

Forschung -

Fb 1083

W. Probst

Gestaltung lärmarmen Fertigungsstätten in metallverarbeitenden Betrieben

Vom Autor mit Genehmigung der
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
zur Verfügung gestellte Kopie des vergriffenen Originalberichts

Dipl.-Phys. Dr. Wolfgang Probst
DataKustik GmbH
Dornierstr. 4
82205 Gilching
wolfgang.probst@datakustik.com
www.datakustik.com

Dortmund/Berlin/Dresden 2006

Verfasser: Dr. Wolfgang Probst

Verlag/Druck: Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Bürgermeister-Schmidt-Str. 74 - 76, D-27568 Bremerhaven
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: 0471 94544-0
Telefax: 0471 94544-77

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1 - 25, D-44149 Dortmund
Postfach 17 02 02, D-44061 Dortmund
Telefon: 0231 9071-0
Telefax: 0231 90 71-2454

Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe und des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten.

Aus Gründen des Umweltschutzes wurde diese Schrift auf chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.

Inhaltsverzeichnis

Kurzreferat.....	5
Abstract	6
Exposé sommaire.....	7
1 Einleitung	8
2 Grundsätzliches zur Planung von lärmarmen Betriebsstätten.....	11
2.1 Geräuschkennwerte von Maschinen	11
2.2 Von der Emission zur Immission – die Schallausbreitung.....	13
2.3 Der Schallpegel am Arbeitsplatz einer Maschine bei Betrieb im Raum...18	
2.4 Die Geräuschimmission an Arbeitsplätzen.....	20
3 Lärminderung in einem modernen Betrieb der Metall- und Kunststoffverarbeitung.....	22
3.1 Betriebsbeschreibung	22
3.2 Schallquellen und Lärmbelastung an den Arbeitsplätzen.....	25
3.3 Lärminderungsmaßnahmen	26
4 Untersuchungen in Handwerksbetrieben der Metallverarbeitung.....	29
4.1 Handwerksraum 22: Vorrichtungsbau (Anspruchsvolle Fräsarbeiten) ...30	
4.2 Schalleistungspegel der Tätigkeiten/Maschinen in den Handwerksbetrieben	33
5 Untersuchungen zu Schmiedebetrieben	36
5.1 Allgemeine Hinweise.....	36
5.2 Hinweise zur Schmiedetechnik und zum Fertigungsablauf	36
5.3 Die Maschinen in Schmiedebetrieben.....	37
5.4 Die Geräuschemission von Fall- und Gegenschlaghämmern	39
5.5 Berechnung der von Schmiedehämmern verursachten Geräuschimmission	43
5.6 Lärminderungsmaßnahmen in Schmiedehallen	45
6 Lärmarme Werkzeuge und Vorgehensweisen	46
6.1 Ausblasgeräusche – lärmarme Düsen	46
6.2 Lärmarme Schleifscheiben.....	56
6.3 Rückschlagfreie Hämmer.....	58
7 Minderung der Schallausbreitung durch Kapselung, Teilkapselung.....	60
8 Minderung der Schallausbreitung durch Absorption und Abschirmung.....	64
9 Die Lärmimmission an charakteristischen Arbeitsplätzen	70
10 Richtlinienentwurf.....	73

11	Literatur	75
	Handwerksraum 1 : Kfz-Werkstatt	77
	Handwerksraum 2 : Stanzteile-Herstellung (Verarbeitung von leichten Blechen) ..	80
	Handwerksraum 3 : Mechanische Werkstatt, Maschinenherstellung	83
	Handwerksraum 4 : Mechanische Werkstatt	85
	Handwerksraum 5 : Mechanische Werkstatt	87
	Handwerksraum 6: Kfz-Werkstatt	90
	Arbeitsraum 7: Kfz-Werkstatt - Raum für ASU-Untersuchung	94
	Kompressorraum 9	96
	Handwerksraum 10: Lackiererei	97
	Handwerksraum 11: Lackiererei - Lackierkabine	100
	Handwerksraum 12: Landmaschinen – Reparatur- und Wartung	102
	Handwerksraum 13: Aluprofil-Verarbeitung, Fensterrahmen-Herstellung	106
	Handwerksraum 14: Kunststoffprofil-Verarbeitung, Fensterrahmen-Herstellung ..	109
	Handwerksraum 15: Stahlbau, Strahlanlage	113
	Handwerksraum 16: Stahlbau	115
	Handwerksraumraum 18: Stahlbauhalle	119
	Handwerksraum 19: Garagentorfertigung	122
	Handwerksraum 20: Garagentorfertigung	125
	Handwerksraum 21: Schlosserei, Schmiede	128
	Handwerksraum 23: Schmiede, Schlosserei	132
	Problemstellung	136
	Die Abweichung des bewerteten Schalldruckpegels bei kurzen Signalen	136
	Transiente Schallsignale bei Raumeinfluss	139

Gestaltung lärmarmen Fertigungsstätten in metallverarbeitenden Betrieben

Kurzreferat

Die Arbeitsplätze in metallverarbeitenden Betrieben sind in besonderem Maße lärm-belastet. Umformung und Bearbeitung von Metall ist ein Vorgang, der große Kräfte erfordert, somit erhebliche Körperschallenergien in die verwendeten Werkzeuge und Maschinen einleitet und letzten Endes zu hoher Luftschallabstrahlung führt.

Mit diesem Projekt sind beispielhaft die Arbeitsstätten in einer Reihe von metallverarbeitenden Betrieben daraufhin untersucht worden, welche Maschinen und Tätigkeiten zur Geräuschbelastung beitragen, welche Emissionswerte diese Quellen aufweisen, wie die Schallübertragung zu beurteilen ist und welche Maßnahmen zur Lärm-minderung führen können.

Mit diesem Teilbericht A werden Betriebe der Metall- und Kunststoffverarbeitung sowie Handwerksbetriebe der Metallbearbeitung untersucht. Die Schalleistungspegel der in diesen Betrieben verwendeten Maschinen und Geräte wurden ermittelt. In diese Untersuchung wurden auch Schmiedebetriebe einbezogen, wobei der vorliegende Diskussionsstand zur VDI-Richtlinie VDI 2561 einbezogen ist. Zur Lärm-minderung in metallverarbeitenden Betrieben verwendbare Produkte wie lärmarme Düsen, lärmarme Schleifscheiben, rückschlagfreie Hämmer, Kapselungen und schallabsorbierende Verkleidungen werden behandelt.

Im Teilbericht B werden Betriebe der Branchen Apparate- und Behälterbau, Maschinenbau, Schlosserei und Schweißerei untersucht. Aus den Ergebnissen von Bege-hungen sowie auf Basis von vorhandenen Studien, früheren Untersuchungen und Literaturangaben werden charakteristische Betriebsprofile entwickelt. Diese beinhalten auch die typische Maschinenausstattung unter Berücksichtigung der Betriebszeiten, typische Halleninnenpegel, Maßnahmen zur Beeinflussung der Schallausbrei-tung in den Räumen sowie Maßnahmen zur Minderung der Abstrahlung in Nachbar-schaftsbereiche.

Für zahlreiche in metallverarbeitenden Betrieben verwendete Maschinen und Geräte werden die Diagramme zur Emissionsdarstellung aus den VDI-Richtlinien der ETS-Reihe in kompakter Form dargestellt, wobei auch die möglichen Lärm-minderungs-maßnahmen einbezogen werden.

Schlagwörter:

Lärm-minderung, Metallverarbeitung, Gießerei, Stahlbau, Schmiedebetriebe, mecha-nische Werkstätten, Landmaschinenreparatur, Maschinenbau, Schlosserei, Schwei-ßerei, lärmarme Düsen, rückschlagfreie Hämmer, Kapseln, Abschirmung, Absorption, Emissionswerte

Designing low-noise manufacturing plants in metal-processing companies

Abstract

The workplaces in metal-processing companies are particularly exposed to noise. The deformation and processing of metal requires operations involving extensive forces, applying considerable structure-borne noise energies to the tools and machines used and leading in the end to a high level of airborne sound emission.

In this project, workplaces in a number of metal-processing companies have been examined with regard to which machines and activities contribute to the noise load, what emission values these sources have, how the sound transmission is to be assessed, and what measures can lead to noise reduction.

This partial report A examines companies involved in metal and plastics processing as well as small craftsman's workshops in the field of metal processing. The sound power levels of the machines and devices used in these operations were determined. This study also included forging shops, whereby the present state of discussions regarding VDI guideline VDI 2561 is included (VDI = Association of German Engineers). Products such as low-noise nozzles, low-noise grinding disks, jolt-free hammers, enclosures, and sound-absorbing panels that can be used for noise reduction in metal-processing companies are covered.

Partial report B examines companies in the apparatus and container construction, mechanical engineering, fitting, and welding industries. Characteristic company profiles are developed from the results of site surveys as well as on the basis of available surveys, earlier examinations, and specified literature. They also include the typical machine equipment, taking account of the operation times, typical indoor sound levels, measures to influence the sound divergence in the rooms, as well as measures to reduce the emission into neighboring areas.

For numerous machines and devices used in metal-processing companies, the diagrams for representing emissions from the VDI guidelines of the ETS series are shown in compact form, whereby also the possible noise reduction measures are included.

Key words:

noise reduction, metal processing, foundry, structural steel engineering, forging shops, mechanical workshops, agricultural machine repair, mechanical engineering, fitting shop, welding shop, low-noise nozzles, jolt-free hammers, enclosure, shielding, absorption, emission values

Réduction de l'émission sonore sur le site de production des ateliers de traitement du métal

Exposé sommaire

Les postes de travail des ateliers de traitement du métal sont tout particulièrement touchés par les émissions sonores. Le processus de formage et de traitement du métal exige l'application de grandes forces qui transfèrent de puissantes énergies de bruit de corps au niveau des outils et des machines utilisés tout en occasionnant un fort rayonnement du bruit transmis par l'air.

Ce projet qui se base sur l'exemple de sites de travail observés dans une série d'ateliers travaillant le métal, dans lesquels des machines et des tâches impliquent une émission sonore a permis d'évaluer les valeurs d'émission des sources, la manière d'évaluer la transmission du bruit et quelles sont les mesures à mettre en oeuvre pour réduire les émissions sonores.

Le rapport partiel A présente l'examen réalisé auprès des ateliers de traitement du métal et du plastique et des ateliers de l'artisanat du traitement du métal. Le niveau de puissance sonore des machines et des appareils utilisés dans ces ateliers a été évalué. Cet examen inclut aussi des forges, tout en introduisant l'état de la discussion présentée pour la directive VDI, VDI 2561. Les produits utilisés et destinés à réduire l'émission sonore des ateliers de traitement du métal tels que les buses à faible émission sonore, les meules de forme à faible émission sonore, les marteaux sans recul, et les vêtements blindés et absorbant le son ont également été présentés.

Le rapport partiel B présente l'examen réalisé auprès des ateliers de la branche de fabrication des appareils et des récipients, des constructions de machines et des ateliers de serrurerie et de soudure. Des profils caractéristiques d'atelier ont pu être réalisés sur la base des résultats d'inspections et des études existantes, des examens antérieurs et de la littérature. Ceux-ci contiennent aussi l'équipement typique des machines en tenant compte du temps de service, du niveau typique à l'intérieur des halls, des mesures pour influencer l'extension sonore dans les salles et celles destinées à réduire le rayonnement du son dans les zones de proximité.

Pour de nombreux ateliers travaillant le métal et utilisant les machines et les appareils, les diagrammes de représentation de l'émission des directives VDI de la série ETS sont représentés sous forme compacte, tout en présentant les mesures possibles pour la réduction de l'émission sonore.

Mots clés:

Réduction de l'émission sonore, traitement du métal, fonderie, construction métallique, forges, atelier de mécanique, réparation de machines agricoles, construction de machines, atelier de serrurerie, soudure, buses à émission sonore réduite, marteaux sans recul, capsule, blindage, absorption, valeurs d'émission

1 Einleitung

Dem Arbeitsschutz im Betrieb wird durch europäische Richtlinien (z. B. 89/391/EWG **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) hohe Priorität beigemessen. Dabei wird immer mehr auf eine ganzheitliche Problembehandlung abgestellt, weil durch punktuelle Maßnahmen und Problemlösungen keine befriedigenden Erfolge erzielt werden können.

Der betriebliche Lärmschutz beruht vor allem auf der Richtlinie 86/188/EWG **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und 89/392/EWG **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und deren nationaler Umsetzung. Sie definiert eine Minimierungspflicht von gesundheitlichen Gefahren durch Einsatz geräuscharmer Maschinen, Anlagen und Arbeitsverfahren, durch die akustisch optimale Gestaltung von Arbeitsräumen sowie durch die Anwendung technischer Lärmschutzvorrichtungen auf dem Schallausbreitungsweg (Schirme, Kabinen).

Wesentlich für die betriebliche Lärminderung ist auch die EG-Maschinenrichtlinie (89/392/EWG, Anh.I, 1.5.8 und 1.7.4) umgesetzt durch die 9. GSGV (1993) **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, nach der die Hersteller über die Geräuschemission ihrer Produkte informieren müssen.

Eine auf Arbeitsplätze in der Metall-Industrie bezogene Handlungsanleitung zum Thema Lärm enthält **BG-Studie**. Darauf aufbauend werden mit dieser Untersuchung viele zusätzliche Aspekte wie z.B. die Nutzung der Geräuschangabe und die planerische Vorausberechnung der Beurteilungspegel in die Gesamtstrategie einbezogen.

Wie veröffentlichte Statistiken der gewerblichen Berufsgenossenschaften nachweisen, sind die Beschäftigten in metallverarbeitenden Betrieben besonders lärmbelastet.

So zeigt Branchenverteilung der anerkannten BK-Fälle der Maschinenbau- und Metallberufsgenossenschaft, dass vorwiegend Stahlbaumontage, Schlosserei, Schweißer und Umformung wie Stanzen und Schmieden zu den Problembereichen gehören.

Tab. 1.1: Übersicht zu den besonders durch Lärm gefährdeten Berufen anhand ent-

Beruf	BK-Fälle 1990 - 1997
Schweißer, Brennschneider	1914
Stahlbauschlosser	1578
Maschinenschlosser	1397
Betriebsschlosser	1268
Schlosser	1180
Bauschlosser	1113
Stahlschmiede	895
Dreher	759
Blechpresser etc.	685
Hilfsarbeiter	619
Metallbearbeiter o.n.A.	517
Halbzeugputzer	516
Blech- Kunstschlosser	512
Metallschleifer	505

schädigter BK-Fälle

Die hohe Lärmbelastung in den metallverarbeitenden Betrieben ist vorwiegend durch den Bearbeitungsvorgang selbst verursacht. Metall erfordert bei der Umformung und Bearbeitung große Kräfte, und mit großen Kräften sind leider auch oft hohe Wechselkräfte und Körperschalleinleitungen verbunden.

In den Schmieden werden extrem große Kräfte in sehr kurzen Zeitspannen erzeugt – der abgestrahlte Schall ist durch entsprechend hohe Impulspegel gekennzeichnet. Im Behälterbau ist das Werkstück selbst ein effektiver Luftschallstrahler. Jedes Schrauben, Nieten, Richten und Schleifen von größeren Blechbehältern führt zur Körperschallanregung dieser wenig bedämpften Werkstücke und damit zur extrem effektiven Schallabstrahlung.

Aber auch hochintegrierte Werkzeugmaschinen mit computergesteuerten Prozessabläufen weisen Geräuschemissionen auf, die zur Beeinträchtigung der erforderlichen Konzentration an diesen anspruchsvollen Arbeitsplätzen führt.

Bei der ganzheitlichen Betrachtung des Lärmproblems in den metallverarbeitenden Betrieben sollte ausgehend von der Emission der Quellen und unter Berücksichtigung der Schallausbreitung eine möglichst niedrige Schallimmission an Arbeitsplätzen erreicht werden.

Die Emission kann von betrieblicher Seite im Wesentlichen nur durch die Auswahl möglichst leiser Maschinen, Geräte und Verfahren erreicht werden. Es kommt also darauf an, die Emissionswerte am Markt befindlicher Maschinen systematisch den die Geräuschemission wesentlich beeinflussenden Parametern zuzuordnen und so dem Anwender eine Übersicht zu geben, welche Werte aufgrund der gegebenen Marktsituation erreichbar sind.

Selbstverständlich besteht die beste Lösung darin, den Lärm nicht entstehen zu lassen und durch konstruktive Maßnahmen für eine möglichst niedrige Geräuschemission zu sorgen. Aber es hat sich auch gezeigt, dass derartige Maßnahmen nur durch den Konstrukteur des Herstellers sinnvoll umgesetzt werden können. Jedes konstruktive Verändern einer bereits ausgelieferten Maschine wirft erhebliche Risiken aufgrund der erlöschenden Gewährleistung auf und kann eigentlich nicht empfohlen werden. Umso wichtiger ist es, die Motivation der Hersteller zur konstruktiven Problemlösung zu stärken, indem die Geräuschemission als wichtiges Entscheidungskriterium in die Produktbewertung einbezogen wird.

Allgemeine Datensammlungen im Sinne der ETS-Richtlinien (Reihe Emission Technischer Schallquellen) sind zwar eine große Hilfe bei der Orientierung, sollten aber vorwiegend als Bezugsskalierung zur Einschätzung individuell angegebener und zugesicherter Emissionswerte verwendet werden. Zur Vorausbestimmung der zu erwartenden Arbeitsplatzschallpegel im Planungsfall sollten stets die für die konkret zu beschaffende Maschine angegebenen Emissionswerte verwendet werden.

Allerdings gibt es auch eine Reihe von Lärminderungsmaßnahmen, die zur Verringerung der Geräuschemission führen und auch im Betrieb noch nachträglich durch-

geführt werden können. Hierzu gehören lärmarme Düsen, Kapseln und Teilabschirmungen.

Schließlich ist die räumliche Gestaltung und die Raumausstattung mit schallabsorbierenden Flächen geeignet, um zur Lärminderung in Arbeitsbereichen beizutragen.

Eine quantitative Abschätzung des Effekts aller genannten Maßnahmenbereiche auf die Schallpegel an den Arbeitsplätzen erfolgt durch eine Berechnung dieser Pegel unter Anwendung der Methode nach VDI-Richtlinie 3760 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Im Planungsfall kann so eine Alternativbetrachtung ohne/mit Maßnahmen und eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt werden.

2 Grundsätzliches zur Planung von lärmarmen Betriebsstätten

2.1 Geräuschkennwerte von Maschinen

In schalltechnischer Hinsicht unterscheiden sich die Maschinen im Bereich der Metallverarbeitung nicht von denen in anderen Branchen. Sie werden durch die beiden Kennwerte **Schalleistungspegel** L_{WA} und **Emissions-Schalldruckpegel** L_{pA} hinreichend genau beschrieben, um sie hinsichtlich ihres Lärmverhaltens beurteilen und um ihren Einfluss auf die Beurteilungspegel an beliebigen Arbeitsplätzen ermitteln zu können.

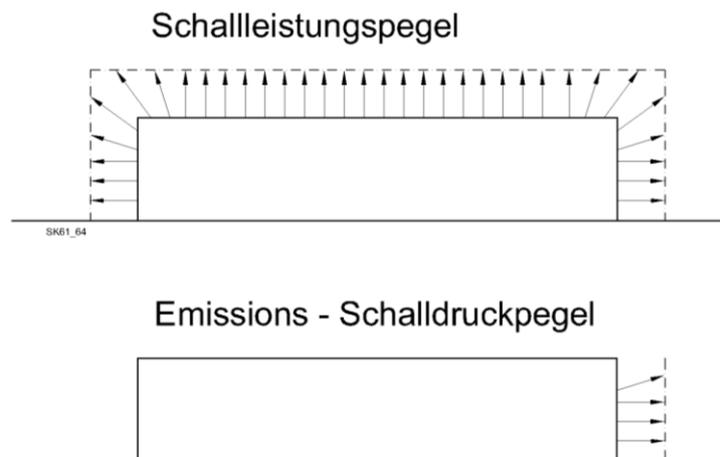


Abb. 2.1: Zur Erläuterung der beiden Emissionskennwerte

Der Schalleistungspegel als Einzahlwert in dB(A) gibt an, wie viel Schall von der Maschine insgesamt - d. h. nach allen Seiten - abgestrahlt wird.

Der Emissions-Schalldruckpegel ist der von der Maschine am zugehörigen Arbeitsplatz vom Direktschall verursachte Schalldruckpegel. Dieser Wert könnte also theoretisch bei Betrieb der Maschine im Freien – ohne jeglichen Raumeinfluss – durch Schallpegelmessung am Arbeitsplatz direkt bestimmt werden.

Aufgrund der Maschinenlärm-Informationsverordnung, umgesetzt in der 3. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und 9. Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz, muss jeder Hersteller einer Maschine diese Kennwerte der von ihm am Markt angebotenen Maschinen angeben, wenn der Emissions-Schalldruckpegel 70 dB(A) übersteigt. Ist er größer als 85 dB(A), so muss auch der Schalleistungspegel angegeben werden.

Für Planungszwecke sind Emissionsdatensammlungen und VDI-Richtlinien der Reihe ETS (Emission technischer Schallquellen) hilfreich, um Emissionswerte der vor-

gesehenen Maschinen in die schalltechnische Beurteilung eines Vorhabens einbeziehen zu können.

