

## Übersicht über die Genauigkeit von Schallberechnungsnormen bei Stellgeräten



Sonderdruck aus  
„atp – Automatisierungstechnische Praxis“  
Jahrgang 44 · Heft 7 · 2002

Verfasser:  
Dipl.-Ing. Domagoj Vnucec  
Dr.-Ing. Jörg Kiesbauer

# Übersicht über die Genauigkeit von Schallberechnungsnormen bei Stellgeräten

D. Vnucec, J. Kiesbauer, SAMSON AG

Bei der Projektierung von Industrieanlagen ist die zu erwartende Geräuschemission von Regel- und Absperrarmaturen ein wichtiger Planungsparameter, dessen Bedeutung durch die Arbeits- und Umweltschutzgesetzgebung bedingt ist. Für die Ermittlung der Geräuschemission gibt es heute im Wesentlichen je nach Durchflussmedium verschiedene Berechnungsnormen

(VDMA 24422:1979, VDMA 24422: 1989, IEC 60534-8-3: 2001 und IEC 60534-8-4: 1994), die in dem folgenden Beitrag unter dem Gesichtspunkt der Genauigkeit mit einer großen Anzahl von vorhandenen Messergebnissen der Firma SAMSON verglichen und bewertet werden.

## A review of the accuracy provided by calculation standards intended to predict noise emission in control valves

Noise emission to be expected from control and shut-off valves is an important criterion on planning industrial plants. Its importance is highlighted by legislation requirements regarding occupational health and safety as well as environmental protection. Various calculation standards (VDMA 24422: 1979,

VDMA 24422: 1989, IEC 60534-8-3: 2001 and IEC 60534-8-4: 1994) presently exist to determine noise emission that mainly differ depending on the flow medium. The following article evaluates these standards by comparing their accuracy to the large number of measurements carried out by SAMSON.

### 1. Einführung

Grundsätzlich wird bei der Schallberechnung zwischen einem kompressiblen und inkompressiblen Durchflussmedium differenziert. Der Grund hierfür ist die unterschiedliche Schallcharakteristik der Medien. Während der Schallpegelverlauf bei Gasen und Dämpfen unter der Voraussetzung einer geringen Mach-Zahl ( $Ma < 0,3$ ) durch einen stetigen Anstieg mit steigendem Differenzdruckverhältnis zu charakterisieren ist, zeichnet sich die Geräuschemission bei Flüssigkeiten durch einen relativ konstant ansteigendem Schallpegel im turbulenten Bereich und einem parabelförmigen Schallpegelverlauf im Kavitationsbereich aus (siehe Bild 1).

Diese unterschiedlichen Schallcharakteristiken wirken sich auf die Berechnungen in den einzelnen Normen aus.

Für flüssige Medien stehen im Wesentlichen Berechnungsformeln aus folgenden Normen zur Verfügung (s. auch [5, 6]):

- VDMA 24422 (1979) [1]
- IEC 60534-8-4 (1994) [3] (nahezu identisch mit VDMA 24422 (1989) [2]).

Bei gas- und dampfförmigen Medien erfolgt die Berechnung nach den drei Normen:

- VDMA 24422 (1979) [1]
- VDMA 24422 (1989) [2]
- IEC 60534-8-3 (2001) [3].

Die einzelnen Berechnungsnormen sind durch unterschiedliche Ansätze zur Geräuschermittlung bzw. durch ihren quantitativen Inhalt gekennzeichnet. Während mit der Berechnungsmethode der VDMA 24422 (1979) nur der Schalldruckpegel in einem Meter Abstand zum Stellgerät berechnet werden kann, bieten die anderen Methoden auch die Möglichkeiten der Berechnung der inneren Schalleistungspegel sowie der frequenzabhängigen Geräuschemissionen (siehe Tabelle 1)

