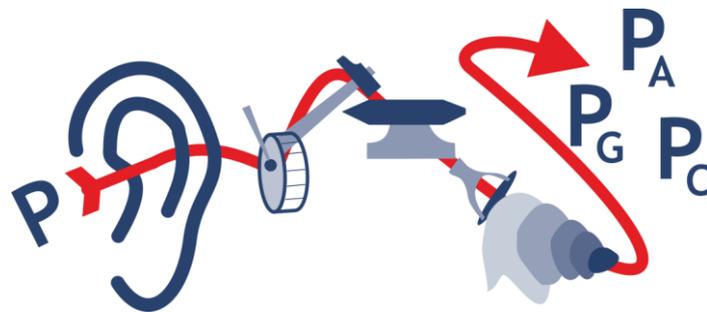


Bewertungen

Wie die Ohren hören sollen



Kennung: kwhdba.02.01

Datum: 09.11.2016

Status: Entwurf

Inhalt

1	Einleitung.....	3
1.1	Einführung	3
1.2	Vorbemerkung zu den Bewertungen	3
1.3	Stärke der A- und C-Bewertung	5
1.4	Toleranzen bei Bewertungen	6
2	Bewertung von Terzspektren.....	7
2.1	Terz- und Oktavspektren.....	7
2.2	Indizierung von Terzen und Oktaven	7
2.3	Berechnung von Oktavpegeln aus Terzpegeln	8
2.4	Schätzung der Terzpegel aus Oktavpegeln	8
2.5	Anwendung der A- und C-Bewertung auf Oktaven	9
3	Bewertungen im Infraschallbereich.....	13
3.1	G-Bewertung.....	13
3.2	CI-Bewertung.....	14
3.3	CG-Bewertung	14
3.4	Bemerkungen	15
4	Verweise	16
5	Über „Bella Acustica – De Bello Acustico“	17

1 Einleitung

1.1 Einführung

Die akustischen Bewertungen sind in IEC 61672-1:2002 festgelegt. Dort wird in Gl. (6) die Berechnung der C-Bewertung, in Gl. (7) die der A-Bewertung und in Gl. (8) die der Z-Bewertung; angegeben.

Wesentliches Ziel dieses Aufsatzes ist die Herleitung einer konsistenten Bewertung von Oktaven. Dazu werden zunächst einige Begriffe und Bezeichnungen eingeführt.

1.2 Vorbemerkung zu den Bewertungen

Die akustischen Bewertungen berücksichtigen den Frequenzgang des menschlichen Ohres. Dieser Frequenzgang ist amplitudenabhängig; das Feld der Kurven gleicher Lautstärke über der Frequenz dokumentieren diese Abhängigkeit, siehe Abbildung 1. Eine solche Kurve gleicher Lautstärke kennzeichnet frequenzabhängig den Schalldruckpegel, der beim Hören zur gleichen Lautstärke(-Empfindung) führt.

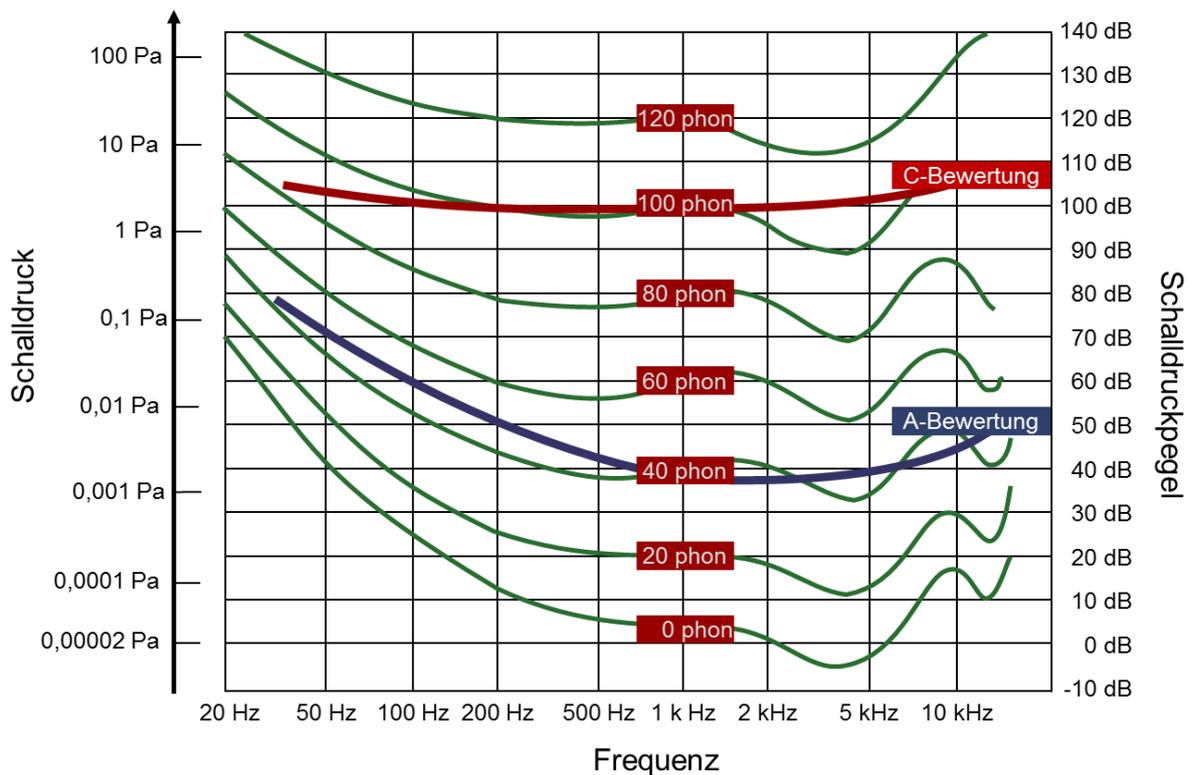


Abbildung 1 Skizze der Kurven gleicher Lautstärke mit umgekehrten Bewertungskurven A und C
Die A-Kurve ist bei 1000 Hz/40 Phon und die C-Kurve bei 1000 Hz/100 Phon angelegt.

