

Raumakustische Gestaltung von industriellen Arbeitsräumen

Jürgen H. Maue

IFA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung,
Sankt Augustin, E-Mail: juergen.maue@dguv.de

Einleitung

Nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung vom 6. März 2007 [1] sind Arbeitsräume so zu gestalten, dass die Schallausbreitungsbedingungen dem Stand der Technik entsprechen. In den Technischen Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (TRLV), Teil Lärm [2] finden sich dazu konkrete Vorgaben zu den zu realisierenden raumakustischen Kennwerten.

Da es vielfach noch Unsicherheiten bei der Ermittlung dieser raumakustischen Kennwerte und Missverständnisse bei der Interpretation der Ergebnisse gibt, sollen die entsprechenden Messverfahren kurz vorgestellt und Empfehlungen für die Beurteilung der Raumakustik gegeben werden. Dabei wird auch auf das neue Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA-Blatt 01-234 [3] eingegangen, das die Auslegung von industriellen Arbeitsräumen ausführlich behandelt und einige Beispiele von günstig gestalteten Räumen zeigt. Darüber hinaus sollen die Anforderungen nach TRLV Lärm mit den Vorgaben der Neufassung der DIN 18041 „Hörsamkeit in Räumen“ [4] verglichen werden.

Anforderungen nach TRLV Lärm

Nach den Technischen Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (TRLV Lärm, Teil 3, Abschnitt 4.3) gilt der Stand der Technik für Arbeitsräume als eingehalten, falls in allen Oktavbändern mit den Mittenfrequenzen von 500 Hz bis 4000 Hz

- A) ein mittlerer Schallabsorptionsgrad $\bar{\alpha}$ von mindestens 0,3

oder

- B) eine mittlere Schallpegelabnahme pro Abstandsverdoppelung DL_2 im Abstandsbereich von 0,75 m bis 6,0 m von mindestens 4 dB

erreicht wird.

Je nach räumlichen Bedingungen kann es sinnvoll sein, das eine oder das andere Kriterium heranzuziehen. Das Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-234 [3] empfiehlt für kleinere Räume bis zu einem Volumen von ca. 1000 m³ die Auslegung orientiert am mittleren Schallabsorptionsgrad ($\bar{\alpha} \geq 0,3$), weil sich die geforderte Schallpegelabnahme pro Abstandsverdoppelung DL_2 von 4 dB in diesen Räumen nur mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand realisieren lässt. Außerdem dürfte sich hier vielfach schon allein aufgrund der begrenzten Raumabmessungen kein geeigneter Messpfad festlegen lassen.

In großen Arbeitsräumen sind die Anforderungen bezüglich Schallpegelabnahme ($DL_2 \geq 4$ dB) dagegen aufgrund der großen Abstände zu den reflektierenden Raumbegrenzungsflächen viel einfacher und mit verhältnismäßig geringem Materialaufwand zu erreichen. So ergeben sich in sehr großen und hohen Hallen evtl. schon ohne zusätzlich ein-

gebrachtes Absorptionsmaterial Schallpegelabnahmen von 4 dB und mehr (s. Beispiel in Abschnitt „Lärminderungserfolg“). Wie man sich leicht vorstellen kann, erfordert die Realisierung eines mittleren Schallabsorptionsgrads von 0,3 in großen Räumen einen unverhältnismäßig hohen Materialeinsatz. Deshalb ist für Räume mit einem Volumen von mehr als 10.000 m³ die Anwendung des Kriteriums der Schallpegelabnahme pro Abstandsverdoppelung zu empfehlen [3]. Für Arbeitsräume mittlerer Größe, d.h. mit Volumina zwischen 1000 m³ und 10.000 m³, sind beide o.g. Kriterien anwendbar. Beide Kriterien sollten hier zu einer annähernd gleichen Dimensionierung des Absorptionsmaterials führen.