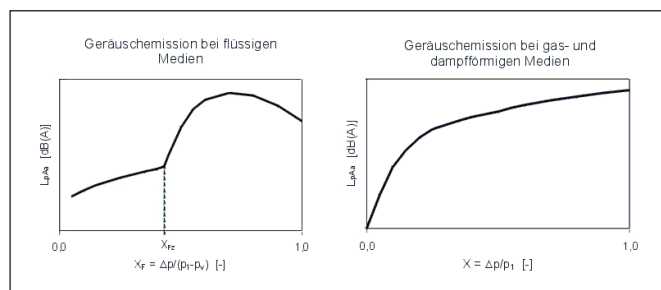


Bild 1: Charakteristische Schallemissionsverläufe

### 2. Überprüfung der Berechnungsnormen durch Messergebnisse mit inneren und äußeren Schalleistungsdaten

Für die Überprüfung der Berechnungsnormen wurden Messungen der Firma SAMSON verwendet. Die vorliegenden Messungen sind hierbei über Jahre hinweg an den SAMSON-Prüfständen (siehe Bild 2) durchgeführt worden und orientieren sich hinsichtlich der Versuchsdurchführung bei dem inneren Schalldruckpegel nach der VDMA 24423 [4] und bei dem äußeren Schalldruckpegel nach der IEC 60534-8 Teil 1 und 2.

In den vorliegenden Vergleichen werden Stellgerätetypen mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Hubventile (Parabolkegel und V-Port-Kegel)
- Hubventile mit 1-stufigem Lochkegel
- Drehkegelventile



Bild 2: Ansicht einer SAMSON-Prüfstrecke

- Stellklappen
- Kugelsegmentventile
- Keine speziellen schallmindernden Ausführungen
- $K_{vs}$ -Werte zwischen 0,4 und 700
- Nennweiten zwischen DN 25 und DN 200

Aufgrund der mediumsbedingten Normvorgaben wurde die Validierung hinsichtlich Luft- und Wasserschallemission separiert, wobei folgende Kriterien berücksichtigt worden sind:

- Luftschallemission
- Maximale Mach-Zahl am Ventilaustritt  $Ma \leq 0,3$
- Differenzdruckverhältnis zwischen 0,2 und 0,85
- Ca. 2500 Messpunkte
- Wasserschallemission
- Verwendung des gemessenen  $x_{Fz}$ -Wertes
- Unterscheidung zwischen turbulentem und Kavitationsbereich
- Ca. 5000 Messpunkte

Tabelle 1: Übersicht über die einzelnen Berechnungsnormen

Parameter/ Faktor	Normen für Kompressible Medien				Normen für inkompressible Medien		
	VDMA 24422 (1979)	VDMA 24422 (1989)	VDMA 24422 (1989) angepasst	IEC 60534-8-3 (2001)	VDMA 24422 (1979)	IEC 60534-8-4 (1994)/ VDMA 24422 (1989)	IEC 65B-WG9 (aktueller Entwurf)
$F_L$				x		x	x
$x_T$		x	x				
$F_d$				x			x
$x_{Fz}$					x	x	x
$K_v$	x			x	x		x
D	x			x	x		x
$d_0$				x			x
$d_{i,s}$	nur s	x	x	x	Nur s	x	x
$F_1, F_2$						Bei VDMA anpassbar/ bei IEC fest: $F_1=-8, F_2=0$	
$\Delta_{LF}$					x	Bei VDMA anpassbar/ bei IEC fest: $DLF=0$	
$G_1, G_2$		fest: $G_1=-3, G_2=0.8$	anpassbar				
$\Delta_{LG}$	x						
$p_1, p_2$	x	x	x	x	x	x	x
W		x	x	x		x	x
$T_1$	x			x			
$\rho_1$	x	x	x	x	x	x	x
$\rho_v$					x	x	x
$\kappa$		x	x	x			
$L_{pi}$ bzw. $L_{Wi}$		x	x	x		x	x
$L_{Wa}$		x	x			x	X
$lp_{Aa}$	x	x	x	x	x	x	X
Frequenz- information		Oktaven	Oktaven	Peakfrequenz		Oktaven	Oktaven, Terzen, Peakfrequenz

Für die Beurteilung der Berechnungsgenauigkeit der Normen sind die Differenzen zwischen den theoretisch ermittelten und den gemessenen Schallpegelwerten herangezogen worden. Im einzelnen sind folgende Schallpegeldifferenzen betrachtet worden:

- $L_{pAa,Norm} - L_{pAa,Messung}$
- $L_{pi,Norm} - L_{pi,Messung}$

### 3. Genauigkeit der Schallberechnungsnormen

Aus den Validierungsuntersuchungen kann generell die Erkenntnis gewonnen werden, dass die äußeren Schallemissionswerte unabhängig vom Medium, Ventiltyp (allerdings keine speziellen geräuscharmen Maßnahmen wie Strömungsteiler) oder Nennweite des Stellgerätes am genauesten von der VDMA 24422 (1979) vorausberechnet werden.

