

Überarbeitung der E DIN 45681 (Tonhaltigkeit)

Dirk Sagemühl, Bayer – AG, Abt. ZT – TE PAT SST, Geb. H1, 51368 Leverkusen

0 Einleitung

Der erste Entwurf dieser Norm wurde im Januar 1992 herausgegeben. Inzwischen sind eine Reihe von Untersuchungen veröffentlicht worden (z. B. [1], [2]), die sich mit der Anwendung dieser Norm in der täglichen Praxis befassen. Insbesondere soll hier die Untersuchung von Pompetzki [2] erwähnt werden, der 14 tonhaltige Geräuschbeispiele aus der täglichen Praxis des LUA Essen auf einer CD zusammengestellt hat; diese CD's wurden 30 Gutachterbüros zur Begutachtung vorgelegt.

Die Tonzuschläge wurden einerseits subjektiv von den Versuchspersonen (VP) vergeben und andererseits vom LUA unter Anwendung des Entwurfes messtechnisch bestimmt. Aus dem Vergleich dieser Tonzuschläge wurden von Pompetzki [2] einige notwendige Modifikationen des DIN-Verfahrens abgeleitet, die u. a. Grundlage für die vorliegende Überarbeitung waren. Weiterhin war es notwendig, in dem Entwurf einige technische Erläuterungen zur Vorgehensweise aufzunehmen, die sich aus der praktischen Anwendung des Entwurfes ergaben, beispielsweise die Anwendung eines Iterationsverfahrens zur Bestimmung des Tonpegels und des Pegels des verdeckenden Geräusches. Die dritte Motivation zur Überarbeitung lag darin, dass seit der Veröffentlichung des Entwurfes einige internationale Normen als Entwurf bzw. als Diskussionsentwurf erschienen sind (s. [3]-[5]), an die der alte Entwurf angepasst werden sollte.

Insgesamt ergaben sich sieben Modifikationen des Verfahrens zur messtechnischen Bestimmung des Tonzuschlages. Sie wurden vom Arbeitskreis „Tonhaltigkeit“ des NALS A2 erarbeitet und werden auf der nächsten Sitzung des A2 behandelt. Sie sollen im folgenden vorgestellt werden.

Analog zum Vorgehen in [2] wurden die mit den verschiedenen Modifikationen messtechnisch ermittelten Tonzuschläge an 12 der 14 obengenannten Geräuschbeispielen überprüft. Dabei wurden die 75-Perzentile der Urteile der Gutachter bzw. Versuchspersonen als Referenzwerte zugrundegelegt.

1. Anpassungen des Entwurfes an technische Gesichtspunkte

1.1 Bestimmung der Summenpegel des Tones und des verdeckenden Geräusches durch ein Iterationsverfahren

Im Entwurf heißt es unter Punkt 4.3.2:

“ Die Entscheidung, ob Seitenbänder Tonenergie enthalten, kann nicht immer eindeutig getroffen werden. Ein Seitenband soll zur Summenbildung herangezogen werden, wenn seine Differenz zum maximalen Schmalbandpegel kleiner als 10 dB und seine Differenz zum mittleren Schmalbandpegel des verdeckenden Geräusches innerhalb der Frequenzgruppe um den Ton größer als 6 dB ist. Im Zweifelsfall werden Seitenbänder weder in Gleichung (5) noch in Gleichung (6) berücksichtigt. Die Anmerkung aus Abschnitt 4.3.1 gilt entsprechend. “

In der Praxis bedeutet eine Änderung der Zuordnung bzw. das Verwerfen von Seitenbändern, dass sich der Summenpegel des Tones bzw. des verdeckenden Geräusches ändern kann und damit auch letztlich der Tonzuschlag. Im neuen Entwurf wurde ein Iterationsverfahren zur eindeutigen Bestimmung dieser beiden Pegel aufgenommen.