Messverfahren zur Ermittlung der raumakustischen Kennwerte nach TRLV Lärm

Bestimmung des mittleren Absorptionsgrades

Der mittlere Schallabsorptionsgrad $\bar{\alpha}$ eines Raumes errechnet sich entsprechend Gleichung 1 aus dem Verhältnis der äquivalenten Absorptionsfläche A des Raumes zur Summe aller Raumbegrenzungsflächen S .

$$\bar{\alpha} = A / S \quad (1)$$

mit:	A	äquivalente Absorptionsfläche des Raumes
	S	Summe aller Raumbegrenzungsflächen

Für diesen Kennwert findet man auch eine abweichende Definition mit Bezug auf alle Oberflächen des Raumes einschließlich der Einrichtungsgegenstände. Das scheint jedoch nicht sinnvoll, weil sich damit zusätzlich eingebrachte Schallabsorber, z.B. in Form von Baffeln, sowohl auf den Zähler als auch auf den Nenner des mit Gleichung (1) beschriebenen Bruches auswirken. Die Aufstellung der Schallabsorber in der Mitte des Raumes würde sich somit in geringerem Maße auf den Kennwert auswirken als die Anbringung der Absorber an den Raumbegrenzungsflächen, weil bei mittiger Aufstellung nicht nur die äquivalente Absorptionsfläche sondern auch die Bezugsfläche (Raumoberfläche einschließlich Einrichtungsgegenständen) größer wird. Der tatsächlich erreichbare Lärminderungserfolg ergibt sich aber vor allem durch die eingebrachte zusätzliche äquivalente Absorptionsfläche und das sollte sich dann auch in entsprechendem Maß auf den Kennwert auswirken. Außerdem würde die Berechnung des mittleren Schallabsorptionsgrades sehr aufwändig, wenn man dabei alle Oberflächen innerhalb des Raumes als Fläche einbeziehen müsste.

Berechnung aus den absorbierenden Teilflächen

Die äquivalente Absorptionsfläche A eines Raumes kann entsprechend der folgenden Gleichung 2 aus den einzelnen

absorbierenden Teilflächen S_i innerhalb des Raumes und den zugehörigen Absorptionsgraden α_i bestimmt werden:

$$A = \sum_i \alpha_i \cdot S_i \quad (2)$$

Die Absorptionsgrade α_i können dabei z.B. entsprechenden Tabellen in der Literatur oder den Angaben der Materialhersteller entnommen werden.

Die mittleren Schallabsorptionsgrade müssen streng genommen für alle Oktavbänder von 500 Hz bis 4000 Hz berechnet und jeweils mit der Vorgabe ($\bar{\alpha} \geq 0,3$) verglichen werden. Die Technischen Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitschutzverordnung beschreiben im Teil 3, Anhang 5 alternativ auch ein Abschätzverfahren zur Berechnung des mittleren Absorptionsgrades. Danach lassen sich für die einzelnen Teilflächen S_i die in der folgenden Tabelle zusammengestellten über die Oktavbänder von 500 Hz bis 4.000 Hz gemittelten Schallabsorptionsgrade ansetzen.

Baumaterial – schallhart	α	Baumaterial – schallabsorbierend	α
Kacheln	0,02	Mineralfaser-Zylinderdecke mit 1 Zyl. pro m ²	0,83
Trapezblech	0,02	Mineralfaser-Kullisendecke	0,91
Fensterglas	0,02	Mineralfaser-Matten 50 mm	0,99
Beton	0,03	Hochlochziegel mit Mineralwolle hinterlegt	0,77
Verputzte Flächen	0,04	Trapezblech mit Mineralwolle hinterlegt	0,82
Kalksandstein	0,04	Weichschaumabsorber 50 mm direkt aufgelegt	0,95
Ziegelwand (unverputzt)	0,12		
Gasbeton	0,17		

Tabelle 1: Schallabsorptionsgrade ausgewählter Materialien (gemittelt über Oktaven von 500 bis 4.000 Hz), nach [1]

Das Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-234 [3] empfiehlt die Anwendung dieses Verfahrens allerdings nur für die überschlägige Ermittlung des mittleren Absorptionsgrades, z.B. zur Beurteilung von bereits existierenden Arbeitsräumen. Bei der Planung und Überprüfung von neuen Räumen sollten die mittleren Absorptionsgrade jedoch in allen relevanten Oktavbändern separat berücksichtigt werden.

