

Einfluss der Genauigkeitsklasse eines Schallpegelmessgerätes bei der Ermittlung der mittleren Schalleinwirkung auf das Publikum bei Veranstaltungen mit elektroakustisch erzeugtem oder verstärktem Schall

Christian Hof, METAS, 14.9.2010

Die Norm IEC 61672-1:2002 spezifiziert sehr detailreich die Anforderungen an Schallpegelmessgeräte in Bezug auf verschiedene Funktionen und Einflussfaktoren. Dabei werden sämtliche Messeräte-Typen in zwei Klassen unterteilt: eine Klasse 1 mit strengeren und eine Klasse 2 mit etwas lockereren Toleranzen (sowohl für die Konzeption und Herstellung solcher Geräte, als auch für die Stabilität über die Verwendungszeit, wie sie mit der periodischen Eichung geprüft wird).

Für den Anwender stellt sich mit der Sichtung dieser Daten die Frage, mit welcher Messunsicherheit er bei bestimmten Situationen konfrontiert sein wird, wenn er für eine konkrete Messung ein Gerät der einen oder anderen Genauigkeitsklasse verwendet. Diese Frage ist nicht leicht zu beantworten, da die dem Mess-Ergebnis zugehörige Messunsicherheit stark von der Charakteristik des gemessenen Signals abhängt. Im Folgenden soll eine globale Abschätzung der Messunsicherheit vorgenommen werden, mit welcher auf Grund der Messgeräte-Klasse gerechnet werden kann, wenn Messungen im Zusammenhang mit der Schall- und Laserverordnung durchgeführt werden. Diese Abschätzung soll helfen zu beurteilen, ob sich der zusätzliche Aufwand des Einsatzes eines Klasse 1-Gerätes lohnt, wenn es darum geht, die *"mittlere Schalleinwirkung auf das Publikum bei Veranstaltungen mit elektroakustisch erzeugtem oder verstärktem Schall"* zu beurteilen, d.h. Messungen im Zusammenhang mit der Schall- und Laser Verordnung vorzunehmen.

Unterschiedliche Anforderungen an Klasse 1 und Klasse 2 Geräte

In einem ersten Schritt wird aufgezeigt, im Bezug auf welche Kriterien sich Geräte der Klasse 1 von solchen der Klasse 2 abheben. Dazu wird eine Liste sämtlicher Geräte-Spezifikationen erstellt, welche sich für die beiden Klassen unterscheiden. Es sei am Rand erwähnt, dass die IEC-Norm in dieser Beziehung nicht ganz leicht zu lesen ist, weil die Toleranzen der Schallmessgeräte nicht explizit angegeben werden. Vielmehr sind darin für jede interessierende Grösse Toleranz-Bänder angegeben, innerhalb derer sich die Messresultate bei der Bauartprüfung oder der Eichung zwingend befinden müssen und zwar unter Berücksichtigung der Messunsicherheit des Prüflabors. Für letztere Grösse sind in der Norm im Annex A (Tabelle A.1) maximal tolerierbare Werte angegeben, so dass die Geräte-Toleranzen (für $k=2$) aus den jeweils angegebenen

Toleranzen abzüglich der maximal tolerierbaren Messunsicherheit berechnet werden müssen. Diese Geräte-Toleranzen sind in der folgenden Tabelle 1 zusammengefasst:

	Einflussgrösse	IEC 61672 part 1	Klasse 1	Klasse 2
1	Justierung des angezeigten Wertes	5.2.2	Klasse 1 Kalibrator 0.4 dB	Klasse 2 Kalibrator 0.75 dB
2	Richtcharakteristik theta = 30°	5.3.	frequenzabhängig 1-4 dB	frequenzabhängig 2-6 dB
	Richtcharakteristik theta = 90°	5.3.	frequenzabhängig 1.5-10 dB	frequenzabhängig 3-12 dB
	Richtcharakteristik theta = 150°	5.3.	frequenzabhängig 2-14 dB	frequenzabhängig 5-16 dB
3	Frequenzbewertung	5.4	frequenzabhängig +0.7/-0.7 bis +3/-∞	frequenzabhängig +1/-1 bis +5/-∞
4	Pegel-Linearität	5.5	0.8 dB	1.1 dB
5	Toneburst response	5.8	0.5 dB	1.0 dB
6	Peak C	5.12	2 dB	3 dB
7	power supply	5.20.2	0.1 dB	0.2 dB
8	statische Luftdruckänderung	6.2	0.4 dB	0.7 dB
9	Temperatur-Koeffizient	6.3	0.5 dB	1.0 dB
10	Feuchtigkeit	6.4	0.5 dB	1.0 dB
11	Störfestigkeit gegenüber elektrischen Feldern der Netz- Versorgung	6.6	1.0 dB	2.0 dB
12	Anzeige-Auflösung (0.1 dB)		0.05 dB	0.05 dB

Tabelle 1: Die Norm IEC-61672:2002 definiert für verschieden Einflussgrössen die je nach Geräteklasse einzuhaltenden Toleranzen.