Bei der Maschinenbeschaffung ist anzuraten, beide Kennwerte in eine Bewertung einzubeziehen. Hierzu wird mit der folgenden Beziehung der Pegel am Arbeitsplatz der Maschine berechnet, der sich ergibt, wenn diese in einem Raum betrieben wird, der eine äquivalente Absorptionsfläche von 100 m² aufweist. Er ergibt sich aus

$$L_{AP} = L_{pA} + 10 \cdot \lg\left(1 + 0.04 \cdot 10^{0.1(L_{WA} - L_{pA})}\right) \text{ dB} \quad (2.1)$$

Der zweite Term ist ein von dem Bezugsraum verursachter Zuschlag dL zum Emissions-Schalldruckpegel L_{pA} – er kann aus dem Diagramm Abb. 2.2 entnommen werden.

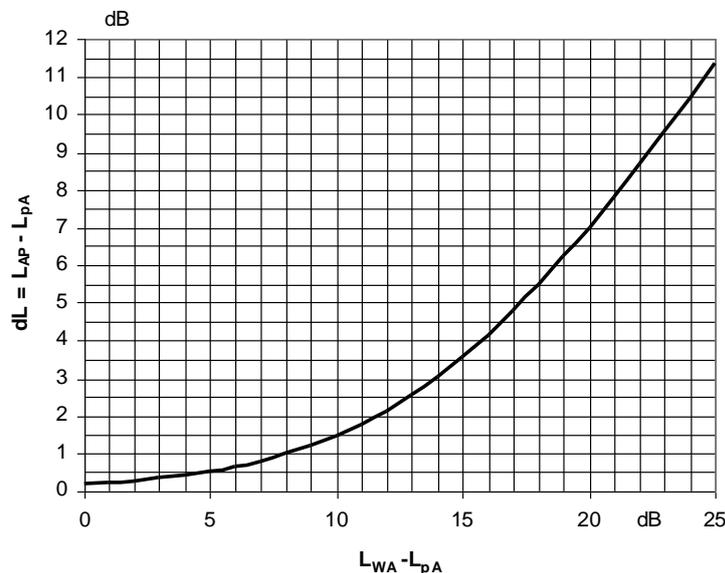


Abb. 2.2: Zuschlag dL zum Emissions-Schalldruckpegel zur Bestimmung des Schallpegels am Arbeitsplatz für den Bezugsraum mit der äquivalenten Absorptionsfläche 100 m²

Beispiel:

Es werden Angebote für ein CNC-Bearbeitungszentrum mit integriertem Arbeitsplatz eingeholt. Aufgrund der erforderlichen Konzentration an diesem Arbeitsplatz soll ein Beurteilungspegel von 70 dB(A) möglichst nicht überschritten werden.

Es liegen zwei Angebote vor:

Maschine 1 L_{pA} 65 dB(A) - L_{WA} 85 dB(A)

Maschine 2 L_{pA} 68 dB(A) - L_{WA} 78 dB(A).

Somit schneidet Maschine 1 beim Emissions-Schalldruckpegel, Maschine 2 aber beim Schallleistungspegel günstiger ab. Die Frage ist nun, welche Maschine in schalltechnischer Hinsicht günstiger zu bewerten ist.

Lösung:

Mit dem beschriebenen Verfahren wird der Schallpegel ermittelt, der bei normentsprechendem Betrieb dieser Maschine an ihrem Arbeitsplatz zu erwarten ist, wenn sie in einem Raum mit einer äquivalenten Absorptionsfläche von 100 m² aufgestellt ist.

Alternative 1:

$$L_{WA} - L_{pA} = 20 \text{ dB} \rightarrow dL = 7 \text{ dB} \rightarrow L_{AP} = L_{pA} + dL = (65 + 7) \text{ dB} = 72 \text{ dB}$$

Alternative 2:

$$L_{WA} - L_{pA} = 10 \text{ dB} \rightarrow dL = 1.5 \text{ dB} \rightarrow L_{AP} = L_{pA} + dL = (68 + 1.5) \text{ dB} = 69.5 \text{ dB}$$

Alternative 2 ist somit in schalltechnischer Hinsicht günstiger zu bewerten. Maschine 1 erzeugt wesentlich mehr Schallleistung (siehe L_{WA}), und diese erhöht dann bei Betrieb im Raum den Schallpegel am Arbeitsplatz so stark, dass der ursprüngliche auf das Freifeld bezogene Wert (siehe L_{pA}) keine Rolle mehr spielt.

Bei Alternative 1 wäre der höchstzulässige Beurteilungspegel im Bezugsraum schon dann überschritten, wenn sich keine andere Schallquelle in dem Raum befände.

2.2 Von der Emission zur Immission – die Schallausbreitung

Der von einer Quelle in einem Raum abgestrahlte Schall wird mehrfach reflektiert und führt zu Schalldruckpegeln, die umso niedriger sind, je größer der Abstand Quelle – Immissionsort und je größer der Absorptionsgrad der Raumbegrenzungsflächen ist. Auch die den Schall streuenden Einrichtungen im Raum beeinflussen die Schallausbreitung und damit die verursachten Schalldruckpegel.

Die Schallausbreitung in Räumen wird durch die Schallausbreitungskurve SAK beschrieben. Sie gibt die Differenz von Schalldruckpegel L_p im Abstand r und Schallleistungspegel der verursachenden Quelle L_W als Funktion dieses Abstands r an.

Die Schallausbreitungskurve SAK wird durch Messung des Pegels L_p in unterschiedlichen Abständen r von einer mit Schallleistungspegel L_W konstant abstrahlenden Quelle ermittelt.

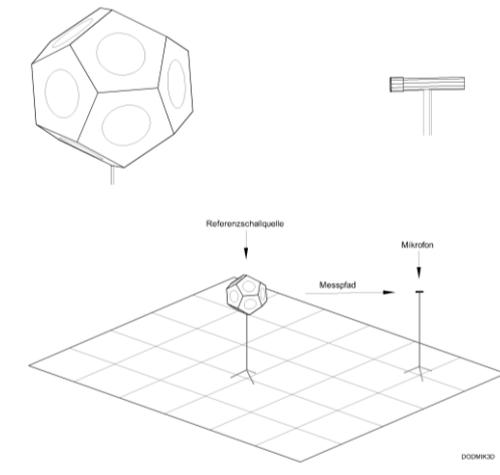


Abb. 2.3: Messung der Schallausbreitung

Im Planungsfall wird diese Kurve unter Berücksichtigung von Geometrie und Ausstattung des Raumes nach dem in VDI-Richtlinie 3760 beschriebenen Verfahren berechnet. Diese Berechnung muss computergestützt erfolgen.

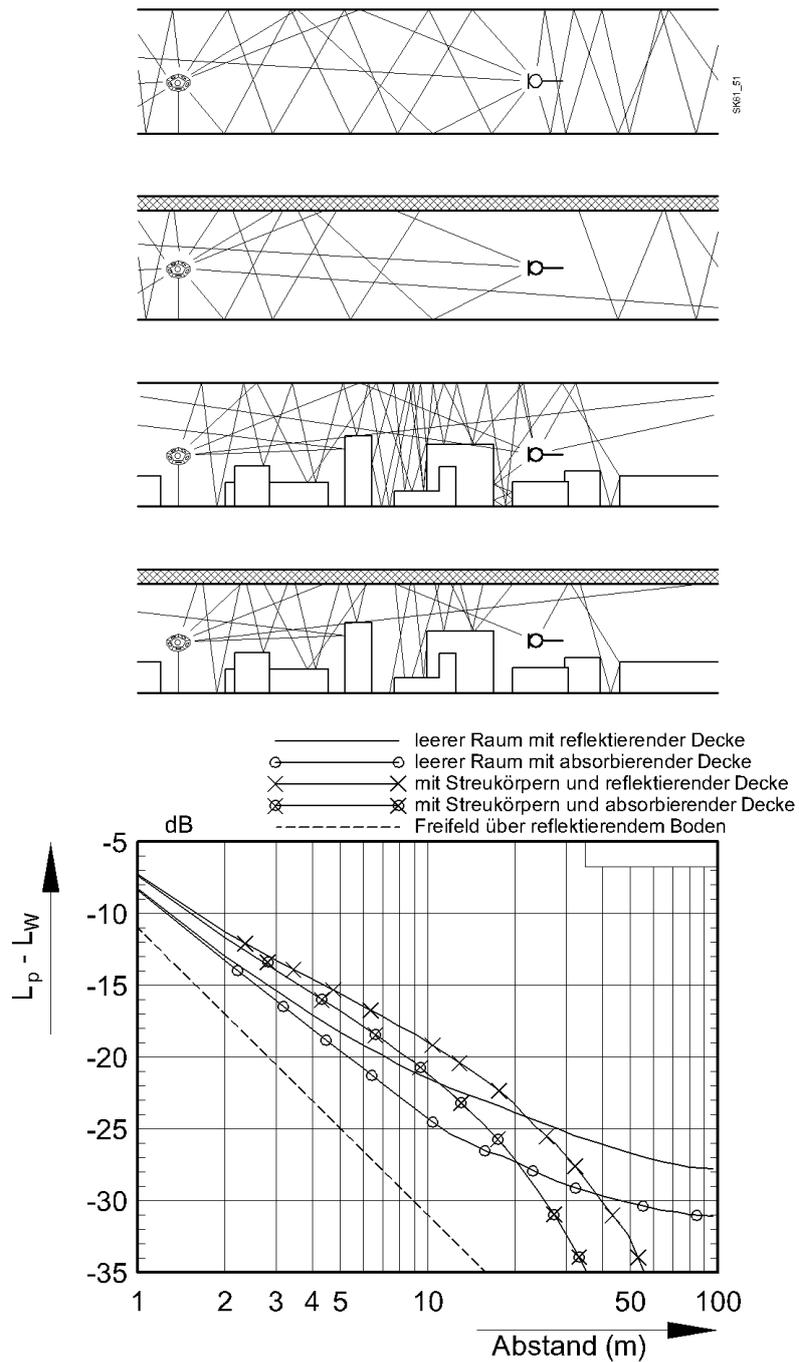


Abb. 2.4: Kurven SAK im Freifeld und in vier unterschiedlichen Flachräumen (gestrichelte Freifeldkurve)

Im Hinblick auf die Aufgabenstellung der Lärminderung ist ein Raum schalltechnisch umso günstiger, je steiler die Schallausbreitungskurve mit wachsendem Abstand Quelle – Empfänger verläuft und je kleiner der Abstand dieser im Raum ermittelten Kurve von der im Freien gemessenen ist.

Diese beiden Kriterien werden mit den Kenngrößen

DL2 – das ist die Pegelabnahme bei Verdopplung des Abstands Quelle - Immissionort
und

DLf – das ist die Pegelüberhöhung der Schallausbreitungskurve gegenüber der Freifeldkurve

bewertet.

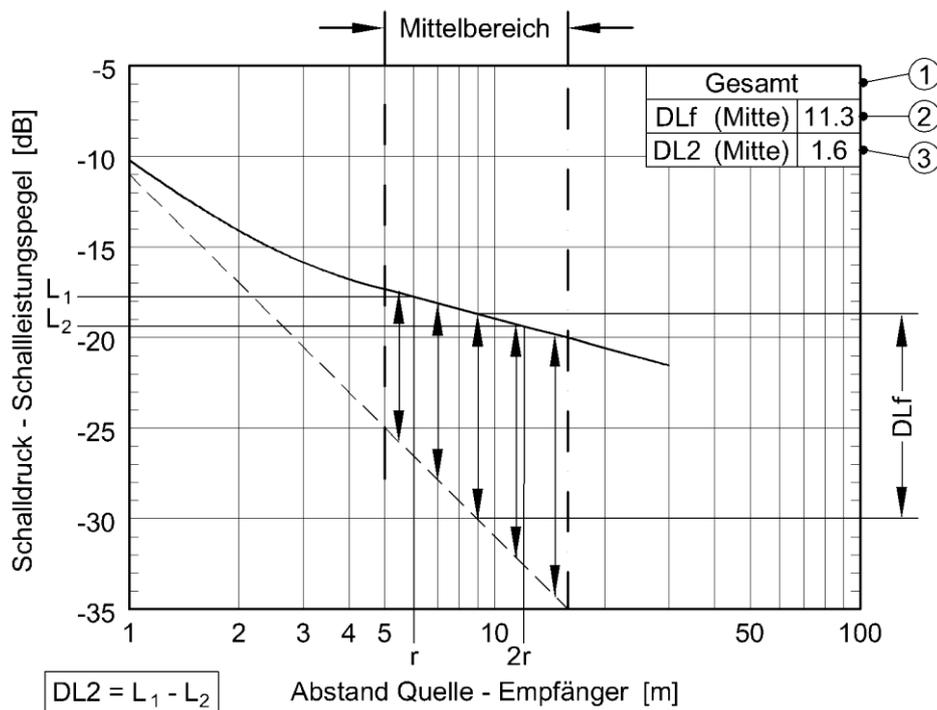


Abb. 2.5: Zur Erläuterung der Kennwerte DL2 und DLf einer Schallausbreitungskurve

Die genannten beiden Kennwerte werden auf den mittleren Abstandsbereich von 5 m bis 16 m bezogen.

Der Raum ist im Hinblick auf Lärminderung umso günstiger, je größer DL2 und je kleiner DLf ist.

Typische Wertebereiche sind

$1 \text{ dB} < \text{DL2} < 6 \text{ dB}$, wobei $\text{DL2} > 3,5 \text{ dB}$ als gut, $\text{DL2} > 4 \text{ dB}$ als sehr gut einzustufen ist

und

$8 \text{ dB} < \text{DLf} < 13 \text{ dB}$, wobei $\text{DLf} < 10 \text{ dB}$ als gut, $\text{DLf} < 8 \text{ dB}$ als sehr gut einzustufen ist.

Unter bestimmten Bedingungen bildet sich bei Abstrahlung einer Quelle im Raum ein diffuses Schallfeld aus, das durch einen nahezu ortsunabhängigen Schalldruckpegel

gekennzeichnet ist. Diese Räume sind durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet:

- das Verhältnis zwischen größter und kleinster Abmessung ist nicht größer als 3;
- die vorhandene Schallabsorption ist über alle Begrenzungsflächen verteilt,
- es sind keine gesamten Begrenzungsflächen hochabsorbierend verkleidet.

In diesem speziellen Fall eines diffusen Schallfeldes geht die Schallausbreitungskurve SAK von dem mit 6 dB pro Entfernungsverdopplung abfallenden Direktschallfeld in das im gesamten übrigen Raum konstante Raumschallfeld über.

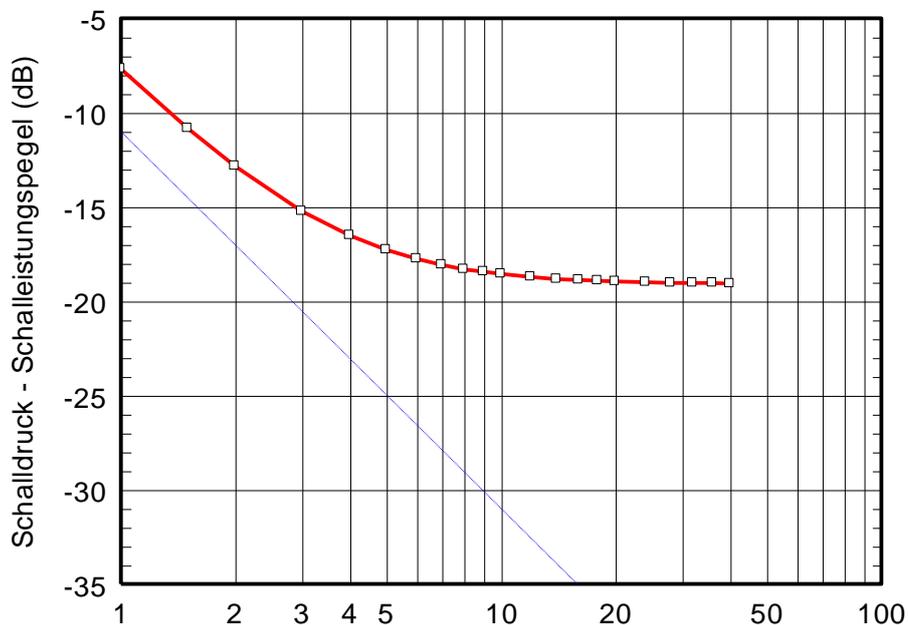


Abb. 2.6: Schallausbreitungskurve in einem Raum 30 m x 30 m x 15 m ohne Absorption

Der von einer Quelle mit Schalleistungspegel L_w bei Betrieb in einem Raum im Abstand r verursachte Schalldruckpegel ergibt sich im allgemeinsten Fall aus

$$L = L_{WA} + SAK(r) \quad (2.2)$$

wobei im Planungsfalle $SAK(r)$ mit einer Berechnung nach VDI 3760 zu ermitteln ist.

2.3 Der Schallpegel am Arbeitsplatz einer Maschine bei Betrieb im Raum

Wird eine Maschine mit den Kennwerten L_{WA} und L_{pA} in einem Raum betrieben, so erhöht sich der Schallpegel am Arbeitsplatz gegenüber dem Freifeldwert L_{pA} (also dem Emissions-Schalldruckpegel) um einen Wert dL_{AP} , der von der Differenz der beiden Kennwerte und der den Raum kennzeichnenden äquivalenten Absorptionsfläche abhängt. Der Pegel am Arbeitsplatz ergibt sich dann als Summe aus diesem Emissions-Schalldruckpegel und dem Zuschlag

$$L'_{pA} = L_{pA} + dL_{AP} \quad (2.3)$$

Die mittlere äquivalente Absorptionsfläche A eines Raumes ergibt sich als Produkt aus der gesamten Raumbofläche S_{Raum} und dem mittleren Absorptionsgrad $\bar{\alpha}$

$$A = S_{Raum} \times \bar{\alpha} \quad (2.4)$$

Für übliche Produktionsräume in der Metallverarbeitung ohne besondere absorbierende Ausstattung kann von

$$\bar{\alpha} = 0,15 \quad (2.5)$$

ausgegangen werden.

Der Zuschlag dL_{AP} ergibt sich nach

$$dL_{AP} = 10 \cdot \lg \left(1 + \frac{4m^2}{A} \cdot 10^{0,1(L_{WA} - L_{pA})} \right) \quad (2.6)$$

Das Diagramm Abb. 2.7 zeigt diesen Zuschlag in Abhängigkeit von den bestimmten Größen.

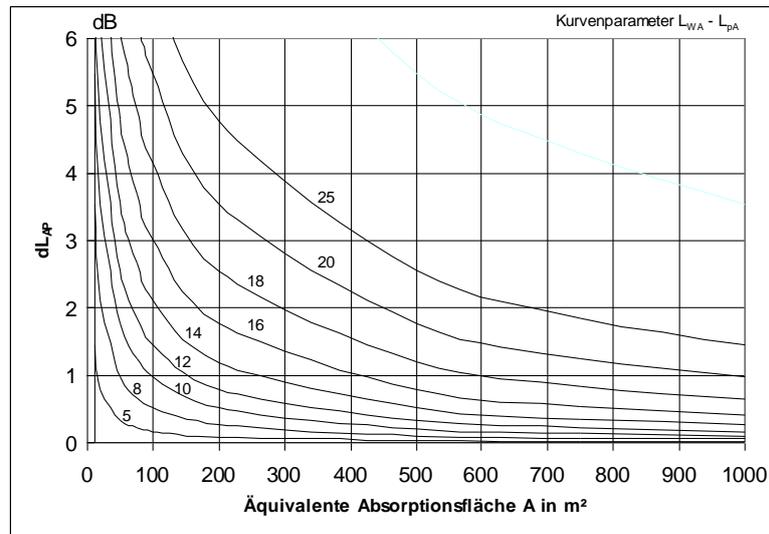


Abb. 2.7: Pegeldifferenz dL_{AP} zur Bestimmung des Schallpegels am Arbeitsplatz

Beispiel:

Eine Maschine mit den vom Hersteller angegebenen Kennwerten

$L_{WA} = 98 \text{ dB(A)}$, $L_{pA} = 84 \text{ dB(A)}$

soll in einem Raum betrieben werden, der keine besondere absorbierende Ausstattung aufweist und durch die Abmessungen $14\text{m} \times 14\text{m} \times 7\text{m}$ gekennzeichnet ist. Gefragt ist der zu erwartende Schallpegel am Arbeitsplatz.

Lösung:

Die Raumbooberfläche beträgt

$$S_{\text{Raum}} = 2 \cdot (14 \cdot 14) \text{ m}^2 + 4 \cdot 14 \cdot 7 \text{ m}^2 = 784 \text{ m}^2$$

und die äquivalente Absorptionsfläche somit

$$A = 784 \cdot 0.15 \text{ m}^2 = 118 \text{ m}^2.$$

Mit der Differenz

$$L_{WA} - L_{pA} = 14 \text{ dB}$$

ergibt sich aus dem Diagramm Abb. 2.5 ein Zuschlag von 2 dB – der Schallpegel am Arbeitsplatz wird somit 86 dB(A) betragen.

Bei der geplanten Neubeschaffung einer Maschine ist zu empfehlen, in jedem Falle den im vorgesehenen Aufstellungsraum zu erwartenden Schallpegel L'_{pA} am Maschinenarbeitsplatz unter Anwendung der dargestellten Systematik zu bestimmen.