Berechnung über die Nachhallzeit

Der mittlere Schallabsorptionsgrad lässt sich auch über die Nachhallzeit T ermitteln, sofern ein näherungsweise diffuses Schallfeld vorliegt. Das gilt z.B. für quaderförmige Räume, die sich in den Raumdimensionen (Länge, Breite, Höhe) nicht zu sehr unterscheiden (maximal um Faktor 3) und eine gleichmäßige Verteilung der absorbierenden Flächen aufweisen (siehe DIN EN 12354-6 [5]). Die Nachhallzeitmessung ist in DIN EN ISO 3382-2 [6] beschrieben.

Unter diesen Bedingungen kann man die äquivalente Absorptionsfläche A des Raumes nach der sog. Sabine'schen Formel (Zahlenwertgleichung) berechnen:

$$A = 0,163 \cdot V / T \quad (3)$$

mit:

A	äquivalente Absorptionsfläche in m ²
V	Raumvolumen in m ³
T	Nachhallzeit in s.

Wie bereits erläutert erhält man den mittleren Schallabsorptionsgrad $\bar{\alpha}$ dann entsprechend Gleichung (1) durch Bezug der äquivalenten Absorptionsfläche A auf die Summe aller Raumbegrenzungsflächen S .

Bestimmen der mittleren Schallpegelabnahme pro Abstandsverdoppelung DL_2

Nach TRLV Lärm [2] ist die mittlere Pegelabnahme pro Abstandsverdoppelung DL_2 für den Abstandsbereich von 0,75 m bis 6,0 m jeweils für die Oktavbänder von 500 Hz bis 4.000 Hz zu bestimmen. Dazu wird mindestens ein geradliniger Messpfad im mittleren Bereich des Raumes festgelegt und jeweils die Schallpegelabnahme zu einer möglichst punktförmigen Schallquelle in den Abständen von 0,75 m, 1,5 m, 3,0 m und 6,0 m erfasst. Weitere Details zu dieser Messung beschreibt das Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-234 [3]. Die mittlere Schallpegelabnahme pro Abstandsverdoppelung lässt sich dann durch Auswertung der ermittelten Kurve der Pegelabnahme über eine Regressionsrechnung oder nach einem vereinfachten Verfahren bestimmen (siehe IFA-LSA 01-234).

Abweichend davon war nach den Durchführungsanweisungen zu der bis 2007 maßgebenden Unfallverhütungsvorschrift „Lärm“ [7] mit Bezug auf ein inzwischen zurückgezogenes Lärmschutz-Arbeitsblatt (LSA 03-234) die Auswertung für den Abstandsbereich bis 12 m vorgesehen. Dabei durfte der Messpfad aber aufgrund der räumlichen Bedingungen auf den Bereich bis 6 m gekürzt werden. Die Vorgabe $DL_2 \geq 4$ dB ist bei einem Messpfad bis 6 m erfahrungsgemäß etwas leichter zu realisieren, weil der Schalldruckpegel in der Nähe der Lärmquelle (Direktschallfeld) stärker abfällt und die Pegelabnahme im größeren Abstand bis 12 m etwas abflacht.

Für bestehende Arbeitsräume lässt sich die Schallpegelabnahme durch eine entsprechende Messung erfassen. Wenn man das Kriterium der Pegelabnahme je Abstandsverdoppelung für die Auslegung von neuen Räumen heranziehen will, ist jedoch ein geeignetes PC-Programm zur Berechnung der Schallausbreitungskurve bzw. Pegelabnahme pro Abstandsverdoppelung erforderlich, z.B. entsprechend der VDI-Richtlinie 3760 [8].

