

Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-305

Geräuschminderung im Betrieb

Lärminderungsprogramm

Juli 2019

komm**mit****mensch** ist die bundesweite Kampagne der gesetzlichen Unfallversicherung in Deutschland. Sie will Unternehmen und Bildungseinrichtungen dabei unterstützen eine Präventionskultur zu entwickeln, in der Sicherheit und Gesundheit Grundlage allen Handelns sind. Weitere Informationen unter www.kommmitmensch.de

Impressum

Herausgegeben von:

Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
Fax: 030 13001-9876
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de

Ansprechpartner:

Dr. rer. med. Florian Schelle

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA)
Fachbereich Arbeitsgestaltung – Physikalische Einwirkungen
Alte Heerstraße 111
53757 Sankt Augustin

Ausgabe: Juli 2019

Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-305 zu beziehen bei Ihrem zuständigen
Unfallversicherungsträger
oder unter ► www.dguv.de/publikationen

Geräuschminderung im Betrieb

Lärminderungsprogramm

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	Einleitung 5
2	Arbeitsschritte 6
3	Ermittlung der Lärmschwerpunkte 8
4	Vergleich mit dem Stand der Lärminderungstechnik 10
5	Lokalisierung der Lärmquellen und Ursachenanalyse 12
5.1	Allgemeines 12
5.2	Lokalisieren der Hauptgeräuschquellen an einer Maschine 12
5.3	Analyse der Geräuschursachen 12
5.4	Analyse der Raumakustik 13
6	Auswahl und Beschreibung geeigneter Lärminderungsmaßnahmen 14
7	Lärmierungsprognose 16
8	Prioritätenliste, Zeitplan und Wirksamkeitskontrolle 17
9	Literatur 18
	Anhang A 20
	Anhang B 28

1 Einleitung

Nach § 7 der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV) vom 06. März 2007 [1] ist der Unternehmer zu Lärmschutzmaßnahmen verpflichtet, um damit die Gefährdung für die Beschäftigten zu vermeiden oder soweit wie möglich zu verringern (Minimierungsgebot). Als Maßstab bei der Entscheidung über erforderliche Lärmschutzmaßnahmen ist jeweils der Stand der Technik zu berücksichtigen. Grundsätzlich haben technische Maßnahmen, z. B. lärmarme Maschinen und raumakustische Maßnahmen, Vorrang vor organisatorischen Maßnahmen, z. B. eine räumliche oder zeitliche Verlagerung von lärmintensiven Tätigkeiten. Erst wenn sich mit den entsprechenden Maßnahmen keine ausreichenden Lärminderungserfolge erzielen lassen, kommen persönliche Schutzmaßnahmen durch Gehörschutzmittel in Betracht.

Falls an einem Arbeitsplatz einer der oberen Auslöswerte überschritten wird, d. h. bei einem Tages-Lärmexpositionspegel $L_{EX,8h}$ von mehr als 85 dB(A) bzw. einem Spitzenschalldruckpegel $L_{pC,peak}$ von mehr als 137 dB, ist ein Programm mit technischen und organisatorischen Maßnahmen, d. h. ein Lärmreduzierungsprogramm, aufzustellen und durchzuführen (§7(5) LärmVibrationsArbSchV).

Durch das Lärmreduzierungsprogramm sollen die Lärmbelastungen an bestehenden Arbeitsplätzen reduziert und die Arbeitsbedingungen dem Stand der Lärmreduzierungs-technik angepasst werden. Dabei muss es das Ziel sein, die oberen Auslöswerte zu unterschreiten und die Lärmgefährdungen der Beschäftigten zu minimieren.

In diesem Lärmreduzierungs-Arbeitsblatt werden alle wesentlichen Schritte zur Erstellung eines Lärmreduzierungsprogramms in Form einer Handlungsanleitung beschrieben, ohne diese Schritte und die entsprechende Vorgehensweise festschreiben zu wollen. So kann es durchaus sinnvoll sein, von dieser Beschreibung abzuweichen oder nur einzelne Schritte auszuführen. Beispielsweise sind keine aufwändigen messtechnischen Analysen an einer Maschine erforderlich, wenn ohnehin die Anschaffung einer neuen Maschine geplant ist und damit bestehende Lärmprobleme möglicherweise gelöst werden können. Auch für ortsveränderliche Lärmbereiche, z. B. an fahrbaren Arbeitsmaschinen auf Baustellen, sind in der Regel nur einzelne Teile dieser Handlungsanleitung anwendbar.

Zur übersichtlichen Dokumentation der einzelnen Arbeitsschritte, von den Mess- und Analyseergebnissen bis hin zu den geplanten Maßnahmen und Umsetzungsterminen werden im Anhang A dieses Lärmreduzierungs-Arbeitsblattes entsprechende Formblätter angeboten. Im Anhang B wird ein Beispiel für ein realisiertes Lärmreduzierungsprogramm vorgestellt.

2 Arbeitsschritte

Bei der Erstellung eines Lärminderungsprogramms lassen sich die in Abb. 1 zusammengestellten Arbeitsschritte unterscheiden. Die einzelnen Schritte nach Abb. 1 werden hier kurz erklärt und dann in den folgenden Abschnitten detailliert beschrieben.

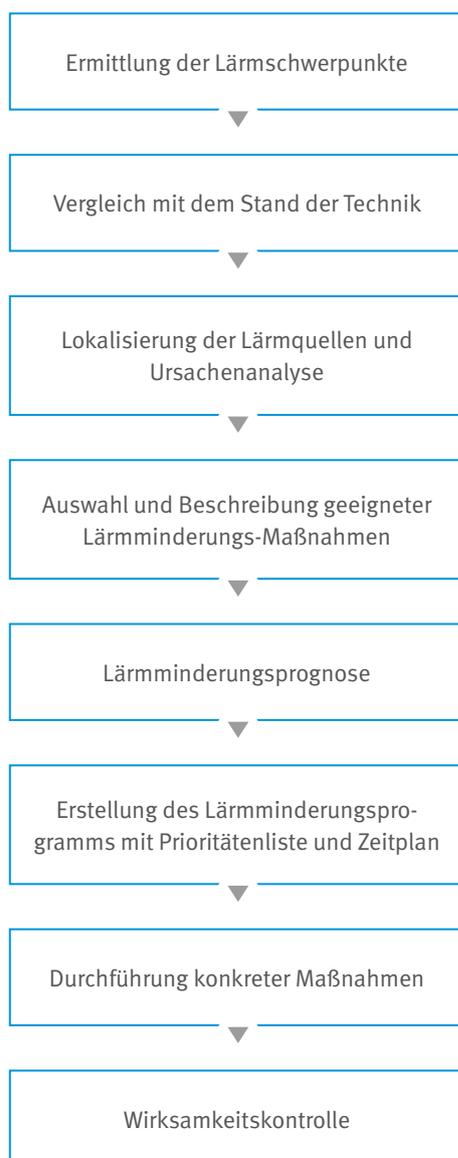


Abb. 1 Arbeitsschritte zur Aufstellung eines Lärminderungsprogramms (Quelle: IFA)

Als erster Schritt im Rahmen der Aufstellung des Lärminderungsprogramms ist in Abb. 1 die Ermittlung von Lärmschwerpunkten angegeben. Dabei soll zunächst festgestellt werden, in welchen Betriebsbereichen und an welchen Maschinen unter Berücksichtigung der Lärmexposition und der Anzahl der betroffenen Mitarbeiter die größten Lärmprobleme bestehen, um bei den folgenden Aktivitäten hier anzusetzen.

Der im nächsten Schritt des Lärminderungsprogramms vorgesehene Vergleich mit dem Stand der Lärminderungstechnik kann zu dem Ergebnis führen, dass die eingesetzten Maschinen und Arbeitsräume den fortschrittlichen Regeln der Lärminderungstechnik entsprechen und nach dem aktuellen Stand der Erkenntnisse keine geeigneten Lärminderungsmöglichkeiten bestehen. In diesem Fall müssen keine weiteren Schritte des Lärminderungsprogramms durchgeführt werden und die Beschäftigten müssen mit geeigneten Gehörschutzmitteln geschützt werden. Fortschritte in der Lärminderungstechnik können allerdings zu einem späteren Zeitpunkt geeignete Lärminderungsmaßnahmen erforderlich machen.

Falls der Stand der Lärminderungstechnik nicht eingehalten wird, sollten entsprechend Abb. 1 die Hauptlärmquellen an den lauten Maschinen (z. B. Getriebe, Antriebsmotor) lokalisiert und die Geräuschursachen (z. B. Verzahnung, Luftturbulenzen) analysiert werden. Auch die Untersuchung der gegebenen raumakustischen Situation ist dem Schritt der Ursachenanalysen zuzuordnen. Da die messtechnische Durchführung dieser Geräuschquellen- und Ursachenanalysen in der Regel besondere akustische Fachkenntnisse und eine aufwändige messgerätetechnische Ausrüstung verlangen, muss der Unternehmer hier ggf. auf externe Beraterstellen oder Ingenieurbüros zurückgreifen.

Der Schritt der Auswahl und Beschreibung geeigneter Lärminderungsmaßnahmen baut auf den bei der Ursachenanalyse gewonnenen Ergebnissen auf. Dabei existieren in der Regel mehrere Alternativen an Lärminderungsmaßnahmen, wobei neben den primären Maßnahmen an den Arbeitsmitteln selbst z. B. auch raumakustisch wirksame Maßnahmen oder organisatorische Maßnahmen in Betracht kommen.

Die als nächster Schritt in Abb. 1 aufgeführte Lärmminde-
rungsprognose ist eine wesentliche Hilfe bei der Entschei-
dung über die Reihenfolge/Priorität von Lärminderungs-
maßnahmen. Eine genaue Prognose kann jedoch mit
einem großen Aufwand verbunden sein und setzt entspre-
chende Erfahrungen sowie Hilfsmittel, beispielsweise
spezielle Software voraus.

Ein ganz wesentlicher Schritt des Lärmminde-
rungsprogrammes ist die Erstellung der Prioritätenliste und des
Zeitplanes für die Durchführung der Lärminderungsmaß-
nahmen. Dabei sind verschiedene Aspekte, wie die Höhe
der Lärmbelastung, der durch die Maßnahme erreichbare
Lärminderungserfolg, die Anzahl der betroffenen Mit-
arbeiter sowie die mit der Maßnahme verbundenen Kos-
ten zu berücksichtigen.

Natürlich darf nach jeder Realisierung einer Lärmminde-
rungsmaßnahme eine Erfolgskontrolle nicht fehlen. In
Abhängigkeit des dabei gewonnenen Ergebnisses muss
dann über ggf. erforderliche weitere Schritte entschieden
werden. Das Lärmminde-
rungsprogramm ist entsprechend
anzupassen. Das Programm darf abgeschlossen werden,
falls keiner der beiden oberen Auslösewerte mehr über-
schritten wird.

3 Ermittlung der Lärmschwerpunkte

Im ersten Schritt des Lärminderungsprogramms ist zunächst einmal festzustellen, an welchen Arbeitsplätzen die oberen Auslösewerte überschritten werden. In den meisten Fällen ist dabei der Tages-Lärmexpositionspegel $L_{EX,8h}$ das entscheidende Kriterium. Die Ermittlung des Tages-Lärmexpositionspegels ist in der Norm DIN EN ISO 9612 [2] beschrieben. Bezüglich der Durchführung und Auswertung der entsprechenden Messungen, der Berechnung des Lärmexpositionspegels und Behandlung von Unsicherheiten sei auf die Erläuterungen in dem Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-400 [3] verwiesen. Weitergehende Ausführungen finden sich beispielsweise in dem Taschenbuch „Lärmmessung im Betrieb“ [4].

Bei extrem hohen Schallimpulsen ist alternativ ggf. auch der C-bewertete Spitzenschalldruckpegel $L_{pC,peak}$ zu berücksichtigen. Die Erfassung des Spitzenschalldruckpegels $L_{pC,peak}$ als zweites Kriterium für die angesprochenen Maßnahmen ist in der betrieblichen Praxis allerdings nur in Einzelfällen von Bedeutung, weil derartig hohe Pegelspitzen mit Werten $L_{pC,peak}$ von mehr als 137 dB äußerst selten auftreten. Streng genommen reicht es aber aus, wenn ein entsprechender Schallimpuls auch nur einmal am Tag vorkommt.

Bei der Ermittlung des Lärmexpositionspegels ist zwischen dem personenbezogenen und dem ortsbezogenen Lärmexpositionspegel zu unterscheiden. Der **personenbezogene Lärmexpositionspegel** beschreibt die Lärmeinwirkung auf einen einzelnen Beschäftigten oder eine Gruppe von gleichartig belasteten Beschäftigten, die sich über verschiedene Bereiche bewegen können. Der **ortsbezogene Lärmexpositionspegel** beschreibt die auf einen festen Ort (Arbeitsplatz) oder einen Bereich einwirkende Geräuschimmission, unabhängig davon, ob sich dort Beschäftigte aufhalten oder nicht. Bei der entsprechenden Messung ist die auf diesen Ort einwirkende Geräuschimmission so zu erfassen, als wenn sich dort über die gesamte Arbeitsschicht ein Beschäftigter aufhalten würde.

Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [1] bzw. den Technischen Regeln (TRLV) Lärm [5] gilt es in der Regel, den personenbezogenen Lärmexpositionspegel zu bestimmen. Der personenbezogene Lärmexpositionspegel wäre dann die Grundlage zur Entscheidung über die Aufstellung und Durchführung eines Lärminderungs-

programms. Das bedeutet, dass sich ein Beschäftigter durchaus eine gewisse Zeit in einem Lärmbereich aufhalten kann, ohne dass damit in jedem Fall ein Lärminderungsprogramm notwendig wäre. Falls nämlich die personenbezogene (individuelle) Lärmexposition des Beschäftigten unter dem Auslösewert von 85 dB(A) bleibt, gilt zwar die allgemeine Forderung zur Minimierung der Geräuschbelastung, aber es besteht keine Verpflichtung zur Aufstellung eines Lärminderungsprogramms.

Alternativ kann auch der ortsbezogene Lärmexpositionspegel als Grundlage für die Entscheidung über ein Lärminderungsprogramm dienen, und zwar, wenn man das in den TRLV Lärm beschriebene „vereinfachte Vorgehen“ bei der Gefährdungsbeurteilung anwendet (TRLV Lärm, Teil 1, 6.1 (2) und (3)). Danach kann man entscheiden, dass alle Beschäftigten in einem Lärmbereich (mehr als 85 dB(A)) entsprechend dem hier ermittelten höchsten ortsbezogenen Lärmexpositionspegel belastet sind, unabhängig davon, wie lange sie sich dort aufhalten. Somit wäre also für alle im Lärmbereich eingesetzten Beschäftigten von einer Überschreitung eines der oberen Auslösewerte auszugehen und ein Lärminderungsprogramm aufzustellen. Der Vorteil dieser Vorgehensweise besteht darin, dass man damit bei unterschiedlich eingesetzten Beschäftigten nicht für jeden einzelnen die personenbezogene (individuelle) Lärmexposition ermitteln muss.

Nach den TRLV Lärm (Teil 3, 7.2) ist es im ersten Schritt eines Lärminderungsprogramms zweckmäßig, die Bereiche und Maschinen zu ermitteln, für die Lärminderungsmaßnahmen vordringlich sind (ortsbezogene Beurteilung). Dabei kann man sich in der Regel auf die im Rahmen der Ermittlung von Lärmbereichen gewonnenen Ergebnisse stützen.

Einen guten Überblick über die Lärmsituation erhält man durch eine Schallpegeltopographie, wie es das Beispiel in Abb. 2 zeigt. Zur genaueren Eingrenzung der wesentlichen lärm erzeugenden Maschinen sollten dann wenige zusätzliche Messungen ausreichen.

Um die Geräuschanteile der einzelnen Maschinen an der Lärmexposition genauer zu quantifizieren und die durch einzelne Lärminderungsmaßnahmen erreichbaren Erfolge berechnen zu können, kann man die Geräusche der verschiedenen Maschinen an dem jeweils betrachteten Einwirkungsort separat erfassen. Alternativ lassen sich

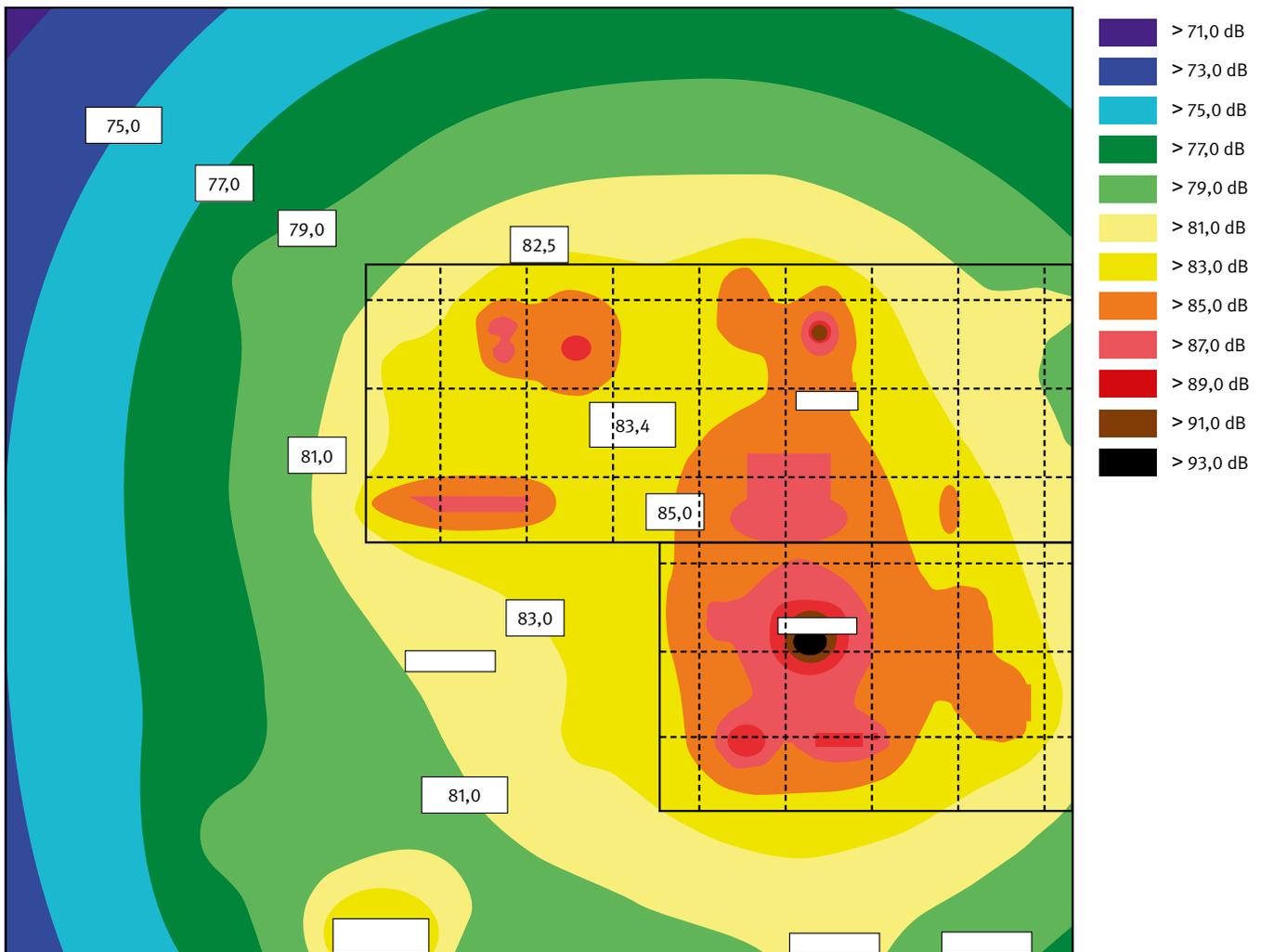


Abb. 2 Beispiel für eine Schallpegeltopographie (Lärmpegelkarte) mit abgegrenztem Lärmbereich

die Geräuschanteile der einzelnen Maschinen durch Ermittlung der entsprechenden Schalleistungspegel (z. B. nach der Normenreihe ISO 3740ff. [6]) und der Einsatzzeiten erfassen. Damit erhält man auch die Information, in welchem Maße die einzelnen Maschinen an der Geräuschsituation in dem Raum beteiligt sind.

Bei Kenntnis der Schalleistungspegel der Maschinen und der raumakustischen Situation lässt sich mit Hilfe von geeigneter Software, z. B. nach der VDI-Richtlinie 3760 [7], die Schalldruckpegelverteilung (Topographie) für den Raum berechnen (siehe z. B. Abb. 2). Durch Variation des Schalleistungspegels einer Maschine kann man dann den damit erreichbaren Lärminderungserfolg prognostizieren (siehe Abschnitt 7).

Da für die Entscheidung zur Aufstellung des Lärminderungsprogramms neben dem ortsbezogenen Lärmexpositionspegel auch die personenbezogene Lärmexposition

maßgebend sein kann, sind die Bereiche mit den höchsten Lärmpegeln nicht immer als die Schwerpunkte für die Lärminderung anzusehen, weil ggf. auch zu berücksichtigen ist, zu welchen zeitlichen Anteilen sich die Beschäftigten dort aufhalten. Wie schon erläutert bedeutet ein Lärmbereich nicht automatisch, dass hier ein Lärminderungsprogramm aufzustellen ist. Auch kann ein kurzer Aufenthalt in einem lauten Raum, z. B. einem Kompressorraum, möglicherweise einen geringeren Anteil an der Gesamtexposition eines Beschäftigten haben als ein wesentlich längerer Aufenthalt in einem Bereich mit niedrigerem Lärmpegel. In diesem Fall kann es durchaus sinnvoll sein, sich bei der Lärminderung zunächst auf den Bereich mit den niedrigeren Pegeln zu konzentrieren, wenn die Aufenthaltsdauer der Beschäftigten dort entsprechend hoch ist.

4 Vergleich mit dem Stand der Lärminderungstechnik

Der Vergleich mit dem aktuellen Stand der Lärminderungstechnik hat eine große Bedeutung, weil man je nach Ergebnis ggf. auf alle nachfolgenden Schritte verzichten kann. Die Einhaltung des Standes der Technik bedeutet, dass es derzeit keine geeigneten technischen Lärmschutzmaßnahmen für die entsprechenden Arbeitsplätze gibt. D.h. man muss zunächst die gegebene Lärmbelastung und die damit verbundenen Risiken akzeptieren und die Beschäftigten mit Gehörschutz versorgen. Es ist dann allerdings erforderlich, die Lärmsituation regelmäßig auf mögliche Fortschritte in der Lärminderungstechnik zu überprüfen und ggf. zu einem späteren Zeitpunkt geeignete Lärmierungsmaßnahmen zu planen und durchzuführen.

Die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutz-Verordnung [1] definiert in §2 (8) den Stand der Technik als „Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zum Schutz der Gesundheit und zur Sicherheit der Beschäftigten gesichert erscheinen lässt. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen, die mit Erfolg in der Praxis erprobt worden sind.“

In diesem Schritt des Lärmierungsprogramms ist nun also zu klären, ob die für die Lärmbelastung relevanten Maschinen und Werkzeuge sowie die Raumakustik dem fortschrittlichen Stand der Lärmierungsstechnik entsprechen. Als Hilfe bei dieser Entscheidung wird auf vergleichbare Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen verwiesen, die mit Erfolg in der Praxis erprobt worden sind. Diese Beurteilung erfordert demnach entsprechende branchenspezifische Erfahrungen in der Produktionstechnik und der Schallschutztechnik.

Zur Beurteilung der Geräuschemission von Maschinen einer bestimmten Art lassen sich die Geräuschemissionskennwerte, wie der Schallleistungspegel (z. B. nach der Normenreihe ISO 3740ff. [6]) oder der Emissions-Schalldruckpegel am Arbeitsplatz (Normenreihe ISO 11200ff. [8]) heranziehen. Um den aktuellen Stand der Lärmierungsstechnik für eine bestimmte Art von Maschinen zu ermitteln, bedarf es genau genommen der Erfassung der Geräuschemission einer repräsentativen Auswahl der jeweiligen Maschinengruppe. Dabei sind die Geräuschemissionsdaten in Abhängigkeit von bestimmten Leistungsparametern, z. B. Nennleistung, Nenndrehzahl oder

Gewicht, systematisch auszuwerten. Erfahrungsgemäß können die Geräuschemissionen der von unterschiedlichen Herstellern angebotenen Maschinen einer Art bei vergleichbaren Betriebsbedingungen um 5 bis 20 dB(A) differieren. Die gezielte Auswahl einer leisen Maschine kann sich deshalb ganz wesentlich auf die Lärmsituation an den entsprechenden Arbeitsplätzen auswirken.

In vielen Betrieben hat sich bei der Beschaffung von neuen Arbeitsmitteln eine Praxis durchgesetzt, die auf entsprechende Festlegungen in den Durchführungsanweisungen der 2007 zurückgezogenen Unfallverhütungsvorschrift (UVV) „Lärm“ [9] zurückgeht. So wird vielfach gefordert, dass der Emissions-Schalldruckpegel am Arbeitsplatz der Maschine oder der 1 m-Messflächenschalldruckpegel den Wert von 70 dB(A) unterschreitet. Diese Anforderung bedeutet, dass sich an den entsprechenden Arbeitsplätzen bei Überlagerung mehrerer entsprechender Lärmquellen und Schallreflexion an den Raumbegrenzungsflächen in der Regel ein Schalldruckpegel von weniger als 80 dB(A) ergibt. Auch wenn man daraus streng genommen nicht folgern kann, dass damit die fortschrittlichen Regeln der Lärmierungsstechnik erfüllt sind, so sollten sich zumindest gehörgefährdende Lärmbelastungen vermeiden lassen.