Die Lautstärke wird in Phon angegeben. Bei 1000 Hz entspricht die Lautstärke in Phon gerade dem Schalldruckpegel in Dezibel (re. $400 \mu\text{Pa}^2$). Abbildung 1 zeigt die Kurven relativ zum Schalldruckpegel (rechte Y-Achse) und zum Schalldruck (linke Y-Achse).

Die Kurven gleicher Lautstärke zeigen folgende Erkenntnisse:

- Im Bereich 1000 Hz bis 2000 Hz hat das Ohr im Mittel die höchste Empfindlichkeit.

Anmerkung

Die erhöhte Empfindlichkeit im Bereich 4000 Hz ist auf akustische Impedanzanpassung im Ohrkanal zurückzuführen und wird hier nicht betrachtet.

- Im Bereich 1000 Hz bis 2000 Hz weist das Ohr auch den höchsten Dynamikbereich auf.
- Zu hohen Frequenzen ist das Ohr ein Filter 4. Ordnung.

Anmerkung

Die Kurven sind in Abbildung 1 nicht bis in den Bereich des Ultraschalls fortgesetzt. Es ist aber bekannt, dass die Kurven dort so ansteigen und auch die Dynamik signifikant abnimmt.

- Zu tiefen Frequenzen ist das Ohr in Näherung ein Filter 2. Ordnung.
- Die Dynamik nimmt zu tiefen Frequenzen signifikant ab.

Den akustischen Bewertungen wird häufig unterstellt, dass sie den Frequenzgang des menschlichen Ohres als Drucksensor nachbilden. Wegen der Amplitudenabhängigkeit ist diese Nachbildung mit einer einzigen Kurve grundsätzlich nicht möglich. Deshalb hat man zwei Bewertungen eingeführt: Die A-Bewertung, die den Frequenzgang bei 40 Phon nachbildet und die C-Bewertung, die ihn bei 100 Phon (oder 80 Phon oder 90 Phon je nach Literaturstelle) darstellt. Diese Definitionen stammen aus einer Zeit, als Analogfilter eingesetzt werden mussten, um wenigsten annähernd den Frequenzgang bei Messungen zu berücksichtigen.

Mit den heute zur Verfügung stehenden Werkzeugen der Signalverarbeitung wäre es leicht möglich, das Feld der gleichen Lautstärke amplituden- und frequenzabhängig nachzubilden. Ob das sinnvoll wäre, sei hier dahingestellt. Verfahren zur Beurteilung von Lärm basieren heute auf A-bewerteten oder C-bewerteten Pegelgrößen. Sie sind in Gesetzen, untergesetzlichen Regelwerken und Normen und Richtlinien eingeführt.

Diese Beurteilungsverfahren der Verwaltungsakustik sind äußerst ‚widerstandsfähig‘ gegen jedwede Veränderung; Sie können beinahe nicht auf Erkenntnisfortschritte reagieren. Es ist deshalb müßig, darüber zu sinnieren, ob A-Bewertung und C-Bewertung dem heutigen Stand der Technik entsprechen, sie tun es sicher nicht. Die jüngste Entwicklung in der nationalen, europäischen und internationalen Gesetzgebung deutet eher darauf hin, dass die A-Bewertung

als die zentrale Bewertung übrigbleibt: Es ist also eher von einem Rückschritt hinter die Erkenntnisse der Mitte des letzten Jahrhunderts zu reden als vom Fortschritt auf der Basis neuerer Erkenntnisse.

In Diskussionen im Rahmen der Verwaltungsakustik hört man häufiger die Frage, wie man einen C-bewerteten Pegel in einen A-bewerteten Pegel umrechnen kann. Das geht natürlich, wenn man die Signalform kennt. Eine weitere Frage, die im Folgende auch diskutiert wird, lautet: „Wie werden Oktavspektren A- oder C-bewertet?“. Diese Frage lässt sich natürlich beantworten, wenn man die Signalform kennt. Viel wichtiger ist aber der Umkehrschluss: Man kann Oktavspektren nicht regelkonform A- oder C-bewerten, wenn man die Signalform nicht kennt, zumindest nicht nach IEC 61672-1:2002.

1.3 Stärke der A- und C-Bewertung

Die A- und C-Bewertung stellen objektivierte Methoden dar. Sie sind eindeutig mathematisch definiert und können nachvollziehbar angewendet werden. Dies ist der Schlüssel zu ihrer weit verbreiteten Anwendung in der Lärmakustik.