Beurteilung von Werkräumen nach DIN 18041

Die DIN 18041 [4] hat vor allem für die Planung von Räumen mit sprachlicher Kommunikation über mittlere und größere Entfernungen eine große Bedeutung erlangt (Raumgruppe A). Die Norm macht jedoch auch Vorgaben für Räume, in denen in der Regel nur eine Verständigung über kurze Entfernungen stattfindet (Raumgruppe B), z.B. für Kantinen, Büros oder auch Werkstätten, wobei die Raumgröße auf Volumina bis etwa 5.000 m³ begrenzt ist.

In der früheren Fassung dieser Norm vom Mai 2004 wurden die dazu erforderlichen zusätzlichen Schallabsorptionsflächen in Abhängigkeit von der Grundfläche des Raumes vorgegeben. Diese Vorgaben galten jedoch nur für Räume mit einer Höhe von 2,5 m und waren für größere Räume proportional anzupassen. In der Neufassung der DIN 18041 vom März 2016 [4] werden nun in Abhängigkeit von der Raumhöhe h Empfehlungen für das Verhältnis der äquivalenten Schallabsorptionsfläche A des Raums zum Raumvolumen V (A/V -Verhältnis) gegeben, die jeweils für die Oktavbänder von 250 Hz bis 2000 Hz gelten. Dabei werden je nach Nutzungsart des Raumes unterschiedliche Empfehlungen ausgesprochen. Für die hier betrachteten „Arbeitsräume mit besonders hohem Geräuschaufkommen“ gelten nach DIN 18041 die höchsten Anforderungen. Das mindestens erforderliche A/V -Verhältnis lässt sich für Räume

mit mehr als 2,5 m Höhe nach der folgenden Gleichung berechnen:

$$A/V = 1 / [1,47 + 4,69 \lg(\frac{h}{1m})] \quad (4)$$

Aus dieser Gleichung lässt sich die in Abbildung 1 durch unterschiedliche Grautöne beschriebene Grenzkurve ableiten. Um die Vorgaben der DIN 18041 zu erfüllen, sollte das A/V-Verhältnis der Räume auf oder oberhalb dieser Grenzkurve (im Bereich mit hellerem Grauton) liegen.

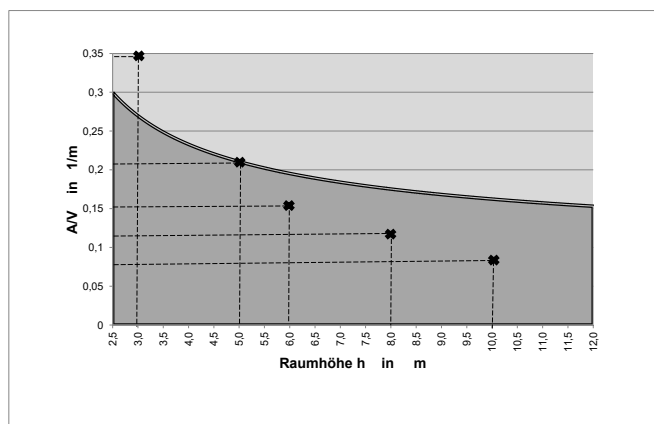


Abbildung 1: Aus DIN 18041 abgeleitete Grenzkurve für das in Abhängigkeit von der Raumhöhe h zu realisierende A/V-Verhältnis (Räume der Gruppe B5); Markierungen (x) zeigen die Ergebnisse für fünf beispielhaft ausgewählte Arbeitsräume mit $\bar{\alpha} = 0,3$

Raumakustische Anforderungen im Vergleich

Um die Anforderungen an die Raumakustik industrieller Arbeitsräume nach TRLV Lärm [2] mit den Empfehlungen nach DIN 18041 [4] zu vergleichen, seien hier beispielhaft fünf Arbeitsräume unterschiedlicher Größe betrachtet, die jeweils einen mittleren Absorptionsgrad $\bar{\alpha}$ von 0,3 aufweisen. Die entsprechenden Räume sind in der Tabelle 2 mit ihren Abmessungen und den für die Beurteilung maßgebenden raumakustischen Kennwerten beschrieben. Die mittlere Schallpegelabnahme pro Abstandsverdoppelung DL_2 wurde dabei jeweils für einen mittigen Messpfad von 6 m Länge nach VDI 3760 berechnet. Der Einfachheit halber wurden die DL_2 -Werte in der Tabelle für die Oktavbänder von 500 bis 4000 Hz gemittelt.