Für verschiedene Arbeitsmittel kann der Stand der Lärmierungsstechnik auch durch die Beschreibung des prinzipiellen Aufbaus oder konstruktiver Details eines Bauteiles oder eines Werkzeuges definiert werden. Das kann z. B. in maschinenspezifischen Normen festgelegt sein. Beispiele für entsprechende Lösungen finden sich auch in einigen Publikationen und Lärmschutz-Arbeitsblättern, unter anderem zu geräuschgeminderten Sägeblättern [10], Diamanttrennscheiben (IFA-LSA 02-375) [11] und Druckluftdüsen [12]. Darüber hinaus können auch sekundäre Lärmierungsmaßnahmen wie Kapselungen oder Abschirmungen als Stand der Lärmierungsstechnik gelten (IFA-LSA 01-243 [13]).

In der Literatur finden sich zahlreiche Beispiele für „lärmarme Arbeitsverfahren“, die als Stand der Technik zu verstehen sind, wenn sie mit Erfolg in der Praxis erprobt wurden. Einige dieser Beispiele sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt, die in dieser Form auch in die TRLV Lärm, Teil 3 übernommen wurde [5]:

lärmarm	Verfahren/Arbeitsprinzip	
	geräuschintensiv	
Ablegen	Abwerfen	
Absaugen	Abblasen	
Bohren	Stanzen	
Drehschrauber	Schlagschrauber	
Elektroantrieb	Verbrennungsmotor	
Gießen	Schmieden	
Gleitlager	Wälzlager	
hydraul. Verformen (Kraftformer)	Bördeln mit Hammer	
hydraul. Ziehen/Drücken	Richten mit Hammer	
Kleben	Nieten	
Optische Signalgebung	Akustische Signalgebung	
Plasmaschneiden	Trennen mechanisch	
Pressen	Schlagen	
Sägen	Trennschleifen	
Schrauben	Nieten	
Schweißen	Nieten	
Taumelnieten	Schlagnieten	
Transport kontinuierlich	Transport stoßweise	

Tabelle 1 Beispiele für alternative „lärmarme“ Arbeitsverfahren [5].

Falls sich durch technische Maßnahmen an den Maschinen keine ausreichende Lärminderung erreichen lässt, sind die Arbeitsräume nach den TRLV Lärm, Teil 3, Abschnitt 4.3 [5], so zu gestalten, dass die Schallausbreitungsbedingungen dem Stand der Technik entsprechen. Dazu gibt es zwei konkrete, alternativ einzuhaltende Vorgaben: der Stand der Technik für Arbeitsräume gilt als eingehalten, falls

- A. die **Schallpegelabnahme pro Abstandsverdopplung** DL_2 im Abstandsbereich von 0,75 bis 6 m in den einzelnen Oktavbändern mit den Mittenfrequenzen von 500 Hz bis 4000 Hz jeweils **mindestens 4 dB** beträgt, oder
- B. der **mittlere Schallabsorptionsgrad** $\bar{\alpha}$ in allen Oktavbändern mit den Mittenfrequenzen von 500 Hz bis 4000 Hz jeweils **mindestens 0,3** beträgt.

Die entsprechenden raumakustischen Kennwerte, die **Schallpegelabnahme pro Abstandsverdopplung** und der **mittlere Schallabsorptionsgrad**, und die Verfahren zu deren Bestimmung werden im Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-234 [14] ausführlich erläutert.

Je nach räumlichen Bedingungen kann es sinnvoll sein, das eine oder das andere Kriterium heranzuziehen. In kleineren Räumen (bis zu einem Volumen von ca. 1000 m³) lassen sich oft nur die Anforderungen an den mittleren Schallabsorptionsgrad $\bar{\alpha}$ realisieren. Die Anforderungen an die Schallpegelabnahme pro Abstandsverdopplung DL_2 im Abstandsbereich von 0,75 bis 6 m können hier meist nicht eingehalten werden, weil die nahegelegenen Raumbegrenzungsflächen den Schall stark reflektieren.

In großen Räumen ($V \geq 10.000 \text{ m}^3$) ist hingegen die Realisierung eines mittleren Schallabsorptionsgrades $\bar{\alpha}$ von 0,3 mit unverhältnismäßig hohem Aufwand verbunden, weil dafür große Flächen mit Schallabsorptionsmaterial belegt werden müssen. Andererseits lässt sich dort die Anforderung an die Schallpegelabnahme $DL_2 \geq 4 \text{ dB}$ aufgrund der größeren Abstände zu den reflektierenden Begrenzungsflächen in der Regel viel einfacher und mit verhältnismäßig geringem Materialeinsatz erreichen.

Liegt das Raumvolumen zwischen 1000 m³ und 10.000 m³, so lässt sich nicht pauschal sagen, welche Kenngröße leichter erfüllt werden kann. Hier sollten daher beide Kenngrößen erfasst werden, um sie anschließend mit dem Stand der Technik zu vergleichen.

In den meisten Fällen sind die geforderten raumakustischen Bedingungen durch eine schallabsorbierende Gestaltung der Decke oder auch schon durch eine Teilbelegung der Decke zu erfüllen. Da raumakustische Maßnahmen hohe Kosten verursachen können, empfiehlt sich eine sorgfältige und gezielte Planung, z. B. unter Verwendung einer softwaregestützten Prognose nach der VDI-Richtlinie 3760 [7]. Damit lassen sich die tatsächlich erforderlichen Flächen an Absorptionsmaterial genau ermitteln und ggf. erforderliche teure Nachrüstungen vermeiden. Als Hilfe für die Planung und Ausführung von raumakustischen Maßnahmen sei auf das Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-234 [14] verwiesen.

5 Lokalisierung der Lärmquellen und Ursachenanalyse

5.1 Allgemeines

Nach der Identifizierung der als Lärmschwerpunkte anzusehenden Bereiche und der hier dominierenden Maschinen und Anlagen (siehe Abschnitt 3) empfiehlt es sich, an diesen Lärmquellen die Bereiche mit der dominierenden Schallabstrahlung zu lokalisieren. Das können z. B. Antriebsmotoren, Getriebe oder stark schwingende Blechverkleidungen sein. Damit lässt sich das Lärmproblem bereits eingrenzen, so dass man sich auf diese Quellen konzentrieren kann. Daran kann sich eine weitergehende Analyse zu den Geräuschursachen anschließen. Dabei gilt es zu untersuchen, warum die festgestellten Quellen an den Maschinen so viel Lärm abstrahlen. Das kann z. B. eine Unwucht oder ungünstige Lagerung bei einem rotierenden Teil oder eine turbulente Luftströmung sein. Auf diese Ursachenanalyse kann man ggf. verzichten, wenn man sich gleich für eine Kapselung der gesamten Maschine oder einen Ersatz der Maschine durch eine neue, leisere Maschine entscheidet und damit die erforderliche Pegelminderung erreicht werden kann. Für viele Maschinenarten sollten sich in der Literatur geeignete Lärmminierungsmaßnahmen finden lassen. Zudem sind dem Maschinenhersteller oft die Hauptgeräuschquellen und Geräuschursachen bekannt und er kann hier bereits geeignete Lärmminierungsmaßnahmen anbieten.

Neben den Geräuschursachen an den Maschinen und Anlagen selbst kann auch eine ungünstige raumakustische Situation (starke Schallreflexionen) eine Geräuschursache sein. Auch das ist dann im Rahmen der Ursachenanalyse genauer zu untersuchen.

Die Durchführung der Messungen und Untersuchungen im Rahmen der Ursachenanalyse erfordert ggf. den Einsatz aufwändiger Messgeräte für Luftschall- und Körperschallanalysen, Schallintensitätsmessungen oder Softwarelösungen, über die nur entsprechend spezialisierte Fachfirmen, Ingenieurbüros und Institute verfügen. Deshalb muss der betroffene Betrieb bei diesem Schritt evtl. externe Berater einschalten. Die hier angesprochenen Arbeitsschritte der Lärmquellenlokalisierung und Ursachenanalyse seien im Folgenden etwas weitergehend erläutert.

5.2 Lokalisieren der Hauptgeräuschquellen an einer Maschine

Die dominierenden Einzelquellen lassen sich vielfach schon durch einfache Schalldruckpegelmessungen in geringem Abstand zu der Maschine oder Anlage oder durch Abtasten der Oberfläche mit Körperschallaufnehmern ermitteln. Eine genauere Analyse erlaubt die Schallintensitätsmesstechnik, da sich damit der Schallfluss vektoriell erfassen und bis zu der Geräuschquelle an der Maschine zurückverfolgen lässt [15]. Mit Hilfe von Schallintensitätsmessungen kann man außerdem die Geräuschemission einzelner Lärmquellen einer Maschine (Teilschalleistungspegel) bestimmen und somit errechnen, in welchem Maße sich eine Lärmminierung an einer einzelnen Lärmquelle auf das Gesamtgeräusch der Maschine (Schalleistungspegel) auswirkt.

Zur Lokalisierung von Lärmquellen lässt sich heute auch die sogenannte akustische Kamera (Beamforming, Nahfeld-Holographie) einsetzen [16-18]. Das entsprechende Messsystem besteht aus einem Messgitter mit vielen Mikrofonen (Mikrofonarray) und einem leistungsfähigen Rechner. Das Mikrofonarray wird auf das Messobjekt ausgerichtet. Durch Auswertung der Laufzeitunterschiede bei der Schallausbreitung lassen sich so die Hauptlärmquellen lokalisieren und als akustisches Foto farblich darstellen (beispielsweise hohe Pegel in rot, niedrige Pegel in blau). Diese Messtechnik ist allerdings relativ teuer und stößt insbesondere bei tiefen Frequenzen auf Grenzen. Ein Überblick über diese Verfahren und die damit verbundenen Möglichkeiten der Schallquellenortung wird in [16] gegeben.

5.3 Analyse der Geräuschursachen

Nach Kenntnis der Hauptlärmquellen besteht in vielen Fällen die Möglichkeit, diese Quellen zu kapseln (Teilkapselung), konstruktiv zu verbessern oder zu ersetzen. Um Möglichkeiten der konstruktiven Verbesserung und Lärmminierung unmittelbar am Ort der Schallentstehung zu untersuchen, sind jedoch weitergehende Geräuschursachenanalysen erforderlich. Die daraus abzuleitenden Lärmminierungsmaßnahmen sind ggf. mit einem tieferen Eingriff in die Maschinenkonstruktion verbunden und deshalb nur durch den Hersteller selbst oder in enger Zusammenarbeit mit dem Hersteller zu realisieren.

Zur Durchführung der angesprochenen weitergehenden Analysen lassen sich z. B. folgende Messverfahren einsetzen:

- schmalbandige Frequenzanalyse für Luft- und Körperschall
- Analyse von Schwingungsformen (Modalanalyse, Holografie)
- Aufnahme von Nachgiebigkeitsfrequenzgängen
- Korrelationsmesstechnik
- Akustische Kamera

Weitergehende Informationen über diese Mess- und Analyseverfahren können der entsprechenden Literatur entnommen werden [15-21].

5.4 Analyse der Raumakustik

Wie bereits im Abschnitt 4 erläutert sollen moderne Arbeitsräume entsprechend dem Stand der Technik in den Oktavbändern von 500 Hz bis 4000 Hz eine mittlere Pegelabnahme DL_2 je Abstandsverdoppelung von mindestens 4 dB oder einen mittleren Schallabsorptionsgrad $\bar{\alpha}$ von mindestens 0,3 aufweisen. Die Messverfahren und Auswertungen zur Bestimmung dieser raumakustischen Kennwerte sind in dem Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-234 „Raumakustik in industriellen Arbeitsräumen“ [14] beschrieben.

Die entsprechenden raumakustischen Kennwerte lassen sich auch rein rechnerisch bestimmen [7, 22-24], falls die für die Raumbegrenzungsflächen eingesetzten Materialien, insbesondere die absorbierenden Schallschutzmaterialien, bekannt sind. Für übliche Baustoffe bzw. Bauteile, z. B. Mauerwerk, Beton, Fenster und Böden, gibt es Erfahrungswerte zum Schallabsorptionsvermögen, die sich entsprechenden Tabellen entnehmen lassen (siehe z. B. DIN 18041 [25]). Für eingesetzte Schallabsorptionsmaterialien sollte der Hersteller bzw. Lieferant entsprechende Angaben machen können.