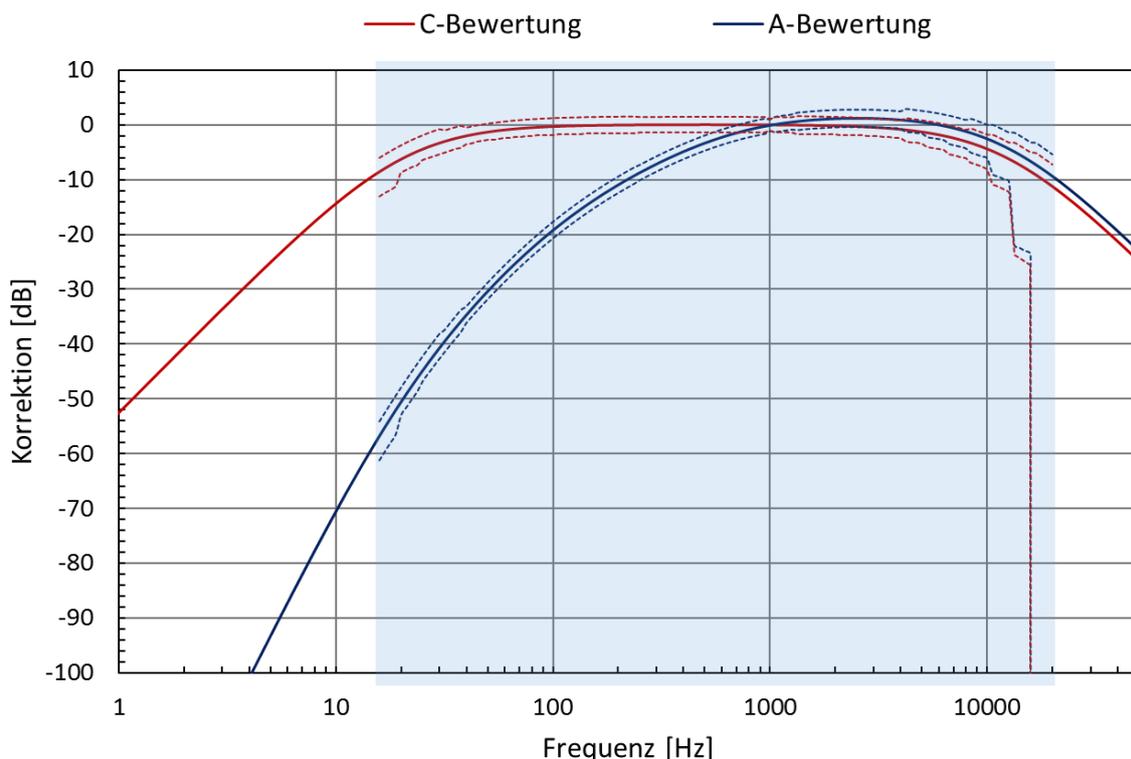


Abbildung 2 Dezibel-Korrekturen der C- und A- Bewertung
 nach den Gleichungen (6) bis (8) in IEC 61672-1
 Für den bläulich hinterlegte Bereich sind Toleranzen für Messgeräte der Klasse 1 nach
 Gleichungen IEC 61672-1 durch gestrichelte Kurven angegeben.

Abbildung 2 stellt die A- und C-Bewertung unter Verwendung der entsprechenden Gleichungen der IEC 61672-1:2002 dar. Für den bläulich hinterlegten Bereich sind die in IEC 61672-1:2002 definierten Toleranzen eingetragen.

1.4 Toleranzen bei Bewertungen

Es ist heute vorgegeben, bei den einschlägigen Normen und Richtlinien eine Betrachtung der Unsicherheit des dort festgelegten Verfahrens in einem eigenen Abschnitt zu behandeln. Dort geht es bei Messungen und Prognosen häufig um zehntel Dezibel. Es lohnt einen Blick auf die Toleranzen der Bewertungen – dazu gehört auch die Z-Bewertung, also die unbewerteten Pegelgrößen.

Den Schallpegelmessern der Klasse 1 sind Toleranzen von mehr als ± 1 dB in der 1000 Hz Terz erlaubt; in anderen Terzen und zum tieffrequenten oder hochfrequenten Rand des Spektrums sogar noch mehr. Die Toleranzen müssen als Unsicherheit gewertet werden. In der Regel wird dies nicht berücksichtigt.

Anmerkung

Es ist nicht statthaft zu behaupten, heutige Schallpegelmesser der Klasse 1 seien wegen ihrer digitalen Umsetzung der Bewertungen sehr nahe am nominellen Wert der Bewertungskurve. Jedermann mag eine Bewertung in einem Tabellenkalkulationsprogramm oder sonst wie umsetzen; Er muss sich nicht am Nominalwert orientieren. Sein Verfahren liefert dann normgerechte Ergebnisse, wenn die Bewertungen innerhalb der Toleranzen bleiben.

2 Bewertung von Terzspektren

2.1 Terz- und Oktavspektren

Terzen- und Oktavspektren sind in der auf den Menschen bezogenen Akustik eingeführte Kenngrößen zur Kennzeichnung von Signalen. Die Bewertungskorrekturen einschließlich der Toleranzen für Klasse-1- und Klasse-2-Messgeräte für Terzpegel sind in IEC 61672-1:2002 in dortiger Tabelle 2 angegeben.

Terz- und Oktavspektren sind Spektren mit einer klassierten logarithmischen Frequenzachse. Die Bandbreite der Oktaven erhöht sich von einer Oktave zu nächsten jeweils um den Faktor 2. Die Bandbreite der Terzen ist ein Drittel einer Oktave: Eine Dekade der Frequenz wird in 10 Terzen unterteilt.

Oktaven und Terzen werden entweder durch ihre Mittenfrequenz oder durch einen Index benannt. Die Angabe der Mittenfrequenzen folgt in einigen Fällen der Tradition und nicht dem rechnerischen Wert für die Frequenz. Der Oktave mit dem Index $m = 6$ (siehe Kapitel 2.2) wird beispielsweise die Mittenfrequenz 63 Hz zugeordnet und nicht die sich rechnerisch ergebende Frequenz von 62,5 Hz.

2.2 Indizierung von Terzen und Oktaven

Die in der Hörakustik (Infraschall, Hörschall und hörbarer Ultraschall) häufig auftretenden Terzen beginnen mit dem Index der Terzen $n = 0$ für die Terz mit der Mittenfrequenz 1 Hz bis $n = 47$ für die Terz mit der Mittenfrequenz 50 kHz. Gl. 1 gibt die Beziehung zwischen dem Index n der Terz und ihrer (rechnerischen) Mittenfrequenz $f_{Terz,n}$ an.

$$f_{Terz,n} = 1 \text{ Hz} \cdot 10^{\frac{n}{10}} \quad \text{Gl. 1}$$

Aus der (rechnerischen) Mittenfrequenz lässt sich der Index der Terz mit Hilfe von Gl. 2 ermitteln.

$$n = 10 \lg \left[\frac{f_{Terz,n}}{1 \text{ Hz}} \right] \quad \text{Gl. 2}$$

Für den Zusammenhang zwischen der Mittenfrequenz der Oktave und ihrem Index m gelten entsprechend Gl. 3 und Gl. 4.

$$f_{Oktavem} = 1000 \text{ Hz} \cdot 2^{m-10} \quad \text{Gl. 3}$$

$$m = \text{lb} \left[\frac{f_{\text{Oktave } m}}{1000 \text{ Hz}} \right] + 10 \quad \text{Gl. 4}$$

Anmerkung: lb ist der binäre Logarithmus

Zu einer Oktave gehören drei Terzen. Oktav-Mittenfrequenzen fallen mit den Terzmittenfrequenzen zusammen. Zu der Oktave m gehören die drei Terzen $n_l = 3m - 1$, $n_c = 3m$ und $n_u = 3m + 1$. Tabelle 1 stellt das Ergebnis dieser Beziehungen für den interessierenden Frequenzbereich zusammen.

