

Zur Tonhaltigkeit von Geräuschen

D. Püschel
Akustik Technologie Göttingen

S. Rösler
Akustikbüro Göttingen

H. Alpei
Akustikbüro Göttingen

Einleitung

Mit Inkrafttreten der TA Lärm [1] ist bei der Beurteilung von Lärmimmissionen auch die Störwirkung (Lästigkeit) eines Geräusches mittels eines rechnerischen Verfahrens, nämlich nach DIN 45 681/E [2] zu ermitteln. Die Festlegungen des DIN-Entwurfes lassen allerdings einen Spielraum bei der Ermittlung zu, so dass *DIN-gerechte* Verfahren unterschiedliche Ergebnisse liefern können.

Das Verfahren der DIN 45 681/E erscheint derzeit am weitesten in den *Technischen Richtlinien für Windanlagen* [3] (FGW-Richtlinien) konkretisiert. Auf die dort genannten Verfahren wird im Folgenden vergleichend Bezug genommen.

Vorgaben nach DIN 45 681/E

- 1) Der **Linienabstand** der Frequenzkomponenten ist von der Frequenzgruppenbandbreite Δf_c abhängig und sollte $\Delta f \leq 0,08 \cdot \Delta f_c$ nicht überschreiten.
- 2) Es sollen mindestens 30 **Spektren akkumuliert** werden, wobei offen bleibt, ob die Auswertefenster überlappend sein dürfen oder nicht.
- 3) Bei der Bestimmung sowohl des Frequenzgruppenpegels des verdeckenden Geräusches (**Hintergrundpegel** L_G) als auch des Tonpegels L_T wird nicht eindeutig definiert, welche Linien zu berücksichtigen sind.

Sinnvolle Festlegungen

Der **Linienabstand** beträgt nach den Vorgaben maximal $f = 8$ Hz (für die unterste Frequenzgruppe) bis rd. 280 Hz. Psychoakustische Erkenntnisse sprechen für eine Signalanalyse mit einer Zeitkonstanten von $T_0 = 200$ ms, also ist es sinnvoll, $\Delta f = 5$ Hz grundsätzlich zu berücksichtigen.

Die Anzahl der zu **akkumulierenden Spektren** ergibt sich bei nicht-stationären Geräuschen aus der Mindestlänge eines Tones, ab der er als lästig erkannt werden kann. Auch hier ist eine Zeitkonstante von $T_0 = 200$ ms aus psychoakustischer Sicht sinnvoll. Durch diese die Festlegung werden auch in der Frequenz langsam gleitende Töne sicher erfasst und die Diskussion über die Auswertung von Ersatzzeiträumen, in denen die Frequenzänderungen (möglicherweise) weniger stark sind, vermieden. Für jedes Spektrum ist $\Delta L_i = L_{T,i} - L_{G,i} + 6$ oder auch $K_{T,i}$ zu berechnen. (Die Mittelung von $K_{T,i}$ ist wegen der ganzzahligen Werte nachteilig.) ΔL ist vor der energetischen Mittelung auf positive Werte zu beschränken.

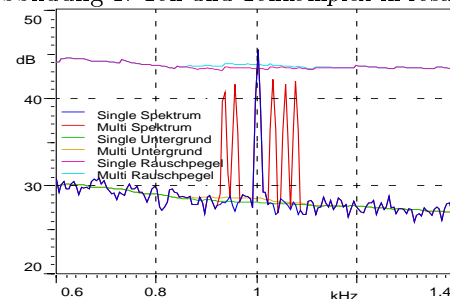
In den *Technischen Richtlinien für Windenergieanlagen* hingegen wird es durch die Mittelung der Spektren über 10-Sekunden-Zeiträume und eine weitere energetische Mittelung der ΔL -Werte notwendig, Auswerteziträume mit veränderlichem Ton auszuschließen. (Dabei wird nicht darauf hingewiesen, dass die Berücksichtigung von Werten < 0 nicht sinnvoll ist.)

