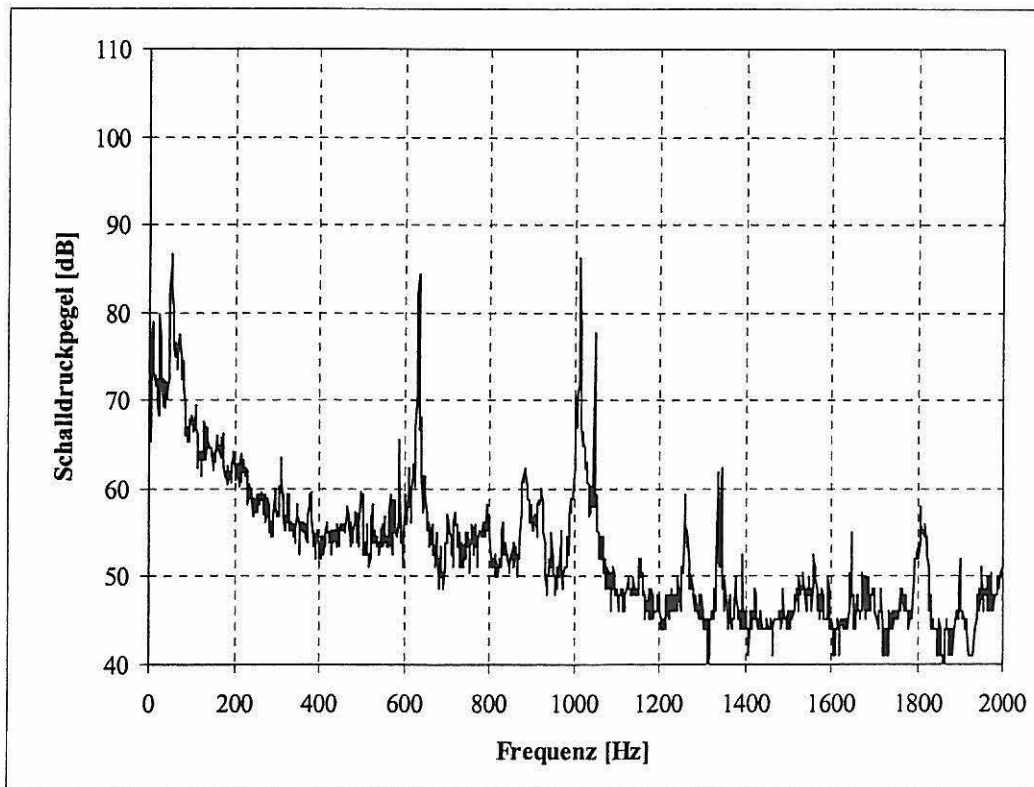


Abb. 13: FFT-Analyse des Schalldruckpegels im Nahfeld des Schiebers, Fall 2 (10 cm Abstand von der Spindel)