	1	2	3	4	5
1	Oktave	$f_{\text{Oktave}, m}$	Terz n_l	Terz n_c	Terz n_u
2	m	Hz	$3m - 1$	$3m$	$3m + 1$
3	0	1	-1	0	1
4	1	2	2	3	4
5	2	4	5	6	7
6	3	8	8	9	10
7	4	16	11	12	13
8	5	31,5	14	15	16
9	6	63	17	18	19
10	7	125	20	21	22
11	8	250	23	24	25
12	9	500	26	27	28
13	10	1000	29	30	31
14	11	2000	32	33	34
15	12	4000	35	36	37
16	13	8000	38	39	40
17	14	16000	41	42	43
18	15	31500	44	45	46

Tabelle 1 Zuordnung der Terzen zu den Oktaven

2.3 Berechnung von Oktavpegeln aus Terzpegeln

Der Oktavpegel ist die energetische Summe der zu der Oktave gehörenden Terzpegel.

$$L_{\text{Oktave}, m} = 10 \lg \left[\sum_{i=-1}^{i=1} 10^{\frac{L_{\text{Terz}, 3m+i}}{10}} \right] \text{ dB} \quad \text{Gl. 5}$$

2.4 Schätzung der Terzpegel aus Oktavpegeln

Für die Berechnung von Terzpegeln aus Oktavpegeln fehlen in der Regel Informationen. Nur wenn die Signalform – also z. B. das relative Terzspektrum eines Mündungsknalls, Geschosknalls o. ä. – bekannt ist, lässt sich spektrale Signalenergie auf die Terzen der Oktave sicher verteilen. Wenn nichts weiter bekannt ist als der Wert der Oktave, sind Annahmen über die Verteilung der Signalenergie auf die Terzen unumgänglich.

Im Folgenden wird angenommen, dass die Signalenergie der Oktave aus dem Signal eines ‚Rosa Rauschen‘ stammt. Also die Signalenergie logarithmisch mit der Frequenz zunimmt. Für diese Signalform ist sowohl das Terzspektrum als auch das Oktavspektrum konstant. Der Wert des Oktavspektrums ist um $10 \lg(3)$ höher als der Wert des Terzspektrums, vgl. Gl. 5. Es gilt für diese Annahme

$$L_{Terz,3m-1} = L_{Terz,3m} = L_{Terz,3m+1} = 10 \lg \left[10^{3 \frac{L_{Terz,3m}}{10}} \right] \text{ dB} \quad \text{Gl. 6}$$

2.5 Anwendung der A- und C-Bewertung auf Oktaven

In IEC 61672-1:2002 sind in Tabelle 2 Bewertungskorrekturen und mit ihren Toleranzen ausschließlich für Terzen im Bereich $n = 10$ (10 Hz) bis $n = 43$ (20000 Hz) festgelegt. Eine standardisierte Bewertung für Oktavbändern ist nicht bekannt.

Anmerkung

Als Bewertungskorrekturen werden hier die Dezibelwerte verstanden, die zu den Terz- bzw. Oktavpegel hinzu zu addieren sind, um entsprechend bewertete Pegel zu erhalten.

Diese Pegel können aus den Gleichungen IEC 61672-6 bis IEC 61672-8 der Richtlinie bestimmt werden. Die in IEC 61672-Tabelle 2 angegebenen Werte sind auf eine Stelle hinter dem Komma gerundet.

Die im Folgenden diskutierte Tabelle 2 dieses Aufsatzes gibt die Bewertungskorrekturen $A_{f, Terz}$, $A_{f, Oktave}$ im Frequenzbereich 0,8 Hz bis 40000 Hz an. In diesem Frequenzbereich liegen die Terzen $n = -1$ bis $n = 46$ und die Oktaven $m = 0$ bis $m = 15$. Dabei werden auch die in der Richtlinie vorgegebenen Toleranzen berücksichtigt, sofern sie definiert sind.

Spalte 4 bis 6 der Tabelle 2 behandelt die A-Bewertung. In Spalte 4 (Überschrift ‚l‘) steht der untere Toleranzwert, in Spalte 5 (Überschrift ‚c‘) die Bewertungskorrekturen nach Gleichung (6) von IEC 61672-1 und in Spalte 6 der obere Toleranzwert (Überschrift ‚u‘). Die Spalten 7 bis 9 enthalten die analogen Werte für die C-Bewertung.

Um die Bewertungskorrekturen für die Oktaven zu berechnen wird als Signal ‚Rosa Rauschen‘ gewählt, vgl. Kapitel 2.4. Dann lassen sich die Terzpegel nach Gl. 6 für die jeweilige Oktave abschätzen. Nach Addieren der Bewertungskorrekturen für die beteiligten Terzen wird der Oktavpegel nach Gl. 5 erneut bestimmt. Gl. 7 fasst die Berechnungsvorschrift zusammen.

Dieses Verfahren lässt sich invertieren und beliebig häufig wiederholen, ohne dass sich das Ergebnis der C-Bewertungskorrekturen ändert.

$$A_{f,Oktavem} = 10 \lg \left[\sum_{i=-1}^1 10^{\frac{L_{Terz,3m+i} - A_{f,Terz,3m+i}}{10}} \right] \text{ dB} \quad \text{Gl. 7}$$

In den Spalten 10 bis 12 bzw. 13 bis 15 der Tabelle 2 werden die Oktav-Bewertungskorrekturen so angegeben, wie oben für die Terz-Bewertungskorrektur beschrieben. Die tatsächlich für die Oktaven gültigen Werte sind in den bläulich hinterlegten Zeilen angegeben. Die Werte in den Zwischenzeilen dienen lediglich zur Information; sie werden formal für Oktavstrukturen gebildet, die eine andere Anfangsfrequenz haben.

