

Bestimmung und Berücksichtigung der Messunsicherheit in der betrieblichen Praxis

Lothar Schmidt, Dirk Sagemühl

Bayer AG Leverkusen; Email: lothar.schmidt.ls@bayerindustry.de

Einleitung

Die TA-Lärm [1] als die für die meisten industriellen oder gewerblichen Anlagen relevante Vorschrift zum Schutz gegen Lärm in der Nachbarschaft fordert die Betrachtung der Qualität der Messung bzw. Prognose. Die BGV B3 Lärm [2] als Vorschrift zum Schutz gegen Lärm am Arbeitsplatz enthält direkt zwar keine Anforderung an die Betrachtung der Qualität der Messung. Dies ist jedoch ein zentraler Bestandteil der DIN 45645-2 [3], die für die Bestimmung des Immissionspegel am Arbeitsplatz herangezogen wird.

Auch wenn in Messnormen Angaben zu Unsicherheiten einzelner Messverfahren angegeben sind, war lange Zeit eine explizite Betrachtung der Messunsicherheiten in der gutachterlichen Praxis eher die Ausnahme. In den letzten Jahren kam eine Diskussion in der Fachwelt auf, wie die Frage nach der Messunsicherheit in der technischen Akustik umgesetzt werden kann.

Für eine flächendeckende Einführung der Betrachtung der Mess- bzw. Prognoseunsicherheiten in die gutachterliche Praxis stellen sich zwei zu betrachtende Randbedingungen:

1. Erhebliche Steigerungen des Mess- bzw. Prognoseaufwandes durch eine explizite Betrachtung der Unsicherheiten sind am Markt kaum weiterzugeben.
2. Insbesondere im Vergleich zu anderen Lärmquellen sind die Anforderungen an Industrie und Gewerbe bzgl. des Schallimmissionsschutzes heute schon erheblich hoch. Zumindest für den Fall, dass sich die ermittelten Unsicherheiten in einem „üblichen“ Rahmen bewegen, ist eine faktische Reduzierung von Richt-, Orientierungs-, Auslöse- oder Grenzwerten nicht zu vertreten.

Zu der ersten Randbedingung könnte zwar sofort eingewandt werden, dass Vorschriften zu befolgen sind, aber auch heftige Kämpfer gegen den Lärm plädieren dafür, verfügbare Mittel eher für Lärm-minderung einzusetzen als die Erfassung von Schallimmissionen auf ein Maß zu perfektionieren, das im Sinne der Lärm-minderung keinen Vorteil mehr bringt.

Für die zweite Randbedingung ist der Vorschlag von Vogelsang [4] hilfreich, der für die Sicherstellung der Nicht-Überschreitung eines Immissionsrichtwertes IRW nach TA-Lärm fordert:

$$L_o - 3 \text{ dB} \leq \text{IRW} \quad \text{und} \quad L_r \leq \text{IRW},$$

wobei L_r der Beurteilungspegel und L_o die Obergrenze des Vertrauensbereiches ist.

Grundlegende Aspekte

Messgröße bei der Messung der Schallimmission ist die Schallintensität. So werden bei der Summation oder Mittelung von Schallimmissionen die Schallintensitäten addiert bzw. (arithmetisch) gemittelt. Die ermittelte Schallintensität wird dann aus verschiedenen Gründen i.d.R. als Schallpegel mit einer logarithmischen Skala dargestellt. Obwohl der Schallpegelmesswert dB anzeigt, kann für eine Betrachtung der Messunsicherheit eine Normalverteilung der durch Summation oder Mittelung entstandenen Schall-

intensitäten unterstellt werden, sofern die einzelnen Elemente der Summation oder Mittelung nicht korreliert sind.

Anders sieht die Situation aus, wenn im Sinne eines Ersatzmessverfahrens nach TA-Lärm oder bei Schallprognosen Schallleistungen gemessen bzw. prognostiziert werden und aus diesen Schallleistungen durch Ausbreitungsrechnung Schallimmissionen bestimmt werden. Die Einflüsse auf dem Ausbreitungsweg wirken multiplikativ, so dass für diese Einflüsse eine Log - Normalverteilung zu unterstellen ist.

Die Art der Quantifizierung der Messunsicherheit ist in den Vorschriften i.d.R. nicht festgelegt. DIN 45645-2 verwendet einen Bereich des Vertrauens von 90% (beidseitig). Eine Übertragung dieser Art der Quantifizierung auf den Schutz gegen Lärm in der Nachbarschaft bietet sich an.