Grundsätzlich lässt sich die Schallberechnungsnorm VDMA 24422 (1989) erheblich verbessern, wenn ihre freien Faktoren wie  $G_1$ ,  $G_2$  oder  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $\Delta_{LF}$  an Messdaten für die Standardmedien Luft und Wasser angepasst werden (siehe beispielsweise Bilder 3 und 4). Diese Möglichkeit bieten die internationalen Normen der IEC 60534 nicht. Dort wird die Philosophie vertreten, dass eine Berechnungsnorm möglichst ohne zusätzliche Messungen bzw. Anpassungen auskommt und ein Kompromiss zwischen Messaufwand und Genauigkeit ist. Letzteres kann aber nicht im Sinne der Anwender sein.

#### 3.1. Kompressible Medien

Im Fall der inneren und äußeren Schallemission bei kompressiblen Medien werden im einzelnen folgende Ergebnisse sichtbar (siehe Bilder 3 und 4 und Tabelle 2):

- 33 % der äußeren Schalldruckpegel  $L_{pAa}$  werden bei der VDMA 24422 (1979) mit einer Genauigkeit von  $\pm 2,5$  dB(A) ermittelt. Bei einem Toleranzband von  $\pm 5$  dB(A) erhöht sich dieser Wert sogar auf etwa 60 % (siehe Bild 3 und Tabelle 2).
- Die beiden Normen, VDMA 24422 (1989) sowie IEC 60534-8-3 (2001), berechnen die äußeren Schalldruckpegel  $L_{pAa}$  im Vergleich zu den Messungen deutlich zu hoch. Im Durchschnitt liegt die Berechnungsdifferenz bei 10 dB(A) (bei der IEC 60534-8-3 (2001) bei etwa 7 dB(A)).
- Die inneren Schalldruckpegel  $L_{pi}$  werden bei der VDMA 24422 (1989) analog zu den äußeren Schallemissionswerten weitaus höher berechnet. Das Maximum der Fehleranalyse liegt ebenfalls (wie bei der  $L_{pAa}$ -Betrachtung) in dem Fehlerbereich ( $L_{pi,Norm} - L_{pi,Messung}$ ) 7,5 ... 12,5 dB (siehe Bild 4).
- Bei der IEC 60534-8-3 (2001) stellt sich bei dem Vergleich zwischen innerer und äußerer Schallemission eine gegenläufige Tendenz dar. Während die äußeren Schalldruckpegel  $L_{pAa}$  höher berechnet werden (siehe Aufzählung), liegen die

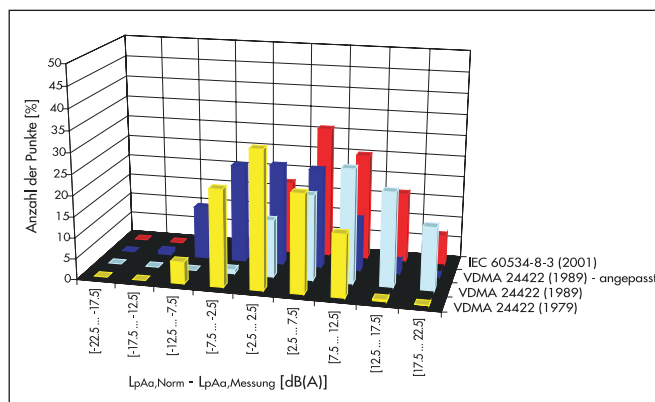


Bild 3: Fehlerverteilung des äußeren Schalldruckpegels bei kompressiblen Medien (Medium: Luft; Gesamtanzahl der Punkte  $N = 2386$ ;  $50 \leq DN \leq 200$ ;  $0,2 < x < 0,85$ )

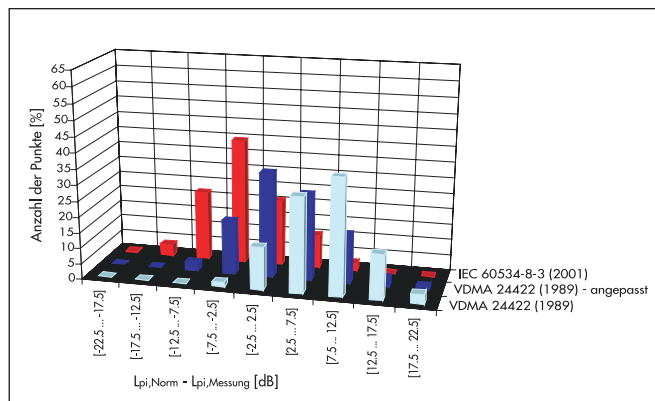


Bild 4: Fehlerverteilung des inneren Schalldruckpegels bei kompressiblen Medien (Medium: Luft; Gesamtanzahl der Punkte  $N = 2386$ ;  $50 \leq DN \leq 200$ ;  $0,2 < x < 0,85$ )

ermittelten inneren Schalldruckpegel  $L_{pi}$  zum Großteil unterhalb den gemessenen Werten (etwa 40 % im Fehlerbereich -7,5 ... -2,5 dB).