Einige Zellen bleiben leer, weil entweder die Toleranzen nicht definiert sind, oder für die tiefste bzw. höchste Terz Gl. 7 nicht anwendbar ist.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>f</i>	<i>A_{f,Terz}</i>			<i>C_{f,Terz}</i>			<i>A_{f,Oktave}</i>			<i>C_{f,Oktave}</i>		
2				<i>u</i>	<i>c</i>	<i>l</i>	<i>u</i>	<i>c</i>	<i>l</i>	<i>u</i>	<i>c</i>	<i>l</i>	<i>u</i>	<i>c</i>	<i>l</i>
3			Hz	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
4		-1	0,8	---	-156,3	---	---	-56,4	---	---	---	---	---	---	---
5	0	0	1	---	-148,6	---	---	-52,5	---	---	-144,8	---	---	-51,4	---
6		1	1,25	---	-140,8	---	---	-48,6	---	---	-136,4	---	---	-47,3	---
7		2	1,6	---	-132,3	---	---	-44,4	---	---	-128,6	---	---	-43,4	---
8	1	3	2	---	-124,6	---	---	-40,5	---	---	-120,8	---	---	-39,5	---
9		4	2,5	---	-116,8	---	---	-36,7	---	---	-112,9	---	---	-35,6	---
10		5	3,15	---	-108,9	---	---	-32,8	---	---	-104,8	---	---	-31,6	---
11	2	6	4	---	-100,7	---	---	-28,7	---	---	-97,1	---	---	-27,8	---
12		7	5	---	-93,1	---	---	-25,0	---	---	-89,4	---	---	-24,0	---
13		8	6,3	---	-85,4	---	---	-21,3	---	---	-81,6	---	---	-20,3	---
14	3	9	8	---	-77,6	---	---	-17,6	---	---	-74,3	---	---	-16,8	---
15		10	10	-66,9	-70,4	-∞	-10,8	-14,3	-∞	---	-67,2	---	---	-13,6	---
16		11	12,5	-60,4	-63,4	-∞	-8,2	-11,2	-∞	-57,9	-60,5	-66,0	-7,9	-10,7	-17,8
17	4	12	16	-54,2	-56,7	-61,2	-6,0	-8,5	-13,0	-51,6	-54,2	-57,2	-5,6	-8,2	-12,1
18		13	20	-48,0	-50,5	-53,0	-3,7	-6,2	-8,7	-45,7	-48,2	-50,4	-3,6	-6,1	-8,6
19		14	25	-42,2	-44,7	-46,7	-1,9	-4,4	-6,4	-40,7	-42,8	-44,8	-2,1	-4,3	-6,4
20	5	15	31,5	-37,4	-39,4	-41,4	-1,0	-3,0	-5,0	-36,1	-37,8	-39,5	-1,1	-3,0	-4,8
21		16	40	-33,1	-34,6	-36,1	-0,5	-2,0	-3,5	-31,7	-33,3	-34,8	-0,4	-2,0	-3,7
22		17	50	-28,7	-30,2	-31,7	0,2	-1,3	-2,8	-27,6	-29,1	-30,6	0,2	-1,3	-2,8
23	6	18	63	-24,7	-26,2	-27,7	0,7	-0,8	-2,3	-23,7	-25,2	-26,7	0,6	-0,9	-2,4
24		19	80	-21,0	-22,5	-24,0	1,0	-0,5	-2,0	-20,2	-21,7	-23,2	1,0	-0,5	-2,0
25		20	100	-17,6	-19,1	-20,6	1,2	-0,3	-1,8	-17,0	-18,5	-20,0	1,2	-0,3	-1,8
26	7	21	125	-14,6	-16,1	-17,6	1,3	-0,2	-1,7	-14,1	-15,6	-17,1	1,3	-0,2	-1,7
27		22	160	-11,9	-13,4	-14,9	1,4	-0,1	-1,6	-11,5	-13,0	-14,5	1,4	-0,1	-1,6
28		23	200	-9,4	-10,9	-12,4	1,5	0,0	-1,5	-9,1	-10,5	-12,0	1,4	0,0	-1,5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>f</i>	<i>A_{f, Terz}</i>			<i>C_{f, Terz}</i>			<i>A_{f, Oktave}</i>			<i>C_{f, Oktave}</i>		
2				<i>u</i>	<i>c</i>	<i>l</i>	<i>u</i>	<i>c</i>	<i>l</i>	<i>u</i>	<i>c</i>	<i>l</i>	<i>u</i>	<i>c</i>	<i>l</i>
3				Hz	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
29	8	24	250	-7,2	-8,6	-10,0	1,4	0,0	-1,4	-6,9	-8,4	-9,8	1,4	0,0	-1,4
30		25	315	-5,2	-6,6	-8,0	1,4	0,0	-1,4	-5,0	-6,4	-7,8	1,4	0,0	-1,4
31		26	400	-3,4	-4,8	-6,2	1,4	0,0	-1,4	-3,2	-4,6	-6,0	1,4	0,0	-1,4
32	9	27	500	-1,8	-3,2	-4,6	1,4	0,0	-1,4	-1,7	-3,1	-4,5	1,4	0,0	-1,4
33		28	630	-0,5	-1,9	-3,3	1,4	0,0	-1,4	-0,5	-1,9	-3,3	1,4	0,0	-1,4
34		29	800	0,6	-0,8	-2,2	1,4	0,0	-1,4	0,5	-0,8	-2,1	1,3	0,0	-1,3
35	10	30	1000	1,1	0,0	-1,1	1,1	0,0	-1,1	1,3	0,0	-1,3	1,3	0,0	-1,3
36		31	1250	2,0	0,6	-0,8	1,4	0,0	-1,4	1,9	0,6	-0,8	1,3	0,0	-1,4
37		32	1600	2,6	1,0	-0,6	1,5	-0,1	-1,7	2,5	0,9	-0,6	1,4	-0,1	-1,6
38	11	33	2000	2,8	1,2	-0,4	1,4	-0,2	-1,8	2,8	1,2	-0,4	1,4	-0,2	-1,8
39		34	2500	2,9	1,3	-0,3	1,3	-0,3	-1,9	2,8	1,2	-0,4	1,3	-0,3	-1,9
40		35	3150	2,8	1,2	-0,4	1,1	-0,5	-2,1	2,8	1,2	-0,4	1,1	-0,5	-2,1
41	12	36	4000	2,6	1,0	-0,6	0,8	-0,8	-2,4	2,7	0,9	-0,8	0,9	-0,9	-2,6
42		37	5000	2,6	0,5	-1,6	0,8	-1,3	-3,4	2,4	0,5	-1,5	0,6	-1,3	-3,4
43		38	6300	2,0	-0,1	-2,7	0,1	-2,0	-4,6	1,9	-0,2	-2,7	0,1	-2,0	-4,6
44	13	39	8000	1,0	-1,1	-4,2	-0,9	-3,0	-6,1	1,1	-1,1	-4,1	-0,8	-3,0	-6,0
45		40	10000	0,1	-2,5	-6,1	-1,8	-4,4	-8,0	0,0	-2,4	-6,2	-1,9	-4,3	-8,1
46		41	12500	-1,3	-4,3	-10,3	-3,2	-6,2	-12,2	-1,2	-4,2	-9,4	-3,1	-6,1	-11,3
47	14	42	16000	-3,1	-6,6	-23,6	-5,0	-8,5	-25,5	-2,9	-6,3	-14,9	-4,8	-8,2	-16,8
48		43	20000	-5,3	-9,3	-∞	-7,2	-11,3	-∞	---	-8,8	---	---	-10,7	---
49		44	25000	---	-12,3	---	---	-14,3	---	---	-11,7	---	---	-13,6	---
50	15	45	31500	---	-15,7	---	---	-17,6	---	---	-14,9	---	---	-16,8	---
51		46	40000	---	-19,4	---	---	-21,3	---	---	---	---	---	---	---