2.4 Die Geräuschimmission an Arbeitsplätzen

Für die Zwecke der Neuplanung oder der Lärminderungsplanung kann aus den Emissionskennwerten der Maschinen L_{WA} und L_{pA} sowie der gemessenen oder nach VDI 3760 berechneten Schallausbreitungskurve SAK der an den Arbeitsplätzen zu erwartende Schalldruckpegel bzw. – unter Einbeziehung des Zeitanteils der einzelnen Maschinen an der gesamten Betriebszeit - der Beurteilungspegel bestimmt werden.

Die Vorausbestimmung der Arbeitsplatzschallpegel aus den Emissionskennwerten der Maschinen und den Raumeigenschaften ist somit das grundlegende Verfahren jeder Planung, bei der die Lärm Aspekte berücksichtigt werden sollen.

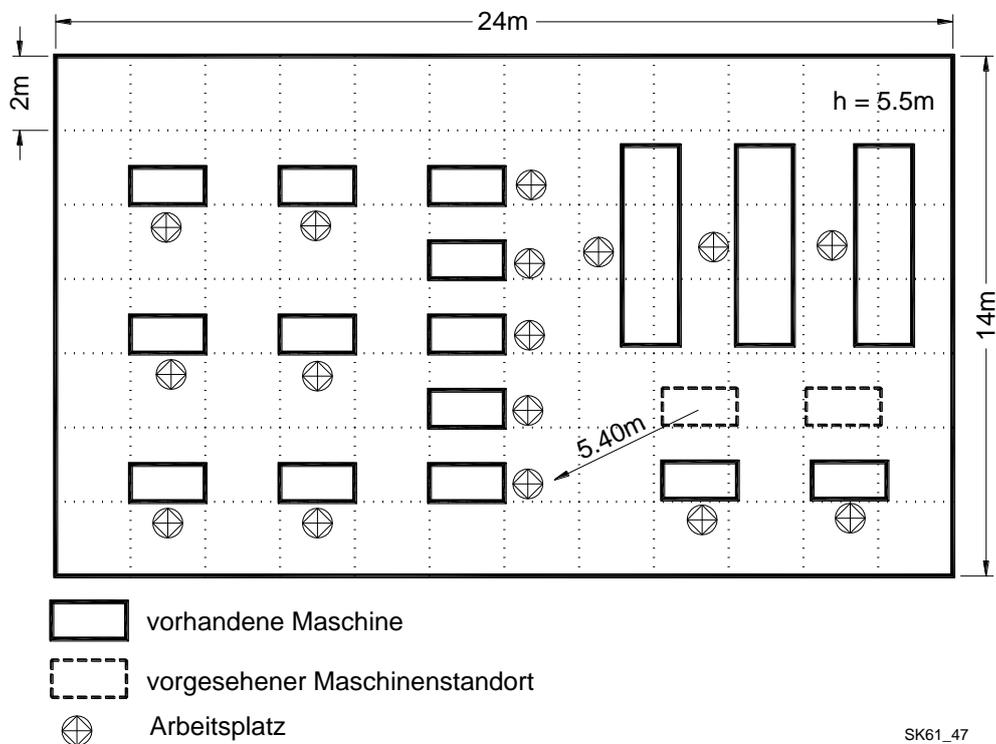


Abb. 2.8: Prinzipdarstellung Maschinenlayout

Die Ermittlung des Schallpegels an einem bestimmten Arbeitsplatz erfordert folgende Schritte:

- Bestimmung des von der eigenen Maschine verursachten Schallpegels L_{AP} nach der in 2.3 beschriebenen Methodik,
- Bestimmung des Schallpegels, der von den anderen Maschinen an diesem Arbeitsplatz verursacht wird, nach dem in 2.2 beschriebenen Verfahren,
- Bildung der Pegelsumme aller dieser Anteile.

Als Beispiel soll der Pegel bestimmt werden, der von einer Maschine in 5,4 m Abstand am betrachteten Arbeitsplatz verursacht wird (Abb. 2.8). Der Schalleistungspegel der Maschine betrage wiederum 98 dB(A). Für diesen Raum sei die Schallausbreitungskurve Abb. 2.6 berechnet worden.

Lösung:

Aus Abb. 2.6 ergibt sich für den Abstand 5,4 m ein Wert
SAK = - 18 dB

Damit beträgt der Pegelanteil dieser Maschine am betrachteten Arbeitsplatz nach (2).

$$L = (98 - 18) \text{ dB} = 80 \text{ dB}$$

Auf diese Weise lassen sich alle Planungsüberlegungen quantitativ abstützen. Die Schallausbreitungskurve SAK nach VDI 3760 kann mit verfügbaren Rechenprogrammen für beliebige Räume unter Berücksichtigung der Ausstattung berechnet werden. Auch die Darstellung des Maschinenlayout mit Maschinenpositionen und Emissionskennwerten ist mit diesen Programmen möglich – die beschriebenen Berechnungen erfolgen dann vollständig im Programmsystem und es werden direkt die Schallpegel an den Arbeitsplätzen ermittelt.

3 Lärminderung in einem modernen Betrieb der Metall- und Kunststoffverarbeitung

3.1 Betriebsbeschreibung

Der im Folgenden beschriebene Betrieb wird als typisches Beispiel eines modernen mittelständischen Betriebs im Bereich Metallverarbeitung aufgenommen und untersucht.

Der Betrieb ist flexibel angelegt und bietet individuelle Lösungen von der Produktentwicklung bis zur Herstellung fertiger Baugruppen an. Diese Flexibilität erfordert extrem unterschiedliche Auslastung der einzelnen Maschinen. Jede Maschine arbeitet somit völlig unabhängig und hat ihren eigenen zugeordneten Arbeitsplatz.

Abb. 3.1 zeigt das Layout der beiden Hallen mit der Anordnung der Maschinen.

In der linken Halle befinden sich die Werkzeug- und Bearbeitungsmaschinen für Metall und Kunststoff. Hier werden Präzisionsformen und Werkzeuge hergestellt. Die Metallbearbeitung erfolgt mit Bohr-, Fräs-, Dreh- und Schleifmaschinen sowie mit einigen für diese Branche typischen Sondermaschinen.

In der rechts dargestellten Halle befinden sich Spritzgussmaschinen, mit denen Klein- und Großserien hergestellt werden.

Die meisten der im Bereich der Metallbearbeitung installierten Maschinen sind mit CNC-Steuerungen ausgerüstet und müssen entsprechend programmiert werden.

Diese Arbeit ist anspruchsvoll und erfordert hohe Konzentration. Der Grund für die hier in Teilen dargestellten Untersuchung war die Beschwerde von Mitarbeitern über den im Hinblick auf diese erforderliche Konzentration als zu hoch empfundenen Lärm.

Dieses Problem wurde auch bei anderen Untersuchungen im Bereich Metallbearbeitung festgestellt – durch die immer komplexer werdenden Bearbeitungszentren mit integrierter Computertechnik werden die Arbeitsplätze im selben Maße anspruchsvoller. Im Grunde handelt es sich um Bildschirmarbeitsplätze in der Produktion (siehe auch **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). und die Anforderungen an eine lärmere Arbeitsplatzgestaltung sind aufgrund der erforderlichen Qualifikation der Mitarbeiter und der bei der Arbeit aufzubringenden Konzentration wesentlich höher als bei sonstigen Produktionsarbeitsplätzen.

Die Bilder Abb. 3.2 bis Abb. 3.5 zeigen typische Ansichten des Gesamtbetriebs sowie einzelner Arbeitsplätze.

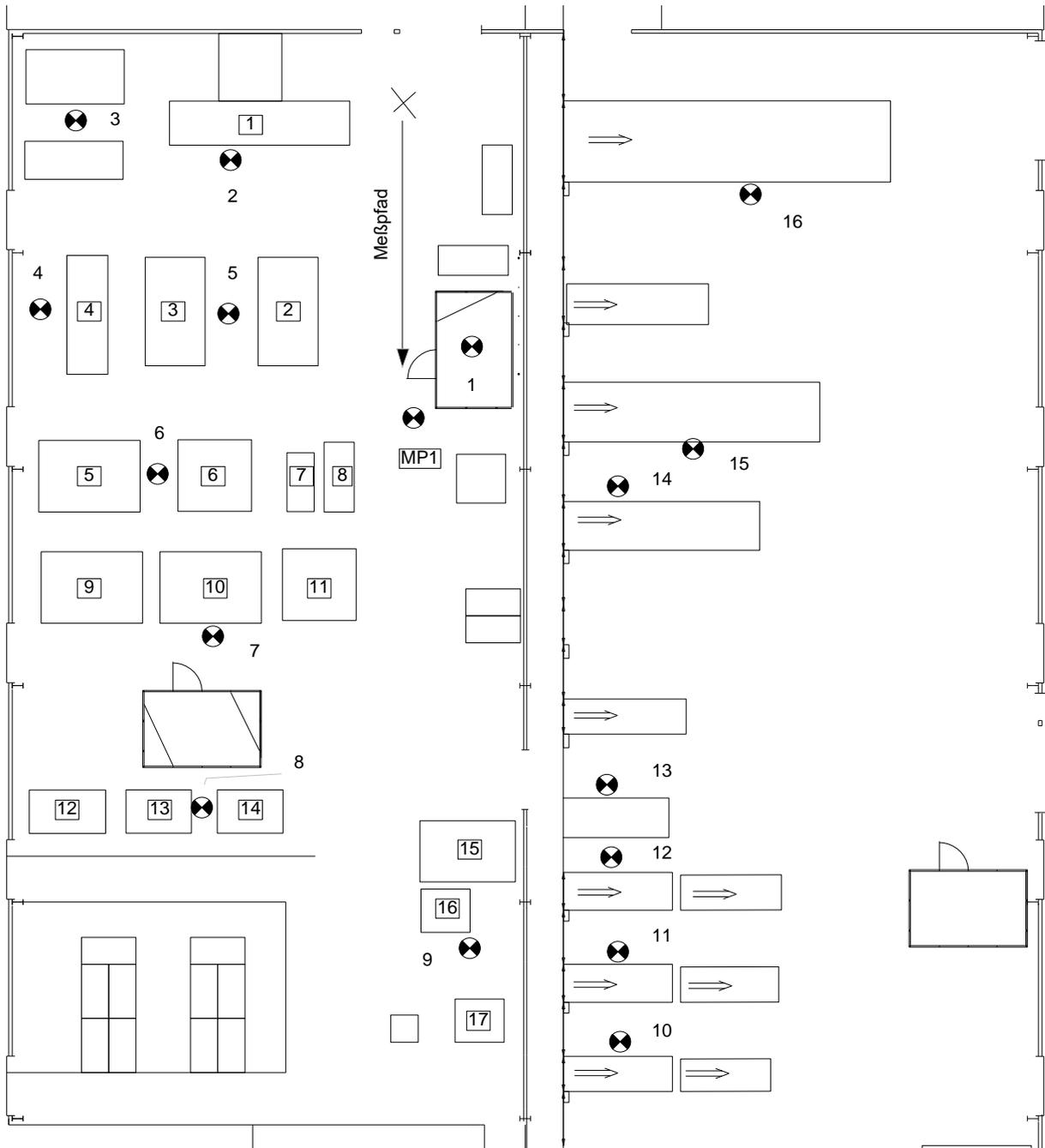


Abb. 3.1: Layout des Betriebs der Metall- und Kunststoffverarbeitung



Abb. 3.2: Ansicht des Bereichs Metallbearbeitung



Abb. 3.4: CNC-Drehmaschine



Abb. 3.3: Programmierung der CNC-Fräsmaschine



Abb. 3.5: Kunststoffspritzmaschine

Bei der schalltechnischen Beurteilung ist zu berücksichtigen, dass nicht alle Maschinen ständig im Betrieb sind. Je nach Fertigungsauftrag ergeben sich extrem unterschiedliche Laufzeitanteile. Im Mittel kann jedoch bei guter Auslastung für die wichtigsten Maschinen und Bearbeitungszentren von einem Laufzeitanteil von ca. 80 % ausgegangen werden. Dies entspricht einer Differenz von 1 dB zwischen den auf Betrieb der Maschine und auf die gesamte Schicht bezogenen Mittelungspegel. Unter Berücksichtigung der im Planungsfall ohnehin nicht vermeidbaren Unsicherheiten bei den Emissionsangaben können deshalb die Geräuschemissionswerte der Maschinen direkt und ohne Zeitkorrektur zur Berechnung oder Abschätzung der Schallpegel an den Arbeitsplätzen zugrunde gelegt werden.

3.2 Schallquellen und Lärmbelastung an den Arbeitsplätzen

In Tab. 3.1 sind die wichtigsten, im Layout Abb. 3.1 mit Nummern gekennzeichneten Maschinen aufgeführt.

Tab. 3.1: Die im Bereich Metallbearbeitung eingesetzten Maschinen

Nr.	Bezeichnung	P kW	Bj.
1	Universal-CNC-Fräsmaschine KNC-U800	18.5	
2	CNC Drehmaschine Mori-Seiki SL-5 H	37	1987
3	CNC Drehmaschine Gildemeister CTX-400 S2	44	1998
4	Drehmaschine Bohringer VDF V 6 K	15	1971
5	Fräsmaschine MIKRON WF 51 C	13.5	1984
6	Fräsmaschine MAHO MH 600 P	6.6	
7	Drehmaschine Mazak Mate 14x40 (G)	4	
8	Bohrmaschine IXION	3	1982
9	Fräsmaschine MIKRON WF 52 C / 72 C / TNC 407	15.4	1991
10	Fräsmaschine MIKRON VCP		
11	Fräsmaschine MIKRON WF 31	9	
12	Schleifmaschine CHEVALIER		
13	Flachschleifmaschine OKAMOTO ACC - 63 DX	4.5	1998
14	Flachschleifmaschine OKAMOTO PSG 63 UDX	4.5	
15	Senkerodiermaschine OPTIMATOR FE 501 D 12	6	1973
16	Senkerodiermaschine ZIMMER und KREIM ZK 600 / 1	15	1998
17	Drahtschneidemaschine ROBOFIL 290 / EMC	10	1998

Es wurden die Maschinenblätter und die Betriebsanleitungen sämtlicher Maschinen geprüft – in keinem einzigen Fall war eine Geräuschangabe entsprechend der Maschinenlärminformationsverordnung zu finden. Es kann natürlich nicht ausgeschlossen werden, dass derartige Angaben im Einzelfall an anderer Stelle zu finden wären – dem Betrieb war jedenfalls nicht bekannt, dass diese Informationen bei neueren Maschinen in jedem Falle vom Hersteller mitgeteilt werden müssen.

Nun wurden bei Normalbetrieb der Maschinen die Schallpegel an den Arbeitsplätzen – in der Regel in 1 m Abstand von der jeweils zugeordneten Maschine – ermittelt. Aus den o. g. Gründen können diese Schallpegelwerte direkt den Beurteilungspegeln an diesen Arbeitsplätzen gleichgesetzt werden.

In der internen Dokumentation ist zu jedem Messwert aufgezeichnet, welche Maschinen bei seiner Ermittlung in Betrieb waren. Dies ist natürlich zu berücksichtigen, wenn Lärminderungsmaßnahmen geplant werden sollen.

Tab. 3.2: A-Schalldruckpegel sowie A-bewertete Oktavband-Pegel an den Arbeitsplätzen

Nr	Bezeichnung	Frequenz (Hz)							Gesamt
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	In Kabine	33.8	40.8	40.8	39.9	45.5	43.9	38.5	50.1
2	Bettfräsmaschine M1	50.4	59.4	62.7	63.1	65.2	63.3	61.8	70.8
3	Vorbereitung	51.1	60.3	62.7	63.4	61.7	56.3	48.3	68.5
4	Drehmaschine M4	53.3	61.0	62.8	62.1	62.3	57.6	50.1	68.6
5	Drehmaschine M2, 3	50.9	58.7	64.2	67.5	66.5	60.0	52.1	71.7
6	Fräsmaschine M5, 6	49.4	58.7	63.6	64.6	66.2	58.8	54.3	70.5
7	Fräsmaschinen M9, 10,11	50.4	59.2	69.7	67.2	62.8	58.5	52.8	72.4
8	Schleifmaschinen M12,13,14	46.3	57.5	61.8	62.4	61.9	57.2	48.9	67.7
9	Senkerodiermaschinen M15,16	48.2	58.1	61.6	63.4	62.6	57.7	50.5	68.3
10	Spritzgießmasch.	56.4	65.2	67.4	69.6	68.8	64.6	57.6	74.7
11	Spritzgießmasch.	57.6	67.4	70.0	70.0	68.7	65.6	59.7	75.8
12	Spritzgießmasch.	63.0	69.8	73.7	74.1	72.9	69.6	64.8	79.6
13	Spritzgießmasch.	59.7	67.9	70.5	70.4	68.9	66.3	60.5	76.2
14	Spritzgießmasch.	55.1	76.1	69.4	70.3	69.5	65.9	59.1	78.6
15	Spritzgießmasch.	53.7	65.5	69.8	73.5	73.4	69.1	61.9	78.3
16	Spritzgießmasch.	53.7	61.6	66.7	66.8	65.7	63.1	56.7	72.3

Wie Tab. 3.2 zeigt, überschreitet keiner der Arbeitsplatzpegel den Wert von 80 dB(A). Dennoch werden die Geräusche von den Mitarbeitern als belästigend und die Konzentration störend empfunden.

3.3 Lärminderungsmaßnahmen

Wie die dargestellte Untersuchung gezeigt hat, liegt kein gravierendes Lärmproblem im Sinne der berufsgenossenschaftlichen Beurteilungsgrundsätze vor. Moderne Maschinen und Bearbeitungszentren der hier installierten Art sind in der Regel zumindest mit integrierten Teilkapselungen ausgerüstet und ihre Emissions-Schalldruckpegel am Arbeitsplatz überschreiten nur selten 80 dB(A). In Betrieben dieser Art kann mit Beurteilungspegeln von 75 dB(A) bis 80 dB(A) an den Arbeitsplätzen gerechnet werden.

In derartigen Fällen – Belästigung durch Lärm trotz relativ moderaten Schallpegeln – kann die gewünschte Verbesserung in der Empfindung der Mitarbeiter oft durch raumakustische Maßnahmen erzielt werden.

Zur Beurteilung der möglichen Wirksamkeit schallabsorbierender Verkleidungen, die das Raumschallfeld beeinflussen können, wurde die Schallausbreitung entsprechend VDI-Richtlinie 3760 durch Messung bestimmt.

Diese Messung führte auf die obere im Diagramm Bild 13 dargestellte Kurve. Sie ist durch die beiden Kennwerte

$DL_f = 10 \text{ dB}$

$DL_2 = 2.5 \text{ dB}$

gekennzeichnet.

Es wurde nun beurteilt, welche Pegelminderung durch den Einbau einer schallabsorbierenden Decke und mit absorbierenden Wandverkleidungen erwartet werden kann.

Diese Beurteilung erfolgt mit folgenden Schritten:

Näherungsweise Bestimmung der Schallleistungspegel aller Maschinen

Rechnerische Bestimmung der Schallpegel an jedem Arbeitsplatz unter Zugrundelegung der gemessenen Schallausbreitungskurve (obere Kurve Bild 13)

Berechnung der Schallausbreitungskurve unter Einbeziehung der geplanten absorbierenden Verkleidungen

Erneute Berechnung der Arbeitsplatzpegel mit dieser „verbesserten“ Kurve

Obwohl diese Beurteilung eine nur geringe zu erwartende Pegelminderung ergab, wurden die vorgeschlagenen Maßnahmen durchgeführt. Dies entsprach im vorliegenden Fall auch der Empfehlung des Gutachters, weil der empfundene Nutzen in der Regel erheblich größer als der messtechnisch anhand der Minderung des A-bewerteten Schallpegels feststellbare Nutzen ist und weil primäre Maßnahmen an den Maschinen praktisch nicht in Frage kommen.

Auf eine Wiedergabe dieser Untersuchung im Detail wird hier verzichtet.

Nach der Ausführung der schallabsorbierenden Maßnahmen ergab die Messung der Schallausbreitung die untere im Diagramm Abb. 3.6 dargestellte Kurve. Nach diesem Ergebnis beträgt die Pegelminderung erst in größerem Abstand von einer Quelle einige dB.