Die Berechnung der Schallausbreitung kann z. B. nach dem in der VDI-Richtlinie 3760 [7] beschriebenen Rechenverfahren durchgeführt werden, das heute von verschiedenen Firmen als Softwarelösung angeboten wird. Bei diesem Rechenverfahren nach VDI 3760 handelt es sich um ein so genanntes Spiegelquellenverfahren entsprechend einem Vorschlag von Jovicic [26]. Auf der Grundlage

der danach ermittelten Schallausbreitungskurve lässt sich die mittlere Pegelabnahme DL_2 je Abstandsverdoppelung bestimmen. Es sei allerdings darauf hingewiesen, dass die Festlegung des Messpfades nach der VDI 3760 und die danach zu berechnende Pegelabnahme je Abstandsverdoppelung von den entsprechenden Vorgaben im IFA-LSA Blatt 01-234 [14] abweichen. Erfahrungsgemäß ergibt sich jedoch in den meisten Fällen eine recht gute Übereinstimmung zwischen der mittleren Pegelabnahme DL_2 nach VDI 3760 für den Nahbereich (1 bis 5 m Abstand) und der Auswertung für DL_2 nach dem IFA-LSA-Blatt 01-234 (Abstandsbereich 0,75 m bis 6 m) [27].

Zur Berechnung des mittleren Schallabsorptionsgrades sei auf die detaillierten Erläuterungen im Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-234 [14] verwiesen. Danach gibt es sowohl die Möglichkeit der messtechnischen Ermittlung des mittleren Absorptionsgrades über die Ermittlung der Nachhallzeit als auch die Möglichkeit der Berechnung aus den Schallabsorptionsgraden der raumbegrenzenden Teilflächen. Nach den Technischen Regeln (TRLV Lärm) gelten die o. g. Anforderungen an die Raumakustik streng genommen für alle Oktavbänder mit den Mittenfrequenzen von 500 Hz bis 4000 Hz.

Für eine einfache Abschätzung wird auch eine überschlägige Berechnung des mittleren Schallabsorptionsgrades beschrieben, wobei über die Frequenzen von 500 Hz bis 4000 Hz arithmetisch gemittelte Absorptionsgrade herangezogen werden. Die für eine Reihe unterschiedlicher Baumaterialien anzusetzenden Schallabsorptionsgrade lassen sich dabei der Tabelle 1 im Anhang 5 der TRLV Lärm, Teil 3 entnehmen

6 Auswahl und Beschreibung geeigneter Lärminderungsmaßnahmen

In Anlehnung an DIN EN ISO 11690, Teil 1 und 2 [28, 29], kann man folgende grundlegenden Lärminderungsmöglichkeiten unterscheiden: (siehe auch [30]):

- Maßnahmen an der Quelle (primäre Maßnahmen)
- Maßnahmen auf dem Übertragungsweg (sekundäre Maßnahmen)
- Organisatorische Maßnahmen

Maßnahmen an der Quelle (primäre Maßnahmen):

Unter den Maßnahmen an der Quelle bzw. den primären Maßnahmen werden konstruktive Lärminderungsmaßnahmen verstanden, die sich unmittelbar auf die Schallentstehung, -übertragung oder -abstrahlung einer Geräuschquelle (Maschine) auswirken. Solche Maßnahmen sind oft besonders wirksam und wirtschaftlich, da sich an der Stelle der Schallentstehung ggf. schon mit kleinen Änderungen große Pegelminderungen erreichen lassen. Dabei kann man die in der folgenden Tabelle 2 zusammengestellten Prinzipien für konstruktive Lärminderungsmaßnahmen unterscheiden:

mechanisch angeregte Geräusche	<ul style="list-style-type: none"> • Minderung oder zeitliche Dehnung der Krafteinwirkung • Versteifung der Struktur im Kraftfluss • Minderung der Körperschallübertragung • Beeinflussen der Schallabstrahlung
strömungsmechanische Geräusche	<ul style="list-style-type: none"> • Vermeidung von Turbulenzen • Minderung von Druckschwankungen

Tabelle 2 Gliederung von konstruktiven Lärminderungsmaßnahmen

Die Realisierung derartiger Maßnahmen an einer Maschine ist allerdings vielfach nur durch den Konstrukteur selbst oder in enger Zusammenarbeit mit dem Konstrukteur zu erreichen. Primäre Lärminderungsmöglichkeiten sind deshalb insbesondere bei der Neukonstruktion von Maschinen von Bedeutung: Weitere Hinweise zur Lärminderung an der Quelle finden sich in DIN EN ISO 11688, Teil 1 und 2 [31, 32].

Zu den Maßnahmen an der Quelle gehören auch Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten, da sich der Pflegezustand einer Maschine auf die Geräuschemission auswirken kann (z. B. schlechte Schmierung, ausgeschlagene Lager, undichte Kapseln und Türen). So bedürfen ggf. vorhandene Schallschutzeinrichtungen, wie Kapseln und Schalldämpfer, einer regelmäßigen Überprüfung.

Zu den Maßnahmen an der Quelle gehören schließlich auch der Austausch einer alten Maschine gegen eine neue lärmarme Maschine und der Einsatz alternativer lärmarmen Arbeitsverfahren (siehe z. B. Tabelle 1 in Abschnitt 4). Der Ersatz einer Maschine ist vor allem dann zu überlegen, wenn an der alten Maschine relativ kostenaufwändige Lärminderungsmaßnahmen erforderlich sind oder keine geeigneten Lärminderungsmöglichkeiten gesehen werden.

Maßnahmen auf dem Übertragungsweg (sekundäre Maßnahmen):

Unter den Maßnahmen auf dem Übertragungsweg bzw. den sekundären Maßnahmen sind alle Lärminderungsmaßnahmen zu verstehen, die die Schallübertragung in die Umgebung durch einen Eingriff in den Schallausbreitungsweg verringern. Dazu gehören Maßnahmen wie

- Körperschallisolierung, z. B. durch Aufstellung einer Maschine auf Schwingelementen
- Kapselung einer Maschine [13]
- Einsatz von Schalldämpfern, z. B. bei Schallausbreitung in Kanälen
- Abschirmung durch Stellwände
- Schallabsorbierende Gestaltung von Raumbegrenzungsflächen (raumakustische Maßnahmen) [14]
- Schallschutzkabine, z. B. Maschinenkontrollstand oder Meisterbüro

Derartigen Maßnahmen können im Vergleich zu den zuvor erläuterten primären Maßnahmen mit höheren Kosten verbunden sein, z. B. bei einer schallabsorbierenden Nachrüstung eines bestehenden Raumes.

Organisatorische Maßnahmen:

Unter organisatorischen Lärminderungsmaßnahmen sind raum- und/oder zeitorganisatorische Änderungen zu verstehen, die zu einer geringeren Lärmexposition der Beschäftigten führen. Entsprechende Maßnahmen sind z. B. die Verlagerung lärmintensiver Arbeiten (z. B. Richtarbeiten) oder lauter Maschinen in einen separaten Raum

oder die zeitliche Verlegung besonders lauter Maschinen (z. B. Scheuertrommel in einer Gießerei) in die Nachtschicht mit geringerer Personalbesetzung. Nach §7(1) der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung haben allerdings die zuvor erläuterten technischen Lärminderungsmaßnahmen Vorrang vor organisatorischen Maßnahmen.

Grundsätzlich empfiehlt es sich, im Rahmen der Aufstellung eines Lärminderungsprogramms zunächst alle denkbaren Lärminderungsmöglichkeiten und Alternativen aufzunehmen, um daraus später bei der Festlegung der Prioritäten die am besten geeigneten Schutzmaßnahmen auszuwählen.

7 Lärminderungsprognose

Die Lärminderungsprognose ist die Voraussage der durch Realisierung von einzelnen Lärminderungsmaßnahmen an den Arbeitsplätzen erreichbaren Reduzierung der Lärmexposition. Dabei müssen neben der ggf. an einer Maschine oder Lärmquelle zu erwartenden Minderung der Schallemission auch andere Einflussgrößen, wie der Abstand des betrachteten Arbeitsplatzes zur Schallquelle, die Schallausbreitungsverhältnisse und die Dauer der Einwirkung Berücksichtigung finden.

In vielen Fällen ist durch eine Lärminderungsmaßnahme an einer einzelnen Maschine oder Lärmquelle nur eine begrenzte Minderung des Lärmexpositionspegels erreichbar, z. B. weil sich die Lärmbelastung aus der Schalleinwirkung von verschiedenen Maschinen bzw. Lärmquellen zusammensetzt oder die Maßnahme nur innerhalb bestimmter Zeiträume wirksam ist (Maschine wird nur zeitweise betrieben oder Kapsel muss zeitweise geöffnet werden).

Um Fehlinvestitionen zu vermeiden, empfiehlt es sich deshalb, vor der Durchführung von aufwändigen Schallschutzmaßnahmen eine sorgfältige Lärminderungsprognose zu erarbeiten. Wie bereits in den Abschnitten 4 und 5 erläutert sollte man insbesondere bei der Planung von raumakustisch wirksamen Maßnahmen die zu erwartenden Lärminderungserfolge abschätzen, z. B. mit Hilfe eines entsprechenden Rechenprogrammes nach der VDI-Richtlinie 3760 [7, 24]. Die durch raumakustische Maßnahmen an den Arbeitsplätzen erreichbaren Lärminderungserfolge können in Abhängigkeit von der Ausgangssituation in dem Arbeitsraum und den Abständen zu den einzelnen Maschinen sehr unterschiedlich ausfallen (siehe z. B. [33]). Die entsprechende Simulation nach VDI 3760 ermöglicht darüber hinaus auch eine Prognose, wie sich die Lärminderungsmaßnahmen an einzelnen Lärmquellen bzw. Maschinen auf die Lärmsituation in dem Raum auswirken.

In welcher Form und mit welchem Aufwand die Lärminderungsprognose erstellt wird, ist in jedem Einzelfall zu entscheiden. Generell sollten jedoch die Aufwendungen für Erstellung der Lärminderungsprognose auf der einen Seite und für die Realisierung der Lärminderungsmaßnahmen auf der anderen Seite in einer sinnvollen Relation zueinander stehen.

8 Prioritätenliste, Zeitplan und Wirksamkeitskontrolle

Bei der Auswahl der Lärminderungsmaßnahmen und der Festlegung der Prioritäten, d. h. der Rangfolge für die Durchführung der Maßnahmen, sind verschiedene Aspekte zu berücksichtigen. Ein wichtiger Gesichtspunkt ist dabei die Höhe der Lärmexposition. So empfiehlt es sich, zunächst an den Arbeitsplätzen mit den höchsten Lärmexpositionspegeln anzusetzen, um die damit verbundene große Gefährdung der Beschäftigten zu vermeiden oder zumindest zu verringern. Wie bereits im Abschnitt 3 erläutert sind allerdings nicht immer die Bereiche mit den höchsten Lärmpegeln (ortsbezogene Lärmexposition) vorrangig zu behandeln, insbesondere dann, wenn sich die Beschäftigten nur kurzzeitig in diesen lauten Bereichen aufhalten. Deshalb muss man ggf. auch den zeitlichen Anteil an der Belastung der Beschäftigten berücksichtigen (personenbezogene Lärmexposition).

Weitere Kriterien für die Auswahl von Lärminderungsmaßnahmen und die Festlegung der Prioritäten können die erreichbaren Lärminderungserfolge und die Anzahl der davon betroffenen Mitarbeiter sein. Darüber hinaus spielen auch die Kosten einer Maßnahme eine Rolle. An erster Stelle bieten sich natürlich immer solche Maßnahmen an, die mit einem geringen finanziellen Einsatz möglichst zeitnah zu realisieren sind und die deutliche Lärminderungserfolge für eine große Anzahl von Beschäftigten mit sich bringen.

Neben diesen allgemein gültigen Kriterien werden jedoch im Einzelfall auch betriebsinterne Belange (z. B. Einplanung der erforderlichen Finanzierung) von Einfluss sein. So können z. B. die im Jahr der Erstellung des Lärminderungsprogramms für den Arbeitsschutz zu Verfügung stehenden Geldmittel begrenzt oder ausgeschöpft sein, so dass eine größere Maßnahme im laufenden Geschäftsjahr nicht mehr realisiert werden kann.

Nach den TRLV Lärm [5] (Teil 3, Abschnitt 7.7 (3)) sind regelmäßige Wirksamkeitskontrollen erforderlich, um nach Durchführung der festgelegten Lärminderungsmaßnahmen die damit erreichten Erfolge zu erfassen. Das erfordert dann auch jeweils eine Anpassung bzw. Aktualisierung des Lärminderungsprogramms mit den vorgesehenen weiteren Maßnahmen und den Prioritäten. Das Lärminderungsprogramm kann erst dann abgeschlossen werden, wenn die oberen Auslöswerte nicht mehr überschritten werden.