Tabelle 2 Tabelle der Korrekturen für die A- und C-Bewertungen für Terzen und Oktaven und der Toleranzen für Messgeräte der Klasse 1 unter der Annahme: Rosa Rauschen

Abbildung 3 und Abbildung 4 stellen die Korrekturen der C- bzw. A-Bewertung für die Terzen (durchgezogene Linie) und Oktaven (Balken) gegenüber.

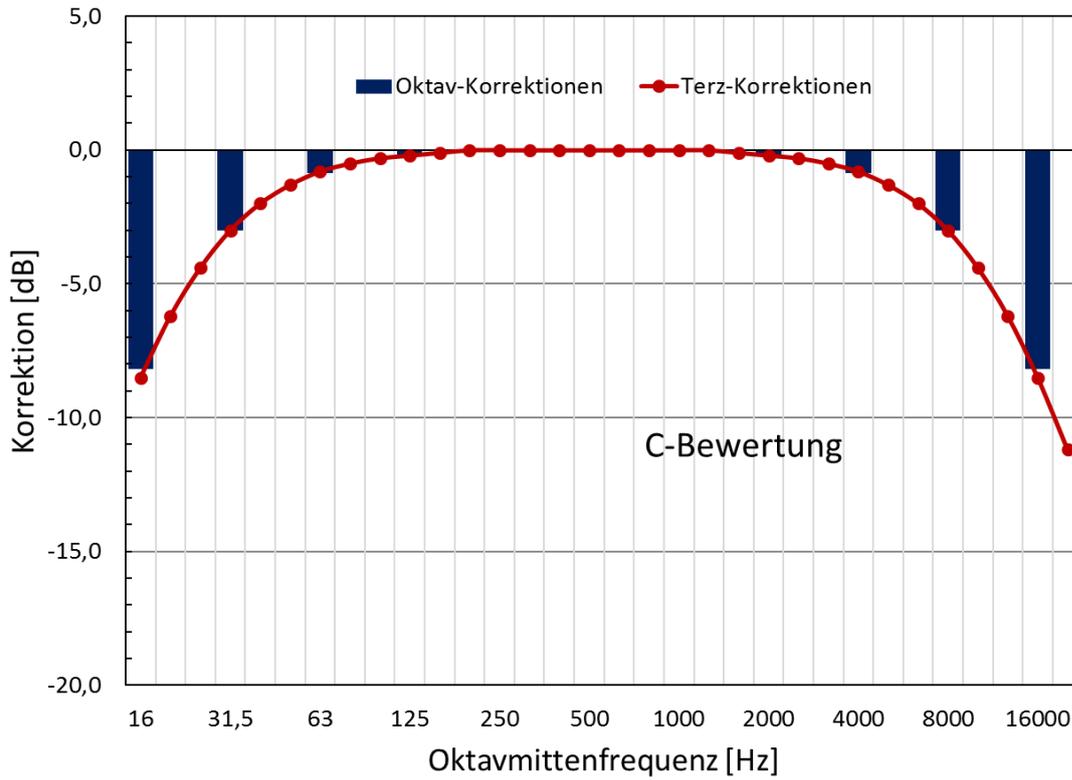


Abbildung 3 Gegenüberstellung der Terz- und Oktavkorrekturen für die C-Bewertung unter der Annahme ‚Rosa Rauschen‘