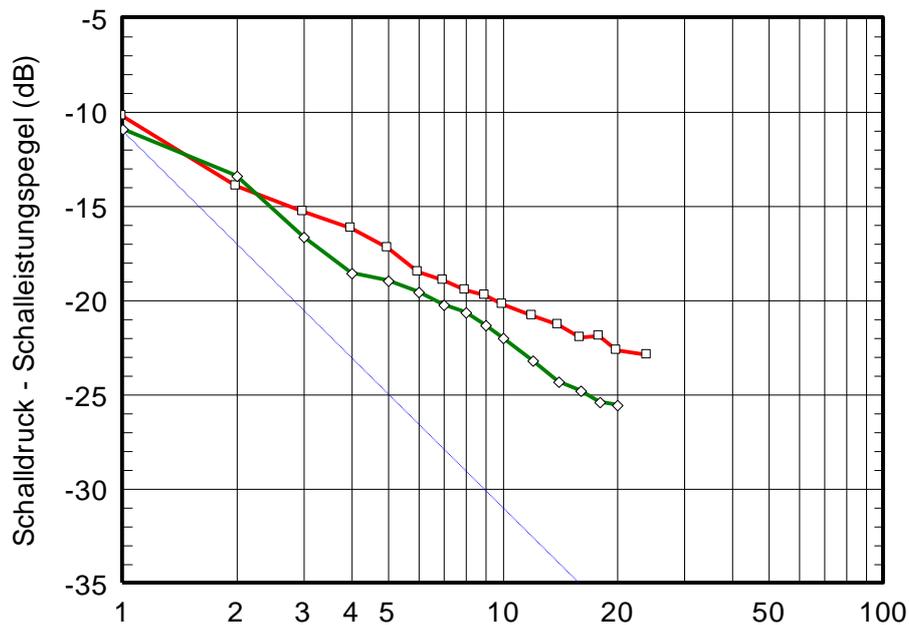


Abb. 3.6: Schallausbreitungskurve in der Metallbearbeitung vor und nach Einbau schallabsorbierender Maßnahmen

Die Kennwerte der Schallausbreitung – untere Kurve in Abb. 3.6 – betragen nunmehr
 $DL_f = 7.7 \text{ dB}$
 $DL_2 = 3.8 \text{ dB}$.

Weiter wurden noch einige Maßnahmen an einzelnen Aggregaten – z. B. akustische Abtrennung eines Kompressors – durchgeführt.

Auf eine vergleichende Messung der Schallpegel an den Arbeitsplätzen wurde verzichtet, weil es praktisch unmöglich ist, die im Rahmen der erforderlichen Genauigkeit gleichen Betriebszustände einzustellen.

Nach Aussage der Mitarbeiter im Betrieb hat sich das „akustische Raumklima“ entscheidend verbessert. Dies ist eine Erkenntnis aus vielen ähnlich gelagerten Projekten – die Betroffenen empfinden die Verbesserung durch raumakustische Maßnahmen weitaus positiver, als aufgrund eines Vorher-Nachher-Vergleichs auf der Basis der A-bewerteten Schallpegel vermutet werden könnte. Die stärkere Bedämpfung des Raums führt zu einer tieffrequenteren Struktur der einwirkenden Geräusche und damit zu einer entsprechenden Abnahme der durch den Lärm verursachten Störung und Belästigung.

Selbstverständlich wurde die größte Verbesserung an den im Einwirkungsbereich des nunmehr durch Teiltrennwand und Absorption akustisch vom übrigen Raum entkoppelten Kompressors erzielt.

4 Untersuchungen in Handwerksbetrieben der Metallverarbeitung

In handwerklich orientierten metallverarbeitenden Betrieben sind die durchgeführten lärmrelevanten Arbeiten weniger an feste Orte gebunden und auch zeitlich weniger gleichbleibend, als dies in mittelständisch oder industriell organisierten Fertigungsstätten der Fall ist. Dies erschwert auch die Möglichkeiten der Lärminderung, weil räumlich fixierte Einbauten aus Gründen der erforderlichen Flexibilität oft nicht möglich sind.

Es wurden in 23 Handwerksbetrieben der Metallbearbeitung Begehungen mit Schallmessungen durchgeführt. Aus den Messungen an den Maschinen wurden die Schalleistungspegel in Anlehnung an ISO 3746 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** bestimmt und es wurde auch geprüft, ob auf den Gesamt-raum bezogene Lärminderungsmaßnahmen möglich und erfolgversprechend sind.

Die Einzelprotokolle enthält Anhang A. Im Folgenden ist als Beispiel das Protokoll für den Handwerksraum 22 dargestellt.

Jedes Protokoll enthält die folgenden Elemente:

- Raum- und Nutzungsbeschreibung,
- Maschinenlayout,
- Maschinenliste,
- Lärmquellenbeschreibung,
- Messdaten Maschinen und Lärmquellen,
- Ermittelte Schalleistungspegel,
- Raumakustische Kenngrößen ohne und ggf. mit Maßnahmen,
- Möglichkeiten der Lärminderung.

4.1 Handwerksraum 22: Vorrichtungsbau (Anspruchsvolle Fräsarbeiten)

Raum: 40 m x 12 m x 6 m (siehe Grundriss), alle Begrenzungsflächen schallhart

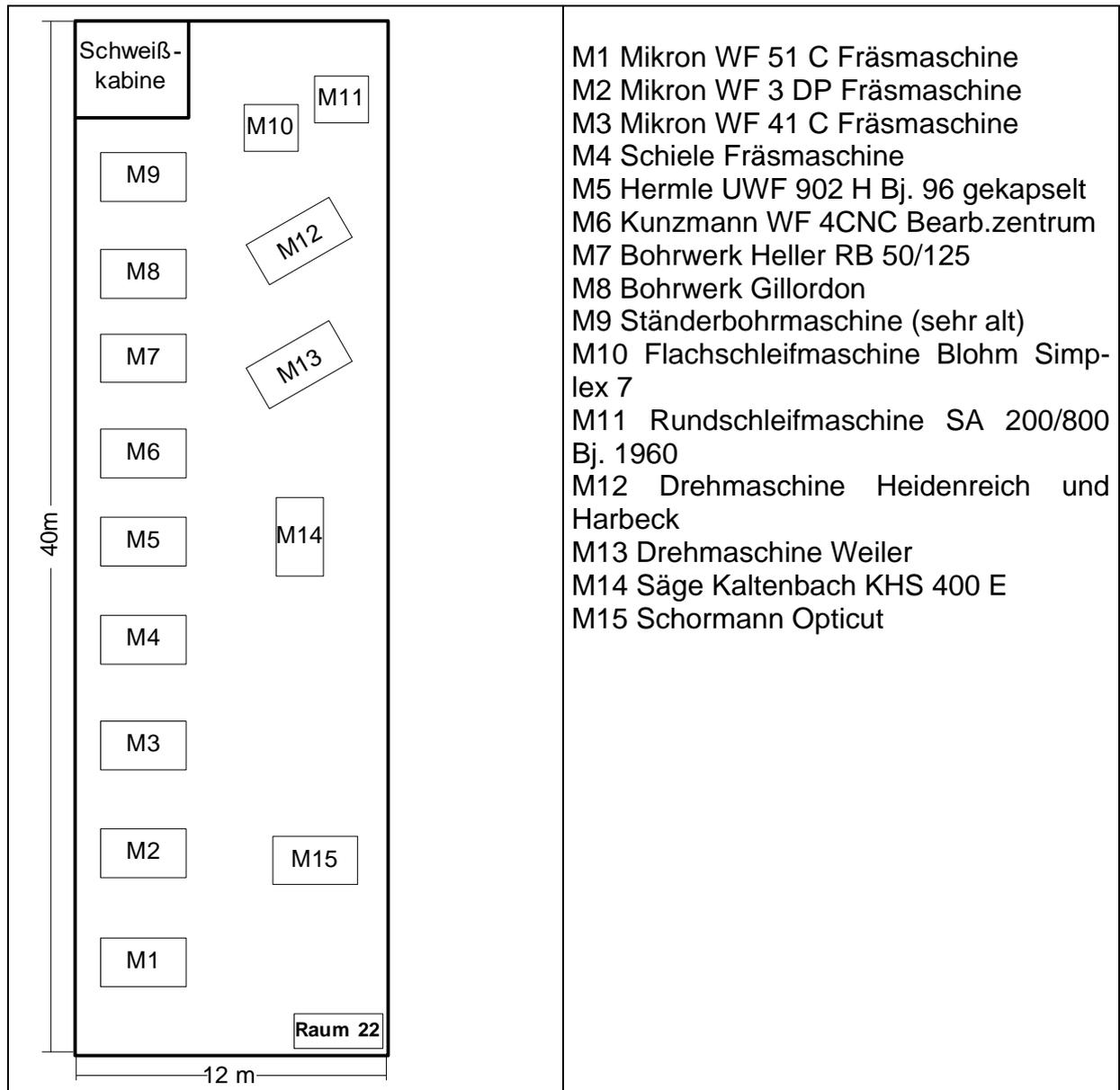


Abb. 4.1: Grundriss der Fertigungswerkstatt und Maschinenbelegung



Abb. 4.2: Fräsmaschinen vor Glasfront



Abb. 4.3: Einrichten am Bildschirmterminal



Abb. 4.4: Werkzeug einrichten



Abb. 4.5: Integrale Maschinenkapsel am Bearbeitungszentrum Hermle

Die in Tabelle 4.2 genannten Schalleistungspegel wurden aus den Messungen des Schalldruckpegels auf einer Messfläche in Anlehnung an DIN ISO 3744/46 bestimmt.

Tab. 4.1: Schalldruckpegel A-bewertet

Spek Nr	Bezeichnung								Gesamt
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
83	Fräsm. Mikron 51C Leerlauf AP	59.8	66.5	75.1	78.9	72.1	64.9	57.1	81.3
84	Fräsm. Mikron 3DP Leerlauf AP	54.9	64.0	71.9	73.1	71.1	66.0	56.7	77.4
85	Fräsm. Mikron 41C Leerlauf AP	57.4	64.6	69.1	70.9	70.5	63.3	59.6	75.9
86	Fräsm. Schiele Bearbeitung AP	51.7	61.8	71.7	74.1	71.3	64.1	58.0	77.7
87	Fräsm. Hermle UWF 902H gekaps. Aus	48.9	60.6	71.2	72.8	71.0	70.2	67.1	77.9
88	Kunzmann WF 4CNC aus	52.8	60.2	68.0	73.0	70.8	69.6	67.7	77.4
89	Bohrwerk Heller RB50/125 aus	49.8	60.2	67.4	68.8	66.9	65.8	58.7	73.7
90	Bohrwerk Gillordon in Betrieb AP 1m	49.0	64.9	73.8	73.6	73.5	67.7	57.5	78.9
91	Ständerbohrmaschine (uralt) aus	48.8	59.1	64.9	70.9	71.3	74.3	75.8	80.1
92	Flachschleifmasch. Blohm Simplex 7 aus	49.4	60.4	68.8	70.0	69.4	64.3	55.8	74.8
93	Rundschleifmasch. SA 200/800 aus	48.4	58.2	65.2	68.5	67.5	67.2	61.3	73.7
94	Drehm. Heidenreich u. Harbeck ein 1m	52.0	65.9	77.1	81.0	78.0	72.4	63.0	84.2
95	Abblasen nach Bohren 1m	70.0	70.4	80.0	89.6	95.1	100.2	95.1	102.9
96	Säge Kaltenbach KKS 400E 1m	52.8	62.5	67.8	68.5	67.8	61.8	55.0	73.6
97	Schormann Opticut 1m	53.4	64.6	73.5	74.2	72.5	65.2	58.8	78.6
98	Raumpegel Leq	55.0	66.2	76.1	74.8	70.5	64.1	57.8	79.5

Tab. 4.2: Schalleistungspegel

Bezeichnung								Gesamt
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Drehmasch. Heidenreich u. Harbeck	64.8	79.0	90.4	94.4	91.6	86.1	76.8	97.7
Abblasen nach Bohren	80.0	80.5	90.2	99.9	105.5	110.6	105.6	112.9
Gesamter L_{WA} schwacher Betrieb	71.8	83.7	94.1	93.4	89.5	83.5	77.6	97.9

Beurteilung:

Anspruchsvolle Tätigkeiten – Programmierung der NC-Maschinen und sehr hohe Aufmerksamkeit erfordernde Überwachungsarbeiten.

Tab. 4.3: Raumakustisch relevante Daten und Streukörperberechnung

Raum	L (m)	B (m)	H (m)	V (m ³)
22	40	12	6	2880
Anzahl	L (m)	B (m)	H (m)	S kumulativ (m ²)
16	2	2	2	320
Q (1/m)	0.028			

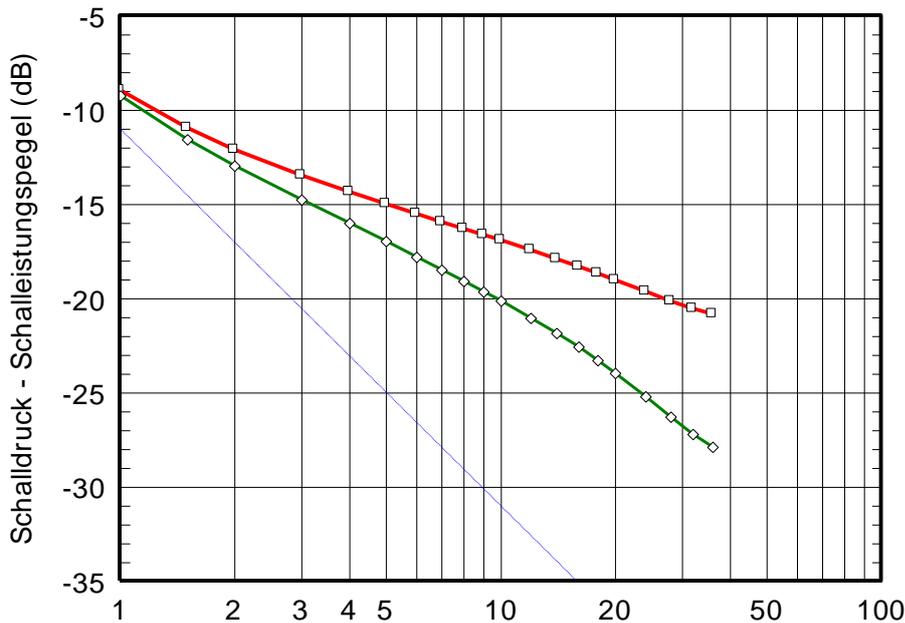


Abb. 4.6: Schallausbreitung – $DL_f = 13,4$ – $DL_2 = 1,6$

Mit Akustikdecke $DL_f = 10,4$ – $DL_2 = 3,3$

Beurteilung:

Der Beurteilungspegel von 80 bis 90 dB(A) stellt hier nach Aussagen der Bearbeiter ein echtes Problem dar (hohe Fluktuation). Die Arbeiten sind aufgrund der häufig erforderlichen Programmierarbeiten an den teilweise modernen NC-Maschinen sehr anspruchsvoll und erfordern gut ausgebildetes Fachpersonal. Diese Personengruppe ist aber nach Auskunft der Firmenleitung immer weniger bereit, in einem lauten Umfeld zu arbeiten. Im Grunde handelt es sich in der Mehrzahl um Bildschirmarbeitsplätze, an denen höhere akustische Anforderungen gelten als in sonstigen Bereichen. (siehe auch AWE 125, „Bildschirmarbeit – Lärminderung in der Produktion“). Derartige Betriebe müssen von Anfang an wesentlich großzügiger geplant werden. Die vorliegende Aufstellungsdichte der Maschinen ist zu hoch – dies geht zu Lasten der Arbeitsplatzqualität. Der Raum muss größer und mit einer schallabsorbierenden Decke ausgestattet sein, und jeder Maschinenarbeitsplatz sollte durch eine U-förmige innen schallabsorbierende und ca. 3 m hohe Teiltrennwand akustisch so vom übrigen Raum entkoppelt sein, dass bei Programmierarbeiten und damit bei stillstehender eigener Maschine der Pegel um 5 bis 10 dB reduziert ist.

4.2 Schalleistungspegel der Tätigkeiten/Maschinen in den Handwerksbetrieben

Viele der Messungen in den beschriebenen Handwerksbetrieben sind als quasi Emissionsmessungen angelegt worden. In diesen Fällen können aus den Messer-

gebissen die Schalleistungspegel der betreffenden Maschinen oder Tätigkeiten abgeleitet werden.

Diese Schalleistungspegel sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet. Sie entsprechen dem vorgefundenen Betriebszustand und können als Planungshilfe verwendet werden, wenn keine weitergehenden Kenntnisse vorliegen.

Tab. 4.4: Die in den 23 Handwerksbetrieben näherungsweise ermittelten Schalleistungspegel

Raum Nr	Maschine / Tätigkeit	L_{WA} / L_{WAmax} dB(A)
1	Schlagschrauber	95,8
1	Scheibenschneidgerät	101,9
1	Schruppscheibe	103,7
1	Karosseriemeißel	128,1
1	Lamellenscheibe	112,5
2	Stanze Peddinghaus	106,9
2	Schlagschere EHS 10	107,5
3	Plattenbohrwerk	100,8
4	Schmiedehammer 3Schl/s	115,3
4	Stangenanfasen	82,0
5	Kaltkreissäge alt	108,3
5	komb. Stanze	104,4
5	Schutzgasschweißen	97,7
5	Bohren Ständerbohrmasch.	95,3
7	KFZ Audi 2.5 TDI Leerlauf	87,4
8	ASU Pkw	106,3
8	Pkw Leerlauf	81,0
9	Kompressor	91,0
10	Staubsauger	93,3
10	Reinigen mit Blaspistole	103,0
10	Schleifen elektrisch	86,7
10	Schleifen pneumatisch	95,8
11	Spritzlackieren	91,7
12	Schlagschrauben Radmuttern	107,6
12	Schruppschleifen mit Metabo 2000 W	108,5
12	Leerlauf Metabo 2000 W	105,4
12	Schruppschleifen mit Bosch 670 W	101,0
12	Leerlauf Bosch 670 W	102,7
12	Richten (Biegen 8 mm Flachstahl)	107,0
12	Lichtbogenschweißen 150 A	83,2
13	Profilbearbeitungszentrum Emmici	98,3
13	Doppelgehrungssäge	107,5
14	Profilbearbeitungszentrum Rapid Optim, Bj 1998, 2800 U/min	99,5
14	Eckenverputzautomat Stürz Elumatec, Bj 1997	103,9
15	Gekapselte Strahlanlage	99,6
16	Richten 10 mm Blech, L_{WAeq}	117,8
16	Richten 10 mm Blech, L_{WAeq}	129,4

Fortsetzung Tab. 4.4:

Raum Nr	Maschine / Tätigkeit	L_{WA} / L_{WAmax} dB(A)
18	Bohr-, Brennanlage Wagner	96,1
18	Schutzgasschweißen	101,6
18	Säge-Bohranlage Trennjäger Rohr 100/4 mm	110,9
18	Säge-Bohranlage Trennjäger Platte 15 mm	110,1
18	Kreissäge Trennjäger LTS 400 HA	102,4
18	Kreissäge Trennjäger VCT 325	104,4
18	Kombischere Darley als Stanze L_{WA}	90,6
18	Kombischere Darley als Stanze L_{WAmax}	100,6
18	Kombischere Darley als Schere L_{WA}	88,1
18	Kombischere Darley als Schere L_{WAmax}	99,8
19	Stahlprofil ablängen mit Kreissäge	101,2
20	Holzprofile ablängen mit Kreissäge	102,1
21	Schmiedehammer Kuhn K 23	104,3
21	Handschmieden mit Hämmern 2 Personen	110,0
21	Schruppen mit Scheibe ELU Durchm. 125 mm	108,5
21	Schruppen mit Lamellenscheibe Durchm. 115 mm	99,3
21	Maschine mit Lamellenscheibe Durchm. 115 mm Leerlauf	97,7
21	Sägen 12 mm Stahl mit Kreissäge LPC 110/400	100,4
21	Sägen 30/10 Flacheisen mit Kreissäge Trennjäger VC260	97,5
22	Drehen auf Drehmaschine Heidenreich und Harbeck	97,7
22	Abblasen nach Bohren	112,9
23	Schmiedehammer Kuhn K12/42 L_{WA}	102,8
23	Schmiedehammer Kuhn K12/42 L_{WAmax}	113,6
23	Handschmieden mit Hammer durch eine Person L_{WA}	93,7
23	Handschmieden mit Hammer durch eine Person L_{WAmax}	101,7

5 Untersuchungen zu Schmiedebetrieben

5.1 Allgemeine Hinweise

Schmiedebetriebe wie Betriebe mit Metallumformung generell gehören zu den besonders geräuschintensiven Arbeitsstätten im Bereich der Metallbearbeitung. Obwohl der Betrieb in den Schmiedehallen auf den mit dieser Technik nicht vertrauten Außenstehenden durch den Umgang mit glühenden Brammen und Feuer und aufgrund der hochpegeligen Schlaggeräusche recht archaisch anmutet, hat sich der Stand der Technik doch erheblich verbessert.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden einige Schmiedebetriebe besucht, wobei auch orientierende Schallpegelmessungen durchgeführt worden sind.

Die Geräuschemission von Gesenkschmieden und Maßnahmen zu ihrer Minderung sind im Entwurf der VDI-Richtlinie VDI 2561 Blatt 1 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** behandelt. Allerdings kam der entsprechende Ausschuss bei der Überarbeitung nicht über den Stand der Beratungsvorlage von 1994 hinaus, wodurch nach Einstellung der Richtlinienarbeit auf diesem Gebiet zu befürchten ist, dass das in diesem Entwurf zusammengefasste Wissen verloren gehen könnte. Im Folgenden wird eine kritische Zusammenfassung der aus Sicht des Autors erhaltenswerten Teile dieser Norm unter Einbeziehung eigener Erkenntnisse gegeben.

5.2 Hinweise zur Schmiedetechnik und zum Fertigungsablauf

Gesenkschmieden oder nach DIN 8583 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** korrekt Gesenkformen ist als Druckumformen mit gegeneinander bewegten Formwerkzeugen (Gesenken) definiert. Die Werkzeuge umschließen das Werkstück ganz oder nur teilweise, wobei die Kontur ihrer Wirkflächen (Gravur) unmittelbar auf das Werkstück übertragen wird.

