

Behandlung der Tonhaltigkeit unter Berücksichtigung der E DIN 45681

Dirk Sagemühl und Lothar Schmidt, Bayer-AG, Abt. ZT-TE PAT SST, 51468 Leverkusen

1. Einleitung

Der z. Z. gültige Weißdruck der ISO 1996-2 von 1987 [1] mit den Ergänzungen von 1998 enthält lediglich zwei Absätze, in denen die Vergabe eines Tonzuschlages angeführt wird. Der letzte Entwurf (ISO/CD 1996-2) vom Mai 2001 [2] enthält dagegen als Anhang C eine aus Dänemark übernommene ähnlich detaillierte Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen wie der Entwurf der DIN 45681 [3]. Im folgenden sollen die Ermittlung des Tonzuschlages nach diesem Anhang C vorgestellt und dabei die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen beiden Entwürfen aufgezeigt werden – wobei zum Vergleich der neue Entwurf der DIN 45681 herangezogen wird, der im wesentlichen bereits auf der DAGA 2001 [4] vorgestellt wurde.

2. Bestimmung des Tonzuschlages nach ISO/CD 1996-2 und E DIN 45681 – ein Vergleich

In beiden Normen wird der Tonzuschlag in drei Schritten ermittelt (s. Punkt 2.1 bis 2.3).

2.1 Schmalbandanalyse des Geräusches

Gemeinsame Grundlage beider Normen ist die Aussage der Psychoakustik, dass das menschliche Gehör Geräusche in Frequenzgruppen analysiert.

Die maximale Analysierbandbreite ist in beiden genannten Normen ähnlich. In der E DIN 45681 beträgt sie maximal 4 % der zum Ton gehörenden Frequenzgruppe, für die Frequenzgruppe um 100 Hz also 4 Hz, in der ISO/CD 1996-2 ist die effektive Bandbreite auf 5 % beschränkt, bei Verwendung eines Hanning-Fensters, das in beiden Normen vorgeschlagen wird, beträgt die Analysierbandbreite wiederum auf 100 Hz bezogen also etwa 3,3 Hz (effektive Bandbreite 5 Hz).

In der E DIN 45681 wird für Tonfrequenzen < 100 Hz auf die DIN 45680 [5] verwiesen, in der ISO/CD 1996-2 wird zwar die Mittenfrequenz der tiefsten Frequenzgruppe und damit die tiefste Tonfrequenz auf 50 Hz gelegt, da aber eine zu berechnende Regressionsgerade (s. Punkt 2.2) mindestens das 1,5-fache, i.a. aber das zweifache einer Frequenzgruppen umfasst, wird in aller Regel keine Tonlinie mit einer Frequenz unter 100 Hz detektiert. Für tieffrequente Töne verweist diese Norm, wie auch die DIN 45680, auf die Hörschwelle.

Beide Normen fordern ein A-bewertetes Frequenzspektrum. Die Analysierdauer sollte bei der ISO/CD 1996-2 mindestens 60 s, bei der E DIN 45681 mindestens 30 s betragen. Bei leicht schwankenden Tonfrequenzen wie bei Windkraftanlagen fordert die ISO/CD 1996-2 mehrere Spektren, deren Analysierdauer zusammen 60 s ergeben, die E DIN 45681 fordert 12 Spektren zu je 10 s Analysierdauer.

2.2 Bestimmung der Tonpegel und der Pegel der zugehörigen verdeckenden Geräusche

Die Bestimmung des verdeckenden Geräusches kann nach ISO/CD 1996-2 mit zwei Methoden durchgeführt werden.

1. Visuelle Methode:

Alle tonhaltigen Linien des Schmalbandspektrums, die einem Tonkriterium genügen (s.u.), werden visuell identifiziert; alle zu einem Ton gehörigen Schmalbandpegel werden zum jeweiligen Tonpegel energetisch addiert.

Alle nicht tonhaltigen Schmalbandpegel werden über die zum betrachteten Ton gehörige Frequenzgruppe visuell gemittelt, je nach Rauigkeit des Spektrums wird diese visuelle Mittelung bis zur doppelten Breite der Frequenzgruppe durchgeführt. Der so gewonnene Mittelwert ist dem mittleren Schmalbandpegel L_s ähnlich, aus dem Pegel in der E DIN 45681 das verdeckende Geräusch berechnet wird.

2. Halbautomatische Methode

Ausgehend von einem Schmalbandpegel im Spektrum wird zu größeren und kleineren Frequenzen hin geprüft, ob der Wert eines Seitenbandpegels $\geq \Delta$ und der Wert des unmittelbar benachbarten Pegels $< \Delta$ beträgt. Δ ist eine Pegeldifferenz, die in Abhängigkeit von der Rauigkeit des Spektrums zu $1 \text{ dB} \leq \Delta \leq 4 \text{ dB}$ gewählt wird. Falls dieses Kriterium zu beiden Seiten des gerade untersuchten Schmalbandpegels zutrifft, werden alle Linien in dem so ermittelten Bereich als „Geräuschunterbrechung“ markiert. Dies wird für alle Schmalbandpegel des Spektrums durchgeführt.