Raum/ Abmessungen	V m ³	A (m ²)	$\bar{\alpha}$	$DL_{2, TRLV}$ (dB)	$(A/V)_{soll}$ (1/m) DIN 18041	$(A/V)_{ist}$ (1/m)
A) 12 x 7 x 3 m ³	252	85	0,3	2,3	0,25	0,34
B) 18 x 10 x 5 m ³	900	192	0,3	3,1	0,21	0,21
C) 30 x 15 x 6 m ³	2700	432	0,3	4,0	0,20	0,16
D) 45 x 20 x 8 m ³	7200	852	0,3	4,3	0,175	0,12
E) 100 x 40 x 10 m ³	40000	3240	0,3	4,7	0,162	0,08

Tabelle 2: Vergleich der raumakustischen Kennwerte für Arbeitsräume mit einem mittleren Absorptionsgrad von $\bar{\alpha} = 0,3$

Mit dem mittleren Absorptionsgrad $\bar{\alpha}$ von 0,3 erfüllen alle Räume die Anforderungen nach TRLV Lärm. Für die beiden kleineren Räumen (A und B, Raumvolumen unter 1000 m²) errechnet sich eine mittlere Pegelabnahme pro Abstands-

verdoppelung DL_2 von weniger als 4 dB, so dass hier die alternative Vorgabe der TRLV Lärm nicht erfüllt ist. In den größeren Räumen lässt sich die geforderte Pegelabnahme dagegen leichter realisieren, wie bereits erläutert. Deshalb lässt sich die erforderliche Menge an Absorptionsmaterial bei Auslegung der Räume D und E auf der Grundlage der mittleren Pegelabnahme ($DL_2 \geq 4\text{dB}$) wesentlich reduzieren. In den letzten beiden Spalten der Tabelle 2 sind die A/V-Verhältnisse aufgelistet, die für diese Räume nach DIN 18041 gefordert sind und die tatsächlich erreicht werden. Danach weisen die kleineren Räume A und B nach DIN 18041 eine ausreichende Schallabsorption auf, während für die größeren Räume deutlich größere Mengen an Absorptionsmaterial erforderlich wären. Allerdings wäre die DIN 18041 für die beiden größten Räume D und E aufgrund der Volumina von mehr als 5000 m³ streng genommen nicht anwendbar. Zur Veranschaulichung dieser Ergebnisse sind die für die betrachteten fünf Räume bei einem mittleren Schallabsorptionsgrad $\bar{\alpha}$ von 0,3 erreichten A/V-Werte in Abbildung 1 markiert (x).

Danach sind die Anforderungen an die Raumakustik nach DIN 18041 im Vergleich zu den TRLV Lärm für kleinere Räume offenbar nicht so streng, für größere Räume aber deutlich strenger. Bei Räumen mit einem Volumen von etwa 1000 m³ ergeben sich näherungsweise die gleichen Anforderungen nach beiden Regelwerken. Die Auslegung von großen Räumen nach DIN 18041 würde einen unverhältnismäßig hohen Aufwand bedeuten. Das gilt insbesondere für die tiefe Frequenz von 250 Hz, weil übliche Absorptionsmaterialien dort eine deutlich niedrigere Schallabsorption aufweisen.

Erfahrungsgemäß ist der Einsatz von mehr Absorptionsmaterial als nach TRLV Lärm gefordert in der Regel wenig effektiv. D.h. die durch das zusätzliche Material erzielten Lärminderungserfolge sind gering. Selbst die für die hier betrachteten Räume angesetzte Auslegung mit einem mittleren Absorptionsgrad $\bar{\alpha}$ von 0,3 bedeutet bei großen Hallen mit Blick auf die Anforderungen der TRLV Lärm schon eine Überdimensionierung des Schallabsorptionsmaterials.