2.2 Verringerung des Frequenzlinienabstandes von 8 % auf 4 % der Frequenzgruppenbreite

Bei einer Frequenzgruppenbreite von 100 Hz im unteren Frequenzbereich bedeutet ein Frequenzlinienabstand von 4% eine Frequenzauflösung von 4 Hz. Im neuen Entwurf wird diese Frequenzauflösung vorgeschlagen, da die so ermittelten

Tonzuschläge überwiegend eine bessere Übereinstimmung mit den oben erwähnten Urteilen der VP ergeben. Bei Geräuschbeispiel 1 (Glashütte, s. Tabelle 2) wird beispielsweise im bisherigen Entwurf mit 8 Hz Linienabstand kein Tonzuschlag vergeben. Weiterhin wird der Entwurf damit der internationalen Normung angepasst, die eine Frequenzauflösung von 5% der Frequenzgruppenbreite [3] und [5] bzw. 2 - 5Hz [4] vorschreibt.

2.3 Berücksichtigung des Picket fence - Effektes

Wird ein Geräusch mit diskreten Filtern analysiert, so betrachtet man es wie durch einen Lattenzaun; dieser Effekt wird deshalb „Picket fence - Effekt“ genannt. Je nachdem, wie die Analysierfrequenz des FFT-Spektrums, mit der Frequenz des Einzeltons übereinstimmt, ergeben sich unterschiedliche Amplituden- und Frequenzfehler.

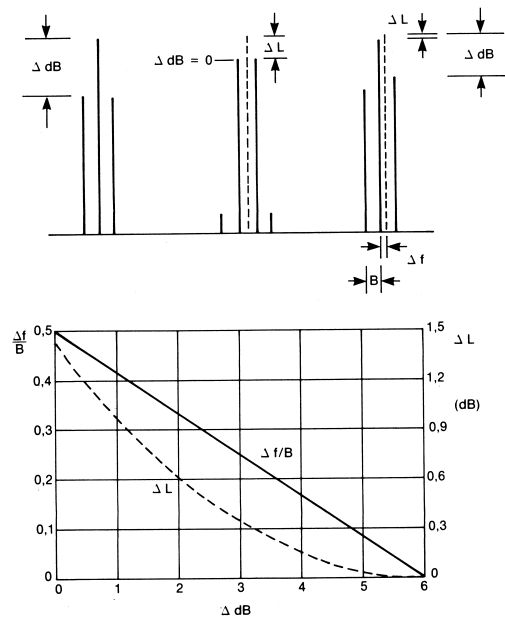


Bild 1: Pegel- und Frequenzkorrektur für den Picket fence - effekt (Hanning-Fenster) [8]

Beim Hanning-Fenster beträgt dieser Amplitudenfehler ΔL zwischen 0 dB (wenn die beiden Frequenzen übereinstimmen) und 1,42 dB, wenn die Analysierfrequenz zwischen zwei Linien fällt (s. Bild 1). Die Bänder der einzelnen Filter überlagern sich je nach Fensterfunktion mehr oder weniger stark; die daraus resultierende sogenannte „effektive Rauschbandbreite“ beträgt beim Hanning-Fenster das 1,5-fache der Frequenzauflösung Δf . Bei der Pegelbestimmung werden also Leistungsanteile mehrfach gezählt. Aufgrund des „Leckeffektes“ muss zur Pegelbestimmung beim Hanning-Fenster zudem über mindestens 3 Linien addiert werden. Diese Einflüsse werden im Frequenzanalysator bei der Summenbildung (Linienanzahl > 1) durch einen Korrekturwert berücksichtigt; beim Hanning-Fenster beträgt dieser Wert $10 \cdot \log(1/1,5) = -1,76$ dB. Wird die Pegeladdition programmtechnisch nachgebildet, so muss dieser Korrekturwert im Rechenprogramm berücksichtigt werden – und zwar sowohl bei der Bildung des Tonpegels als auch bei der Berechnung der des verdeckenden Geräusches. Ausnahme: werden alle Seitenbänder einer tonalen Komponente verworfen, so dass der Ton nur noch aus einem Band besteht, so wird dieser Pegel nicht korrigiert. Diese Korrekturen wurden analog zu [3] bis [5] im Entwurf aufgenommen.