Auswahl der Linien, Hintergrundgeräuschschätzung

In den *Technischen Richtlinien für Windenergieanlagen* erfolgt die Bestimmung des Frequenzgruppenpegels nach dem sog. „ $L^{70\%}$ -Verfahren“. Dies ist eine vernünftige Abschätzung für die Signalklasse *Einzelton in Rauschhintergrund*. Sobald aber mehrere Spektrallinien zum Ton gehören, wird das Verfahren umständlich und fehleranfällig. Anhand der nachfolgenden Beispiele werden die Signalklassen dargestellt, bei denen eine genaue Bestimmung der Tonkomponenten wichtig ist.

Beispiel 1: Signalklasse Ton mit ausgeprägten Harmonischen Harmonische Anteile eines Tones tragen deutlich zu dessen Wahrnehmung bei. Ein Weglassen dieser Harmonischen kann also zu einer Minderbewertung der Tonhaltigkeit führen. Abb. 1 zeigt das Spektrum eines Tones und Tonkomplexes in der Frequenzgruppe um 1 kHz mit rosa Rauschen als Hintergrundgeräusch. Der Einzel-

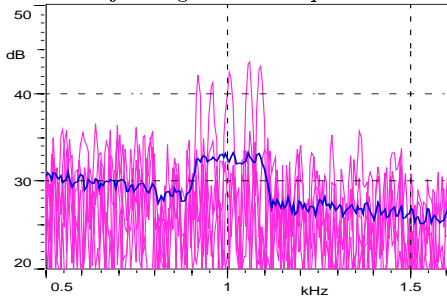
Abbildung 1: Ton und Tonkomplex in rosa Rauschen



ton wurde so angeordnet, dass er ein $\Delta L = 10$ dB, also $K_T = 5$ erzeugt. Wählt man die von uns vorgeschlagenen Festlegungen, so folgt sowohl für den Einzelton im Rauschen als auch für den Einzelton plus dem Tonkomplex $K_T = 5$. Das $L^{70\%}$ -Verfahren liefert dagegen mit dem Tonkomplex $\Delta L = 6,7$ dB anstatt $\Delta L = 10$ dB und unterschätzt die Tonhaltigkeit im Vergleich.

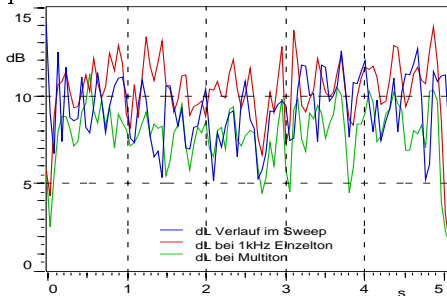
Beispiel 2: Signalklasse langsam frequenzveränderlicher Ton In diesem Beispiel wird deutlich, dass nur mit einem kurzen Analysefenster ein als sehr tonhaltig zu bewertender Sweep richtig in seiner Tonhaltigkeit bewertet werden kann. Abb. 2 zeigt einen Sweep, der innerhalb 1 s periodisch über die Frequenzen einer Frequenzgruppe läuft. Damit ist $\Delta L = 0$ nach FGW-Verfahren. In den Einzelspek-

Abbildung 2: Mittleres Spektrum des Sweeps, mehrere Einzelspektren mit den jeweiligen Tonkomponenten



tren ist die jeweilige Frequenzkomponente des Tones deutlich zu erkennen, während das mittlere Spektrum die Einzelkomponenten nicht mehr auflöst. Die vorgeschlagenen Festlegungen führen hier zur Detektion der Tonhaltigkeit. Allerdings schwanken die ΔL_i -Werte zeitlich. Hier muss eine vernünftige Mittelungsmethode gefunden werden. In Abb. 3 sind die zeitlichen ΔL_i -Verläufe für den Sweep, den Einzelton und den Tonkomplex dargestellt. Es wird deutlich,

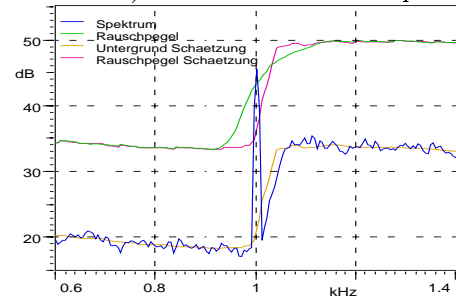
Abbildung 3: Zeitliche ΔL -Verläufe für Sweep, Einzelton und Tonkomplex



dass eine geeignete Methode zur Auswertung bzw. Mittelung gefunden werden muss. Brauchbare Ergebnisse liefert aber schon jetzt der Ansatz, den rms-Wert dieser Verläufe zu bestimmen.