Um das Formänderungsvermögen zu vergrößern, erfolgt das Gesenkformen üblicherweise bei Umformtemperaturen, die größer als die Rekristallisationstemperatur des Werkstoffes sind (Warmumformen).

In der Regel wird ein Werkstück in Stufen (Stauhen, Vorformen und Fertigformen) umgeformt. Die Anzahl der dafür nötigen Schläge hängt u.a. von der jeweiligen Umformmaschine ab.

Der gesamte Fertigungsablauf lässt sich einteilen in:

- Trennen,
- Wärmen,
- Umformen,
- Wärmebehandlung und

- Oberflächennachbehandlung.

5.3 Die Maschinen in Schmiedebetrieben

5.3.1 Trennen

Für das Gesenkschmieden werden als Halbzeuge Knüppel, Stangen, Bänder und Platinen verwendet, die geschert (Knüppelschere) oder gesägt (Kreis- oder Bügelsägemaschinen) werden.

5.3.2 Erwärmen

Die gebräuchlichsten Erwärmungseinrichtungen sind gas- oder ölbeheizte Öfen (Stand- oder Durchlauföfen) oder elektrische Erwärmungsanlagen (induktiv oder konduktiv).

5.3.3 Umformen

Die Umformmaschinen lassen sich nach ihrer Bauart einteilen in kraft-, weg- und energiegebundene Maschinen. Die wichtigsten Kenngrößen sind der Stößelhub sowie die Nenn-Presskraft bzw. die maximale Energieabgabe. Weitere hier nicht benötigte Kenngrößen ergeben sich konstruktionsspezifisch und abhängig von den Umformerfordernissen. Die bauarttypischen Auftreffgeschwindigkeiten unterscheiden sich z. B. von Hämmern zu Pressen um den Faktor 10. Folgende konstruktionsbedingte Bauarten sind zu unterscheiden:

5.3.3.1 Kraftgebundene Umformmaschinen

Hydraulische Pressen mit direktem Pumpenantrieb oder indirektem Antrieb mit Pumpen und Druckspeicher.

Die Nennkraft steht über den gesamten Nutzhub zur Verfügung. Hub, Geschwindigkeit, Endkraft und Haltezeiten können innerhalb konstruktiver Grenzen frei eingestellt bzw. gesteuert werden.

Kupplungsspindelpresse

die Nennkraft steht nach ca. 1/3 des Nennhubes zur Verfügung. Hub und Kraft sind einstellbar. Die Umformgeschwindigkeit bleibt über den Umformweg nahezu konstant.

5.3.3.2 Weggebundene Umformmaschinen

Umformmaschinen mit weggebundenem Kurbeltrieb (Kurbel- oder Exzenterwelle, Druckstange, Stößel) haben einen festen Stößelhub. Die Presskraft ist eine konstruk-

tiv bedingte Größe, abhängig von der Winkelstellung der Welle. Die Nennkraft wird bei einer bestimmten Kurbelstellung kurz vor dem unteren Umkehrpunkt des Stößels angegeben. Ein Schwungrad auf der Haupt- oder Vorgelegewelle speichert die Umformenergie.

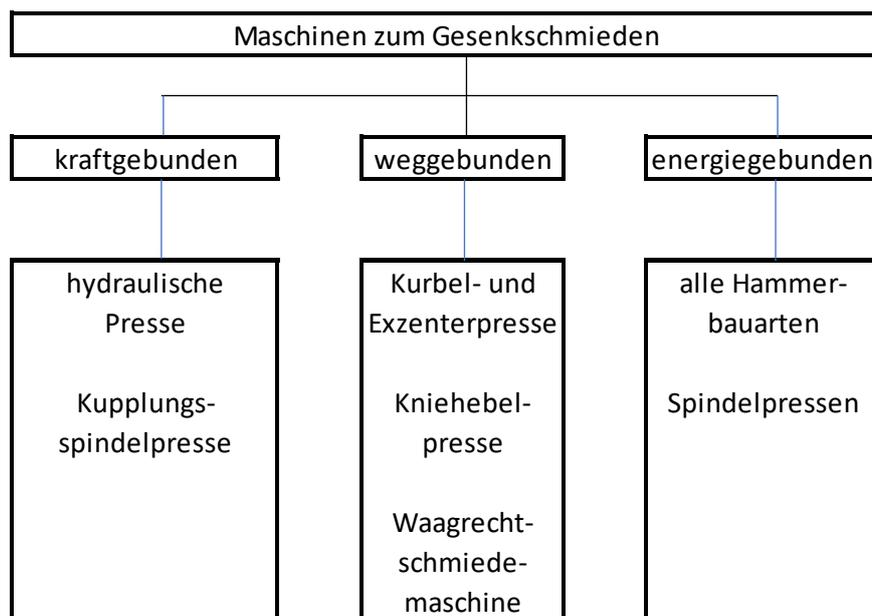
5.3.3.3 Energiegebundene Umformmaschinen

Energiegebundene Umformmaschinen setzen bei jedem Arbeitshub die dem Stößel zugeführte Energie beim Auftreffen vollständig in Umform- und Verlustenergie um. Während Hämmer ihre Auftreffenergie aus der Beschleunigung des Bären (Fallhöhe, Oberdruck) gewinnen, wird bei einer Spindelpresse die gesamte Rotationsenergie der Spindel und eines mit ihr verbundenen Schwungrades umgesetzt.

Die Kenngröße bei Hämmern ist die zur Verfügung stehende Energie bei größter Auftreffgeschwindigkeit.

Bei Spindelpressen werden als Kenngrößen die Nennkraft, die dauernd zulässige Kraft und die Bruttoenergie angegeben. Des Weiteren ist bei Spindelpressen die maximale Prellschlagkraft definiert.

ANMERKUNG: Stand der Technik ist heute die gefederte Aufstellung, wobei die Direktfederung, bei der die Umformmaschine ohne wesentliche Zusatzmassen unmittelbar auf die federnde Unterlage gestellt wird, trotz der erheblich größeren schwingenden Systembewegungen im allgemeinen den Vorrang hat. Eine Ausnahme bildet der Gegenschlaghammer, der wegen seiner niederfrequenten Schwingungserregung durch die Kupplungseigenschwingungen sehr tieffrequent abgedefert werden muss. Dies ist bei vertretbaren Schwingungsamplituden des gefederten Systems nur durch Blockfederung, d. h. mit erheblichen Zusatzmassen möglich. In der Regel ist der Arbeitsplatz schwingungs isoliert zu gestalten.



5.3.4 Nachbehandlung

Ähnliche Anlagen wie zum Erwärmen können auch zur Nachbehandlung verwendet werden, um dem Schmiedestück seine endgültigen Werkstoffeigenschaften zu geben. Zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften der Werkstücke werden die Oberflächen z. B. durch Beizen oder Strahlen nachbehandelt. Die Nachbehandlung wird meistens in anderen Hallen durchgeführt.

5.3.5 Sonstige Maschinen

Neben den fertigungsspezifischen Anlagen treten Handhabungs-, Transport- (Förderbänder, Fahrzeuge etc.) und Vereinzelungsanlagen (Vibrationswendelförderer) hinzu.

5.4 Die Geräuschemission von Fall- und Gegenschlaghämmern

Der einer Schmiedemaschine zugeordnete Arbeitsplatz befindet sich unmittelbar vor ihr – der an dieser Maschine Beschäftigte muss – zumindest bei den in Abb. 5.1 und Abb. 5.2 dargestellten Maschinen mittlerer Größe – zeitweise mit einer langen Zange manuell eingreifen, um die glühenden Brammen und Werkstücke richtig zu positionieren.



Abb. 5.1: Arbeitsplatz vor Schmiedehammer



Abb. 5.2: Schmiedehammer

Bei den beispielhaft dargestellten Maschinen erfolgen nach dem Einfahren der weißglühenden Bramme ca. 12 Schläge, deren Spitzenpegel von Schlag zu Schlag ansteigt. Abb. 5.3 zeigt den zeitlichen Pegelverlauf, gemessen in 1 m Abstand von der

Vorderkante der Schmiedemaschine. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass diese Schalldruckpegel mit der Zeitkonstanten FAST bewertet sind.

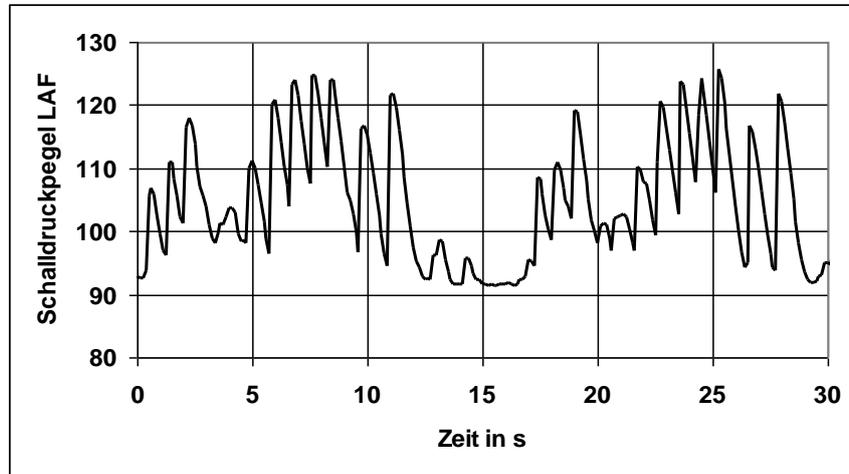


Abb. 5.3: Zeitlicher Verlauf des Schalldruckpegels L_{AF} in 1 m Abstand

Der bisherige Verlauf der Richtlinienarbeit im Arbeitskreis VDI 2561 hat gezeigt, dass die systematische Behandlung derartig impulsartiger Geräuschemissionen recht problematisch sein kann. Generell wurden Schmiedegeräusche über die in 7m Abstand gemessenen Maximalpegel L_{AFmax} beschrieben. Aus diesen wurde dann der auf die Geräuschspitzen bezogene Schalleistungspegel L_{WAFmax} abgeleitet. In 7 m Abstand von der (als klein angenommenen) Quelle ergibt sich damit ein Schalldruckpegel von

$$L_p = L_W - 8 - 20\lg(r / r_0) + K_2 \text{ dB}$$

mit

$$r_0 = 1\text{m}$$

K_2 Umgebungseinfluss in dB

Berücksichtigt man einen mittleren Raumeinfluss von 5 dB, so führt dies auf Spitzen-Schalleistungspegel von

$$L_{WAmax} = L_{pAmax} + 20 \text{ dB.}$$

Durchgeführte Messungen an Fall- und Gegenschlaghämmern führen auf den in Abb. 5.4 dargestellten Zusammenhang zwischen der Hammer – Schlagenergie und dem Schalleistungspegel L_{WAFmax} .

Die Messwerte können durch folgende Funktion angenähert werden:

$$L_{WAmax} = \begin{cases} 118 + 8 \lg\left(\frac{E}{E_0}\right) \text{ dB} & \text{für } 20 \text{ kJ} < E \leq 100 \text{ kJ} \\ 130 + 2 \lg\left(\frac{E}{E_0}\right) \text{ dB} & \text{für } 100 \text{ kJ} < E < 800 \text{ kJ} \end{cases} \quad (5.1)$$

mit
 E_0 Bezugsenergie 1 kJ

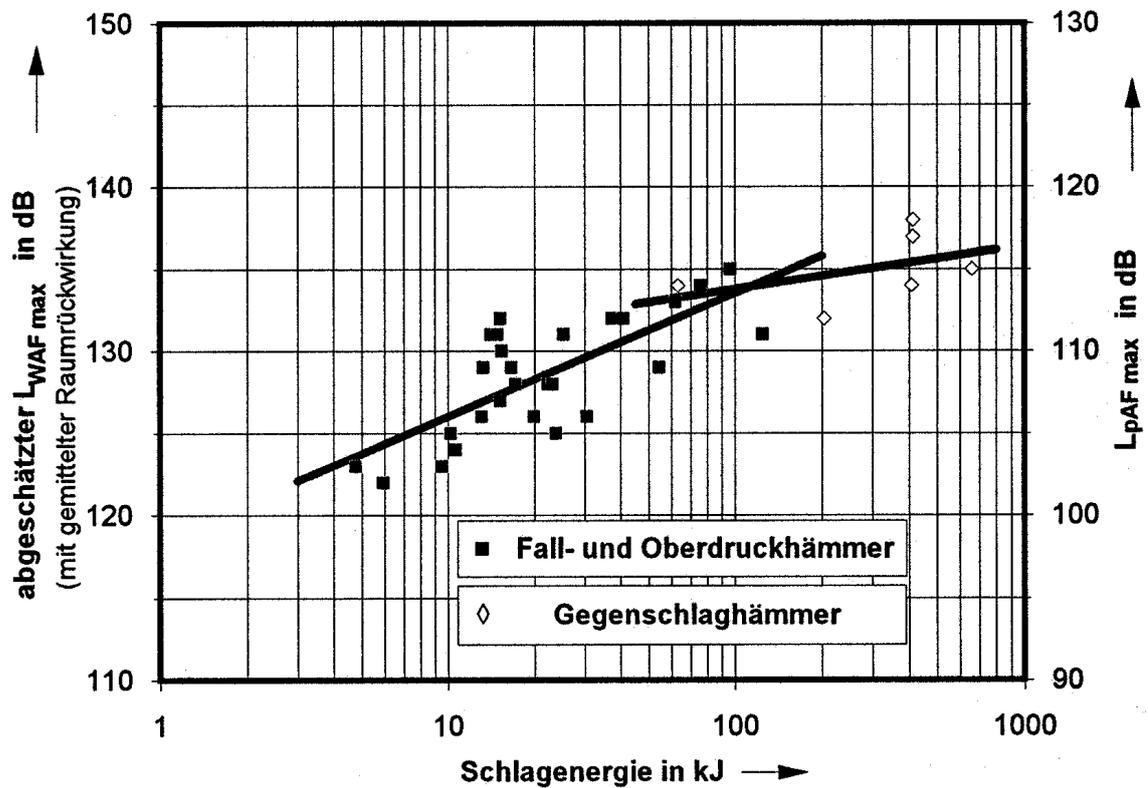


Abb. 5.4: Zusammenhang zwischen Schlagenergie und induziertem maximalen Schallleistungspegel bei Fall- und Gegenschlaghämmern.

Die Behandlung derartig impulshaltiger Geräusche bei Immissionsprognosen ist nicht unproblematisch, wenn sich die Schallquellen in Räumen befinden.



Abb. 5.5: Einzelschlag aus der in Abb. 5.3 dargestellten Schlagserie

Der in Abb. 5.5 dargestellte Pegelverlauf entsteht aus einem kurzen Schlagimpuls unter Anwendung der FAST-Bewertung, da diese Zeitbewertung zu einem verzögerten Abklingen des „scheinbaren“ Schallpegels führt. Derselbe Abklingvorgang ergäbe sich für den unbewerteten Schalldruckpegel in einem Raum, der eine entsprechende Nachhallzeit aufweist. Durch Einsetzen der FAST-Zeitkonstanten

$$\tau = 0,125 \text{ s}$$

in Gleichung A 2.11 des Anhangs ergibt sich diese der FAST-Bewertung entsprechende Nachhallzeit zu 1,7 Sekunden.

Die Stützstellen der Pegel-Zeit-Funktion in Abb. 5.5 haben einen Abstand von 0,125 Sekunden. Aus dem auf ein bis zwei Stützstellen beschränkten Maximum folgt, dass die effektive Dauer der relevanten Emission diese 0,125 Sekunden nicht wesentlich übersteigt – die der FAST-Zeitkonstanten entsprechende Abfallflanke setzt unmittelbar nach diesem Maximum ein.

Damit ergibt sich der Mittelungs-Schalleistungspegel bei n Schlägen pro Sekunde zu

$$L_{WA} = L_{WA_{\max}} + 10\lg(0,125) + 10\lg(n) \text{ dB} \quad (5.2)$$

bzw.

$$L_{WA} = L_{WA_{\max}} + 10\lg(n) - 9 \text{ dB} \quad (5.3)$$

5.5 Berechnung der von Schmiedehämmern verursachten Geräuschimmission

Eine Schmiedemaschine erzeugt Schallimpulse mit einer effektiven Dauer, die maximal gleich der FAST-Zeitkonstante von 125 ms ist (dies ergibt sich aus der Folge der Pegelsamples nach Abb. 5.5 – der Anstieg erfolgt innerhalb einer Samplefolgezeit von 125 ms). Damit kann nach Anh.2 Abb. 3 von folgender Beziehung zwischen dem mit FAST-Bewertung gemessenen und dem unbewerteten Spitzen-Schallleistungspegel ausgegangen werden:

$$L_{WAFmax} \leq L_{WAmax} - 2 \text{ dB} \quad (5.4)$$

Wenn ein Immissionsort – z. B. ein Arbeitsplatz – vom Direktschall eines Schmiedehammerimpulses erreicht wird, können noch keine das Raumschallfeld bestimmenden Reflexionen zur Pegelerhöhung führen. Der Direktschall unter Einbeziehung der Bodenreflexion breitet sich somit unter Abschwächung nach dem Freifeldgesetz aus.

$$L_{p,max} = L_{WAmax} - 8 - 20 \lg \left(\frac{r}{r_0} \right) \text{ dB} \quad (5.5)$$

mit

r_0 Bezugsabstand 1 m.

Durch die Reflexionen an den Begrenzungsflächen des Raumes ergibt sich ein „Raumschallfeld“, dessen anteiliger Pegel im Sonderfall des annähernd diffusen Schallfeldes mit

$$L_{Raum} = L_{WA,gesamt} - 10 \lg \left(\frac{A}{A_0} \right) + 6 \text{ dB} \quad (5.6)$$

beschrieben werden kann. Dabei ist

$L_{WA,gesamt}$ der Schallleistungspegel aller Maschinen zusammen
 A die äquivalente Absorptionsfläche des Raumes in m^2
 A_0 die Bezugs-Absorptionsfläche 1 m^2 .

Beispiel:

In einer Schmiedehalle üblicher Ausstattung mit Abmessungen $20 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ ist eine Schmiedemaschine in Betrieb, die im Mittel durch 5 Schläge pro Minute und durch eine Schlagenergie von 10 kJ gekennzeichnet ist. Spitzenpegel und Mittelungspegel in 10 m Abstand von der Maschine sind zu beurteilen.

Lösung:

Der mittlere Absorptionsgrad von Industriehallen beträgt $0,15$ – damit ergibt sich eine äquivalente Absorptionsfläche A von 240 m^2 .

Nach Abb. 5.4 mit Gleichung (5.4) beträgt der Schalleistungspegel L_{WAmax} ca. 128 dB. Aus (5.5) folgt für den Abstand von 10 m ein Spitzenschalldruckpegel von 100 dB(A).

Der zeitlich gemittelte Schalleistungspegel ergibt sich aus (5.3) und (5.4) unter Berücksichtigung der Schlagfrequenz von 0,08 Schlägen/s – er beträgt 108 dB(A). Der Raumschallpegel beträgt nach (5.6) bei Betrieb dieser Schmiedemaschine dann 90 dB(A).

Im allgemeinen Falle kann nicht vom Vorliegen eines diffusen Schallfeldes ausgegangen werden. In diesem Fall wird der Pegel an beliebigen Orten nach dem in VDI-Richtlinie beschriebenen Verfahren bestimmt.

$$L_p = L_{WA} - dL(SAK) \quad (5.7)$$

Abb. 5.6 zeigt die Schallausbreitungskurve für die im Beispiel genannte Schmiedehalle.

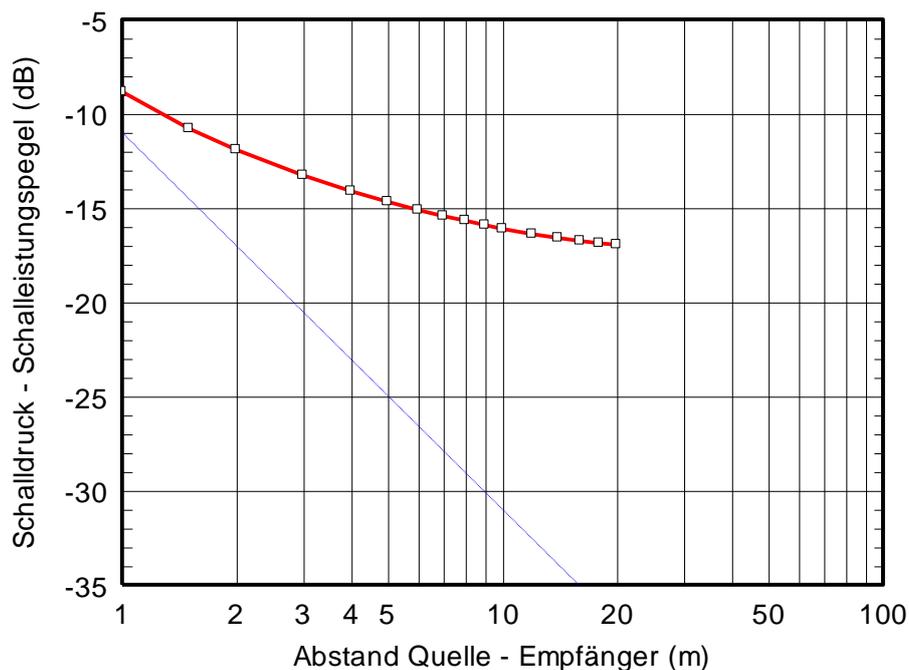


Abb. 5.6 Schallausbreitungskurve für Schmiedehalle

Wie Abb. 5.6 zeigt, beträgt die Differenz von Schalldruckpegel und Schalleistungspegel des Schmiedehammers in diesem Raum in 10 m Abstand ca. 16 dB. Mit einem Schalleistungspegel von 108 dB(A) ergibt sich somit ein von dem Schmiedehammer erzeugter mittlerer Schalldruckpegel an diesem Ort von 92 dB(A).