- Die Streubreite der theoretischen Schalldruckpegel (90 % der Punkte) liegt generell bei den drei Normen bei etwa 20 dB.
- Es gibt keine wesentliche Abweichung der dargestellten Tendenzen zwischen der Gesamt- und Einzelbetrachtung der Ventiltypen und der Nennweiten.

Der Grund für die zu hohe Schallauslegung bei der VDMA 24422 (1989) liegt im Wesentlichen in der zu hohen Berechnung des akustischen Umwandlungsgrades  $\eta_G$ . Bei der IEC 60534-8-3 (2001) führt bei den meisten Ventiltypen hingegen eine zu niedrige Ermittlung des akustischen Umwandlungsgrades zu geringeren inneren Schalldruckergebnissen. Die gegenläufige Tendenz bei den äußeren Schallemissionswerten ist zum einen auf die nicht exakte Bestimmung der Peakfrequenz und zum anderen auf die in bestimmten Frequenzbereichen zu gering berechneten Rohr-Schalldämmmaße  $R_R$  (siehe Bild 5) zurückzuführen.

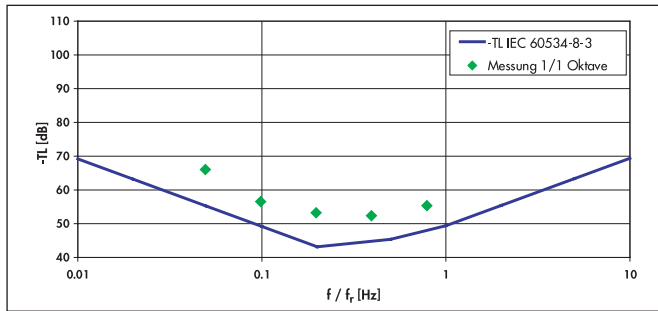


Bild 5: Abweichung des nach der IEC 60534-8-3 berechneten Schalldämm-Maßes (für DN 80)

### 3.2. Inkompressible Medien

Für die Auslegung der Schallemission bei inkompressiblen Medien ist die genaue Angabe des Kavitationsbeginns, ausgedrückt durch den  $x_{Fz}$ -Wert, sehr wichtig, denn eine Toleranz von  $\pm 0,05$  hat aufgrund des steilen Schallpegelanstieges nach Kavitationsbeginn (siehe Bild 1) schon eine deutliche Auswirkung auf das zu erwartende Geräuschniveau. Hierbei können Differenzen von bis zu 25 dB entstehen.

Hinsichtlich der Auswertung werden wie bei der Betrachtung zu den kompressiblen Medien ähnliche Ergebnisse beobachtet (siehe Bilder 6 bis 9 und Tabelle 3):

- Im turbulenten Bereich werden die Stellgeräte mit beiden Normen (VDMA 24422 (1979) und IEC 60534-8-4 (1994)) gleichermaßen zu niedrig berechnet. Die meisten berechneten äußeren Schallpegelwerte (37% bei der VDMA 24422 (1979) und 32% bei der IEC 60534-8-4 (1994)) liegen im Bereich  $-7,5$  dB bis  $-2,5$  dB unter den Messwerten (siehe Bild 6). Betrachtet man den Fehlerbereich  $-7,5 \dots 2,5$  dB, so liegen bei der VDMA 24422 (1979) mehr als 60% innerhalb dieser Fehlergrenzen, während es für die IEC 60534-8-4 (1994) nur nahezu 50% der Fall sind.
- Die inneren Schalldruckpegel im turbulenten Bereich werden mit der IEC 60534-8-4 (1994) im Vergleich zu den Messwerten ebenfalls zu niedrig berechnet. Diese Tendenz wird im Vergleich zur äußeren Schallemission sogar um 5 dB verstärkt, denn etwa 65% der Punkte liegen hierbei in dem Fehlerbereich  $-17,5 \dots -7,5$  dB (siehe Bild 7).