2. Anpassen an neuere Erkenntnisse der Lärminderungsforschung

2.1 Einführen des Verdeckungsmaßes a_v

Im Entwurf heißt es:

“ Bei tiefen Frequenzen beträgt die Pegeldifferenz $L_G - L_T$ an der Mithörschwelle des Tones 2 dB. Sie steigt zu hohen Frequenzen hin kontinuierlich auf 6 dB an. Durchschnittlich ist also ein Sinuston in einem verdeckenden Geräusch gerade wahrnehmbar (mittlere Mithörschwelle), wenn $L_G - L_T = 4$ dB beträgt. Auf diesen Wert stellt das Tonhaltigkeitskriterium von ISO 7779:1988, Abschnitt D.4.1. ab.

Die mittlere Mithörschwelle ist so bestimmt, dass in wiederholten Hörversuchen eine Gruppe normalhörender Personen in 50 % der Fälle den Ton noch wahrnimmt. Das in dieser Norm angewandte Tonhaltigkeitskriterium (ein Geräusch ist tonhaltig, wenn $L_G - L_T < 6$ dB ist..) ist bei mittleren und tiefen Frequenzen schärfer gefasst und stellt darauf ab, dass in ca. 20 bis 30 % der Fälle die Personen den Ton noch hören. “

Der Vergleich der Differenz $L_G - L_T$ mit einem konstanten Wert bedeutet eine Vereinfachung des Rechenaufwandes. Durch die Einführung eines frequenzabhängigen Verdeckungsmaßes a_v (s. Bild 2) ergibt sich jedoch im Frequenzbereich bis 500 Hz eine deutlich verbesserte Übereinstimmung der messtechnischen Ergebnisse mit den Urteilen der VP (s. Tabelle 2).

Dieses Verdeckungsmaß a_v wird auch in [3-5] verwendet.

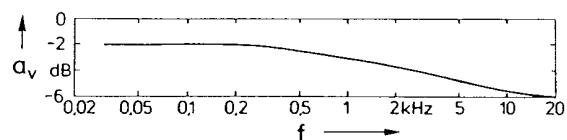


Bild 2: frequenzabhängiges Verdeckungsmaß a_v

2.2 Berücksichtigung mehrerer Töne in einer Frequenzgruppe

In der gültigen Fassung des Entwurfes heißt es: “ treten in einer Frequenzgruppe mehrere tonale Komponenten auf, so wird nur der am stärksten hervortretende Ton beurteilt. “

Seit dem Erscheinen dieses Entwurfes (1992) sind hierzu neuere Untersuchungen veröffentlicht. Beispielsweise heißt es in einer Untersuchung der Fördergesellschaft Windenergie [6], dass bei Vorhandensein zweier benachbarter, deutlich hervortretender Einzeltöne innerhalb einer Frequenzgruppe das Geräusch weniger lästig erscheint, wenn einer der Töne eliminiert wird. Auf das selbe Ergebnis führt eines der Hörbeispiele der untersuchten Geräuschbeispiele des LUA, Geräusch 14 (Wandlüfter)

Der neue Entwurf wurde entsprechend modifiziert:

3.3 Korrektur des Tonzuschlages K_T in Abhängigkeit von der Differenz $\Delta L = L_T - L_G - a_v$

In [2] wiesen die Urteile der VP insbesondere bei stark hervortretenden Einzeltönen ($\Delta L > 6$) teilweise erhebliche Abweichungen gegenüber den nach dem Entwurf berechneten Tonzuschlägen auf. Dies führte zu einer Überarbeitung der Tonzuschlagstabelle:

| Differenz ΔL in dB | Tonzuschlag K_T in dB |
|----------------------------|-------------------------|
| $\Delta L \geq 0$ | 0 |
| $0 < \Delta L \leq 2$ | 1 |
| $2 < \Delta L \leq 4$ | 2 |
| $4 < \Delta L \leq 6$ | 3 |
| $6 < \Delta L \leq 9$ | 4 |
| $9 < \Delta L \leq 12$ | 5 |
| $12 < \Delta L$ | 6 |

Tabelle 1: Tonzuschlag K_T in Abhängigkeit von ΔL

Entsprechend der TA Lärm [7] wurde der Umfang des Tonzuschlages von 0 bis 6 dB beibehalten.