5.6 Lärminderungsmaßnahmen in Schmiedehallen

Direkte bzw. primäre Schallschutzmaßnahmen an den Schmiedeaggregaten sind im Zuge der Planung oder Sanierung derartiger Arbeitsstätten in der Regel nicht durchführbar. Hier ist der Hersteller gefordert – der Betreiber sollte sich über die nach Maschinenlärm-Informationsverordnung bzw. nach 9. Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz angegebenen Geräuschemissionswerte über den Stand der erreichten Lärminderung vor der Beschaffung informieren und diese Emissionswerte dann in seine Bewertung einbeziehen.

Bei der Raumplanung gelten auch in anderen lärmrelevanten Branchen angewendeten Maßnahmen.

Besonders wirksam ist es, die Schmiedeaggregate räumlich von den übrigen Arbeitsplätzen durch Teiltrennwände abzutrennen und im Bereich dieser Aggregate sowohl die Decke wie auch die Wände schallabsorbierend auszuführen.

Wegen der teilweise sehr rauen Umgebungsbedingungen ist bei diesen Teiltrennwänden auf ausreichende Resistenz gegen mechanische Beschädigung zu achten. Auch absorbierende Verkleidungen in Form von raumseitigen ggf. vlieskaschierten Mineralfaserplatten sind zu empfindlich – sie sollten in jedem Falle durch Lochblech, Streckgitter oder andere widerstandsfähige Abdeckungen vor Beschädigung geschützt werden. Bewährt hat sich bei diesen Hallen die Verwendung von zementgebundenen Holfaserplatten, die an den Wänden nachträglich angebracht oder als verlorene Schalung vermauert oder angeputzt worden sind. Auch außen gedämmte Trapezblechdächer, bei denen die raumseitigen Bleche in den Sicken gelocht und mit Mineralfaserkeilen ausgefüllt sind, haben sich als Dachkonstruktionen mit integrierter Absorption bewährt.

6 Lärmarme Werkzeuge und Vorgehensweisen

6.1 Ausblasgeräusche – lärmarme Düsen

6.1.1 Die Geräuscentstehung durch einen Luftfreistrah

Ausblasvorgänge sind in vielen Betrieben der Metallverarbeitung eine der wesentlichen und auch die Beurteilungspegel an Arbeitsplätzen beeinflussenden Geräuschquellen. Dies kann in älteren Produktionsanlagen beobachtet werden, in denen selbst bei Stillstand der Maschinen die aus den Leckagen des Druckluftsystems ausströmende Luft zu einem nie abschwellegenden Grundgeräuschpegel führt, wie auch in modernen Betrieben der Normteileproduktion, in denen trotz oder gerade aufgrund der geräuscharmen Konzeption der Bearbeitungszentren neuester Bauart die Geräusche von ausströmender Druckluft „übrigbleiben“.

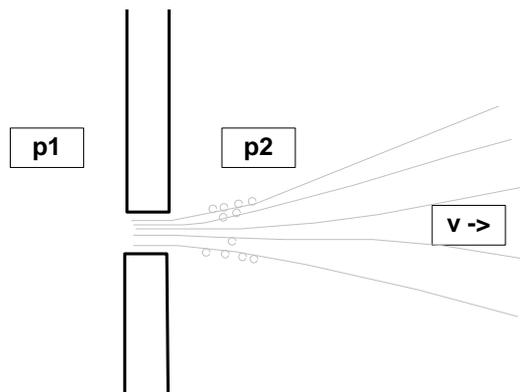


Abb. 6.1: Ausströmung mit Freistrah

Strömt Luft – oder ein anderes gasförmiges Medium – aus einem Bereich mit hohem Druck p_1 in einen Bereich mit niedrigerem Druck p_2 , so bildet sich in letztgenanntem ein sich aufweitender Strahl aus Luftmolekülen mit einer von der Konfiguration abhängigen hohen Geschwindigkeit. An der Grenzschicht zwischen diesem Strahl und der umgebenden in Ruhe befindlichen Luft kommt es zur Verwirbelung, durch diese Wirbel zu Druckschwankungen und zur damit einhergehenden Abstrahlung von Luftschall.

Die Höhe der Druckdifferenz $p_1 - p_2$ oder vielmehr des Druckverhältnisses p_1/p_2 , die Größe des Ausströmquerschnitts und die geometrische Ausbildung der Austrittsöffnung bestimmen die Geschwindigkeit v und den Volumenstrom Q des austretenden Freistrahls, und diese Größen bestimmen wiederum die erzeugte Schalleistung beim Abbau der kinetischen Energie der ausströmenden Luftmasse.

Mit den Größen

ρ_D	Dichte der Luft im austretenden Freistrah in kg/m^3
ρ_0	Bezugsdichte 1 kg/m^3
v_D	Geschwindigkeit des Freistrahls unmittelbar hinter der Düse in m/s
v_0	Bezugsgeschwindigkeit 1 m/s
S_D	Düsenquerschnitt in m^2
S_0	Bezugsfläche 1 m^2

ergibt sich als Pegel der vom Freistrah erzeugt Schalleistung näherungsweise

$$L_W = (-51 \pm 3) \text{ dB} + 20 \lg\left(\frac{\rho_D}{\rho_0}\right) \text{ dB} + 80 \lg\left(\frac{v_D}{v_0}\right) \text{ dB} + 10 \lg\left(\frac{S_D}{S_0}\right) \text{ dB}. \quad (6.1)$$

Zu beachten ist insbesondere die starke Abhängigkeit der erzeugten Schalleistung von der Austrittsgeschwindigkeit des Freistrahls – bei Verdopplung dieser Geschwindigkeit erhöht sich der Schalleistungspegel um mehr als 20 dB. Viele Lärmminierungsmaßnahmen an Luftströmungen machen sich dies zunutze und beruhen letztlich auf einer Verminderung dieser Austrittsgeschwindigkeit.

6.1.2 Geräuscherzeugung und Minderung bei Leckagen im Druckluftsystem

Weist das Druckluftsystem Leckstellen auf, so führt dies zu einem ständig vorhandenen Rauschgeräusch, welches bei besonders ungünstiger Geometrie des Lecks äußerst unangenehme hochfrequente Geräuschanteile enthalten kann.

Neben dieser akustischen „Verseuchung“ ganzer Hallenbereiche kommt es noch zu einem erheblichen Verlust an komprimierter Luft und damit zur Energieverschwendung. Das Diagramm Abb. 6.2 zeigt nach /14/ den Luftverlust in Abhängigkeit vom Durchmesser des als kreisförmig angenommenen Lecks bei einem Leitungsdruck von 8 bar.

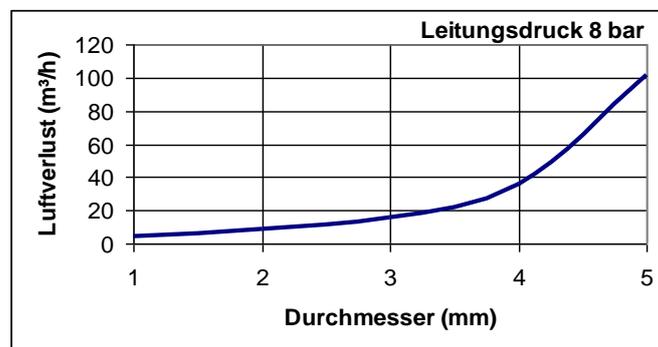


Abb. 6.2: Luftverlust eines kreisförmigen Lecks

Ein Leck mit kreisförmigem Querschnitt und einem Durchmesser von nur 3 mm erzeugt bei einem Leitungsdruck von 6 bar einen Schalleistungspegel von ca. 100 dB(A). Dies führt bei einer Raumhöhe von 4 m in Abhängigkeit von der

Raumgrundfläche in etwa auf die in den Bildern Abb. 6.3 und Abb. 6.4 dargestellten Schalldruckpegel.

Schon bei 10 Leckstellen wird somit in Räumen mit kleinerer Grundfläche ohne jegliche weitere Schallquelle ein Lärmbereich verursacht.

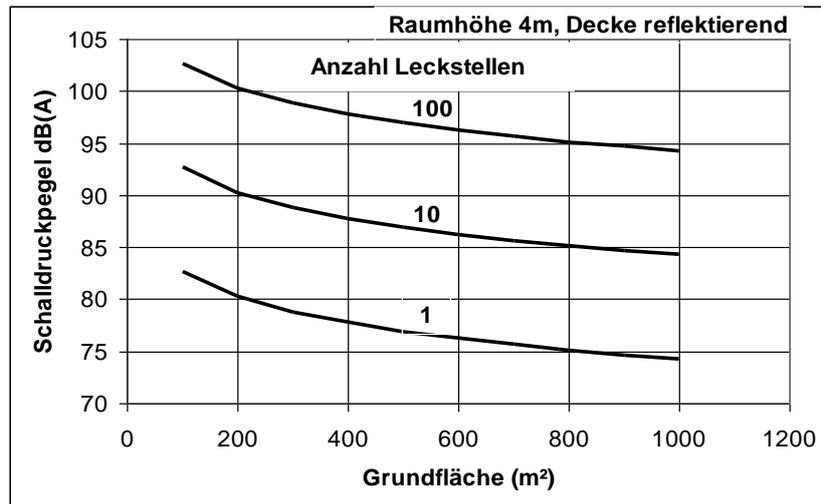


Abb. 6.3: Durch Leckstellen am Druckluftsystem verursachter Schallpegel im Raum bei reflektierenden Raumbegrenzungsflächen

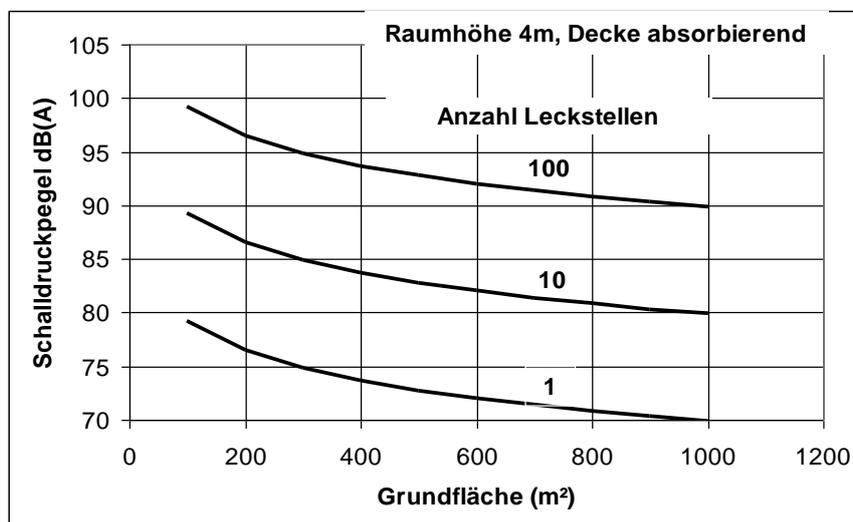


Abb. 6.4: Durch Leckstellen am Druckluftsystem verursachter Schallpegel im Raum bei absorbierender Decke, ansonsten jedoch reflektierenden Raumbegrenzungsflächen

Die Methoden der Vermeidung bzw. der Pegelreduzierung sind offensichtlich - Leckstellen müssen identifiziert und abgedichtet werden. Dies trägt sowohl zur Lärmmin- derung wie auch zur Energieeinsparung bei.

6.1.3 Geräuscherzeugung und Minderung bei der Nutzung von Druckluft

6.1.3.1 Nutzungsarten

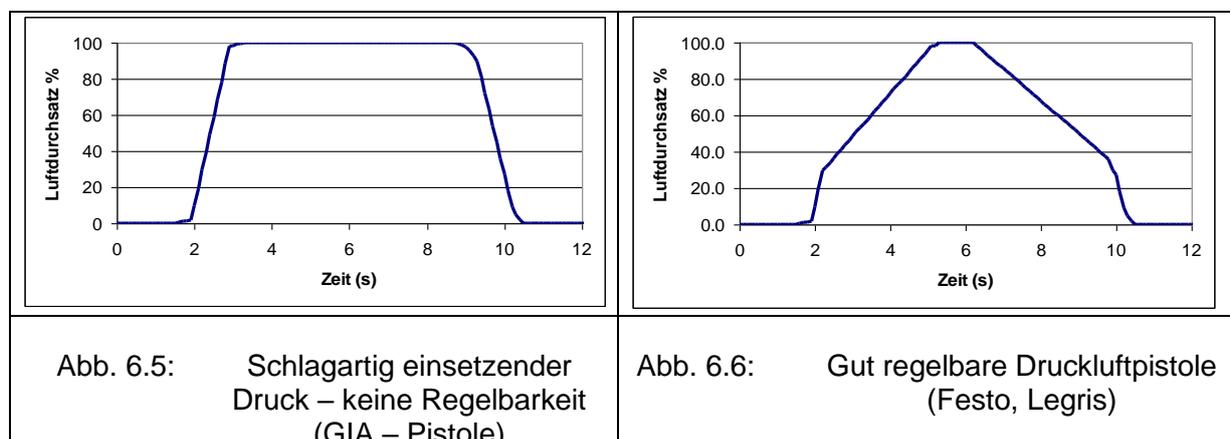
Druckluft wird in der Metallverarbeitung häufig und zu vielen Zwecken eingesetzt. Beispiele sind das Säubern, Fördern, Trocknen und Kühlen. Ist ein Werkstück etwas staubig, mit Metallspänen belegt oder sonst wie verschmutzt, dann ist der Griff zur Druckluftpistole meist der erste Versuch zur Problemlösung. Erst bei ausbleibendem oder nicht ausreichendem Erfolg wird der Griff zum Lappen, zur Bürste oder zu anderen mechanischen Hilfen in Erwägung gezogen. Dass jeder Stoß aus der Druckluftdüse im Unterschied zu allen anderen Methoden alle umliegenden Arbeitsplätze mit Lärm beaufschlagt, wird dabei nicht berücksichtigt.

Für die Zwecke der o. g. Funktionen wie Säubern, Fördern, Trocknen und Kühlen werden Druckluftdüsen eingesetzt, die mehr oder weniger für die betreffende Aufgabe ausgelegt sind. Sie können in die Maschine oder Anlage fest eingebaut und somit in die Konstruktion integriert sein oder über Druckluftpistolen manuell eingesetzt werden.

6.1.3.2 Druckluftpistolen

Bei Druckluftpistolen kann der Bearbeiter die Lärmentwicklung noch in gewisser Weise minimieren, wenn er sie nur solange betätigt und nur soviel Druck einstellt, wie zur Erfüllung der Aufgabe notwendig ist. Hierzu ist aber auch eine Pistole erforderlich, die dies ermöglicht. In /14/ ist deutlich aufgezeigt und nachgewiesen, dass bei manchen Pistolen eine „sanfte“ Regelung durch den Bearbeiter ausgeschlossen ist, weil der an der Düse anliegende Druck in Abhängigkeit vom Weg des Betätigungshebels gewissermaßen eine Sprungfunktion darstellt und somit nur der gesamte Leitungsdruck freigegeben oder abgeriegelt werden kann (Abb. 6.5).

Bei schalltechnisch vorteilhaften Druckluftpistolen ist aufgrund der beim Anziehen und Loslassen flacheren Weg-Druck-Charakteristik eine sanfte und gezielte Einstellung auf den erforderlichen Enddruck möglich. Die beiden Prinzipdarstellungen zeigen den zeitlichen Verlauf des Luftdurchsatzes bei langsamem Anziehen und Wiederloslassen des Betätigungshebels.



Als äußerst vorteilhaft hat sich in dieser o. g. Untersuchung die „Silvent Zweistufenpistole mit Kick down“ erwiesen. Sie eignet sich aufgrund ihrer Regelbarkeit auch für den Bereich der Feinwerktechnik.

6.1.3.3 Lärmarme Druckluftdüsen

Es sind schon zahlreiche Untersuchungen über Konstruktion, Geräuschentwicklung und Bewertung von Druckluftdüsen durchgeführt worden. Im Folgenden werden die in /14/ mitgeteilten Daten zugrunde gelegt, weil dies die neueste und damit im Hinblick auf die mitgeteilten Produktinformationen die wohl zutreffendste Datensammlung ist.

Im Rahmen der zugrundeliegenden Untersuchung ist mit einer Reihe von Düsen bei unterschiedlichen Leitungsdrücken die Auflageplatte einer Waage angeblasen und der dabei entstehende A-bewertete Schalldruckpegel im Abstand von 1 m gemessen worden. Durch die Systematik der Untersuchung können die Ergebnisse gut zueinander in Beziehung gesetzt und weitergehend ausgewertet werden.

Abb. 6.7 zeigt den Schalldruckpegel beim Anblasen der Waageplatte in 1 m Abstand für alle untersuchten Düsen bei einem Leitungsdruck von 6 bar, wobei bei einigen zwei unterschiedliche Querschnitte der Zuführungsleitungen einbezogen sind. Jeder Kombination Düse-Druckluftpistole-Zuleitung ist eine Nummer zugeordnet, wodurch die Identifizierung nach Tabelle 6.1 ermöglicht wird.

Abb. 6.7 zeigt, dass Unterschiede bis zu 40 dB bei gleichem Leitungsdruck vorkommen. Lässt man die Extremwerte weg, so bleiben immer noch Unterschiede von 20 dB.

Allerdings zeigt dies auch das Problem – das leiseste Gerät Nr. 46 ist die „lärmarme Dämpferdüse“, die bei diesem Leitungsdruck eine Blaskraft von 570 N ausübt, während es sich bei Nr. 29 und 30 um eine leistungsstarke Venturidüse mit einer Blaskraft von 2800 N handelt.

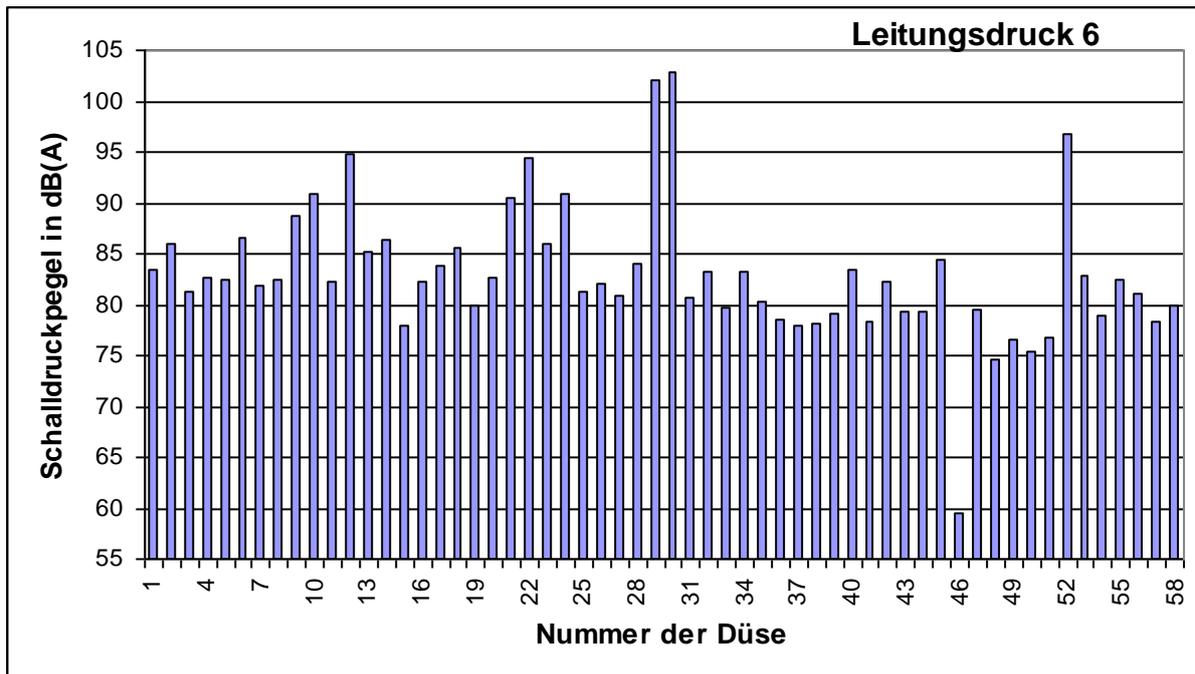


Abb. 6.7: Der Schallpegel in 1m Abstand beim Anblasen einer Platte mit eingestelltem Leitungsdruck von 6 bar (Datengrundlage aus /14/)

In der genannten Untersuchung /14/ ist deshalb eine sinnvolle Gruppierung erfolgt – es wird unterschieden zwischen

- Standardanwendung (wo die Arbeit mit handelsüblichen Einlochdüsen erledigt werden könnte, wenn diese ausreichend Blaskraft liefern, z. B. beim Reinhalten von Passflächen, Werkzeugen oder Werkzeugmaschinen, Fertigung von durchschnittlichen Produkten im Maschinenbau usw.)
- Flächenbearbeitung und Fördern von Teilen (z. B. Lackierereien und das Lenken von gefertigten Teilen beim Transport)
- Feinmechanik (z. B. Ausblasen von Sacklöchern, Abblasen von feinmechanischen teilen, porentiefes Reinigen von kleinen bis mittleren Flächen)
- Trocknung und Kühlung mit Hochleistung (z. B. Reinigen und Trockenblasen von Behältern nach dem Nassschleifen, Kühlen von Werkzeugen usw.).