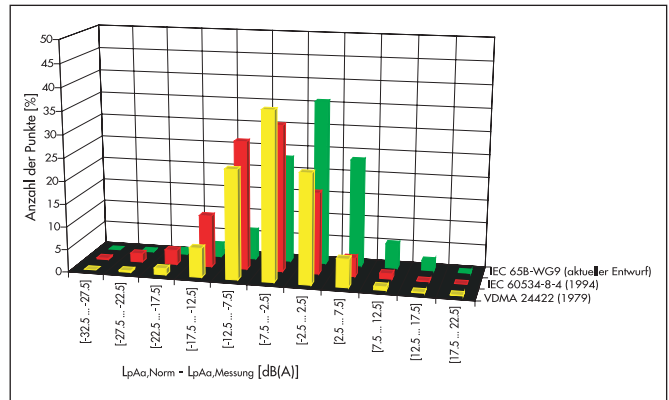


Bild 6: Fehlerverteilung des äußeren Schalldruckpegels bei inkompressiblen Medien im turbulenten Bereich (Medium: Wasser; Gesamtanzahl der Punkte  $N = 1698$ ;  $25 \leq DN \leq 200$ )

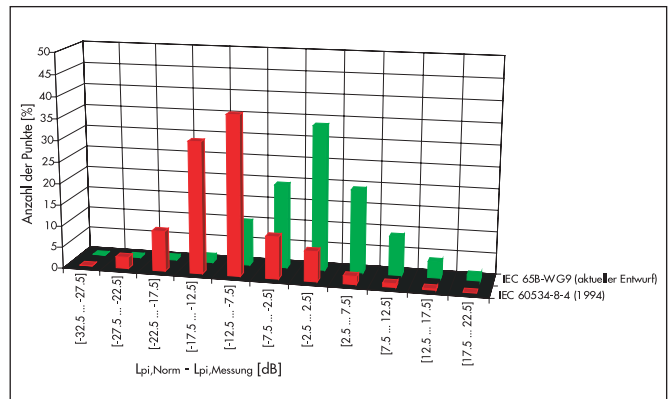


Bild 7: Fehlerverteilung des inneren Schalldruckpegels bei inkompressiblen Medien im turbulenten Bereich (Medium: Wasser; Gesamtanzahl der Punkte  $N = 1698$ ;  $25 \leq DN \leq 200$ )

- Im Kavitationsbereich ergibt sich für die VDMA 24422 (1979) eine ähnliche Fehlerverteilung wie im turbulenten Bereich, wobei der Anteil der Punkte mit einer Abweichung  $-7,5 \dots 2,5$  dB sogar bei etwa 70% liegt (siehe Bild 8).
- Mit der IEC 60534-8-4 (1994) werden die äußeren Schalldruckpegel hingegen noch leiser ausgelegt als im turbulenten Bereich. Hierbei werden ca. 70% der Schallpegel im Vergleich zu den Messwerten um etwa  $-17,5$  bis  $-7,5$  dB niedriger ausgelegt.

Tabelle 2: Genauigkeitsübersicht der Normen bei kompressiblen Medien (% aller zur Verfügung stehenden Berechnungswerte liegen in der betrachteten Genauigkeitsklasse, z.B.  $\pm 2,5$  dB(A))

Norm	Äußerer A-bewerteter Schalldruckpegel $L_{pAa}$			Innerer Schalldruckpegel $L_{pi}$		
	$\pm 2,5$ dB(A)	$\pm 5$ dB(A)	$\pm 7,5$ dB(A)	$\pm 2,5$ dB	$\pm 5$ dB	$\pm 7,5$ dB
VDMA 24422 (1979)	ca. 35 %	ca. 60 %	ca. 80 %			
VDMA 24422 (1989)	ca. 15 %	ca. 20 %	ca. 35 %	ca. 15 %	ca. 30 %	ca. 45 %
VDMA 24422 (1989) angepasst	ca. 25 %	ca. 50 %	ca. 70 %	ca. 35 %	ca. 60 %	ca. 80 %
IEC 60534-8-3 (2001)	ca. 20 %	ca. 30 %	ca. 50 %	ca. 20 %	ca. 45 %	ca. 70 %