Beispiel 3: Signalklasse Kante im Spektrum in Tonnähe Das $L^{70\%}$ -Verfahren definiert, dass aus 70% der Frequenzlinien mit geringstem Pegel der energetische Mittelwert zu bilden ist. Dieser ist um 6 dB erhöht als Pegelgrenze für die Linien zugrunde zu legen, die zur Berechnung des maßgeblichen Frequenzgruppenpegels des verdeckenden Geräusches heranzuziehen sind. In der FGW-Richtlinie wird bereits angemerkt, dass im Falle einer ausgeprägten Frequenzabhängigkeit der Pegel, ein automatisches Auswerteverfahren zu Fehlern führen kann. Abb. 4 zeigt ein solches kritisches Spektrum. Das von uns entwickelte Verfahren führt eine Schätzung des Hintergrundgeräusches mit Hilfe eines nichtlinearen Filters durch. Anhand der Schätzung

Abbildung 4: Hintergrundgeräusch mit starker spektraler Änderung (Rauschkante) in der Nähe der Tonfrequenz

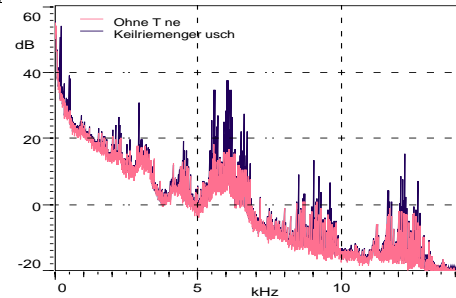


werden die tonalen Anteile erkannt und eliminiert. Aus den verbleibenden Linien ergibt sich dann der Pegel des Hintergrundgeräusches. Er wird für jeden Punkt auf der Frequenzachse getrennt bestimmt. Zum Vergleich ist der geschätzte Pegelverlauf aus der nichtlinearen Filterung dargestellt. Der Ton wird sicher erkannt.

Ausblick

Abb. 5 zeigt das Spektrum eines quietschenden Keilriemens eines Rückkühlers. Dargestellt ist das aufgenommene Spektrum und das Spektrum nach Entfernen der tonalen Komponenten. Das Quietschen kann in diesem Signal

Abbildung 5: Spektrum Rückkühler mit quietschendem Keilriemen



von dem vorgeschlagenen Verfahren nicht erkannt werden, obwohl es deutlich wahrnehmbar ist. Erst durch ein spezielles Verfahren wurde es von uns herausgefiltert. Es stellte sich heraus, dass sich derartige Geräusche nicht durch tonale Komponenten im Spektrum abbilden lassen, obwohl wir sie als deutlich tonal hören. Es besteht also Bedarf nach Ergänzung der DIN 45681/E für diese Klasse von Geräuschen.

- [1] Sechste AVwV v. 26.8.1998 zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TALärm)
- [2] DIN 45681 „Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlags für die Beurteilung von Geräuschimmissionen“ (Entwurf Januar 1992), Hrsg.: Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [3] Technische Richtlinien für Windenergieanlagen. Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte. Herausgeber: FGW – Fördergesellschaft für Windenergie e. V.

Literatur

- [1] Sechste AVwV v. 26.8.1998 zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TALärm)
- [2] DIN 45681 „Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlags für die Beurteilung von Geräuschimmissionen“ (Entwurf Januar 1992), Hrsg.: Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [3] Technische Richtlinien für Windenergieanlagen. Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte. Herausgeber: FGW – Fördergesellschaft für Windenergie e.V.