In einem zweiten Teil wird nun beurteilt, inwiefern die aufgelisteten Toleranzen zur Unsicherheit bei den interessierenden Messungen beitragen können. Dazu müssen die in Tabelle 1 aufgelisteten Unsicherheitsbeiträge unterschiedlich stark gewichtet werden.

- a) Zunächst fällt ein Beitrag in's Auge (Nr. 6), welcher a priori weggelassen werden kann, da er eine Grösse betrifft (peak C), welche bei den durchzuführenden Messungen nicht gefragt ist.

- b) Der Einfluss der Umgebungsbedingungen (die Beiträge 8 - statischer Luftdruck, 9 - Temperatur und 10 - Feuchtigkeit) betrifft maximal zu erwartende Fehlanzeigen, bei einer Änderung dieser Grössen im Rahmen der zulässigen Betriebsbedingungen. Grundsätzlich könnte sich der angezeigte Wert irgendwo innerhalb eines Bandes mit der Breite $2 \cdot U$ befinden. Dabei wäre die Rechteckverteilung zu berücksichtigen und (gemäss GUM) ein Faktor $1/\sqrt{3}$ anzuwenden. Da jedoch davon ausgegangen werden kann, dass der Schallpegelmesser unmittelbar vor der Messung mit Hilfe eines Kalibrators kalibriert wird und die Umgebungsbedingungen während der Messung weitgehend konstant bleiben, würden deren Einfluss stark überschätzt. Es wird für diese Einflussgrössen daher ein zusätzlicher Gewichtungsfaktor von $1/3$ angesetzt.
- c) Eine ähnliche Überlegung kann für die Unsicherheit im Zusammenhang mit der Pegel-Linearität (4) gemacht werden. Zunächst wird die auf die Nicht-Linearität zurückführbare Messunsicherheit aus den maximalen Geräte-Toleranzen abgeschätzt, wobei eine Rechteckverteilung zu Grunde gelegt wird. Da jedoch bei 94 dB kalibriert wird und Pegel der gleichen Grössenordnung zu messen sind, wird diese Unsicherheit um einen Faktor 2 reduziert.
- d) Was die Störfestigkeit (EMV, 11) angeht, so gehen wir davon aus, dass die Geräte bei der Benutzung nur punktuell so starken Belastungen ausgesetzt sind wie die Störfelder unter welchen sie zugelassen wurden. Die damit verbundene (aus den Geräte-Spezifikationen berechnete) Messunsicherheit wird um einen Faktor 3 reduziert.
- e) Für die Grössen 1 (Kalibrator), 5 (Bursts) und 7 (Speisung) muss hingegen angenommen werden, dass u.U. tatsächlich Fehler in Kauf genommen werden müssen, welche das durch die Gerätklasse definierte Toleranzband ausschöpfen. Auch in diesen Fällen wird eine Rechteck-Verteilung zu Grunde gelegt und ein Faktor $1/\sqrt{3}$ angewendet. Da in der Schweiz nur Kalibratoren der Klasse 1 zugelassen sind, wird für die damit verbundene Messunsicherheit für beide Schallpegelmesser-Klassen dieselbe Unsicherheit angesetzt.
- f) Komplizierter wird die Sache bei der Beurteilung des Einflusses allfälliger Frequenzgang-Fehler (3) resp. bei der Richtcharakteristik (2, siehe e). Da die Breite der Toleranzbänder stark von der Frequenz abhängt, ist hier prinzipiell ein starker Einfluss des Spektrums des zu messenden Schalls zu erwarten. Da dieses Spektrum jedoch (zur Anpassung an die menschliche Empfindung wie in der Verordnung verlangt) mit einer A-Bewertung gewichtet wird, tragen nicht alle Frequenzbänder $L_{eq,j}$ gleichermassen zum Mittelungspegel $L_{Z,eq}$ bei. Bei der vorliegenden Abschätzung wird davon ausgegangen, dass bei einer zu beurteilenden Situation ein flaches Spektrum vorliegt. Bei einer unbewerteten Summierung würde der Gesamtpegel $L_{Z,eq}$ aus den einzelnen Frequenzbändern zu $L_{Z,eq} = 10 \cdot \log_{10} \sum_j 10^{\left(\frac{L_{eq,j}}{10}\right)} = L_{eq,j} \cdot n$ aufsummiert. Wird ein flaches Spektrum nun zur Mittelwertbildung noch A-bewertet (d.h. jedes einzelne