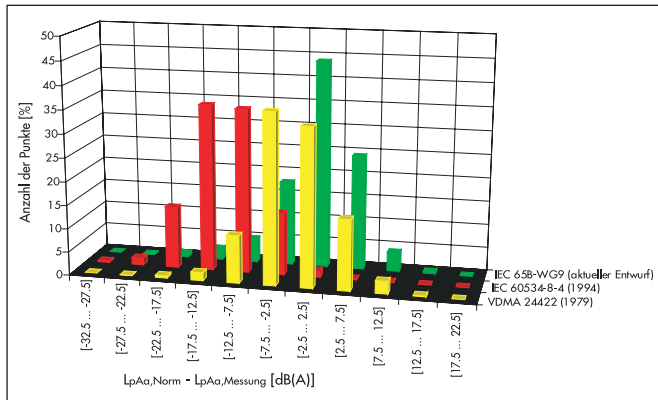


Bild 8: Fehlerverteilung des äußeren Schalldruckpegels bei inkompressiblen Medien im Kavitationsbereich (Medium: Wasser; Gesamtanzahl der Punkte N = 3027;  $25 \leq DN \leq 200$ )

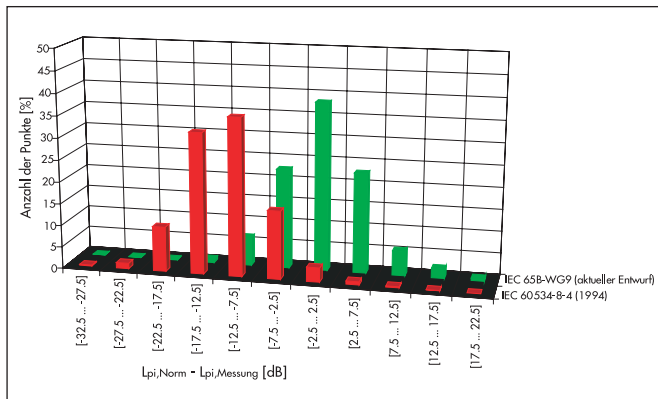


Bild 9: Fehlerverteilung des inneren Schalldruckpegels bei inkompressiblen Medien im Kavitationsbereich (Medium: Wasser; Gesamtanzahl der Punkte N = 3027;  $25 \leq DN \leq 200$ )

- Beim Vergleich zwischen den inneren und äußeren Schalldruckpegeln im Kavitationsbereich gibt es hinsichtlich der IEC 60534-8-4 (1994) keine wesentlichen Unterschiede.
- Die Streubreite der theoretischen Schalldruckpegel (90 % der Punkte) liegt wie bei der gasförmigen Betrachtung generell bei den beiden Normen bei etwa 20 dB.
- Einzelne Schallemissionsuntersuchungen hinsichtlich Ventiltyp und dessen Nennweite ergaben keine wesentlichen Abweichungen der dargestellten Tendenzen im Vergleich zur Gesamtbetrachtung.

Die Tatsache, dass die Schallemission bei der IEC 60534-8-4 (1994) sowohl innen als auch außen zu niedrig berechnet wird, ist auf eine zu niedrige Ermittlung des akustischen Umwandlungsgrades  $\eta_F$  zurückzuführen.

Mit der VDMA 24422 (1979) lässt sich die Schallemission bei flüssigen Medien recht zuverlässig vorausberechnen, vorausgesetzt, dass der  $x_{Fz}$ -Wert durch Messungen bestimmt wurde.

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Eine relativ genaue Auslegung der Schallemission lässt sich bei allen Medien mit der VDMA 24422 (1979) durchführen. Somit wird die Genauigkeitsangabe von  $\pm 5$  dB(A), die in der Norm angegeben ist, bestätigt. Mit dem ventilspezifischen Korrekturglied  $\Delta_{LF}$  bei Flüssigkeiten und  $\Delta_{LG}$  bei Gasen gibt es die Möglichkeit den Schallpegel für spezielle geräuscharme Ventilkonstruktionen an Messungen anzupassen. Nachteilig ist hierbei, dass nur der äußere Schalldruckpegel berechnet werden kann. Für die anderen untersuchten Berechnungsstandards weichen die zu erwartenden von den gemessenen Schallpegeln deutlich ab. Für die IEC 60534-8-3 (2001) konnten somit frühere Validierungen der IEC größtenteils bestätigt werden.