Bestimmung der Messunsicherheit in der betrieblichen Praxis

Immissionsmessungen in der Nachbarschaft

Bei Schallimmissionen in der Nachbarschaft werden die Schwankungen der Messwerte im wesentlichen von den Einflüssen auf dem Ausbreitungsweg bestimmt. Die Pegel sind besser normalverteilt als die Intensitäten. Dies entspricht der Erfahrung aus ganzjährig betriebenen Messstationen. Der Vertrauensbereich wird aus den Messwerten berechnet.

Personenbezogene Beurteilungspegel am Arbeitsplatz

Erste Untersuchungen zeigen, dass auch für die Schallimmission am Arbeitsplatz die Pegel besser normalverteilt sind als die Intensitäten (Lillefors-Modifikation des Kolmogoroff-Smirnoff-Tests [5]). Dies steht im Widerspruch dazu, dass nach dem oben gesagten an den Quellen mit einer Normalverteilung der abgestrahlten Schallleistung zu rechnen ist und die Schwankungen auf dem Ausbreitungsweg eine eher kleine Rolle spielen. Erklären lassen sich die Untersuchungsergebnisse dadurch, dass in vielen Fällen die Verteilung der Schallimmission im wesentlichen nicht durch zufällige Schwankungen ausreichend linearer Größen hervorgerufen werden, sondern durch Veränderungen der Betriebszustände (z.B. zu- und abschalten von Aggregaten). Dadurch entstehen keine Normalverteilungen. Durch die Logarithmierung sind die Pegelverläufe wesentlich „glatter“ als die Intensitätsverläufe und genügen daher besser den Kriterien einer Normalverteilung

Es ist vom Arbeitsaufwand her nicht zu leisten, für jeden einzelnen Ortspegel die Unsicherheit messtechnisch zu bestimmen. Angedacht ist der Versuch, geeignete Klassen von Arbeitsplätzen zu finden und diesen typische Unsicherheiten der Ortspegel zuzuweisen. Bisher wurden hierzu nur erste Messungen durchgeführt und es ist noch nicht abzusehen, ob dieses Konzept überhaupt zu einem Erfolg geführt werden kann. Deshalb wird z. Zt. von dem für betriebliche Messungen maximalen Vertrauensbereich der DIN 45645-2 von ± 3 dB ausgegangen und daraus eine Standardabweichung σ_L errechnet (Division durch den in den 3 dB enthaltenen Erweiterungsfaktor 1,645).

Für die Aufenthaltszeiten der Personen an den verschiedenen Orten wird ebenfalls eine Normalverteilung unterstellt und eine Standardabweichung σ_t von 10 % angesetzt.

Für die Bestimmung des Personenbezogenen Beurteilungspegels wird die Schallintensität I_r aus den I_{ri} der Orte i und den Aufenthaltszeiten t_i der Personen, dividiert durch die Gesamtarbeitszeit (8 Stunden, ggf. Ausgleichsterm) berechnet.

$$I_r = \frac{\sum_i (I_{ri} \cdot t_i)}{\sum_i t_i} \quad (1)$$

Zur Bestimmung der kombinierten Unsicherheit werden aus der Standardabweichung σ_L der Ortspegel „Standardabweichungen“ σ_{I+} und σ_{I-} der Intensitäten berechnet:

$$s_{I+} = I \cdot \left(10^{\frac{s_L}{10}} - 1 \right) \quad (2)$$

$$s_{I-} = I \cdot \left(1 - 10^{-\frac{s_L}{10}} \right) \quad (3)$$

Durch die Delogarithmierung ist σ_{I+} größer als σ_{I-} . Dies hat zur Folge, dass die weitere Rechnung für die positive und für die negative Unsicherheit separat erfolgen muss.

Unter der Annahme, dass die Eingangsgrößen nicht korreliert sind, ergeben sich daraus die kombinierten Standardunsicherheiten σ_{I+} und σ_{I-} zu:

$$s_{I_{i+/-}} = \frac{1}{\sum_i t_i} \cdot \sqrt{\sum_i (t_i \cdot s_{I_{i+/-}})^2 + \sum_i \left(\frac{I_{ri} \cdot \sum_i t_i - \sum_i I_{ri} \cdot t_i}{\sum_i t_i} \right)^2 \cdot s_{ti}^2} \quad (4)$$

Die Grenzen L_o und L_u des erweiterten Unsicherheitsbereiches ergeben sich aus σ_{I+} bzw. σ_{I-} durch Multiplikation mit 1,645 und anschließende Umrechnung in Pegel.

Ersatzmessung durch Schalleistungsmessung und Ausbreitungsrechnung

Bei der Ersatzmessung beruht die Bestimmung des Immissionsanteils I einer Quelle, der Schalleistung P und der Dämpfung A (Attenuation) auf dem Ausbreitungsweg auf dem grundlegenden Zusammenhang

$$I = P \cdot A \quad (5)$$

Zur Bestimmung der Immission z.B. einer Anlage werden die Immissionsanteile aller Quellen der Anlage summiert und die Gesamtmission als anlagenbezogener Immissionspegel angegeben.