Lärminderungserfolg

Zahlreiche Beispiele zeigen, dass sich die Lärmbelastungen an Arbeitsplätzen durch raumakustische Maßnahmen wirksam reduzieren lassen. So kann man vielfach selbst an den Arbeitsplätzen in Maschinennähe Pegelminderungen von 3 bis 5 dB(A) und in größeren Abständen von 10 dB(A) und mehr erreichen [9]. In Einzelfällen können die Lärminderungserfolge durch raumakustische Maßnahmen allerdings auch deutlich niedriger ausfallen, z.B. in Textilbetrieben oder Wäschereien, in denen ohnehin Schallabsorptionsmaterial in Form der Textilien bzw. Wäschestücke vorhanden ist.

Wie das folgende Beispiel zeigt, kann das ebenfalls für große Arbeitsräume mit hohen Decken zutreffen. Abb. 2 zeigt die für eine Produktionshalle mit einer Grundfläche von 110 m x 60 m und einer Höhe von 10 m berechneten Schallausbreitungskurven ohne (A) und mit (B) Schallabsorptionsmaterial (Berechnung nach VDI 3760 – Spiegelquellenverfahren). Für diesen Raum ergibt sich ohne Absorptionsmaterial ($\bar{\alpha} = 0,1$) eine mittlere Schallpegelabnahme pro Abstandsverdoppelung DL_2 von 4,3 bis 4,6 dB (500 Hz bis 4000 Hz), d.h. die Vorgaben der TRLV Lärm

sind hier ohne zusätzliches Absorptionsmaterial bereits voll erfüllt. Mit einer schallabsorbierenden Decke ($\bar{\alpha} = 0,37$) errechnet sich eine mittlere Pegelabnahme pro Abstandsverdoppelung DL_2 von 4,8 bis 4,9 dB (500 Hz bis 4000 Hz). Die Vorgabe nach TRLV Lärm wird damit also deutlich übertroffen, wobei die Verbesserung der Raumakustik in den Schallausbreitungskurven erst in Abständen von mehr als 3 m deutlich wird.

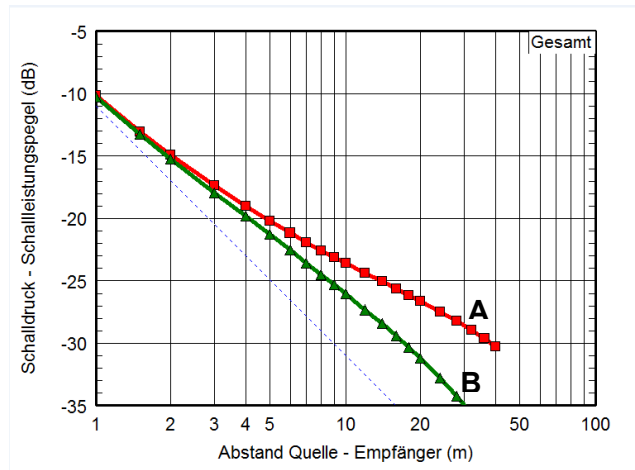


Abbildung 2: Berechnete Schallausbreitung für eine große Produktionshalle (Abmessungen: 110 m x 60 m x 10 m);

A – Raum ohne Absorptionsmaterial
B – Raum mit absorbierender Decke

Da der Lärminderungserfolg durch raumakustische Maßnahmen auch von der räumlichen Verteilung und der Anzahl der Lärmquellen abhängt, wurden jeweils die Schalldruckpegelverteilungen für die Halle ohne und mit Schallabsorptionsmaterial nach VDI 3760 berechnet. Auf die Darstellung der entsprechenden Lärmkarten wird hier jedoch aus Platzgründen verzichtet. Für die betrachtete Halle mit einer Konzentration der lauten Maschinen auf einige wenige Bereiche ergaben sich an den Arbeitsplätzen in Maschinennähe (0,5m Abstand) Pegelminderungen bis zu etwa 0,5 dB(A). In größeren Abständen zu den Maschinen wurden Pegelminderungen von bis zu etwa 2 dB(A) festgestellt. Mit Blick auf den großen finanziellen Aufwand für die raumakustischen Maßnahmen wurde dem Betrieb jedoch empfohlen, sich lieber auf Maßnahmen an den Lärmquellen zu konzentrieren.