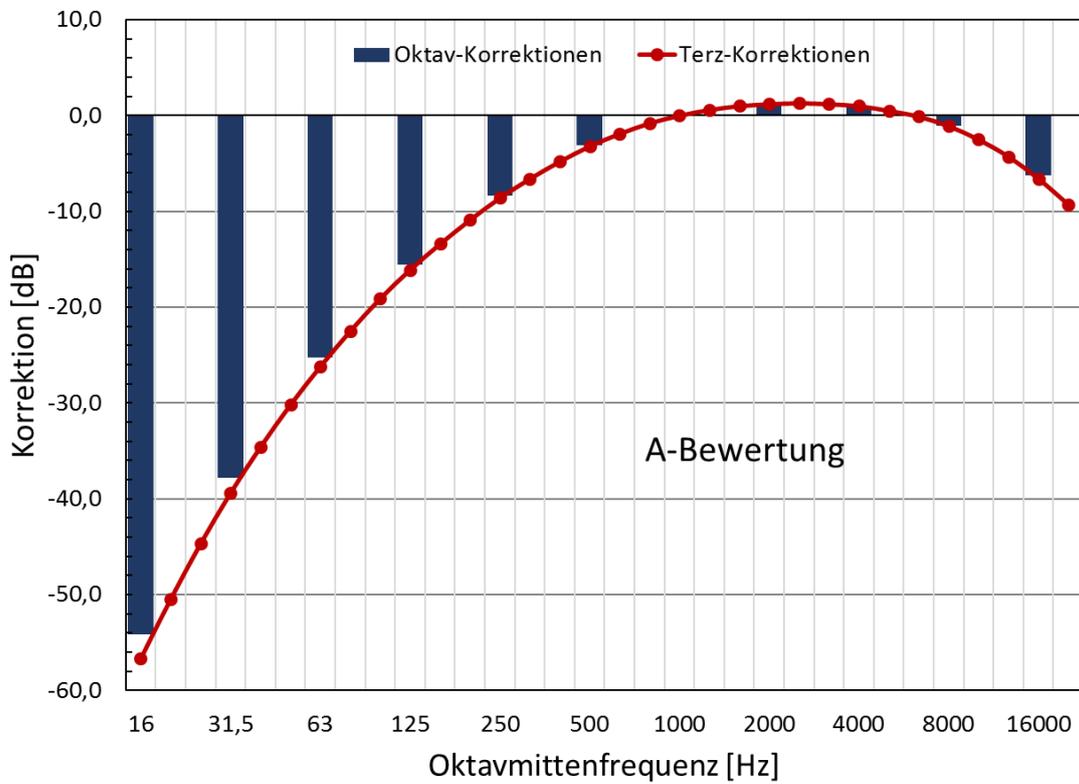


Abbildung 4 Gegenüberstellung der Terz- und Oktavkorrekturen für die A-Bewertung unter der Annahme ‚Rosa Rauschen‘

3 Bewertungen im Infraschallbereich

3.1 G-Bewertung

VOGELANG und KUNZMANN schlagen in ihrem Beitrag in dem Beitrag "Spürbar, wahrnehmbar, hörbar?", Zeitschrift für Lärmbekämpfung (2016)3, S.111 bis 115, eine neue Bewertungskurve vor, die insbesondere für den Infraschallbereich (hier Frequenzen kleiner 16 Hz) die Rolle der A- und C-Bewertung übernehmen soll.

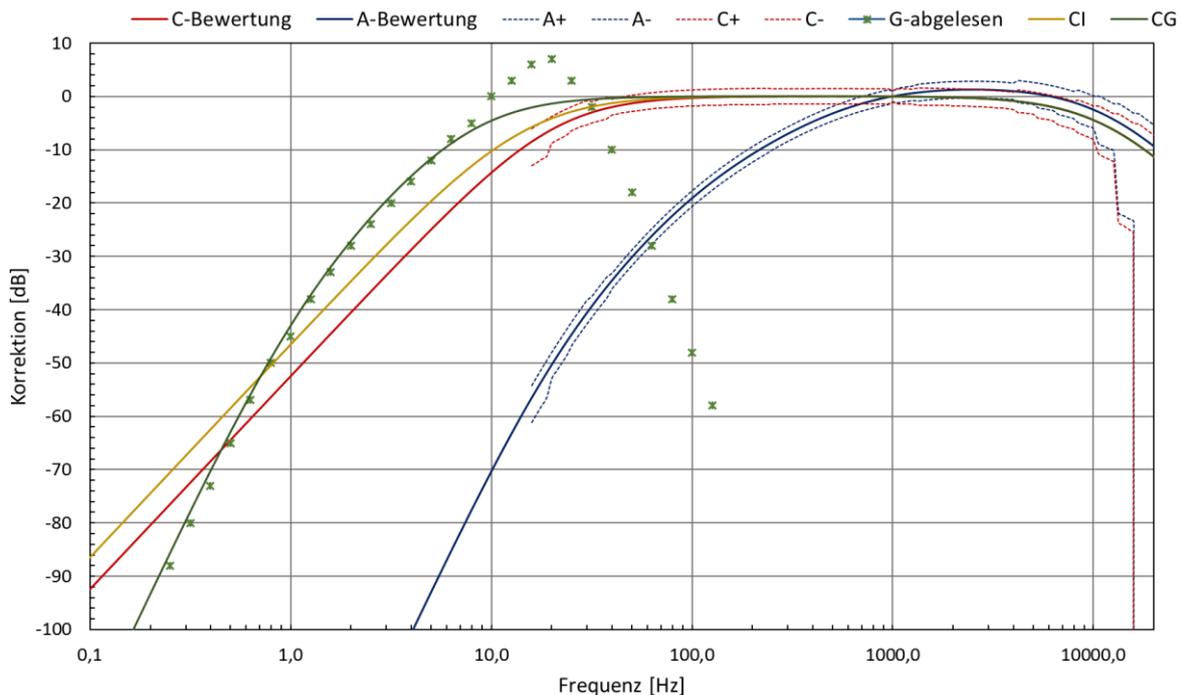


Abbildung 5 CG- und CI-Bewertung im Vergleich zur G-, A- und C-Bewertung

Die Autoren nehmen Bezug auf die international etablierte G-Bewertung für den Infraschallbereich nach ISO 7196 „Acoustics – Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements“. Die G-Bewertung, in Abbildung 5 als Folge von „*“ als Ablesewert aus Bild 2 des Beitrags abgelesen, entspricht in keiner Weise den Anforderungen der Verwaltungsakustik. Für eine den Frequenzgang des menschlichen Hörvermögens abbildende Kurve sollte sich das Konzept an das Konzept der Definition von A- und C-Kurve anlehnen, also wenigstens grob eine Kurve gleicher Lautstärke widerspiegeln. Das Erreichen von 0 dB bereits bei 10 Hz und das Überschreiten der 0 dB Linie entspricht nicht diesem Konzept. Deshalb wird von VOGELANG und KUNZMANN ein glatter Übergang der G-Bewertung ab 5 Hz in die 0-dB-Linie (leider nur grafisch und nicht numerisch) eingeführt.