Innerhalb der Geräuschunterbrechungen wird mit einem Tonkriterium (s. u.) nach tonhaltigen Linien gesucht. Sind in einer Geräuschunterbrechung tonhaltige Schmalbandpegel enthalten, so wird symmetrisch zum Tonpegel-Maximum eine Regressionsgerade berechnet, und zwar aus allen Schmalbandpegeln im Bereich des 1,5-fachen, 2-fachen oder 4-fachen der Frequenzgruppenbreite, die nicht als Geräuschunterbrechung markiert wurden. Die Breite dieses Bereiches richtet sich ebenfalls nach der Rauigkeit des Spektrums. Alle Linien innerhalb der zur Tonfrequenz gehörenden Frequenzgruppe werden mit den Schmalbandpegeln, die sich rechnerisch aus dieser Regressionsgeraden ergeben, energetisch zum verdeckenden Geräusch addiert.

Halbautomatisch ist das Verfahren deshalb, weil das Ergebnis sehr stark von der Wahl des Wertes Δ und der Breite B des Regressionsbereiches abhängt (s. hierzu Punkt 3). In der Norm wird deshalb gefordert, die grafische Darstellung des jeweiligen Spektrums zur Entscheidung über die Werte Δ und B heranzuziehen.

Die E DIN 45681 ermittelt den mittleren Schmalbandpegel L_s automatisch:

Innerhalb der betrachteten Frequenzgruppe wird aus allen Linien der mittlere Schmalbandpegel gebildet. In einem Iterationsverfahren werden wiederholt die Pegel, die den Mittelungspegel um mehr als 6 dB überschreiten, markiert. Aus den verbleibenden Linien wird ein neuer, jetzt niedrigerer Mittelungspegel berechnet. Das Iterationsverfahren resultiert in dem mittleren Schmalbandpegel L_s . Dieses Verfahren ist dem visuellen Verfahren der ISO/CD 1996-2 ähnlich.

Auch die Bestimmung des Tonpegels ist in beiden Verfahren unterschiedlich:

In der ISO/CD 1996-2 werden alle Schmalbandpegel zum Tonpegel addiert, deren Differenzen zum Maximum ≤ 6 dB betragen.

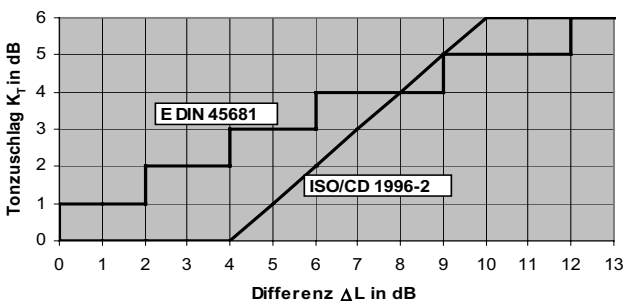
In E DIN 45681 beinhaltet der Ton alle Schmalbandpegel, deren Differenzen zum Maximum ≤ 10 dB betragen. Gleichzeitig müssen die Differenzen dieser Pegel zum mittleren Schmalbandpegel $L_s \geq 6$ dB betragen.

Ein Ton ist nach der ISO/CD 1996-2 nur dann hörbar, wenn die Gesamtbreite aller Schmalbandpegel, deren Differenzen zum maximalen Schmalbandpegel weniger als 3 dB betragen, 10 % der betreffenden Frequenzgruppenbreite nicht überschreitet. Die E DIN 45681 weist kein explizites Kriterium zur maximalen Breite des Tones auf.

2.3 Berechnung des Tonzuschlages

Die Differenz ΔL wird in beiden Normen nach dem selben Verfahren berechnet: vom Tonpegel werden die Pegel des verdeckenden Geräusches und des (negativen) Verdeckungsmaßes abgezogen; Aus dieser Differenz ΔL wird der Tonzuschlag K_T in beiden Normen unterschiedlich ermittelt (Bild 1):

Bild 1: Tonzuschlag nach E DIN 45681 u. ISO/CD 1996-2



3. Anwendung des Verfahrens zur Bestimmung der Tonhaltigkeit nach ISO/CD 1996-2 auf verschiedene Geräuschbeispiele

Pompetzki [6] hat in einer Untersuchung 14 tonhaltige Geräuschbeispiele aus der täglichen Praxis des LUA Essen auf einer CD zusammengestellt, auf die das Verfahren angewendet wurden.