Auch wenn die publizierten Unsicherheiten von Schalleistungen in der Regel symmetrisch im Pegel sind, wird für die Schalleistungen hier eine Normalverteilung unterstellt (s.o., Untersuchungen hierzu wurden bisher nicht durchgeführt). Dazu wird mit

$$s_P = \frac{10^{2 \cdot s_{L/10}} - 1}{10^{2 \cdot s_{L/10}} + 1} \quad (6)$$

aus dem σ_L einer symmetrischen Verteilung der Pegel ein σ_P einer äquivalenten symmetrischen Verteilung der Schalleistungen berechnet.

Die Unsicherheit auf dem Ausbreitungsweg wird dem Vorschlag von Probst [6] folgend mit

$$s_D = k \cdot \lg \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (7)$$

angesetzt ($k = 1...3$, $d =$ Abstand in m, $d_0 = 10$ m). Für die Dämpfung wird wie oben beschrieben eine Log – Normalverteilung angenommen. Aus den Standardabweichungen σ_D der Dämpfungspegel werden analog zu (2) und (3) jeweils zwei „Standardabweichungen“ σ_{A+} und σ_{A-} für die Dämpfung A berechnet. Für die Gesamtmission von j Quellen ergibt sich unter der Annahme, dass die Ausgangsgrößen nicht korreliert sind, daraus die kombinierte Standardunsicherheit σ_{I+} und σ_{I-} zu:

$$s_{I_{i+/-}} = \sqrt{\sum_{i=1}^j A_i^2 \cdot s_{Pi}^2 + \sum_{i=1}^j P_i^2 \cdot s_{Ai+/-}^2} \quad (8)$$

Die Grenzen L_o und L_u des erweiterten Unsicherheitsbereiches ergeben sich aus σ_{I+} bzw. σ_{I-} durch Multiplikation mit 1,645 und anschließende Umrechnung in Pegel.

Prognose von Schallimmissionen in der Nachbarschaft

Die Prognose ähnelt der Ersatzmessung, nur dass an Stelle gemessener Schalleistungen prognostizierte Schalleistungen eingesetzt werden. Hier ergibt sich die Unsicherheit aus der unterschiedlichen Bauweise alternativer Aggregate, z.B. verschiedener Hersteller und der durch Fertigungstoleranzen verursachten Streuung bei Aggregaten des gleichen Typs. Da über die Art der Verteilung der Schalleistungen vergleichbarer Aggregate keine Kenntnisse vorliegen, wird aus den oben genannten Gründen eine Normalverteilung der Schalleistungspegel unterstellt. Der prognostizierte Immissionsanteil ergibt sich wieder aus (5). Da bei der Prognose auch für die Schalleistungen eine Log – Normalverteilung unterstellt wird, treten hier an die Stelle der σ_{Pi} der Gleichung (8) getrennte $\sigma_{Pi+/-}$. Damit ergibt sich die kombinierte Standardunsicherheit σ_{I+} und σ_{I-} zu:

$$s_{I_{i+/-}} = \sqrt{\sum_{i=1}^j A_i^2 \cdot s_{Pi+/-}^2 + \sum_{i=1}^j P_i^2 \cdot s_{Ai+/-}^2} \quad (9)$$

Die Grenzen L_o und L_u des erweiterten Unsicherheitsbereiches ergeben sich aus σ_{I+} bzw. σ_{I-} durch Multiplikation mit 1,645 und anschließende Umrechnung in Pegel.

Werden bei der Beschaffung der Aggregate die prognostizierten Schalleistungspegel als Spezifikationswerte L_{WAC} eingesetzt, lassen sich die σ_{LW} auf +1 dB (in der Praxis als unerheblich zu tolerieren) begrenzen.

- [1] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA-Lärm), 26. August 1998, GMBL, Seite 503
- [2] Berufsgenossenschaftliche Vorschrift BGV B3 Lärm – 1/97
- [3] DIN 45645-2, Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen, Teil 2: Geräuschimmissionen am Arbeitsplatz, Beuth-Verlag, Juli 1997
- [4] Vogelsang: TA-Lärm oder wer muss eigentlich wem wie was sicher nachweisen?, DAGA 2002
- [5] Lothar Sachs: Angewandte Statistik, Seite 428, Springer 1996
- [6] Wolfgang Probst, Ulrich Donner: Die Unsicherheit des Beurteilungspegels bei der Immissionsprognose, Zeitschrift für Lärmbekämpfung 49 (2002)