Bei der VDMA 24422 (1989) ist jedoch die Möglichkeit gegeben, durch Anpassen der freien Faktoren  $G_1$ ,  $G_2$  oder  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $\Delta_{LF}$  anhand von Messdaten eine deutliche Verbesserung bei der Berechnung der zu erwartenden Schallpegel (mit einer ähnlichen Genauigkeit wie bei der VDMA 24422 (1979)) zu erzielen (s. Tabelle 2). Die Vorteile gegenüber der VDMA 24422 (1979) liegen aber darin, dass zum einen eine Berechnung der inneren sowie der frequenzabhängigen Schallemission durchgeführt werden kann (von Interesse für Akustikspezialisten in der Anlagenplanung sowie für Hersteller von nachgeschalteten Drosselschalldämpfern bei Anwendungsfällen wie z.B. einer Ausblasung in die freie Umgebung) und zum anderen eine Ermittlung der Schallemission von Stellgeräten mit schallmindernden Ausführungen (allein durch Verwendung der freien Faktoren  $G_1$  und  $G_2$ ) ermöglicht wird. Des Weiteren kann eine Anpassung des Rohr-Schalldämmmaßes an die entsprechende Nennweite durchgeführt werden. Diese angepasste Methode der VDMA 24422 (1989) wird seit Jahren bei der Firma SAMSON erfolgreich angewendet.

Tabelle 3: Genauigkeitsübersicht der Normen bei inkompressiblen Medien (% aller zur Verfügung stehenden Berechnungswerte liegen in der betrachteten Genauigkeitsklasse, z.B.  $\pm 2.5$  dB(A))

Norm	Äußerer A-bewerteter Schalldruckpegel LpAa			Innerer Schalldruckpegel Lpi		
	$\pm 2.5$ dB(A)	$\pm 5$ dB(A)	$\pm 7.5$ dB(A)	$\pm 2.5$ dB	$\pm 5$ dB	$\pm 7.5$ dB
VDMA 24422 (1979)	ca. 30 %	ca. 60 %	ca. 80 %			
IEC 60534-8-4 (1994)	ca. 10 %	ca. 20 %	ca. 30 %	ca. 5 %	ca. 10 %	ca. 20 %
IEC 65B-WG9 (aktueller Entwurf)	ca. 40 %	ca. 65 %	ca. 85 %	ca. 35 %	ca. 60 %	ca. 80 %

Hinsichtlich der flüssigen Medien ist zu bemerken, dass zur Zeit die Norm IEC 60534-8-4 (1994) revidiert wird, deren Teil-Validierung ebenfalls mit SAMSON-Messergebnissen in den Bildern 6 bis 9 bzw. in der Tabelle 3 dargestellt ist. Aus diesen Diagrammen ist zu entnehmen, dass sowohl die innere als auch äußere Schallemission sehr gut und auch besser als mit der VDMA 24422 (1979) vorherbestimmt werden können. Diese Norm gilt es weiterhin zu verbessern bzw. durch weitere Hersteller zu validieren. Demnächst wird einer der Autoren als Experte im Arbeitskreis 65B-WG9 der IEC und Mitentwickler dieser neuen Schallberechnungsnorm diesen neuen Berechnungsstandard genauer vorstellen.