9 Literatur

- [1] **Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – LärmVibrationsArbSchV).** Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung vom 6. März 2007 (BGBl. I S. 261), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 5 der Verordnung vom 18. Oktober 2017 (BGBl. I S. 3584) geändert worden ist.
- [2] **DIN EN ISO 9612:2009-09,** Akustik – Bestimmung der Lärmexposition am Arbeitsplatz – Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 (Ingenieurverfahren) (ISO 9612:2009); Deutsche Fassung EN ISO 9612:2009.
- [3] **Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-400:** Beurteilung der Lärmexposition nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – Akustische Grundbegriffe, Mess-Strategien, Berechnung des Lärmexpositionspegels und der Unsicherheit, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV): Berlin. 2019.
- [4] **Maue, J. H.:** Lärmmessung im Betrieb: Anleitung zur normgerechten Ermittlung der Lärmexposition am Arbeitsplatz und der Geräuschemission von Maschinen. 2011, Berlin: Erich Schmidt.
- [5] **Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – TRLV, Teil Lärm.** GMBI Nr. 18-20 vom 23. März 2010. Neufassung: GMBI Nr. 34-35 vom 05. September 2017.
- [6] **DIN EN ISO Reihe 3740 - 3747:** Akustik – Bestimmung des Schalleistungspegels von Geräuschquellen.
- [7] **VDI 3760:1996-02,** Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen.
- [8] **DIN EN ISO Reihe 11200 - 11205:** Akustik – Geräuschabstrahlung von Maschinen und Geräten – Messung vom Emissions-Schalldruckpegeln am Arbeitsplatz und anderen festgelegten Orten.
- [9] **Unfallverhütungsvorschrift "Lärm" (BGV B3)** vom 01. Januar 1990. Erste Fassung Dezember 1974, Neufassung Januar 1990 (zurückgezogen).
- [10] **Hertwig, R.:** Geräuschgeminderte Sägeblätter für Holz, Kunststoff und Aluminium – Marktübersicht, Schalldruckpegel in Labor und Praxis, IFA-Handbuch: Berlin. 2012.
▶ https://www.ifa-handbuchdigital.de/IFA-HB_230246.
- [11] **Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 02-375:** Geräuschgeminderte Diamant-Trennscheiben für Steinsägen – Konstruktiver Aufbau der Trennscheiben und Lärminderungserfolge. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV): Berlin. 2015.
- [12] **Schelle, F.:** Geräuschgeminderte Druckluftdüsen – Labormessungen, Hinweise zur Auswahl, Bezugsquellen und Beispiele aus der betrieblichen Praxis, IFA-Handbuch: Berlin. 2016.
▶ https://www.ifa-handbuchdigital.de/IFA-HB_230241.
- [13] **Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-243:** Geräuschminderung durch Kapselung – Hinweise zur Gestaltung von Kapseln einfacher Bauart, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV): Berlin. 2014.
- [14] **Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-234:** Raumakustik in industriellen Arbeitsräumen – Anforderungen, Grundlagen, Messverfahren, Maßnahmen, Lärminderungserfolge, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV): Berlin. 2014.
- [15] **Maue, J. H.:** Energiefluss wird verfolgbar – Geräuschquellenanalyse mit der Schallintensitätsmesstechnik ermöglicht gezielte Lärminderung. Maschinenmarkt, Würzburg 95 Nr. 42 (1989), S. 58-63.
- [16] **Hundeck, C.:** Moderne Verfahren zur Schallquellenortung mit Arraysystemen. Lärmbekämpfung 3 Nr. 2 (2008), S. 55-70.
- [17] **Saemann, E.-U. und Schmidt, H.:** Methoden der Schallquellenlokalisierung mit Mikrofonarrays. in Motor- und Aggregate-Akustik II. 2005, Magdeburg.
- [18] **Batel, M., Marroquin, M., Hald, J., et al.:** Noise Source Location Techniques – Simple to Advanced Applications. Sound and Vibration (2003), S. 24-38.
- [19] **Avitabile, P.:** Experimental Modal Analysis – A Simple Non-Mathematical Presentation. Sound and Vibration (2001), S. 20-31.
- [20] **Randall, R. B.:** Frequency Analysis. 1987, Glostrup, DK: K. Larsen & Søn A/S.
- [21] **Tiziani, H. J.:** Rechnerunterstützte Laser-Meßtechnik. Technisches Messen tm 54 Nr. 6 (1987), S. 221-230.
- [22] **Maue, J. H.:** Reflexionsarme Arbeitsräume nach UVV "Lärm". Sicherheits-Ingenieur Nr. 4 (1992), S. 16-22.
- [23] **DIN EN ISO 11690-3:1999-01,** Akustik – Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten – Teil 3: Schallausbreitung und -vorausberechnung in Arbeitsräumen (ISO/TR 11690-3:1997); Deutsche Fassung EN ISO 11690-3:1998.

- [24] **Maue, J. H.:** Geräuschimmissionsprognosen im Rahmen von Lärminderungs-Betriebsberatungen. Sichere Arbeit Nr. 6 (2002), S. 24-28.
- [25] **DIN 18041:2016-03,** Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung.
- [26] **Jovicic, S.:** Grundlagen zur Vorausberechnung von Schallpegeln im Räumen, in VDI-Bericht 476: Düsseldorf. 1983.
- [27] **Maue, J. H.:** Erfahrungen mit Lärmprognosen für Arbeitsräume unter der Anwendung der VDI 3760. Sicherheits-Ingenieur Nr. 10/11 (1998), S. 16-20 und 22-24.
- [28] **DIN EN ISO 11690-1:1997-02,** Akustik – Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten – Teil 1: Allgemeine Grundlagen (ISO 11690-1:1996); Deutsche Fassung EN ISO 11690-1:1996.
- [29] **DIN EN ISO 11690-2:1997-02,** Akustik – Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten – Teil 2: Lärminderungsmaßnahmen (ISO 11690-2:1996); Deutsche Fassung EN ISO 11690-2:1996.
- [30] **Maue, J. H.:** Wie der Lärm am wirksamsten zu drosseln ist. Arbeitsschutz aktuell Nr. 2 (1996), S. 5-11.
- [31] **DIN EN ISO 11688-1:2009-11,** Akustik – Richtlinien für die Konstruktion lärmarmen Maschinen und Geräte – Teil 1: Planung (ISO/TR 11688-1:1995); Deutsche Fassung EN ISO 11688-1:2009.
- [32] **DIN EN ISO 11688-2:2001-03,** Akustik – Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen Maschinen und Geräte – Teil 2: Einführung in die Physik der Lärminderung durch konstruktive Maßnahmen (ISO/TR 11688-2:1998); Deutsche Fassung EN ISO 11688-2:2000.
- [33] **Maue, J. H.:** Design of low-noise workplaces by means of sound-absorbing materials in Noise at work. First european forum on effective solutions for managing occupational noise. 2007, Lille, France.

Anhang A

Formblätter zur Dokumentation eines Lärminderungsprogramms und Hinweise zum Ausfüllen

Mit den hier vorgestellten Formblättern soll eine Möglichkeit zur übersichtlichen Dokumentation der Messungen, zur Beschreibung und Analyse der Lärmsituation sowie zur Zusammenstellung der geplanten Lärminderungsmaßnahmen angeboten werden. Den hier zusammengestellten Formblättern liegt allerdings eine ortsbezogene Betrachtung zugrunde, weil sich damit in der Praxis die meisten Fälle bewältigen lassen. Falls Beschäftigte in unterschiedlichen Bereichen lärmexponiert sind, kann man die verschiedenen Bereiche ganz ähnlich wie hier beschrieben ortsbezogen behandeln, muss bei der Entscheidung über die Priorität von Maßnahmen schließlich aber noch eine zeitliche Gewichtung vornehmen.

Zu Formblatt 1

Messpunkt Nr.:

Aus Gründen der Übersichtlichkeit empfiehlt es sich, die Messpunkte von 1 bis n zu nummerieren. Für jeden Arbeitsraum sollte man ein eigenes Formblatt ausfüllen und dabei mit der Nummerierung jeweils wieder bei 1 beginnen. Zur genaueren Beschreibung der Messpunkte ist es hilfreich, die einzelnen Messpunkte auch in den Hallenbelegungsplan einzutragen (siehe Beispiel im Anhang B).

Arbeitsplatz:

Hier sollte der Arbeitsplatz möglichst eindeutig angegeben werden, z. B. durch Nennung der Maschine mit Inventar-Nummer. Zur genaueren Beschreibung der Messung empfiehlt sich auch die Angabe des Messabstandes zu der entsprechenden Maschine oder eines Abstandsbereiches, falls sich der Beschäftigte hier über einen gewissen Bereich bewegt.

Ergänzende Angaben:

Da die ermittelten Lärmbelastungen in der Regel von dem jeweiligen Betriebszustand der Maschine (z. B. Drehzahl, Werkstück ...) und der Fremdgeräuscheinwirkung von benachbarten Maschinen abhängen, sind hier ergänzende Angaben erforderlich. Hier sollten auch Angaben zu Maschinenlaufzeiten gemacht werden, die bei der Berechnung des Lärmexpositionspegels zu berücksichtigen sind.

Schalldruckpegel in dB:

In die erste Spalte kann der Tages-Lärmexpositionspegel $L_{EX,8h}$ eingetragen werden. Zur zusätzlichen Beschreibung der Lärmsituation lassen sich in der zweiten Spalte die Spitzenschalldruckpegel $L_{pC,peak}$ eintragen. Das ist auf jeden Fall erforderlich, falls hier Pegel im Bereich des oberen Auslösewertes von 137 dB erreicht werden. Zur Ermittlung des Lärmexpositionspegels und des Spitzenschalldruckpegels sei auf das IFA-LSA-Blatt 01-400 [3] und das Taschenbuch „Lärmmessung im Betrieb“ [4] verwiesen.

Die Schalldruckpegel lassen sich ggf. zusätzlich in Form einer Schallpegeltopographie darstellen, um damit einen Überblick über die Lärmverteilung und -ausbreitung in einem Betriebsraum zu geben.

Genauigkeitsklasse:

Da bei dem erforderlichen Vergleich mit Grenzwerten ggf. auch die Genauigkeitsklassen und die damit verbundenen Unsicherheiten zu berücksichtigen sind (siehe z. B. [3, 4]), ist in dem Formblatt 1 auch eine Spalte zur Eintragung der Genauigkeitsklasse vorgesehen.

Nach TRLV Lärm [5] werden den Genauigkeitsklassen 1 bis 3 Unsicherheiten ΔL von 0 dB, 3 dB und 6 dB zugeordnet (Konvention, siehe auch [3, 4]). Beim Vergleich mit dem oberen Auslösewert von 85 dB(A) sind die Unsicherheiten zum ermittelten Lärmexpositionspegel zu addieren. Bei Messungen nach der Genauigkeitsklasse 1, die ggf. einen etwas höheren Messaufwand erfordern, darf die Unsicherheit mit 0 dB angenommen werden, so dass beim Grenzwertvergleich in jedem Fall eine eindeutige Entscheidung möglich ist.

Lärminderungsprogramm erforderlich:

In dieser letzten Spalte des Formblattes 1 kann z. B. durch ein „X“ oder die Eintragung „ja“ bzw. „nein“ festgehalten werden, ob für den entsprechenden Arbeitsplatz ein Lärminderungsprogramm nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung erforderlich ist.

Zu Formblatt 2

Im Formblatt 2 sollen die an den betrachteten Arbeitsplätzen bzw. Maschinen lokalisierten Hauptlärmquellen und Geräuschursachen zusammengestellt werden. Dabei sollen auch dafür geeignete Lärminderungsmöglichkeiten, ggf. mit Bezug auf entsprechende Untersuchungen (z. B. Literatur) und die erwarteten Lärminderungserfolge dargestellt werden (sofern eine entsprechende Prognose möglich ist).

Zur Identifizierung der jeweils betrachteten Arbeitsplätze können die ersten beiden Spalten mit der Messpunkt-Nummer und der Arbeitsplatzbeschreibung von Blatt 1 übernommen werden. Zum Ausfüllen dieses Formblattes 2 werden nachfolgend einige zusätzliche Hinweise gegeben.

Hauptlärmquellen:

In die dritte Spalte dieses Formblattes sollen die in der Ursachenanalyse ermittelten Hauptlärmquellen an den einzelnen Maschinen eingetragen werden. Ggf. können zusätzliche Angaben, z. B. zu den Teilschalleistungsspeglern, gemacht werden.

Geräuschursachen:

Sofern eine Analyse der Geräuschursachen durchgeführt wurde, sollten in dieser Spalte alle diesbezüglichen Angaben aufgeführt werden. Dazu gehören neben der Benennung und Beschreibung der Ursachen ggf. auch die Ergebnisse der durchgeführten messtechnischen Analysen. Sind die Ursachen und entsprechende Lärmierungsmaßnahmen bereits aus anderen Untersuchungen oder aus der Literatur bekannt, dann reicht es aus, darauf zu verweisen.

Lärmierungsmaßnahmen:

Die ausgewählten Maßnahmen sollten in der fünften Spalte in wenigen Worten skizziert werden. Gegebenenfalls kann hier auch die entsprechende Literatur als Quelle angegeben werden.

Entspricht die hier betrachtete Maschine dem Stand der Lärmierungs technik oder sind keine geeigneten Lärmierungsmaßnahmen bekannt, so sollte das in dieser Spalte notiert werden.