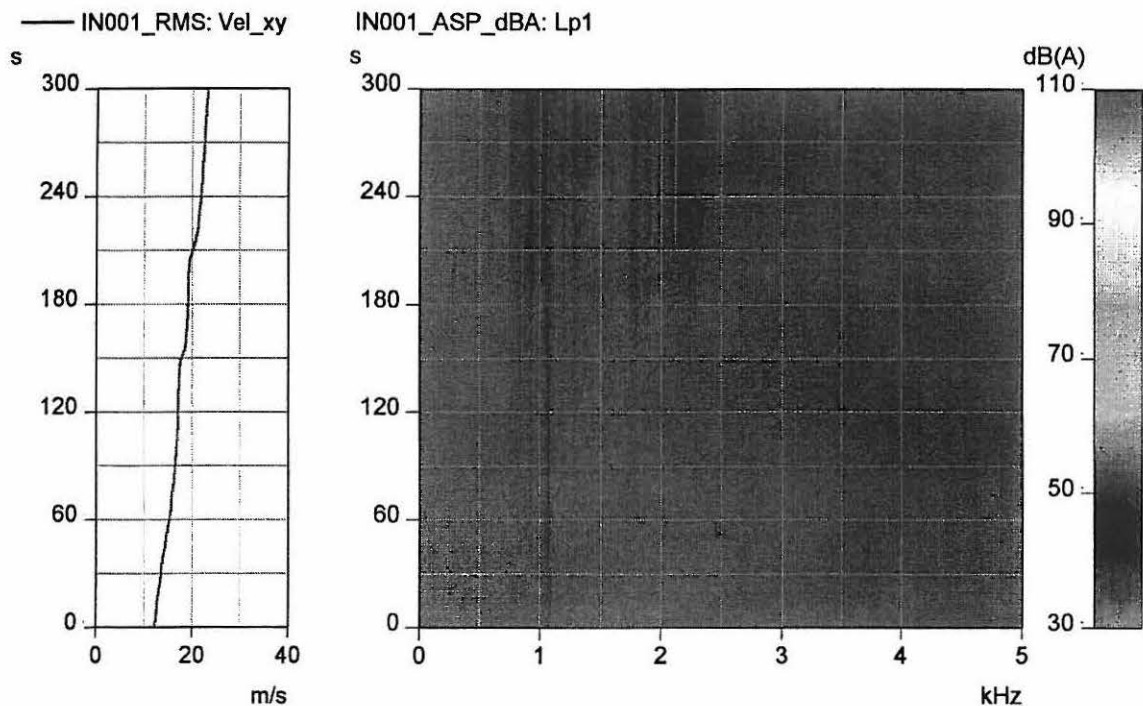


Wie in den FFT-Analysen der Abbildungen 12 und 13 zu erkennen ist, konnte bereits durch eine geringfügige Veränderung der Stellung des Plattenschiebers die Intensität des Einzeltons bei 650 Hz um 20 dB erhöht werden. Als Minderungsmaßnahme wurde daher die vollständige Öffnung des Plattenschiebers sowie die Absenkung des Anlagendrucks empfohlen. Dieses Beispiel zeigt, dass die Minderungsmaßnahme nicht kostenaufwendig sein muß, wenn man weiss, wo die bemängelte Lärmsituation entsteht bzw. wo die Übertragungswege für diese Probleme sind.

### Ursachen für Einzeltöne

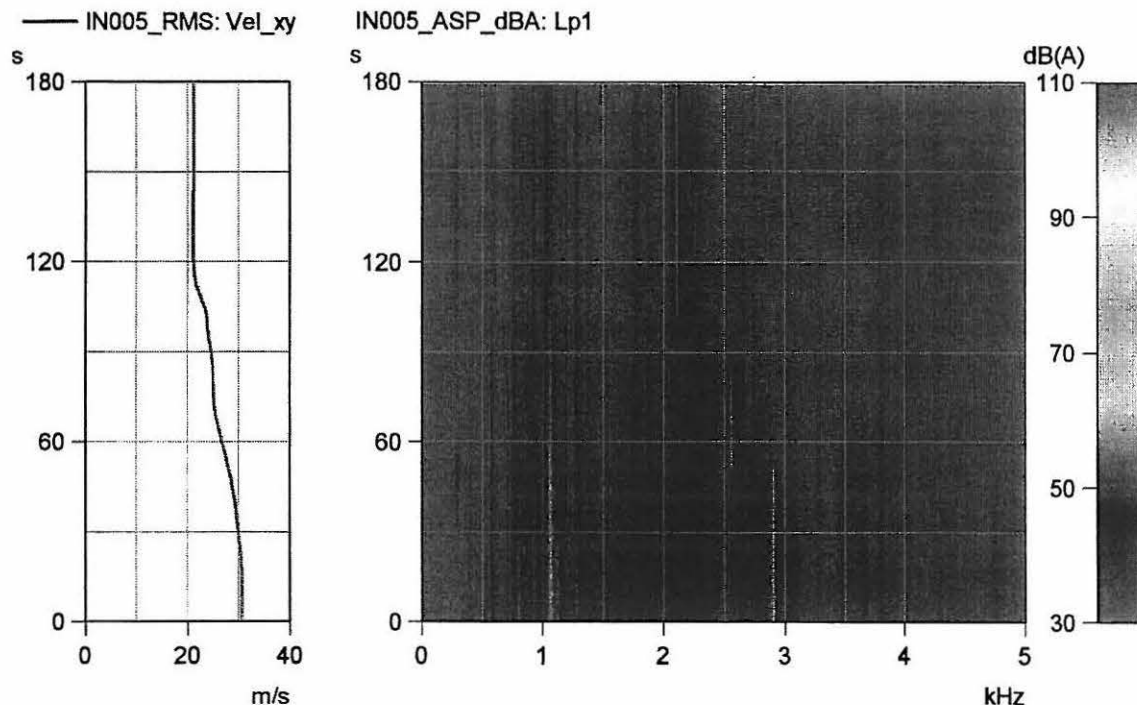
Die Ursachen für Einzeltöne sind häufig akustische Quermoden innerhalb der Rohrleitung. Die Anregungsmechanismen für diese Quermoden sind vielfältig. So reichen zum Teil kleine Störungen in Form von Querschnittssprüngen aus, um solche Quermoden anzufachen. Die Strömungsgeschwindigkeit innerhalb der Rohrleitung muß dabei noch nicht einmal übermäßig hoch sein.