3.2 CI-Bewertung

In Abbildung 5 sind zwei Bewertungskurven eingetragen, die sich an unterschiedlichen Maximen orientieren, beide aber dem Konzept der Definition über Filterkoeffizienten folgen.

Die hier „CI“ genannte Bewertungskurve ist so definiert, dass sie ab 16 Hz, ab dort sind in Tabelle 2 von IEC 61672-1 Toleranzen für die Terzbewertung angegeben, innerhalb dieser Toleranzen bleibt. Die Bewertung ist also immer noch eine C-Bewertungskurve der Klasse 1.

Dieses Konzept wird auch für die Erweiterung der A-Bewertung in den Ultraschallbereich verfolgt, wo durch ein U-Filter das Hörvermögen des Menschen im Bereich bis 50000 Hz abgebildet wird. Die Kombination aus A- und U-Filter, das sogenannte AU-Filter, ist deshalb im Hörbereich bis 16000 Hz ein A-Filter der Klasse 1.

Tabelle 3 Tabelle 1 definiert das CI-Filter.

	1	2	3	4
1	Art	Ordnung	Frequenz	Bemerkung
2			Hz	
3	Tiefpass	2	12195,000	wie A- und C-Bewertung
4	Hochpass	1	20,600	
5	Hochpass	1	10,300	
	Hochpass	2	0,103	

Tabelle 3 Definition des CI-Filters

3.3 CG-Bewertung

Die CG-Bewertung folgt eher der Methode VOGELSANG und KUNZMANN. Es wird durch eine optimierte Filterfunktion dafür gesorgt, dass die CG-Bewertung glatt aus der 0-dB-Linie ausläuft und sich danach eng an den Stützstellen der G-Bewertung orientiert. Die CG-Bewertung ist deshalb eine sachgerechte Kombination aus der C- und G-Bewertung. Die Erzeugung eines Schnittpunkts mit der C-Bewertung ist unausweichlich, weil die G-Bewertung unterhalb von 5 Hz offensichtlich einem Filter 3. Ordnung entspricht, das C-Filter aber nur 2. Ordnung.

Tabelle 4 definiert das CG-Filter.

	1	2	3	4
1	Art	Ordnung	Frequenz	Bemerkung
2			Hz	
3	Tiefpass	2	12195,00	wie A- und C-Bewertung
4	Hochpass	2	8,24	
5	Hochpass	1	1,03	

Tabelle 4 Definition des CG-Filters

3.4 Bemerkungen

Sowohl die CI-Bewertung als auch die CG-Bewertung haben formale Vor- und Nachteile, um die A- bzw. C-Bewertung im Infraschallbereich zu ergänzen. Es sei darauf hingewiesen, dass beide Ansätze nicht auf audiologicalhe oder medizinische Erkenntnisse beruhen. Sie sind beide jeweils für sich ein pragmatischer Ansatz.

Dem Konzept der CI-Bewertung ist grundsätzlich Vorrang einzuräumen. Es ließe sich eine signifikant bessere Annäherung an die Stützstellen der G-Bewertung erreichen, wenn die Toleranzen der C-Bewertung bei 16 Hz und 20 Hz größere Abweichungen zu kleineren Korrekturen zuließen. Möglicherweise ist dies eher eine Schwäche der IEC 61672-1; Die Setzung der Toleranzen folgt ja traditionell den veralteten Möglichkeiten einer analogen Filtertechnik.

4 Verweise

- [1] IEC 61672-1, CEI 61672-1:2013-09, Electroacoustics - Sound level meters - Part 1: Specifications

5 Über „Bella Acustica – De Bello Acustico“



**Eine Sammlung von Aufsätzen
 zu ausgewählten Themen der Akustik
 aus der ganz persönlichen Sicht des Autors**

	Prolog Die Schöne und der Krieg	kwhdba.00.01 2018-10-03	E
	Dezibels Warum sich Akustiker in der Wüste am wohlsten fühlen	kwhdba.01.01 2018-10-07	E
	Bewertungen Wie die Ohren hören sollten	kwhdba.02.01 2016-11-09	E
	Zeit begreifen Zeitbegriffe	kwhdba.03.00 2016-11-12	F
	Rote Rosen Prognosen mit dem Schallwetter	kwhdba.04.00 2016-11-12	I
	Pegelsalat Zur systematischen Kennzeichnung von Schallpegeln	kwhdba.05.00 2016-11-12	F
	Vom Harten und Weichen Bodenreflexionen im Freien	kwhdba.06.00 2016-11-12	I
	Atmosphärische Störungen Über Messungen im Freien	kwhdba.07.00 2016-11-21	F
	Projectile Sound To Whom It May Concern	kwhdba.08.01 2018-08-22	E
	Überreichweiten Über Zonen abnormaler Hörbarkeit	kwhdba.09.1 2018-09-17	E
	Götzenverehrung DIN ISO 9613	kwhdba.10.0 2018-10-06	K

Stand	I	Idee	erste Skizze	---	E	Entwurf	kurz vor druckreif	web
	F	Fragmente	erste Abschnitte oder Kapitel	---	D	Druck	Druckversion	web
	K	Konzept	Konzept ohne Sprachprüfung	web				

Impressum

Autor
Urheberrecht
Zitierhinweis
Verfügbarkeit
Kontakt



Karl-Wilhelm Hirsch
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>
Hirsch, K.-W.: „Bella Acustica – De Bello Acustica“, [Titel], [Kennung]
www.kwhirsch.de
post@kwhirsch.de