Wie oben bereits erwähnt, hängt das Ergebnis der Bestimmung des Tonzuschlages sehr stark von der Wahl der Pegeldifferenz Δ und der Breite B des Regressionsbereiches um den Ton ab. Ist Δ zu klein gewählt, so werden große Frequenzbereiche als „Geräuschunterbrechung“ markiert, das verdeckende Geräusch L_G kann mangels Stützpunkten für die Regressionsgerade nicht berechnet werden. Bei einem zu großen Δ werden viele Töne nicht detektiert, da Töne nur in Frequenzbereiches gesucht werden, die als „Geräuschunterbrechung“ markiert sind.

Auch eine falsche Wahl des Regressionsbereiches B führt zu fehlerhaften Ergebnissen. Ein zu kleiner Bereich kann, wie ein zu kleines Δ , dazu führen, dass L_G nicht berechnet werden kann; ein zu großer Bereich führt in einigen Fällen aufgrund des Gesamtverlaufs des Spektrums zu einer falschen Lage und Steigung der Regressionsgeraden.

Besonders eklatante Abweichungen ergeben sich, wenn Stützstellen zur Berechnung der Regressionsgeraden aufgrund der markierten Geräuschpausen nur auf einer Seite des Tones gefunden werden; die zufällige Verteilung der Schmalbandpegel an dieser Stelle des Spektrums führt zu einer willkürlichen Steigung der Regressionsgeraden.

Wie auch in der E DIN 45681 werden in der ISO/CD 1996-2 Tonpegel mehrerer Töne innerhalb einer Frequenzgruppe addiert. Die E DIN 45681 berücksichtigt bei der Berechnung des Tonpegels keine Linien, die weniger als 6 dB über dem mittleren Schmalbandpegel L_s liegen. Die ISO/CD 1996-2 verfügt über kein gleichartiges Ausschlusskriterium. Bei der Tonzuschlagberechnung einzelner derartiger Linien führt dies i.d.R. nicht zu Tonzuschlägen. Bei der Addition der Tonpegel innerhalb einer Frequenzgruppe ergeben sich dadurch jedoch in einigen Fällen erhebliche Tonzuschläge bezogen auf Frequenzgruppen, in denen keine Töne hörbar sind.

Wenn beide Parameter (Δ und B) geeignet gewählt werden, ergeben sich in vielen Fällen gute Übereinstimmungen des berechneten Tonzuschlages mit den von den Gutachtern vergebenen Tonzuschlägen; die Übereinstimmung ist im Mittel aber schlechter als bei der Berechnung nach E DIN 45681.

Abschließend muss festgestellt werden, dass es bei der Berechnung des Tonzuschlages nach ISO/CD 1996-2 unbedingt erforderlich ist, dass das Spektrum von einem Gutachter zur Bestimmung geeigneter Werte für Δ und B genau betrachtet wird. Damit ist eine Vollautomatisierung nicht möglich.

Nr.	Geräusch	Zielwert	Zielwert*6/5	E DIN 45681	ISO/CD 1996-2
		75 Perz. Urteil der VP.			
1	Glashütte	3	3,6	4	6
2	Pumpenanlage	4	4,8	4	4 *)
3	Hydraulikpresse	5	6	6	6
4	WKA Typ 1 (normal)	1	1,2	2	5
5	Schreinererei	2	2,4	2	2,3
6	Papierpresse	4	4,8	3	3 *)
8	Kühlaggregat	4	4,8	6	6
9	WKA Typ 2 (defekt)	3	3,6	2	3,9 (6 **)
10	Industrie-Trafo	5	6	6	6
11	Großchemie	3	3,6	4	3 *)
12	Lüftungsanlage	2	2,4	2	4 *)
14	Wandlüfter	2	2,4	1	6 ***)
*) gemittelter Pegel		Mittelwert		0,3	-0,63
**) mehrere Töne in einer Fr.gruppe		Standardabw		0,95	1,52
***) ein einzelner Ton wird nicht gefunden					

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Tonzuschläge

4. Literatur

- [1] ISO 1996-2: Acoustics – Description and measurement of environmental noise– Part 2: Acquisition of data pertinent to land use (1987-01)
- [2] ISO/CD 1996-2: Acoustics – Description and measurement of environmental noise– Part 2: Determination of environmental noise levels (2001-05)
- [3] E DIN 45681: Akustik – Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen (2002-03)
- [4] Sagemühl, D., Überarbeitung der E DIN 45681 (Tonhaltigkeit), Fortschritte der Akustik – DAGA 2001, Verl. DEGA, Oldenburg, 482 - 483
- [5] DIN 45680: Messung und Bewertung tieffrequenter Geräusche in der Nachbarschaft (1997-3)
- [6] Pompetzki, W., Vergleich der Tonhaltigkeit nach DIN 45681 mit subjektiven Bewertungen, Fortschritte der Akustik – DAGA 1998, Verl. DPG-GmbH, Bad Honnef, 224 – 225