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Farbspektrogramm des Luftschallpegels, aufgezeichnet an einer Rohrleitung mit einer Blende (Öffnungsverhältnis 0,7), und die Strömungsgeschwindigkeit in der Rohrleitung.



**Abb. 14:** Strömungsgeschwindigkeiten und Amplitudenspektren der A-bewerteten Schalldruckpegel bei Vergrößerung des Volumenstroms

Wie aus dem Kurvenverlauf der Abbildung 14 abzulesen ist, sind bereits bei Strömungsgeschwindigkeiten von ca. 12 m/s Einzeltöne im Frequenzspektrum bei ca. 1.050 Hz erkennbar. Ab ca. 20 m/s treten zusätzlich bei ca. 2.150 Hz Einzeltöne auf. Auch hier in diesem Beispiel entsprechen die gemessenen Frequenzen den Frequenzen der Quermoden der Rohrleitung. Auffällig ist, dass sich bei einer Veränderung der Strömungsgeschwindigkeit die Frequenz der Einzeltöne nicht kontinuierlich sondern sprunghaft verändert (Abb. 15).



**Abb. 15:** Strömungsgeschwindigkeiten und Amplitudenspektren der A-bewerteten Schalldruckpegel bei Vergrößerung des Volumenstroms

Die Kurven der Abbildung 15 zeigen bei  $t = 55$  s bzw. bei einer Strömungsgeschwindigkeit von ca. 27 m/s eine sprunghafte Änderung der Frequenz von 2.900 Hz auf 2.550 Hz. Bei den hier beschriebenen Einzeltönen handelt es sich um akustische Resonanzen quer zur Strömungsrichtung (Quermoden). Diese Resonanzen werden durch stochastische Druck- und Geschwindigkeitsschwankungen im Gasstrom (Grundrauschen) angeregt. Mit zunehmendem Pegel des Grundrauschens nimmt die Intensität der Quermoden zu.

## Zusammenfassung

Die Schallentstehung innerhalb von Regelarmaturen ist im wesentlichen auf die hohen Geschwindigkeiten innerhalb der Drosselstelle und die starken Turbulenzen bei der Druckreduzierung zurückzuführen. Durch die konstruktive Gestaltung der Armatur kann bereits unmittelbar am Entstehungsort Einfluss auf die abgestrahlte Schalleistung genommen werden, so dass bei geeigneter Auswahl der Armatur kostenintensive sekundäre Schallschutzmaßnahmen wie Schalldämpfer oder eine Rohrleitungsisolierung eingespart werden können.

Neben der Schallabstrahlung der Armatur ist auch die Schallabstrahlung der Rohrleitung „stromab“ aber auch „stromauf“ zu berücksichtigen, da die schallabstrahlenden Flächen hier wesentlich größer sind. Zusätzlich zu den breitbandigen Geräuschen innerhalb einer Rohrleitung findet man immer wieder Einzeltöne, die zu zusätzlichen Belästigungen führen können. Ursache hierfür sind z. B. die durch Turbulenzen angeregten Quermoden innerhalb der Rohrleitung. Hierbei gilt grundsätzlich: je größer die Turbulenzen sind, desto größer ist die Intensität der auftretenden Einzeltöne.

Da sich Druck- und Geschwindigkeitsschwankungen in den Rohrleitungen von industriellen Anlagen nie vermeiden lassen, bleibt als Fazit, dass die Einbauten innerhalb der Rohrleitung möglichst strömungsgünstig auszuführen sind, um die Turbulenzen so gering wie möglich zu halten.

## Literatur

- DIN EN 60534-8-3      Berechnungsverfahren zur Vorhersage der aerodynamischen Geräusche von Stellventilen
- VDI 3733              Geräusche bei Rohrleitungen
- VDI 3738              Emissionskennwerte technischer Schallquellen  
Armaturen
- VDMA 24422          Richtlinien für die Geräuschberechnung  
Regel- und Absperrarmaturen
- Brümmer, A., Slawig, H,  
Jäkel, H.:              Analyse und Beseitigung störender Gleichlaufabweichungen  
zwischen einem Ultraschall- und einem Wirbelzähler in einer DN  
600 PN 100 Erdgas-Verteilerstation,  
GWF Gas/Erdgas 144 (2003) Nr. 4