Erreichbare(r) Tages-Lärmexpositionspegel/ Pegelminderung:

Wurde eine Lärmierungsprognose erstellt, so ist in dieser Spalte der zu erwartende Tages-Lärmexpositionspegel einzutragen. Anstelle der genauen Angabe eines Pegelwertes kann man hier auch eine zu erwartende Grenzwertunterschreitung (z.B. $L_{EX,8h} < 85 \text{ dB(A)}$) angeben.

Ergänzend oder alternativ kann in dieser Spalte die von der Maßnahme zu erwartende Minderung der Schallemission bzw. bei raumakustischen Maßnahmen die mit den entsprechenden Maßnahmen zu erreichenden raumakustischen Kennwerte (siehe Abschnitt 4) eingetragen werden.

Zu den Formblättern 3.1 und 3.2

Die Formblätter 3.1 und 3.2 dienen der Beschreibung der raumakustischen Situation. Dabei werden die räumlichen Verhältnisse im Blatt 3.1 durch die Form, Größe und Raumbegrenzungsflächen beschrieben. Im Blatt 3.2 sind die durch Messung, Rechnung oder Vergleich mit bekannten Räumen ermittelten raumakustischen Kennwerte einzutragen. Hinweise zu den relevanten raumakustischen Kennwerten finden sich im Abschnitt 5. Zur weitergehenden Information über die Verfahren zur Bestimmung dieser Kennwerte sei auf das IFA-LSA 01-234 [14] verwiesen.

Raum- und Dachform:

Sowohl für die Beurteilung der Raumakustik als auch für die Auswahl von Maßnahmen zur Verbesserung der Raumakustik ist die Kenntnis der Raumgeometrie erforderlich. In dieser Zeile sollten z. B. ein vom Rechteck abweichender Grundriss und Dachformen wie z. B. Sheddach beschrieben werden, so dass sich zusammen mit den Raumabmessungen ein klares Raumbild ergibt.

Raumabmessungen:

Neben den üblichen Raumabmessungen wie Länge, Breite und Höhe können ggf. auch weitere Abmessungen, die sich z. B. durch Querschnitts- oder Höhensprünge ergeben, eingetragen werden.

Oberflächenbeschaffenheit:

Um die gegebene raumakustische Situation und mögliche Verbesserungen der Raumakustik einschätzen zu können, ist die Kenntnis der Oberflächenbeschaffenheit von Wand- und Deckenflächen erforderlich. Es sollten in dieser Rubrik die Baustoffe, wie z. B. Beton, Mauerwerk und Glas (Fenster), genannt werden. Bei schallabsorbierend belegten Flächen sollten neben dem Material möglichst auch die Materialstärke und der Hersteller angegeben werden.

Weitere Angaben:

Dieser letzte Abschnitt des Blattes 3.1 gibt die Möglichkeit, weitere Angaben zur Raumbeschaffenheit festzuhalten und z. B. auch auf bereits geplante bauliche Veränderungen oder raumakustische Maßnahmen hinzuweisen.

Schallpegelabnahme je Abstandsverdoppelung:

Im ersten Abschnitt des Blattes 3.2 können die Messergebnisse aus der Messung der Schallausbreitungsminderung für mehrere Messpfade in Abhängigkeit von der Frequenz eingetragen werden. Alternativ zu Messergebnissen lassen sich hier auch unter b) die mit Hilfe von entsprechender Prognose-Software, z. B. nach VDI 3760, berechneten Schallpegelabnahmen DL_2 notieren. Liegen bereits Messwerte aus vergleichbaren Räumen vor, so können diese für den betrachteten Raum übernommen und unter Punkt c) eingetragen werden.

Mittlerer Schallabsorptionsgrad:

Soll zur Beurteilung der Raumakustik der mittlere Schallabsorptionsgrad herangezogen werden, so kann die entsprechende Berechnung über die Messung der Nachhallzeit erfolgen und unter Punkt a) eingetragen werden. Wird der mittlere Schallabsorptionsgrad aus den Absorptionsgraden der einzelnen Raumbegrenzungsflächen errechnet, sind die entsprechenden Ergebnisse unter Punkt b) zu notieren. Messwerte aus vergleichbaren Räumen lassen sich unter Punkt c) eingetragen werden.

Zu Formblatt 4

Im Formblatt 4 lassen sich alle bei der Entwicklung des Lärminderungsprogramms gewonnenen wesentlichen Untersuchungsergebnisse und Erhebungen zusammenstellen, wie beispielsweise die verschiedenen Lärminderungsmaßnahmen und die damit verbundenen Kosten, die Anzahl der betroffenen Personen und die zu erwartenden Lärmexpositionspegel bzw. Pegelminderungen. Diese Ergebnisse können aus den ersten Formblättern übernommen werden. Basierend darauf muss über Prioritäten der Maßnahmen und Termine für die Umsetzung entschieden werden. Dies lässt sich in die letzten beiden Spalten des Formblatts eintragen.

Anzahl der Betroffenen

Die Anzahl der von einer Lärminderungsmaßnahme betroffenen Personen (Spalte 4) ist ein wichtiges Entscheidungskriterium bei der Prioritätenfestlegung.

Priorität

Falls viele aufwändige Lärminderungsmaßnahmen erforderlich sind, kann es zweckmäßig sein, die Realisierung der Maßnahmen über einen längeren Zeitraum zu verteilen, so dass eine Prioritäteneinstufung erfolgen muss. Für die Zuordnung einer Priorität ist die 7. Spalte vorgesehen.

Fertigstellungstermin

Da unterschiedliche Lärminderungsmaßnahmen auch innerhalb einer Priorität mit unterschiedlichen Fertigstellungsterminen versehen werden können, ist diese 8. Spalte erforderlich, um hier maßnahmenbezogen die Termine anzugeben.

Lärmminderungsprogramm

Lärmbelastung an Arbeitsplätzen

(ggf. Hallenbelegungsplan und Schallpegeltopographie als Anlage)

Halle/Raum:

Datum:

Messpunkt Nr.	Arbeitsplatz (Maschine, Tätigkeit,...)	ergänzende Angaben, z.B. Betriebszustand, Fremdgeräusch- angaben, Laufzeit pro Tag	Schalldruckpegel in dB $L_{EX,8h}$	$L_{p,C,peak}$	Genauigkeits- klasse	Lärmminderungs- programm erforderlich (ja/nein)

Lärmierungsprogramm

Geräuschursachen und Lärmierungsmaßnahmen

Halle/Raum:

Datum:

Erreichbare(r) Tages-Lärm-expositionspegel oder Pegelminderung in dB(A)	
Lärmierungsmaßnahmen ggf. Quellenhinweis	
Geräuschursachen	
Hauptlärmquelle(n)	
Arbeitsplatz (Maschine, Tätigkeit,...)	
Messpunkt Nr.	

Lärminderungsprogramm

Raumakustik
– Raumbeschreibung –**Halle/Raum:****Datum:**

Raum- und Dachform	
Raumabmessungen (L x B x H) (ggf. weitere Abmessungen)	
Oberflächenbeschaffenheit a) der Wandflächen b) der Dach- bzw. Deckenuntersicht	
Weitere Angaben	

Lärminderungsprogramm

Raumakustik

– Raumakustische Kennwerte –

Halle/Raum:**Datum:**

Schallpegelabnahme je Abstandsverdoppelung DL_2 in dB	Messpfad	Oktavbandmittenfrequenz in Hz			
		500	1000	2000	4000
a) Messergebnisse	1				
	2				
	3				
b) Berechnung, z. B. nach VDI 3760					
c) Messwerte aus vergleichbaren Räumen					

Mittlerer Schallabsorptionsgrad $\bar{\alpha}$	Kenngröße	Oktavbandmittenfrequenz in Hz			
		500	1000	2000	4000
a) Berechnung aus Nachhallzeit (nur unter bestimmten Voraussetzungen anwendbar)					
Raumvolumen $V =$ m ³	$T =$				
Raumoberfläche $S =$ m ²					
Nachhallzeit T in s					
äquivalente Schallabsorptionsfläche in m ² (nach Sabine) $A = 0,163 \cdot V/T$	$A =$				
mittlerer Schallabsorptionsgrad $\bar{\alpha} = A/S$	$\bar{\alpha} =$				
b) Betrachtung des Absorptionsvermögens der einzelnen Raumbegrenzungsflächen $\bar{\alpha} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i$	$\bar{\alpha} =$				
c) Ergebnisse aus vergleichbaren Räumen	$\bar{\alpha} =$				

Anhang B

Beispiel

Das hier gezeigte Beispiel beschreibt die Durchführung eines Lärminderungsprogrammes in einer Druckerei, in der Zigarettenschachteln bedruckt und zugeschnitten werden. In einer Halle mit der Grundfläche von 48x25 m² und einer mittleren Höhe von 5,5 m werden zwei Linien R10 und R12 mit Rotationstiefdruckmaschinen parallel betrieben (siehe Abb. B1: Grundriss mit ausgewählten Messpunkten). In den hier skizzierten Blöcken 3 und 7 wird jeweils die zu bedruckende Pappe von großen Rollen abgewickelt und durchläuft dann die Druckwerke (Blöcke 2 und 6). Daran schließen sich Stanzen an (Blöcke 1 und 5), die die Pappe in das Format der Zigarettenschachtel zerteilen. An der Anlage R12 ist die Stanze bereits gekapselt und es schließt sich eine Ausgabereinheit (Block 4) an, in der die ausgestanzten Teile gestapelt werden. Beide Anlagen laufen mit nur kurzen Unterbrechungen über den ganzen Tag.

Zur Erfassung der Lärmsituation in dem Raum wurden an den in der Grundriss-Skizze markierten Messpunkten (Abb. B1) jeweils die Lärmexpositionspegel aufgenommen. Im Formblatt 1 werden die entsprechenden Messpunkte genauer beschrieben und die Messergebnisse zusammengestellt. Da an den meisten Punkten ein Pegel von mehr als 85 dB(A) ermittelt wurde und die Beschäftigten sich über die ganze Schicht in diesem Bereich aufhalten, ist die Aufstellung eines Lärminderungsprogramms erforderlich.

Durch ergänzende Messungen in unmittelbarer Nähe zu den Maschinen lassen sich die Hauptlärmquellen lokalisieren und Geräuschursachen ermitteln. Die höchsten Pegel werden offenbar von der nicht gekapselten Stanze der Anlage R10 (Block 5) und den Druckwerken beider Anlagen erzeugt. Zudem weist die Kapselung der Stanze von Anlage R12 in Richtung der Ausgabeseite eine unnötig große Öffnungsfläche auf, so dass die dort liegenden Arbeitsplätze höher belastet werden. Schließlich werden an der Abwicklung der Anlage R10 relativ hohe Pegel gemessen, die von dem Antriebsmotor der Abwicklung ausgehen. Da der typengleiche Motor an der Anlage R12 wesentlich leiser ist, liegt hier offenbar ein Schaden der Motorlager vor. Die Ergebnisse der Lärmquellen- und Ursachenanalyse sind im Formblatt 2 eingetragen.

Eine Ursache für die hohen Geräuschbelastungen ist auch die ungünstige Raumakustik in der Produktionshalle, da alle Raumbegrenzungsflächen schallhart ausgeführt sind.

Im Folgenden sollen die mit verschiedenen Maßnahmen an den Lärmquellen und durch raumakustische Maßnahmen erreichbaren Lärminderungserfolge dargestellt werden, um damit eine Grundlage für die notwendigen Entscheidungen über Lärminderungsmaßnahmen und Prioritäten zu schaffen.

Anmerkung: Für diese Prognosen wurde hier ein Rechenprogramm nach VDI 3760 [7] genutzt, mit dem sich verschiedene Varianten von Lärminderungsmaßnahmen berechnen und im Ergebnis anschaulich darstellen lassen. So kann man vorab prüfen, welche Maßnahmen am effektivsten sind oder z. B. auch, wie viel Absorptionsmaterial bei raumakustischen Maßnahmen erforderlich ist. Das ermöglicht eine gezielte Auswahl der Lärminderungsmaßnahmen. Die Anwendung des Programms und die Ermittlung der für die Berechnung der Pegelverteilung benötigten Schallleistungspegel setzt allerdings entsprechende Fachkenntnisse und Erfahrungen voraus. Falls ein entsprechendes Rechenprogramm nicht zur Verfügung steht, kann man die einzelnen Maßnahmen auch schrittweise realisieren und muss dann anhand einer Erfolgskontrolle jeweils prüfen, ob weitere Maßnahmen notwendig sind.