Terzband noch mit der Bewertungsfunktion $A(f_i)$ gewichtet), erhält man für den A-bewerteten Pegel

$$L_{A,eq} = 10 \cdot \log_{10} \sum_j 10^{\left(\frac{L_{eq,j} + A(f_j)}{10}\right)} = L_{eq,j} \cdot 10 \cdot \log_{10} \sum_j 10^{\left(\frac{A(f_j)}{10}\right)}$$

Das Band j trägt nun also nur noch mit der Gewichtung $g_j = \frac{\partial L_{A,eq}}{\partial A(f_j)} = \frac{10^{\left(\frac{A(f_j)}{10}\right)}}{\sum_j 10^{\left(\frac{A(f_j)}{10}\right)}}$ zum Gesamtpegel

bei. Entsprechend wird auch die Unsicherheit dieses Teil-Pegels bei der Ermittlung der Unsicherheit des Gesamtpegels gewichtet

$u_{L_{A,eq}} = \sqrt{\sum_j (u_{L_{eq,j}} \cdot g_j)^2}$. Da diese Unsicherheiten für viele Terzbänder asymmetrisch angegeben werden, wird zur Vereinfachung der Berechnung nur die strengere Toleranzgrenze berücksichtigt. Man findet für die Unsicherheit Mittelungspegels $L_{A,eq}$ aufgrund der Frequenzbewertungs-Toleranzen von ± 0.3 dB für Geräte der Klasse 1, resp. ± 0.7 dB für Geräte der Klasse 2.

- g) Die Richtcharakteristik (2) des Schallpegelmessers kann in bestimmten Situationen rein theoretisch eine grosse Unsicherheits-Komponente für die Messung darstellen. Wenn man mit einer stark gerichteten und schmalbandigen Beschallung konfrontiert wäre und alle Orientierungen des Schallpegelmessers zulassen möchte, könnten grosse Differenzen auftreten zwischen Geräten, welche gegen die Quelle ausgerichtet sind von solchen, die in die falsche Richtung "hören". Tatsächlich sollte jedoch davon ausgegangen werden, dass jemand, der eine Messung im Zusammenhang mit der SLV durchführt, sein Mikrophon nicht systematisch falsch ausrichten wird, sondern mehrheitlich weniger als 90° von der "richtigen" Richtung wegzeigen wird. Daher wurden für die vorliegende Betrachtung die Toleranzen für $\Theta = 90^\circ$ verwendet. Die gesamte (mit der Richtcharakteristik verbundene) Messunsicherheit wurde analog zu f) berechnet. Auch hier wurden die einzelnen Komponenten entsprechend ihres relativen Beitrags zum Gesamtpegel aufgrund der A-Bewertung gewichtet. Es wurde jedoch angenommen, dass die Fehler aufgrund der Richtcharakteristik in den einzelnen Terzbändern stark korreliert sind. Das heisst, es wurde angenommen, dass eine Pegelunterschätzung in einem Frequenzband (aufgrund einer falschen Orientierung des Messgerätes) automatisch auch zu einer Pegelunterschätzung im angrenzenden Frequenzband führt. Rechnerisch äussert sich dies darin, dass die Gesamt-Messunsicherheit aufgrund der Richtcharakteristik sich zu

$u_{L_{A,eq}} = \sum_j (u_{L_{eq,j}} \cdot g_j)$ summiert. Man findet 2.0 dB für Klasse 1 Geräte, resp. 3.3 dB für Geräte der Klasse 2. Wenn man nun zusätzlich davon ausgeht, dass die Beschallung in vielen Fällen (typischerweise in geschlossenen Lokalen wie z.B. Diskotheken) eher ungerichtet ist, und dass die Orientierung des Messgerätes über den Verlauf der Ermittlung laufend verändert wird, kann man annehmen, dass dieser Unsicherheits-Beitrag eher kleiner ausfallen wird. Hier wurde zusätzlich eine Reduktion um einen Faktor 4 angesetzt.

- h) Die Anzeige-Auflösung beträgt für alle zugelassenen Schallpegelmessgeräte mindestens 0.1 dB. Daraus ergibt sich ein Fehler der maximal ± 0.05 dB beträgt.

Mit den obengenannten Überlegungen ergibt sich schliesslich die Zusammenstellung der berücksichtigten Unsicherheitskomponenten der Tabelle 2.

