

Lärmschutz-Arbeitsblatt IFA-LSA 01-305

Geräuschminderung im Betrieb

Lärmminderungsprogramm

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 Lärmierungsmaßnahmen 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 Lärmreduzierungsleistungen 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 festzuschreiben 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.

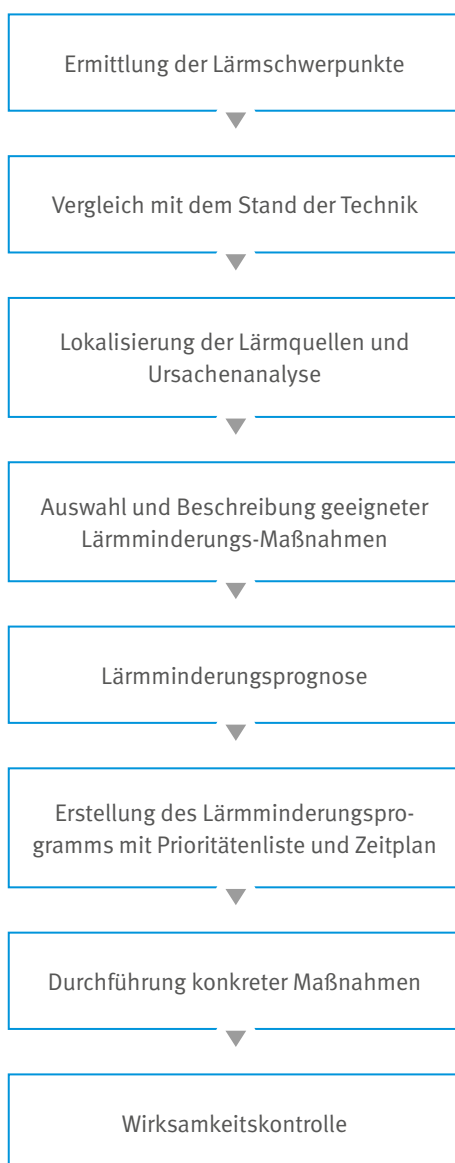


Abb. 1 Arbeitsschritte zur Aufstellung eines Lärminderungsprogramms (Quelle: IFA)

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 Lärmminde-
rungsmaßnahmen. 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 Lärmminde-
rungsmaßnahmen. Dabei sind verschiedene Aspekte, wie die Höhe
der Lärmbelastung, der durch die Maßnahme erreichbare
Lärmminde-
rungserfolg, 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

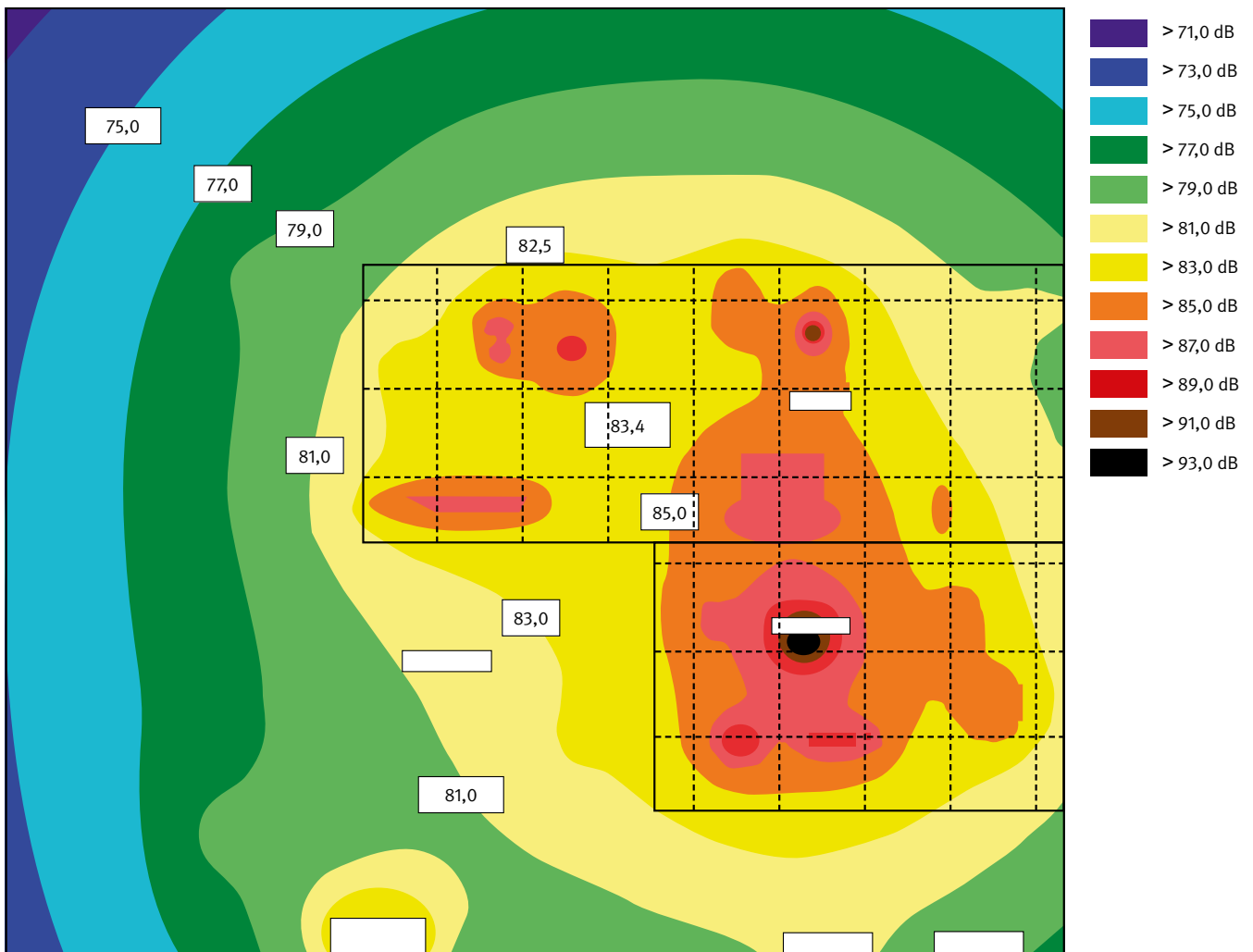


Abb. 2 Beispiel für eine Schallpegeltopographie (Lärmpegelkarte) mit abgegrenztem Lärmbereich

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 Lärmminde-
rungsprogramms neben dem ortsbezogenen Lärmexposi-
tionspegel 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 Lärmminde-
rungsprogramm 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 Lärminderungsmaßnahmen finden lassen. Zudem sind dem Maschinenhersteller oft die Hauptgeräuschquellen und Geräuschursachen bekannt und er kann hier bereits geeignete Lärminderungsmaßnahmen 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 Lärminderung 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 Lärminderung unmittelbar am Ort der Schallentstehung zu untersuchen, sind jedoch weitergehende Geräuschursachenanalysen erforderlich. Die daraus abzuleitenden Lärminderungsmaßnahmen 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