Mit Hilfe eines Rechenprogramms nach VDI 3760 wurde zunächst die gegebene raumakustische Situation analysiert. Bei Eingabe der Raumabmessungen und der Absorptionsgrade der Raumbegrenzungsflächen (Datenbank des Programms) errechnet sich die im Abb. B2 dargestellte Schallausbreitungskurve A (frequenznormierte Pegelabnahme mit der Entfernung zu einer punktförmigen Schallquelle). Damit errechnen sich im interessierenden Frequenzbereich (500 Hz bis 4000 Hz) mittlere Pegelabnahmen je Abstandsverdopplung DL_2 von 2,6 bis 3,2 dB (siehe Eintragungen im Formblatt 3.2). Damit wird die in den TRLV Lärm als Stand der Technik vorgegebene Pegelabnahme je Abstandsverdopplung von 4 dB bei keiner Frequenz erreicht (siehe Abschnitt 4). Zur Verbesserung der Raumakustik lässt sich in der Halle ca. 80 % der Deckenfläche schallabsorbierend belegen. Die entsprechende Berechnung der Schallausbreitung ist in Abb. B2 als Kurve B dargestellt. Hier zeigt sich eine deutlich stärkere Pegelabnahme über die Entfernung mit Werten von 4,1 bis 4,3 dB. Die Vorgaben nach TRLV Lärm würden damit übertroffen.

Auf der Grundlage der Schallausbreitungskurven nach Abb. B2 und der für die einzelnen Lärmquellen anzunehmenden Schalleistungspegel lassen sich nach VDI 3760 die entsprechenden Schalldruckpegelverteilungen für die Halle berechnen. Die Abb. B3 und B4 zeigen die berechneten Pegelverteilungen für den Raum im ursprünglichen Zustand (Abb. B3) und nach Einbringung einer schallabsorbierenden Decke auf ca. 80 % der Deckenfläche (Abb. B4). Nach dieser Prognoserechnung kann man allein durch die raumakustischen Maßnahmen an den Arbeitsplätzen im Bereich der Anlagen Pegelminderungen von 3 bis 5 dB(A) erwarten. Allerdings liegen die Pegel an der ungekapselten Stanze (Block 1) der Anlage R10 noch oberhalb von 85 dB(A).

Mit einer zusätzlichen Rechnung lassen sich die Auswirkungen von Lärminderungsmaßnahmen an einzelnen Lärmquellen auf die Lärmbelastungssituation im Raum berechnen. Dazu wird für die Anlage R10 eine Kapselung der Stanze mit einer Pegelminderung um 15 dB(A) angenommen (vorsichtige Abschätzung). Für die Reparatur des Elektromotors an der Abwicklung der Anlage kann man mit einer Pegelminderung von 8 dB(A) rechnen (Vergleich mit der Abwicklung der anderen Linie). An der Anlage R12 sollte sich durch Minimierung der Öffnungsfläche auf der Auslaufseite zu einem Spalt eine Pegelminderung von 8 dB(A) ergeben. Mit den entsprechenden Lärminderungsmaßnahmen an den Quellen ergibt sich die in Abb. B5 dargestellte Schalldruckpegelverteilung. Damit lässt sich also die Lärmbelastung an allen Arbeitsplätzen auf Schalldruckpegel von weniger als 85 dB(A) reduzieren. Nur unmittelbar an den Druckwalzen kommt man dem Pegel von 85 dB(A) noch relativ nahe. Hier ließe sich die Situation durch Aufstellung von schallabsorbierenden Abschirmungen noch etwas verbessern. Die mit den drei Maßnahmen an den Quellen und zusätzlichen raumakustischen Maßnahmen zu erwartende Lärmsituation ist in Abb. B6 dargestellt (Berechnung nach VDI 3760). Auf Grundlage der beschriebenen Prognosen lassen sich nun im Formblatt 2 die zu erwartenden Pegel bzw. Pegelminderungen eintragen.

Bei der Festlegung von Prioritäten der Lärminderungsmaßnahmen (siehe Formblatt 4) sollten die Maßnahmen an den Lärmquellen vorrangig vor den raumakustischen Maßnahmen geplant werden, weil damit bereits eine Unterschreitung der oberen Auslösewerte erreicht wird. Die raumakustischen Maßnahmen sind zu einem späteren Zeitpunkt zu empfehlen, um damit die Raumakustik dem Stand der Technik anzupassen und eine gewisse Reserve für zukünftige Änderungen an den Anlagen, z. B. höhere Produktionsgeschwindigkeiten, einzubauen.

Lärmminderungsprogramm

Lärmbelastung an Arbeitsplätzen

(ggf. Hallenbelegungsplan und Schallpegeltopographie als Anlage)

Halle/Raum:

Datum:

Messpunkt Nr.	Arbeitsplatz (Maschine, Tätigkeit,...)	ergänzende Angaben, z.B. Betriebszustand, Fremdgeräusch-angaben, Laufzeit pro Tag	Schalldruckpegel in dB		Genauigkeits-klasse	Lärmreduzierungsprogramm erforderlich (ja/nein)
			$L_{EX,8h}$	$L_{pC,peak}$		
1	Anlage R10 Verpackung	Messpunkt hinter Abschirmung	85		1	ja
2 + 7	Anlage R10 Rotationsstanze	0,5 bzw. 1 m Abstand	89		1	ja
3 + 6	Anlage R10 Druckwerke	0,5 bzw. 1 m Abstand	87 – 88		1	ja
4 + 5	Anlage R10 Abwicklung	0,5 bzw. 1 m Abstand	88 – 89		1	ja
9	Anlage R12 Verpackung	Messpunkt hinter Abschirmung	84		1	nein
10, 12 + 18	Anlage R12 Rotationsstanze	0,5 bzw. 1 m Abstand zur Kapselung	85 – 87		1	ja
13 + 16	Anlage R12 Druckwerke	1 m Abstand	85 – 88		1	ja
14 + 15	Anlage R12 Abwicklung	0,5 bzw. 1 m Abstand	86		1	ja

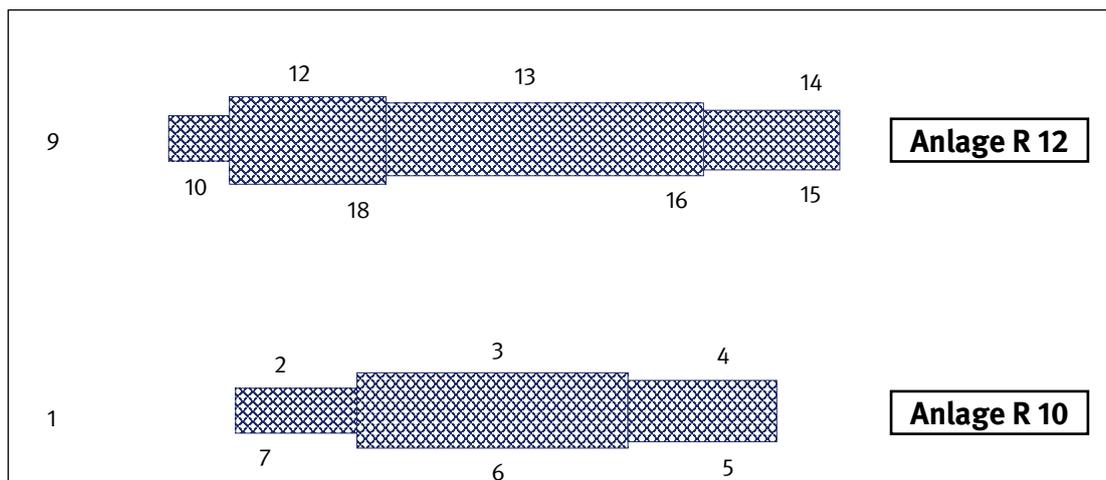


Abb. B1 Schematische Darstellung des Raumgrundrisses mit Maschinenaufstellung und Messpositionen

Tabelle B Pegelabnahme DL_2 zu Abb. B2 für den unbehandelten Raum (A) und ein zu 80 % schallabsorbierend belegten Decke (B).

Mittlere Pegelabnahme DL_2 je Abstandsverdoppelung in dB				
Frequenz in Hz	500	1000	2000	4000
A)	2,6	2,7	2,9	3,2
B)	4,1	4,1	4,2	4,3

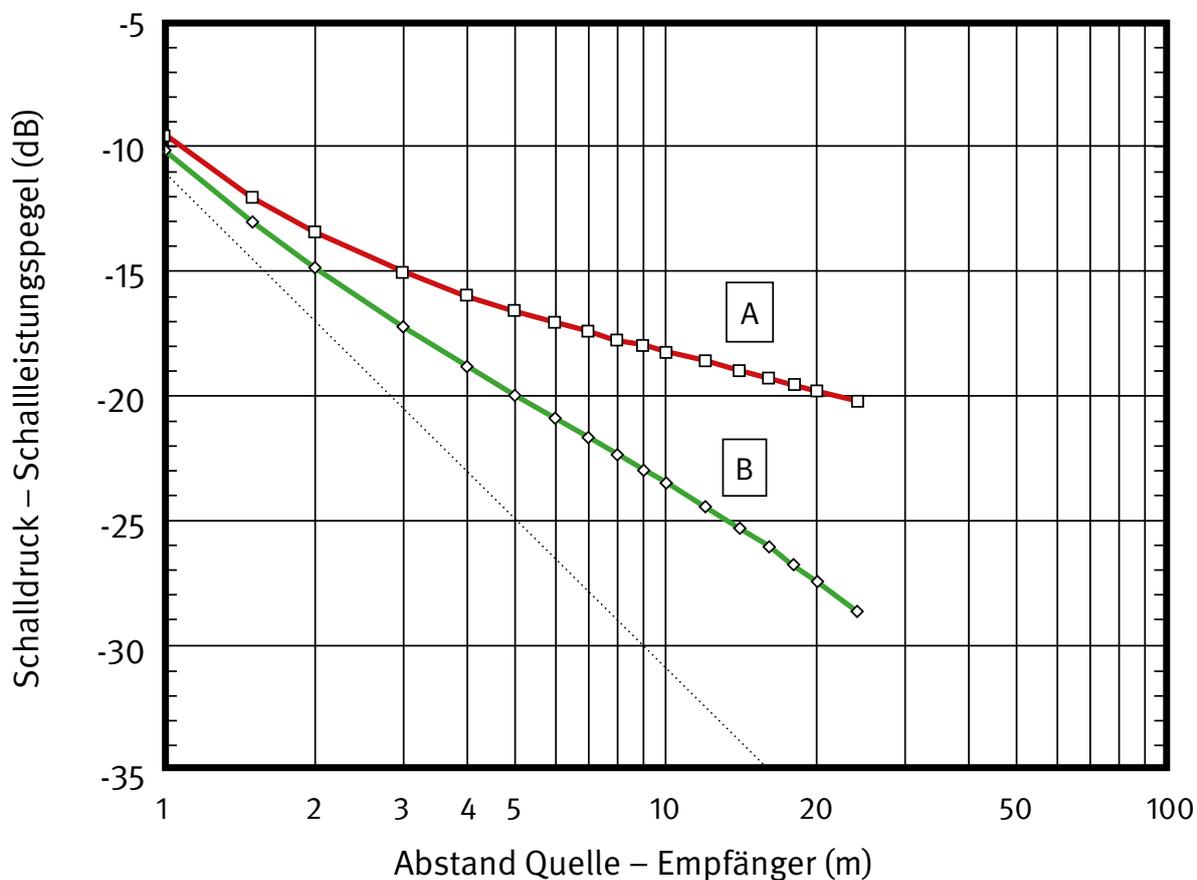


Abb. B2 Nach VDI 3760 berechnete Schallausbreitungskurven (frequenznormiert) für den unbehandelten Raum (A, rote Kurve) und bei einer zu 80 % schallabsorbierend belegten Decke (B, grüne Kurve)

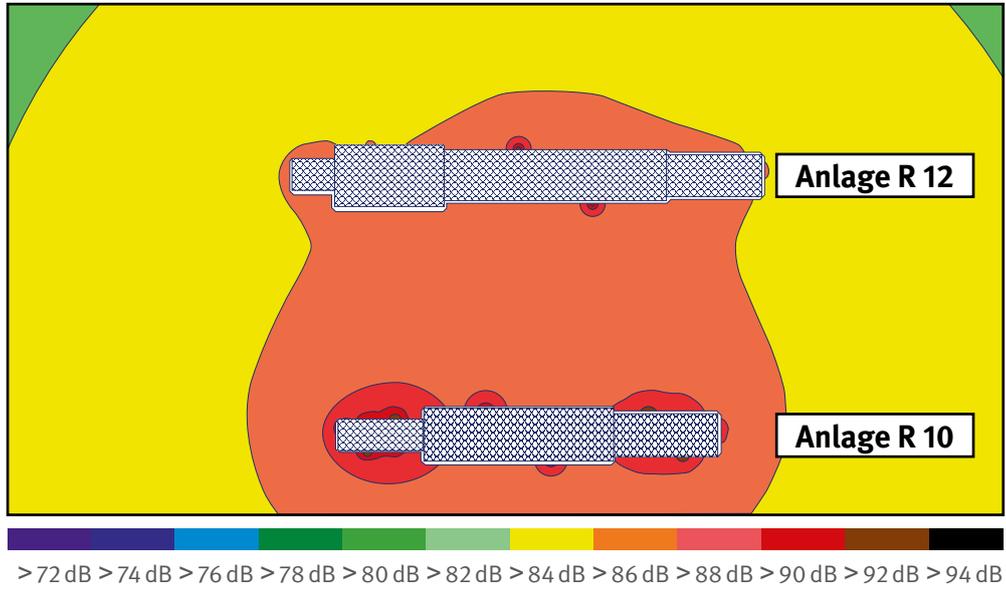


Abb. B3 Schalldruckpegelverteilung für die Halle im ursprünglichen Zustand, berechnet nach VDI 3760