	Einflussgrösse	IEC 61672 part 1	Klasse 1	Klasse 2	Gewicht	Klasse 1	Klasse 2
1	Justierung des angezeigten Wertes	5.2.2	Klasse 1 Kalibrator 0.4 dB	Klasse 1 Kalibrator 0.4 dB	$1/\sqrt{3}$	0.23	0.23
2	Richtcharakteristik $\theta = 90^\circ$	5.3.	frequenzabhängig 1-4 dB	frequenzabhängig 2-6 dB	*	0.50	0.83
3	Frequenzbewertung	5.4	frequenzabhängig $+0.7/-0.7$ bis $+3/-\infty$	frequenzabhängig $+1/-1$ bis $+5/-\infty$	**	0.29	0.70
4	Pegel-Linearität	5.5	0.8 dB	1.1 dB	$1/(2*\sqrt{3})$	0.23	0.32
5	Toneburst response	5.8	0.5 dB	1.0 dB	$1/\sqrt{3}$	0.29	0.58
6	Peak C	5.12	2 dB	3 dB	0	0.00	0.00
7	power supply	5.20.2	0.1 dB	0.2 dB	$1/\sqrt{3}$	0.06	0.12
8	statische Luftdruckänderung	6.2	0.4 dB	0.7 dB	$1/(3*\sqrt{3})$	0.08	0.13
9	Temperatur-Koeffizient	6.3	0.5 dB	1.0 dB	$1/(3*\sqrt{3})$	0.10	0.19
10	Feuchtigkeit	6.4	0.5 dB	1.0 dB	$1/(3*\sqrt{3})$	0.10	0.19
11	Störfestigkeit gegenüber elektrischen Feldern der Netz-Versorgung	6.6	1.0 dB	2.0 dB	$1/(3*\sqrt{3})$	0.19	0.38
12	Anzeige-Auflösung		0.05 dB	0.05 dB	$1/\sqrt{3}$	0.03	0.03
	Summe					0.76	1.38
	erweiterte Messunsicherheit (k=2)					1.53	2.77

Tabelle 2: Gerätebedingte Mess-Unsicherheits-Beiträge, welche bei der Beurteilung von Immissionen im Zusammenhang mit der SLV berücksichtigt werden.

Die Tabelle 2 zeigt, dass bei der Ermittlung der Schalleinwirkung auf das Publikum im Zusammenhang mit der SLV eine relativ grosse Geräte-bedingte Messunsicherheit zu berücksichtigen ist. Sie beträgt für Geräte der Klasse 1 typischerweise 1.5 dB und für Geräte der Klasse 2 ca. 2.8 dB. Für diese Unsicherheitsabschätzungen wurden allerdings gewisse Annahmen gemacht, welche erfüllt sein müssen, damit die Unsicherheit nicht bedeutend grösser wird. Kritisch ist insbesondere der Einfluss der

Richtcharakteristik, von welcher hier angenommen wurde, dass sie durch eine sich ändernde Messposition ausgemittelt resp. ihr Einfluss durch eine günstige Orientierung minimiert wird. Dies ist insbesondere dann möglich, wenn das verwendete Messgerät handlich und kompakt ist. Nur dann gibt es keine zusätzlichen Einschränkungen, welche die Messunsicherheit einer Messung auch mit einem Klasse 1 Gerät dramatisch verschlechtern würden.

Schliesslich ist darauf hinzuweisen, dass repräsentative Messungen nur mit einem unauffälligen Gerät vorgenommen werden können. Es scheint illusorisch, eine optimale Mess-Situation mit einem qualitativ hochstehenden Gerät und einer perfekten Aufstellung anpeilen zu wollen, weil zu erwarten ist, dass dadurch die eigentliche Messgrösse stark beeinflusst wird (Pegel wird zurückgeschraubt). Dieser Anspruch der diskreten, uneingeschränkten Messung scheint uns nur mit einem kompakten Gerät erfüllbar.

Für Messungen im Zusammenhang mit der Schall- und Laserverordnung scheint uns der potentielle Gewinn an Präzision durch den Einsatz eines Klasse 1 Gerätes (mit intrinsisch besserer Genauigkeit) nur dann erstrebenswert, wenn er nicht durch eine schlechtere Handhabbarkeit verloren geht. Wenn das genauere Gerät nicht optimal eingesetzt werden kann, ist die damit durchgeführte Messung weniger genau. Für im Zusammenhang mit der SLV vorgenommene Messungen scheint aus unserer Sicht die Handlichkeit und Unauffälligkeit des Schallpegelmessers ein wichtigeres Kriterium als die Geräteklasse.