Um einen realistischen Vergleich und einen Hinweis auf die durch sorgfältige Produktwahl realisierbare Lärminderung zu erhalten, wurden aus den veröffentlichten Daten jene ausgewählt bzw. interpoliert, die derselben Blaskraft entsprechen. Es werden für die o. g. vier Anwendungsgruppen die Düsen mit dem Schalldruckpegel dargestellt, der sich bei Erzielung einer Blaskraft von 2000 N ergeben hat. Der Schalldruckpegel wird als Funktion des Luftverbrauchs aufgetragen.

Es ist offensichtlich, dass eine Blasdüse umso effektiver ist, je geringer ihr Luftverbrauch und je niedriger der beim Anblasen erzeugte Schalldruckpegel ist.

Es sei allerdings darauf hingewiesen, dass auch dieser Vergleich nicht von eigenen Versuchen entbindet. So ist z. B. dieselbe Blaskraft - ausgeübt auf die Auflageplatte einer Waage – noch nicht ausreichend zur abschließenden Beurteilung. Auch wenn zwei Düsen denselben Schalldruckpegel erzeugen und dieselbe Kraft ausüben, die eine aber eine Runddüse mit konzentriertem Strahl und die andere eine Flachdüse mit breitem Strahl ist, so wird zum Ausblasen von Sacklöchern wohl sicher der ersten der Vorzug gegeben werden.

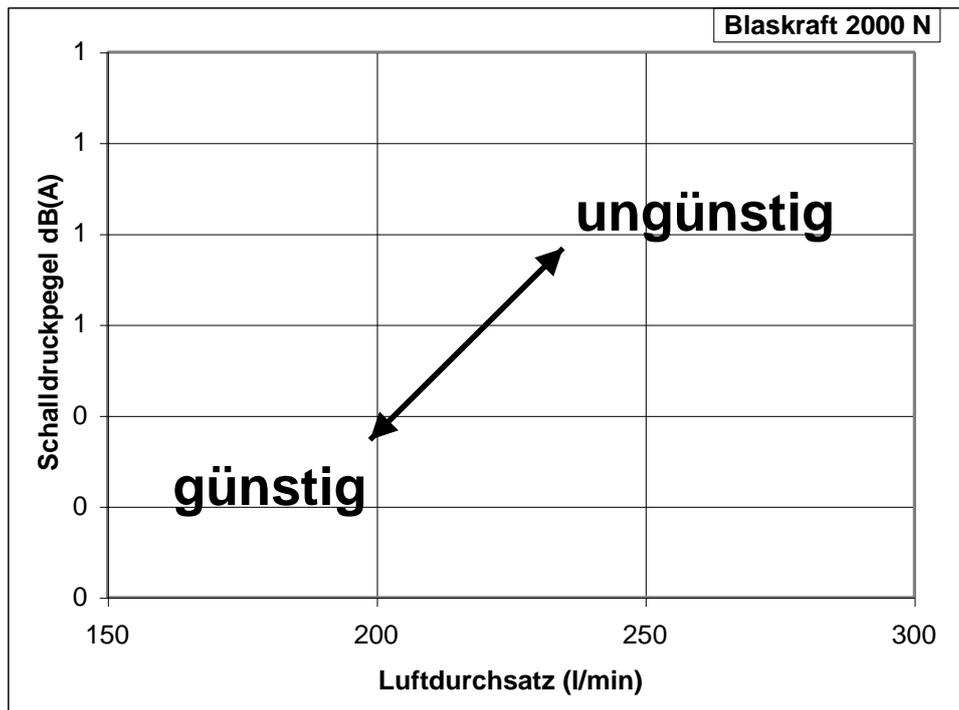


Abb. 6.8: Der Vergleich unterschiedlicher Düsen unter Zugrundelegung gleicher Blaskraft

Tab. 6.1: Die in /14/ untersuchten und im Folgenden vergleichend bewerteten lärmarmen Druckluftdüsen – die Nummern korrespondieren mit jenen in den Abbildungen.

Nr.	Düse	Pistole	Außen-/Innendm. Schlauch	Nr.	Düse	Pistole	Außen-/Innendm. Schlauch
1	Standard Einlochdüse, 1,6 mm Bohrung	GIA Alupistole	8 mm / 5,4 mm	30	"	"	10 mm / 6,5 mm
2	"	"	10 mm / 6,5 mm	31	Lärmarme Runddüse GIA 801 Messing	GIA 887	8 mm / 5,4 mm
3	Festo Einlochdüse, Standard, Alu	Festo Luftsparpistole LSP-1/4-C	8 mm / 5,4 mm	32	"	"	10 mm / 6,5 mm
4	"	"	10 mm / 6,5 mm	33	SILVENT Mehrlochdüse, Serie 200	Legris 0652	8 mm / 5,4 mm
5	Legris Rohrdüse "Safety", Länge ca. 40 mm, Bohrung ca. 3,5 mm	Legris 0654	8 mm / 5,4 mm	34	"	"	10 mm / 6,5 mm
6	"	"	10 mm / 6,5 mm	35	Silvent Nutdüse Mini mit 6 Nuten, Knoth K 4.4-2145	Legris 0652	8 mm / 5,4 mm
7	Silvent Mikrodüse, Serie MJ5, Knoth Mikrodüse 3mm	Sicherheitspistole Serie 007	8 mm / 5,4 mm	36	Silvent Standard Flachdüse Serie 920	Legris 0652	8 mm / 5,4 mm
8	"	"	10 mm / 6,5 mm	37	ELRING lärmarme Runddüse, blau	Legris 0652	8 mm / 5,4 mm
9	069C Mantelstrom Sicherheitsdüse, Bohrung 3 mm	Legris 0652	8 mm / 5,4 mm	38	ELRING Flachstrahldüse	Legris 0652	8 mm / 5,4 mm
10	"	"	10 mm / 6,5 mm	39	Mehrröhrchen Runddüse	Legris 0652	8 mm / 5,4 mm
11	Standard Einlochdüse, Bohrung 2,9mm	Legris 0652	8 mm / 5,4 mm	40	Lärmarme Runddüse 986, Aluminium	GIA 887	8 mm / 5,4 mm
12	"	"	10 mm / 6,5 mm	41	ELRING lärmarme Runddüse, Metall	Legris 0652	8 mm / 5,4 mm
13	Silvent Mikrodüse, Serie MJ6, Knoth Mikrodüse 4mm	Sicherheitspistole Serie 007	8 mm / 5,4 mm	42	Lärmarme Flachdüse 809 D	GIA 887	8 mm / 5,4 mm
14	"	"	10 mm / 6,5 mm	43	GIA 823 Alu Flachdüse	GIA 887	8 mm / 5,4 mm
15	Festo LPZ-SD Sicherheitsdüse	Festo Luftsparpistole LSP-1/4-C	8 mm / 5,4 mm	44	GIA 823 Alu Flachdüse	GIA 887	10 mm / 6,5 mm
16	"	"	10 mm / 6,5 mm	45	Festo LPZ-RB-150 Rohr, gekrümmt	Festo Luftsparpistole LSP-1/4-C	8 mm / 5,4 mm
17	Silvent Nutdüse, Serie 007, Knoth K 2200	Sicherheitspistole Serie 007	8 mm / 5,4 mm	46	Lärmarme Dämpferdüse Serie 885	GIA 887	8 mm / 5,4 mm
18	"	"	10 mm / 6,5 mm	47	Silvent Mikrodüse, Serie MJ4, Knoth Mikrodüse 2mm	Sicherheitspistole Serie 007	8 mm / 5,4 mm
19	Silvent Schlitzdüse Serie 5, Knoth K 4-4-2005	Legris 065	8 mm / 5,4 mm	48	Legris 069K mit Coanda Effekt	Legris 0652	8 mm / 5,4 mm
20	"	"	10 mm / 6,5 mm	49	5131 S, Kugeldüse	5131 S	8 mm / 5,4 mm
21	Legris 069 abgewinkeltes Blasrohr, Bohrung 2,5mm	Legris 0652	8 mm / 5,4 mm	50	Insul Dämpferdüse klein	Legris 0652	8 mm / 5,4 mm
22	"	"	10 mm / 6,5 mm	51	Insul Dämpferdüse groß	Legris 0652	8 mm / 5,4 mm
23	Lärmarme Runddüse 808 d	GIA 887	8 mm / 5,4 mm	52	Blasrohr mit 4mm Bohrung	5131 S demontiert	8 mm / 5,4 mm
24	"	"	10 mm / 6,5 mm	53	Lärmarme Flachdüse 842	GIA 887	8 mm / 5,4 mm
25	Lärmarme Runddüse, Aluminium	GIA 887	8 mm / 5,4 mm	54	Lärmarme Flachdüse 843b	GIA 887	8 mm / 5,4 mm
26	"	"	10 mm / 6,5 mm	55	Lärmarme Runddüse 987 A	GIA 887	8 mm / 5,4 mm
27	Silvent Flachdüse Serie 921	Legris 0652	8 mm / 5,4 mm	56	Silvent Nutdüse Midi mit 15 Nuten, Knoth K 4.4-2160	Legris 0652	8 mm / 5,4 mm
28	"	"	10 mm / 6,5 mm	57	Silvent Nutdüse Midi mit 9 Nuten, Knoth K 4.4-2155	Legris 0652	8 mm / 5,4 mm
29	Legris 069M Venturi-Düse, Bohrung 2,5mm	Legris 0652	8 mm / 5,4 mm	58	Silvent Nutdüse Midi mit 4 Nuten, Knoth 4.4-2150	Legris 0652	8 mm / 5,4 mm

Gruppe 1 - Standardanwendung

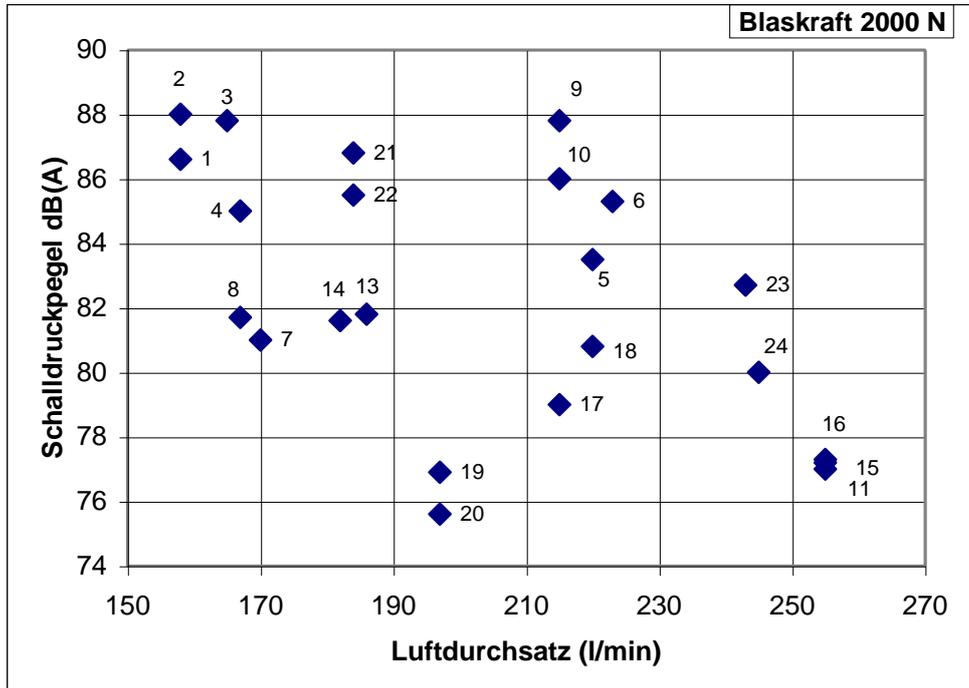


Abb. 6.9: Der Schalldruckpegel beim Anblasen der Platte mit gleicher Blaskraft in Abhängigkeit vom Luftdurchsatz – die Düsen der Gruppe 1 (Standardanwendung)

Gruppe 2 - Flächenbearbeitung und Fördern von Teilen

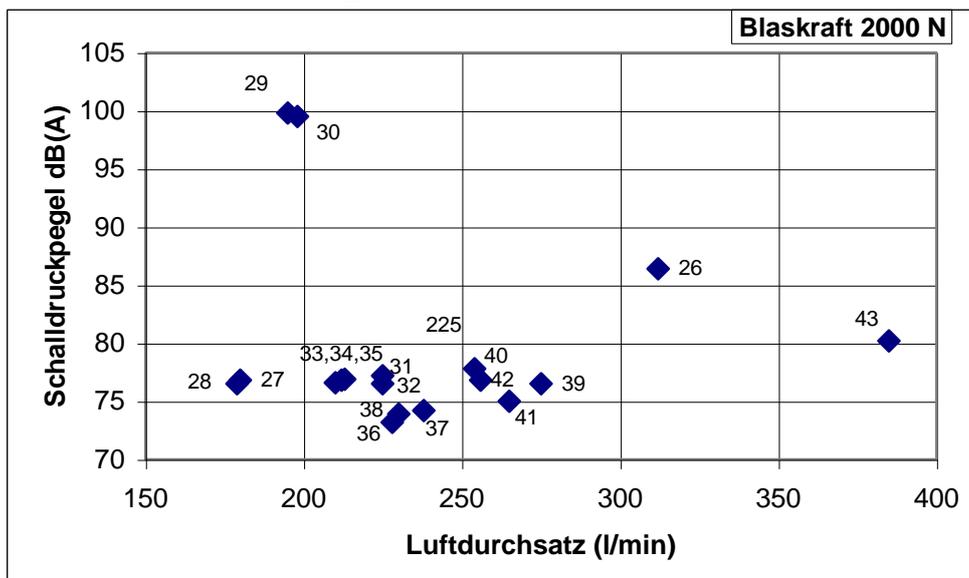


Abb. 6.10: Der Schalldruckpegel beim Anblasen der Platte mit gleicher Blaskraft in Abhängigkeit vom Luftdurchsatz – die Düsen der Gruppe 2 (Flächenbearbeitung und Fördern von Teilen)

Gruppe 3 – Feinmechanik

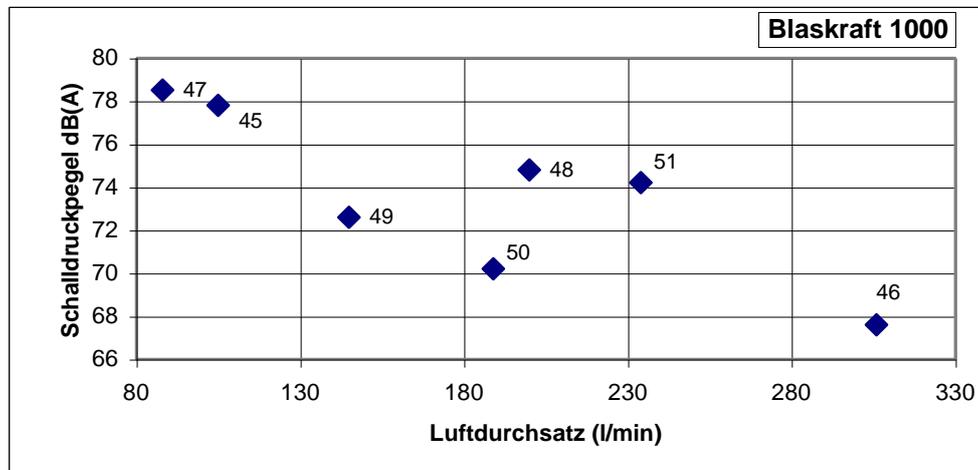


Abb. 6.11: Der Schalldruckpegel beim Anblasen der Platte mit gleicher Blaskraft in Abhängigkeit vom Luftdurchsatz – die Düsen der Gruppe 3 (Feinmechanik)

Gruppe 4 - Trocknung und Kühlung mit Hochleistung

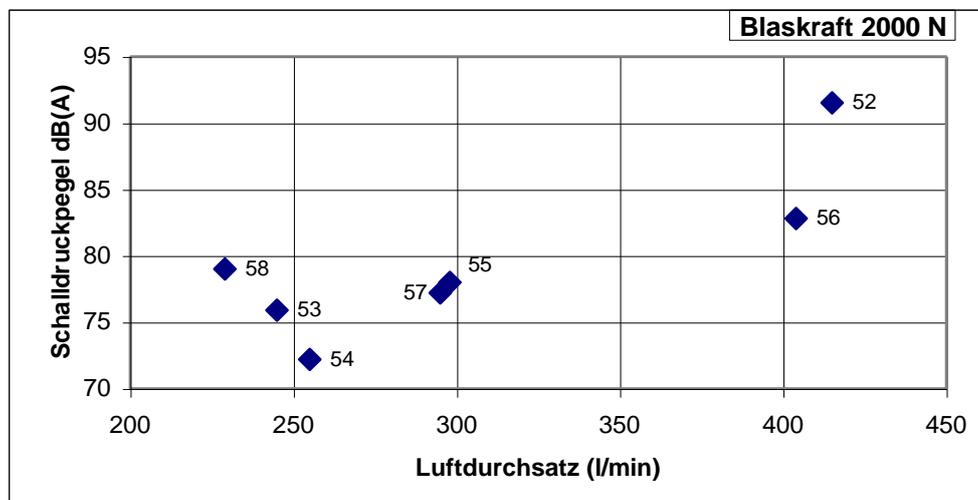


Abb. 6.12: Der Schalldruckpegel beim Anblasen der Platte mit gleicher Blaskraft in Abhängigkeit vom Luftdurchsatz – die Düsen der Gruppe 3 (Feinmechanik)

Diese Darstellungen zeigen, dass die Düsen bzw. die Pressluftpistolen mit eingesetzten Düsen doch erheblich unterschiedliche Geräuschemissionen aufweisen. Eine um 10 dB bis 20 dB geringere Lärmentwicklung scheint bei einer gezielten Auswahl durchaus erreichbar.

Zum Abschluss dieses Abschnitts sei nochmals auf die zugrunde liegende Originalveröffentlichung /14/ hingewiesen. Sie enthält viele in dieser Zusammenfassung und

Auswertung nicht erwähnten zusätzlichen Hinweise zur Messung und richtigen Auswahl lärmgünstiger Druckluftdüsen.

6.1.4 Geräuscherzeugung und Minderung bei der Entspannung von Druckluft

Wie in Abschnitt 6.1.1 erläutert, führt die ungehinderte Entspannung von Druckluft ins Freie zu einer mit der 8. Potenz der Geschwindigkeit anwachsenden Schallleistung.

Abblasung von Druckluft erfolgt in Betrieben der Metallbearbeitung vielerorts. Soll mit dem Luftstrahl eine Funktion ausgeübt werden wie z. B. Fördern, Umlenken, Reinigen, Trocknen oder Kühlen, so kann eine Pegelminderung durch Auswahl einer auf diesen Zweck zugeschnittenen lärmarmen Düse erreicht werden.

Anders verhält es sich beim bloßen Entspannen von Druckluft nach erfolgter Nutzung im technischen Prozess, wie dies z.B. bei der Abblaseleitung eines pneumatischen Zylinders bzw. bei Druckluftwerkzeugen der Fall ist.

Da diese abzublasende Luft keine Funktion zu erfüllen hat, ist die Veränderung der technischen Parameter des Freistrahls unproblematisch.

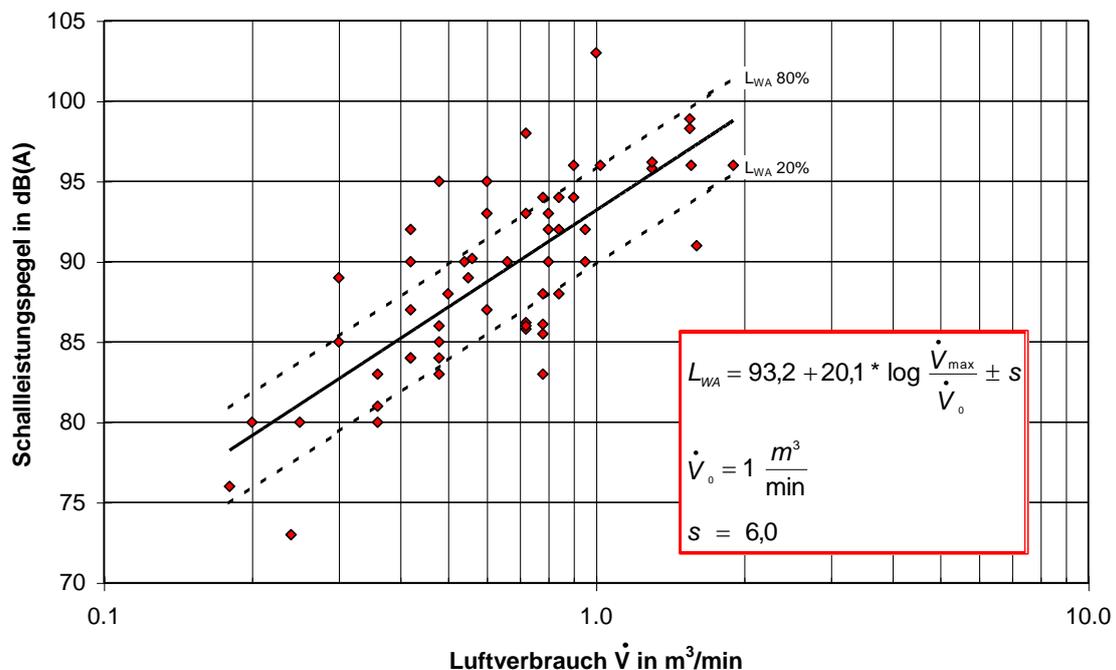
Die einfachste Methode besteht darin, die Ausblasöffnung mit einem sog. Drosselschalldämpfer zu versehen. Es handelt sich in der Regel um eine Kammer, deren Wand aus porösem luftdurchlässigen Material mit einem für die Anwendung optimierten Strömungswiderstand besteht und die von der „abzubremsenden“ Luftmasse durchströmt werden muss. Die äußere Oberfläche des Drosselschalldämpfers ist wesentlich größer als der Austrittsquerschnitt der Abblaseleitung, wodurch die Luftgeschwindigkeit und damit der bei der Vermischung mit der Umgebungsluft erzeugte Schall entsprechend reduziert ist.