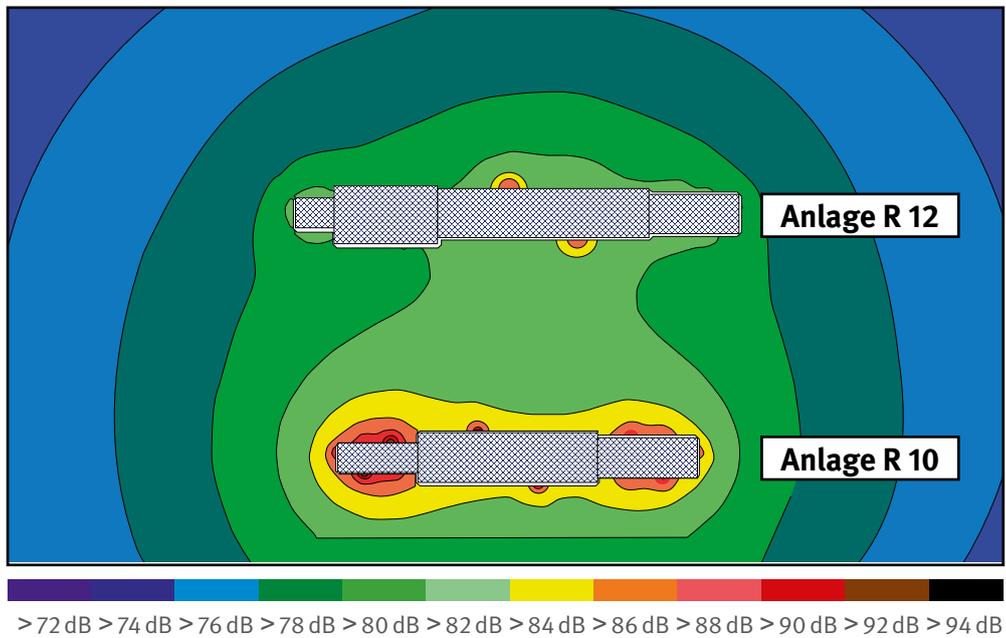


Abb. B4 Schalldruckpegelverteilung für die Halle mit einer schallabsorbierenden Decke auf 80% der Deckenfläche, berechnet nach VDI 3760

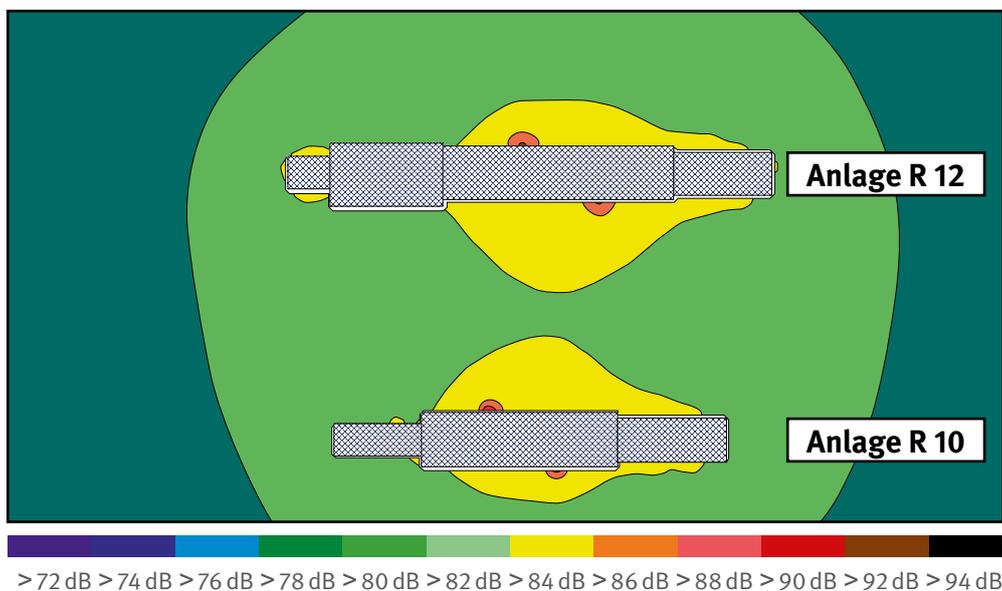


Abb. B5 Nach VDI 3760 berechnete Schalldruckpegelverteilung für die Halle bei Annahme von folgenden Lärminderungsmaßnahmen: Kapselung der Stanze an Anlage R10 (Pegelminderung: 15 dB(A)), Reparatur des Elektromotors an der Abwicklung der Anlage R10 (Pegelminderung: 8 dB(A)), Minimierung der Öffnungsfläche an der Kapselung der Anlage R12 (Pegelminderung: 8 dB(A))

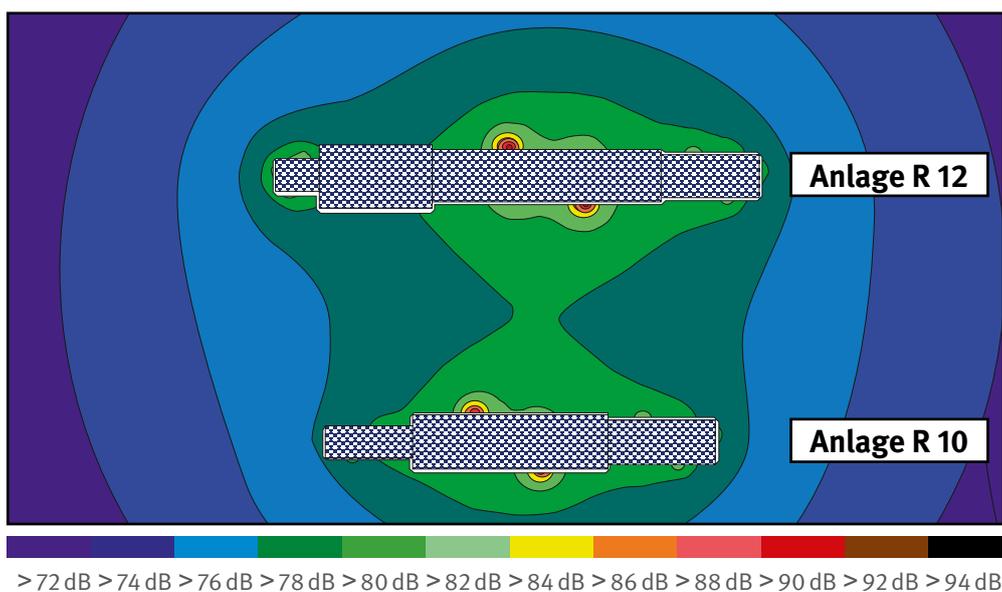


Abb. B6 Nach VDI 3760 berechnete Schalldruckpegelverteilung für die Halle bei Annahme der beschriebenen Lärminderungsmaßnahmen an drei Lärmquellen (siehe Bild B5) und zusätzlichen raumakustischen Maßnahmen (schallabsorbierende Decke auf 80 % der Fläche)

Lärmminderungsprogramm

Hauptlärmquellen, Geräuschursachen und Lärmminderungsmaßnahmen

Messpunkt Nr.	Arbeitsplatz (Maschine, Tätigkeit,...)	Hauptlärmquelle(n)	Geräuschursachen	Lärmminderungsmaßnahmen ggf. Quellenhinweis	erreichbare(r) Tages-Lärm-expositionspegel oder Pegelminderung in dB(A)
1	Anlage R10 Verpackung	Schalleinstrahlung von Rotationsstanze	siehe MP 2-7	siehe MP 2-7	< 80
2 + 7	Anlage R10 Rotationsstanze	Rotationsstanze	Wechselkräfte beim Stanzvorgang	Kapselung	< 85
3 + 6	Anlage R10 Druckwerke	Antrieb und Absaugung	Motoren und Anregung der Ventilatorgehäuse	schallabsorbierende Abschirmung (ca. 3 m hoch) entlang der Druckwerke	< 85
4 + 5	Anlage R10 Abwicklung	Antriebsmotor	Lagerschaden	Instandsetzung	< 85
10, 12 + 18	Anlage R12 Verpackung	<ul style="list-style-type: none"> Schalleinstrahlung von Anlage R10 Kapselöffnung am Auslauf 	<ul style="list-style-type: none"> siehe oben Öffnung zu groß und fehlende Schall-dämpferstrecke 	<ul style="list-style-type: none"> siehe oben Öffnung reduzieren und Schalldämpferstrecke 	< 85
13 + 16	Anlage R12 Druckwerke	Antrieb und Absaugung	Motoren und Anregung der Ventilatorgehäuse	schallabsorbierende Abschirmung (ca. 3 m hoch) entlang der Druckwerke	< 85
14 + 15	Anlage R12 Abwicklung	Fremdgeräuschseinwirkung		siehe oben	< 85
alle	alle	Reflexionsschall	schallharte Deckenfläche	schallabsorbierende Deckenbelegung ca. 80% über den Druckwerken	zusätzliche Pegelminderung um ca. 3 dB(A)

Beispiel

Lärmminderungsprogramm

Raumakustik

- Raumbeschreibung -

Halle/Raum: Druckerei/Tiefdruck

Raum- und Dachform	Sheddachhalle
Raumabmessungen (L x B x H) (ggf. weitere Abmessungen)	48 x 25 x 4 bzw. 7 m ³ Mittlere Höhe: 5,5 m
Oberflächenbeschaffenheit a) der Wandflächen b) der Dach- bzw. Deckenuntersicht	Kalksandsteinmauerwerk Glas- und Betonflächen
Weitere Angaben	

Lärmminderungsprogramm
Raumakustik
– Raumakustische Kennwerte –

Halle/Raum: Druckerei/Tiefdruck

Schallpegelabnahme je Abstandsverdoppelung DL_2 in dB	Messpfad	Oktavbandmittenfrequenz in Hz			
		500	1000	2000	4000
a) Messergebnisse	1 2 3				
b) Berechnung, z. B. nach VDI 3760		2,6	2,7	2,9	3,2
c) Messwerte aus vergleichbaren Räumen					

Mittlerer Schallabsorptionsgrad $\bar{\alpha}$	Kenngröße	Oktavbandmittenfrequenz in Hz			
		500	1000	2000	4000
a) Berechnung aus Nachhallzeit (nur unter bestimmten Voraussetzungen anwendbar)					
Raumvolumen $V =$ m ³	$T =$				
Raumoberfläche $S =$ m ²					
Nachhallzeit T in s					
äquivalente Schallabsorptionsfläche in m ² (nach Sabine) $A = 0,163 \cdot V/T$	$A =$				
mittlerer Schallabsorptionsgrad $\bar{\alpha} = A/S$	$\bar{\alpha} =$				
b) Betrachtung des Absorptionsvermögens der einzelnen Raumbegrenzungsflächen	$\bar{\alpha} =$				
$\bar{\alpha} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i$					
c) Ergebnisse aus vergleichbaren Räumen	$\bar{\alpha} =$				

Lärmminderungsprogramm

Prioritätensetzung und Terminplanung

Halle/Raum: Druckerei/Tiefdruck

Messpunkt Nr.	Arbeitsplatz (Maschine, Tätigkeit,...)	Lärminderungsmaßnahmen/Kosten	Anzahl der Betroffenen	$L_{EX,SH}/L_{pC,peak}$ in dB	erreichbarer Tages-Lärmexpositionspegel/ Pegelminderung in dB(A)	Priorität	Fertigstellungs-termin
2 + 7	Anlage R10 Rotationsstanze	Kapselung	alle	88 – 89	< 85	1	innerhalb von 1 Jahr
4 + 5	Anlage R10 Abwicklung	Motorinstandsetzung	alle	89	< 85	1	innerhalb von 1/2 Jahr
10, 12 + 18	Anlage R12 Rotationsstanze	Öffnung am Auslauf reduzieren und Schalldämpferstrecke anbauen	alle	84 – 86	< 85	2	innerhalb von 2 Jahren
3 + 6	Anlage R10 Druckwerke	Schallabsorbierende Abschirmung 3 m hoch	alle	86 – 88	< 85	3	innerhalb von 2 Jahren
alle	alle	Schallabsorbierende Deckenbelegung	alle	83 – 89	< 85	4	innerhalb von 3 Jahren

**Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)**

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
Fax: 030 13001-9876
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de