## 5. Verwendete Kurzzeichen

Zeichen	Einheit	Bezeichnung
$\eta_F$	-	Akustischer Umwandlungsgrad für Flüssigkeiten
$\eta_G$	-	Akustischer Umwandlungsgrad für Gase
$\kappa$	-	Adiabatexponent
$\rho$	-	Dichte des Fluids
$D$	m	Ventilauslaßdurchmesser
$d_i$	m	Rohrinnendurchmesser
$d_0$	m	Durchmesser einer kreisförmigen Blendenöffnung
$F_d$	-	Ventilkonstruktionsfaktor
$F_L$	-	Faktor für den Druckrückgewinn eines Ventil bei Flüssigkeiten
$F_1$	-	Niveauexponent in der Funktionsgleichung von $\eta_F$
$F_2$	-	Neigungsexponent in der Funktionsgleichung von $\eta_F$
$f_r$	Hz	Ringdehnfrequenz des Rohres
$f_p$	Hz	Peakfrequenz nach IEC 534-8-3 (2001)
$G_1$	-	Niveauexponent in der Funktionsgleichung von $\eta_G$
$G_2$	-	Neigungsexponent in der Funktionsgleichung von $\eta_G$
$K_v$	m <sup>3</sup> /h	Durchflusskoeffizient eines Ventils
$K_{vs}$	m <sup>3</sup> /h	Durchflusskoeffizient eines Ventils bei Nennhub
$Ma$	-	Mach-Zahl
$\Delta_{LF}$	dB(A)	ventilspezifisches Korrekturglied bei flüssigen Medien
$\Delta_{LG}$	dB(A)	ventilspezifisches Korrekturglied bei Gasen und Dämpfen
$L_{pAa}$	dB(A)	äußerer A-bewerteter Schalldruckpegel
$L_{Wg}$	dB(A)	äußerer Schalleistungspegel
$L_{pi}$	dB	innerer Schalldruckpegel
$L_{Wi}$	dB	innerer Schalleistungspegel
$p_v$	bar	Verdampfungsdruck des Fluids (absolut)
$p_1$	bar	Druck vor dem Ventil (absolut)
$p_2$	bar	Druck hinter dem Ventil (absolut)
$R_R$	dB	Rohr-Schalldämm-Maß
$s$	m	Rohr-Wanddicke
$T$	K	Temperatur des Fluids
$TL$	dB	Schalldämm-Maß korrigiert für Spitzenfrequenz
$W$	kg/h	Massendurchfluss des Fluids
$x$	-	Differenzdruckverhältnis bei Gasen und Dämpfen
$x_f$	-	Differenzdruckverhältnis bei Flüssigkeiten
$x_{fz}$	-	Differenzdruckverhältnis bei Kavitationsbeginn
$x_T$	-	Differenzdruckverhältnis bei Durchflußbegrenzung

## Literatur

- [1] Richtlinien für die Geräuschberechnung bei Regel- und Absperrarmaturen, VDMA-Einheitsblatt 24422, Recommended Practices, Beuth Verlag, Berlin, 1979.
- [2] Richtlinien für die Geräuschberechnung bei Regel- und Absperrarmaturen, VDMA-Einheitsblatt 24422, Recommended Practices, Beuth Verlag, Berlin, 1989.
- [3] Stellventile für die Prozessregelung: Geräuschmission, DIN IEC 60534-8, Beuth Verlag, Berlin (Teile 8-1, 8-2, 8-3, 8-4).
- [4] Geräuschmessung an Ventilen: Fluidschallmessung für kompressible und inkompressible Medien; VDMA-Einheitsblatt 24423, Beuth Verlag, Berlin, 1993.
- [5] Kiesbauer, J.: An improved prediction method for hydrodynamic noise in control valves. Valve World magazine, Vol. 3, Issue 3, June 1998, pp. 33 – 49.
- [6] Kiesbauer, J., Hoffmann, H: Berechnung und Reduzierung der Schallemission bei Stellgeräten. Industriearmaturen: Bauelemente der Rohrleitungstechnik, Vulkan-Verlag, Essen, 1997.

Dipl.-Ing. Domagoj Vnucec ist Mitarbeiter der Abteilung „Entwicklungsprüfstand“ der SAMSON AG, Mess- und Regeltechnik, Frankfurt/Main. Hauptarbeitsfelder: Planung und Auswertung von strömungsakustischen Laborversuchen an Stellgeräten, Einsatz von CFD-Programmen zur Strömungsberechnung, Entwicklung und Optimierung von Berechnungs- und Auslegungsmethoden und die Umsetzung in Auslegungssoftware für Stellgeräte.  
Telefon: 069 4009-1796, Telefax: 069 4009-1920  
E-Mail: dvnucec@samson.de



Dr.-Ing. Jörg Kiesbauer ist Leiter der Abteilung „Entwicklungsprüfstand“ der SAMSON AG. Hauptarbeitsfelder: Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Stellventile einschließlich elektrischer und pneumatischer Anbaugeräte und der Regler ohne Hilfsenergie (strömungstechnische und akustische Untersuchungen, Entwicklung und Optimierung von Berechnungsverfahren, Entwicklung und Erprobung von Diagnosemethoden für Stellgeräte etc., Entwicklung von Softwaretools). Seit 1999 Mitwirkung als Experte in der IEC Working Group 65B-WG9 und im DKE 963  
Telefon: 069 4009-1464, Telefax: 069 4009-1920  
E-Mail: drjkiesbauer@samson.de





SAMSON AG · MESS- UND REGELTECHNIK · Weismüllerstraße 3 · 60314 Frankfurt am Main  
Telefon: 069 4009-0 · Telefax: 069 4009-1507 · E-Mail: [samson@samson.de](mailto:samson@samson.de) · Internet: <http://www.samson.de>