3. Weitere Anpassung an internationale Normung

3.1 Standard-Messgröße: der A-bewertete Schalldruckpegel

Die Normen und Normentwürfe, die sich mit der Einzeltonbewertung befassen ([3] und [5]), gehen von A-bewerteten Spektren aus. Da die Pegel der tonhaltigen Frequenzbänder mit den Pegeln des verdeckenden Geräusches im gleichen Frequenzbereich verglichen werden, sind Abweichungen (abhängig von dem Anstieg der A-Bewertungskurve) nur 2. Ordnung. Eine Untersuchung zu den Geräuschen von Windenergieanlagen [6] zeigt, dass die Wahl der Frequenzbewertung keinen systematischen Effekt bewirkt. Die 12 untersuchten Geräuschbeispiele ergeben ebenfalls keine einheitliche Tendenz; beispielsweise wird für Geräusch 12 (Lüftungsanlage) nur auf das A-bewertete Spektrum ein Tonzuschlag vergeben. In wird in der Lärmwirkungsforschung i. a. von unbewerteten Schalldruckpegeln ausgegangen. Ob aus Anpassungsgründen an die internationale Normung standardmäßig das A-bewertete Spektrum zugrunde gelegt werden soll, muss abschließend vom A2 geklärt werden.

| | | E DIN 45681 mod. | | | | | | |
|-----|-------------------|------------------|--------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Nr. | Geräusch | Frequenzen [Hz] | 75 Perz. VP-Urteil | E DIN 45681: 1992, 6,25 Hz | av, 6,25 Hz, lin, K1mod | av, 3,91 Hz, lin, K1mod | av, 3,91 Hz A-bew, K1mod | wie zuvor, 2 Töne/Freq.gr. |
| 1 | Glashütte | 300 | 3 | 0 | 0 | 4 | 4 | 4 |
| 2 | Pumpenanlage | 630 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 3 | Hydraulikpresse | 400 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 4 | WKA Typ 1 (norm.) | 190 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | Schreinerei | 290 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | Papierpresse | 223;1570 | 4 | 6 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 7 | Autoscooter | entfällt | | | | | | |
| 8 | Kühlaggregat | 110 | 4 | 6 | 5 | 6 | 5 | 5 |
| 9 | WKA Type 2 (def.) | 1008 | 3 | 6 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| 10 | Industrie-Trafo | 110 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 11 | Großchemie | 248;494 | 3 | 5 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| 12 | Lüftungsanlage | 129 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 13 | Glockenspiel | entfällt | | | | | | |
| 14 | Wandlüfter | 114 | 2 | 0*) | 0 | 0 | 0 | 2 |

*) bei A - Bewertung: 2

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Tonzuschläge

4. Literatur

- [1] Seiter, A., Semplinger, I., Beckenbauer, T. Untersuchungen zur Tonhaltigkeit von Geräuschen, Fortschritte der Akustik - DAGA, '96, Verl. DPG-GmbH., Bad Honnef, 238 - 239
- [2] Pompetzki, W., Vergleich der Tonhaltigkeit nach DIN 45681 mit subjektiven Bewertungen, Fortschritte der Akustik - DAGA, '98, Verl. DPG-GmbH., Bad Honnef, 224 - 225
- [3] ISO/CD 1996-2: Acoustics - Descriptions, assessment and measurement of environmental noise - Part2: Determination of environmental noise levels (2001-03), Diskussionsentwurf
- [4] IEC 61400-11, Ed2: Wind turbine generator systems - Part 11: Acoustic noise measurement techniques (2000-09) Diskussionsentwurf
- [5] AV 1952/99: Objektive Method for Assessing the Audibility of Tones in Joint Method-Version2 (1999-11)
- [6] Empfehlungen des Measnet- internat. Zusammenschluss zur Durchführung von Ringversuchen bei Windenergieanlagen
- [7] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, TA Lärm - Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm vom 28.08.98 GMBI. 1998, 503-515
- [8] Randall, R. B., Frequency analysis, Bruel & Kjaer, 1987 (Firmenschrift)