Dieses Beispiel zeigt, dass es bei der raumakustischen Auslegung von Arbeitsräumen besonders wichtig ist, die zu erwartenden Lärminderungserfolge mit Hilfe einer geeigneten Software zu prognostizieren. Falls die raumakustischen Maßnahmen nur geringe Pegelminderungen erwarten lassen, sollte man überlegen, ob es nicht sinnvoller ist, die Lärmbelastungssituation durch andere Lärminderungsmaßnahmen zu verbessern.

Zusammenfassung

Die Technischen Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [2] machen konkrete Vorgaben zur Auslegung der Raumakustik von industriellen Arbeitsräumen. Die neue DIN 18041 [4] gibt davon abweichende Empfehlungen für die Planung entsprechender Arbeitsräume mit einem Volumen bis zu etwa 5000 m³. Dabei sind die Anforderungen der DIN 18041 für kleinere Räume mit einem Volumen von weniger als 1000 m³ weniger streng. Für

größere Räume erfordert die Auslegung nach DIN 18041 jedoch deutlich mehr Schallabsorptionsmaterial als nach TRLV Lärm, so dass mittlere Schallabsorptionsgrade $\bar{\alpha}$ von mehr als 0,3 zu realisieren wären. Das dürfte insbesondere bei der tiefen Frequenz von 250 Hz Probleme bereiten. Außerdem ist der Einsatz von so viel zusätzlichem Schallabsorptionsmaterial mit unverhältnismäßig hohen Kosten verbunden und führt erfahrungsgemäß zu keinen nennenswerten weiteren Pegelminderungen. Um unnötig hohen Aufwand für raumakustische Maßnahmen zu vermeiden, wird die gezielte Planung orientiert an den Vorgaben der TRLV Lärm empfohlen.

Am Beispiel einer sehr großen Halle wird gezeigt, dass die Anforderungen nach TRLV Lärm bezüglich Schallausbreitungsminderung in diesem Fall auch ohne zusätzliches Schallabsorptionsmaterial erreicht werden können. Die Realisierung einer schallabsorbierenden Decke wäre hier mit unverhältnismäßig hohen Kosten verbunden und würde die Lärmbelastung an den Maschinenarbeitsplätzen doch nur um weniger als 1 dB(A) reduzieren.

Literatur

- [1] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung) vom 6. März 2007, BGBl. I, S. 261, letzte Änderung vom 19. Juli 2010, BGBl. I, S. 964
- [2] Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (TRLV) Teil Lärm. Gemeinsames Ministerialblatt Nr. 18-20/2010 vom 23. März 2010
- [3] Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-234: Raumakustik in industriellen Arbeitsräumen – Anforderungen, Grundlagen, Messverfahren, Maßnahmen, Lärminderungserfolge. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin 2014
- [4] DIN 18041: Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung. (März 2016)
- [5] DIN EN 12354-6: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften; Teil 6: Schallabsorption in Räumen. (April 2004)
- [6] DIN EN ISO 3382-2: Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik; Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen. (September 2008)
- [7] Unfallverhütungsvorschrift (UVV) „Lärm“ vom Dezember 1974, i.d.F. vom Januar 1990, BG-Vorschrift BGV B3, Carl Heymanns Verlag, Köln – zurückgezogen
- [8] VDI 3760: Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen. (Februar 1996)
- [9] Maue, J.: Geräuschimmissionsprognosen im Rahmen von Lärminderungs-Betriebsberatungen. Sichere Arbeit 6/2002