Der Drosselschalldämpfer erhöht allerdings den Strömungswiderstand und verlängert damit die zur Entspannung der Luft erforderliche Zeit. Dies kann in besonderen Fällen – z.B. bei pneumatischen Zylindern an Schnellläuferpressen – die Wahl speziell dimensionierter Drosselschalldämpfer mit minimiertem Strömungswiderstand erforderlich machen. In der Regel findet sich aber in dem breiten von der Industrie angebotenen Sortiment ein geeigneter Schalldämpfer für jede Anforderung.

6.2 Lärmarme Schleifscheiben

Das Schleifen von Metall ist eine wesentliche Geräuschquelle in der Metallbearbeitung. Leider hat sich die Richtlinienarbeit im Rahmen der Reihe ETS (Emission Technischer Schallquellen) auf die Geräuschemission der zum Schleifen verwendeten Maschinen beschränkt und die in der Regel höhere Emission durch den Schleifvorgang selbst ausgeklammert.

So zeigt Abb. 6.13 entsprechend VDI-Richtlinie 3749 Blatt 5 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** die Schalleistungspegel von pneumatischen Handschleifmaschinen, wobei diese Werte entsprechend der genannten Richtlinie im Leerlauf der Maschinen ermittelt worden sind. Die Werte betragen je nach Leistung und sicher auch abhängig von der Bauart zwischen 75 dB(A) und 100 dB(A).



- ◆ Geräuschemissionen in Abhängigkeit vom Luftverbrauch auf der Basis von Herstellerangaben.
- Regressionsgerade
- Obere Bereichsabgrenzung für 20 % bzw. 80 % Summenhäufigkeit.

Abb. 6.13: Schalleistungspegel von handgeführten pneumatischen Schleifmaschinen

Wie die Tabelle 4.4 zeigt, wurden im praktischen Betrieb beim Schruppschleifen Schalleistungspegel von 101 dB(A) bis 109 dB(A) festgestellt – damit ist nachgewiesen, dass der Schleifvorgang bzw. die Wechselwirkung Schleifscheibe – Werkstück den dominierenden Anteil der abgestrahlten Schalleistung verursacht.

Leider ist es extrem schwierig, verlässliche Emissionsdaten für den Schleifvorgang selbst zu gewinnen. Das Schleifen von schwingfähigen Hohlkörpern aus Blech mit großer Oberfläche verursacht selbstverständlich höhere Emissionen als die entsprechende Bearbeitung von relativ kleinen, massiven Werkstücken.

Es ist schon seit langem bekannt, dass durch einen verbesserten Aufbau der Schleifscheiben eine Pegelminderung erzielt werden kann. So wurden speziell aus Gründen der Lärminderung sogenannte Verbund-Schleifscheiben entwickelt, bei denen durch eine dämpfende Zwischenschicht zwischen den äußeren Schleifblättern die beim Schleifvorgang erzeugte Körperschalleistung absorbiert bzw. vermindert wird.

Leider haben sich diese Scheiben trotz der nachgewiesenen geringeren Schallemission (Pegelminderungen zwischen 3 und 12 dB) nicht bewährt – sie sind in den letzten Jahren praktisch vom Markt verschwunden. Als Gründe werden geringere Abtragleistungen, kürzere Standzeiten, Geruchsbelästigungen beim Schleifen und höhere Kosten angegeben.

Mit umfassenden Untersuchungen zum Thema /15/ wurden unterschiedliche Schleifscheibenarten im Hinblick auf die beim Schleifen unter vergleichbaren Bedingungen erzeugte Schalleistung verglichen.

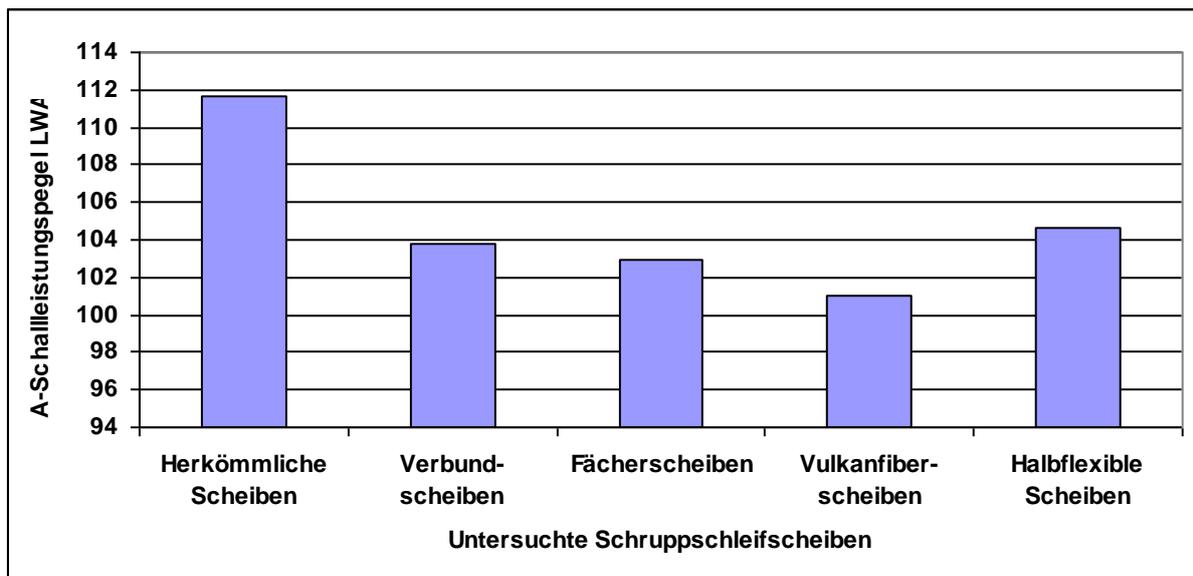


Abb. 6.14: Vergleichende Untersuchung unterschiedlicher Schleifscheiben

Aus diesen Untersuchungen kann bei Berücksichtigung aller Faktoren für das Schrupschleifen von Metall die Verwendung von Fächerscheiben und Vulkanfiberscheiben als bester Kompromiss empfohlen werden, wenn es mehr um Oberflächenbehandlung als um „harte“ Schrupparbeiten geht. Speziell Vulkanfiberscheiben sind für letztgenannten Einsatz ungeeignet, weil sie bei Dauereinsatz unter höherer Last über mehrere Minuten sehr schnell verbrennen.

Fächer- und Vulkanfiberscheiben ergeben im Prüfstand um bis zu 10 dB geringere Emissionswerte als vergleichbare herkömmliche Scheiben – wenn ihr Einsatz möglich ist, kann die Umstellung auf diesen Scheibentyp erheblich zur Lärminderung beitragen.

6.3 Rückschlagfreie Hämmer

Wie in mehreren Untersuchungen (siehe u. a. /16/) festgestellt worden ist, können speziell in blechverarbeitenden Betrieben durch Ersatz üblicher Stahlhämmer durch rückschlagfreie Schonhämmer erhebliche Lärminderungseffekte erzielt werden.



Abb. 6.15: Schonhammer mit Schrotkugelfüllung

Der Schonhammerkopf besteht aus Kunststoff, Gummi, Holz oder Weichmetall. In einer Kammer im Hammerkopf befindet sich eine frei bewegliche Schrotkugelfüllung. Beim Beschleunigen des Hammers befindet sich die Schrotkugelfüllung im hinteren Teil der Kammer. Beim Aufschlag bewegt sie sich nach vorne und schlägt zeitlich gegen den Hammerkopf verzögert vorne auf. Dies führt zu einer der Rückprallkraft des Hammers entgegengerichteten Kraft, die ein Rückspringen des Hammers verhindert.

Der Zeitverlauf der auf das Werkstück einwirkenden Kraft bei Verwendung üblicher Stahlhämmer und rückschlagfreier Schonhämmer unterscheidet sich – während sich beim Stahlhammer eine hohe Kraftspitze aufbaut, die schnell wieder abklingt, ist dieser Kraftverlauf beim Schonhammer zeitlich gedehnt. Die maximalen Kräfte sind beim Schonhammer geringer als beim Stahlhammer.

Bei den in /16/ beschriebenen Untersuchungen ist festgestellt worden, dass der Stahlhammer in über 95 % aller Fälle durch den Kunststoffhammer in rückschlagfreier Ausführung ersetzt werden kann. Dies erforderte in dem untersuchten Betrieb zwar eine gewisse Umstellungs- und Gewöhnungszeit, ergab aber letztlich eine Minderung der Beurteilungspegel um etwa 3 dB. Der Schonhammer erwies sich bei der Fein- und Dünoblechbearbeitung und selbst im Bereich der Grobblechverarbeitung als geeignete und schalltechnisch vorteilhafte Alternative zum üblichen Stahlhammer.

7 Minderung der Schallausbreitung durch Kapselung, Teilkapselung

Konstruktive Lärminderungsmaßnahmen können in der Regel nur von der Herstellerfirma im Zuge der Entwicklung einer Maschine geplant und dann bei der Produktion realisiert werden.

Soll die Geräuschemission einer fertig konstruierten oder sogar schon hergestellten und in Betrieb befindlichen Maschine gemindert werden, so ist dies mit Hilfe von Kapselungen möglich. Maschinenkapseln sollten vom Hersteller immer dann zumindest als Alternative zu einer Maschine mit angeboten werden, wenn sie aufgrund ihrer Emission an Arbeitsplätzen zu Beurteilungspegeln über 80 dB(A) führen kann. Befinden sich mehrere Maschinen im Raum, so ist deren Pegelanteil dabei zu berücksichtigen.

Abb. 7.1 zeigt eine typische Maschinenkapsel an einer Stanzmaschine, mit der Statorbleche für Elektromotoren hergestellt werden.



Abb. 7.1: Begehbare Maschinenkapsel für eine Stanzmaschine

Im einfachsten Fall reicht entsprechend Abb. 7.1 ein allseitig umschließender Kasten aus 1 bis 1,5 mm Stahlblech, in den innen 50 - 100 mm dicker offenzelliger Schaumstoff oder eine entsprechende Mineralfasermatte eingeklebt ist. Besteht die Gefahr der Verunreinigung oder Beschädigung des Absorptionsmaterials, so sollte es kapselinnenseitig noch durch locker gelegte, ca. 20 µm dicke PVC-Folie und durch Lochblech mit einem Lochanteil von ca. 25 % abgedeckt sein. Die Verbindung zum Fußboden sowie zu ggf. erforderlichen Durchführungen sollte über auf den Blechrand aufschiebbar Dichtungsprofile - erhältlich im Fachhandel - erfolgen.

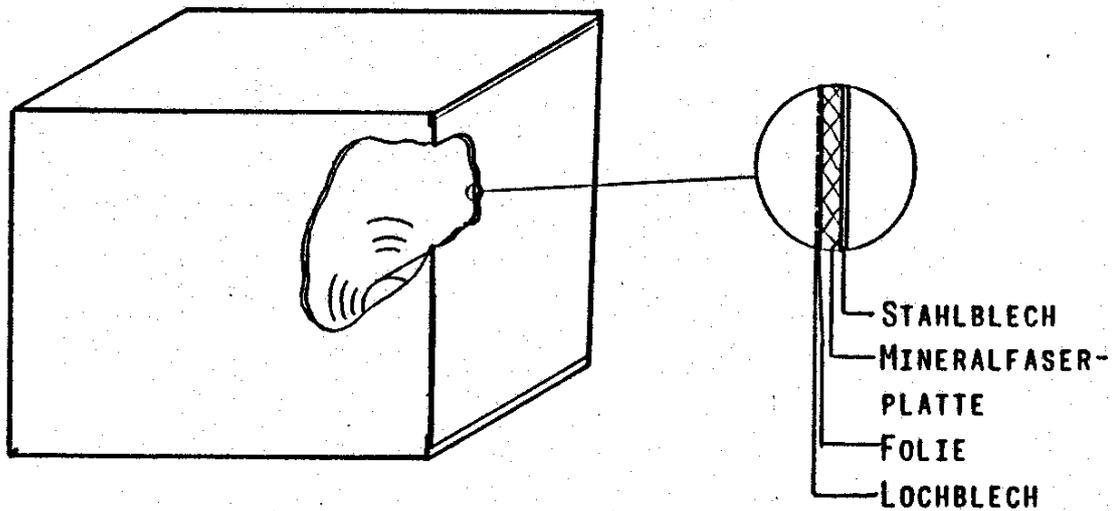


Abb. 7.2: Prinzipaufbau einer Kapsel

Die Schichten der Kapselwand im Einzelnen:

eine die Schallquelle umschließende schalldämmende Außenhaut (z. B. 1,5 mm Stahlblech),

eine innen (maschinenseitig) aufgebrachte Schicht von schallabsorbierendem Material (z. B. offenporiger schallschluckender Schaumstoff) zur Absorption der von der Maschine abgestrahlten Schalleistung,

eine innenseitig auf dem Absorbermaterial aufliegende schalltransparente Abdeckung zum Schutz vor Eindringen von Feuchtigkeit, Öl oder Staub in die Absorberschicht (z.B. 20 µm dicke Polyäthylenfolie)

eine innenseitige schalltransparente Deckschicht zum Schutz der Absorptionsschicht vor mechanischer Beschädigung (z. B. 1 mm dickes Lochblech mit einem Lochanteil > 25 %)

Die Schallabsorption innerhalb der Kapsel ist unbedingt erforderlich – andernfalls würde der Schallpegel in der Kapsel aufgrund der nicht abgeführten Schalleistung solange ansteigen, bis wieder der gesamte produzierte Schall nach außen abgestrahlt wird – der Pegel in der Kapsel ist dann um das Schalldämm-Maß der Kapselwand erhöht.

Die völlige Umhausung ist in vielen Fällen nicht möglich, weil die innen entstehende Wärme über entsprechende Lüftungsöffnungen abgeführt werden muss und auch aufgrund häufig erforderlicher Materialzu- und -abführungen.

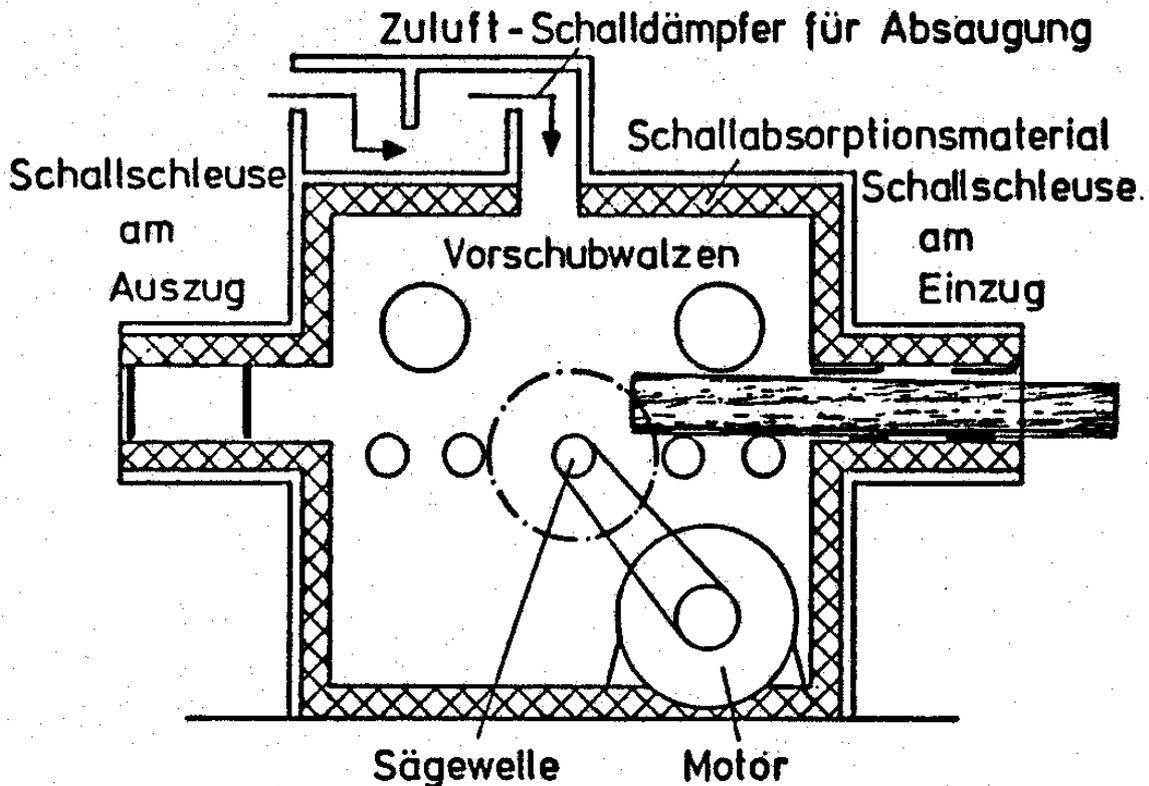


Abb. 7.3: Prinzipdarstellung einer Kapsel mit Öffnungen für Luft- und Materialzufuhr

Abb. 7.3 zeigt als Prinzipdarstellung den Aufbau einer Kapsel für eine Vielblattkreissägemaschine in der Holzbearbeitung (für Kapseln in der Metallverarbeitung gilt dasselbe). Derartige Kapseln mit Öffnungen zum Materialdurchlauf und mit Lüftungs- und Absaugöffnungen, die den bedarfsweisen Zugriff zur Maschine durch entsprechende Klappen, Türen sowie die Überwachung durch Sichtfenster ermöglichen, sind bereits recht kompliziert und können nur in enger Zusammenarbeit zwischen dem mit der Maschine vertrauten Auftraggeber und einem mit Kapseln erfahrenen Fachunternehmen entwickelt werden. Im Kern der Sache wäre eine derartige Entwicklung Sache des Maschinenherstellers, da im anderen Fall jeder Maschinenkäufer diese Entwicklung aufs neue betreiben - und bezahlen - muss. Es ist meist ein Indiz dafür, dass die bereits genannten Prinzipien der lärmbewussten Beschaffungspolitik vernachlässigt worden sind, wenn sich ein Maschinenbetreiber mit der Entwicklung von komplizierten und maschinentypspezifischen Kapseln befassen muss.

Verantwortungsbewusste Hersteller, denen ein den gesetzlichen Anforderungen entsprechender Betrieb ihrer Maschinen wichtig ist, bieten derartige genau auf diese Maschine abgestimmte Kapseln als zusätzliches „Schallschutzpaket“ an, so dass den Lärmspezifikationen der Maschinenkäufer auch dann entsprochen werden kann, wenn der jeweilige Entwicklungsstand noch keine konstruktiv sichergestellte niedrige Geräuschemission zulässt.

Durch allseitig geschlossene und fachgerecht konstruierte und hergestellte Maschinenkapseln kann die Geräuschemission problemlos um 20 bis 30 dB gemindert werden. Ist die Kapsel mit offenem Dach ausgeführt, so werden bei absorbierender Hallendecke immer noch Pegelminderungen um ca. 10 bis 15 dB(A) erreicht. Bei reflektierender Hallendecke werden in der Regel nur unmittelbar neben der Außenwand Pegelminderungen von 5 bis 10 dB erreicht – in entfernteren Hallenbereichen beträgt diese Minderung dann nur noch 0 bis 5 dB.

8 Minderung der Schallausbreitung durch Absorption und Abschirmung

Durch schallabsorbierende Verkleidung der Begrenzungsflächen eines Raumes wird erreicht, dass der Schallpegel bei Vergrößerung des Abstands Quelle-Immissionsort stärker absinkt. Dadurch tragen die Quellen in einem Raum weniger zum Schallpegel an einem betrachteten Arbeitsplatz bei und es ergibt sich eine entsprechende Schallpegelminderung. In akustischer Hinsicht ergeben sich schalltechnisch günstigere Kennwerte DL_f und DL_2 – dies führt dann bei der Berechnung nach VDI 3760 zu einer geringeren Lärmbelastung an den Arbeitsplätzen.

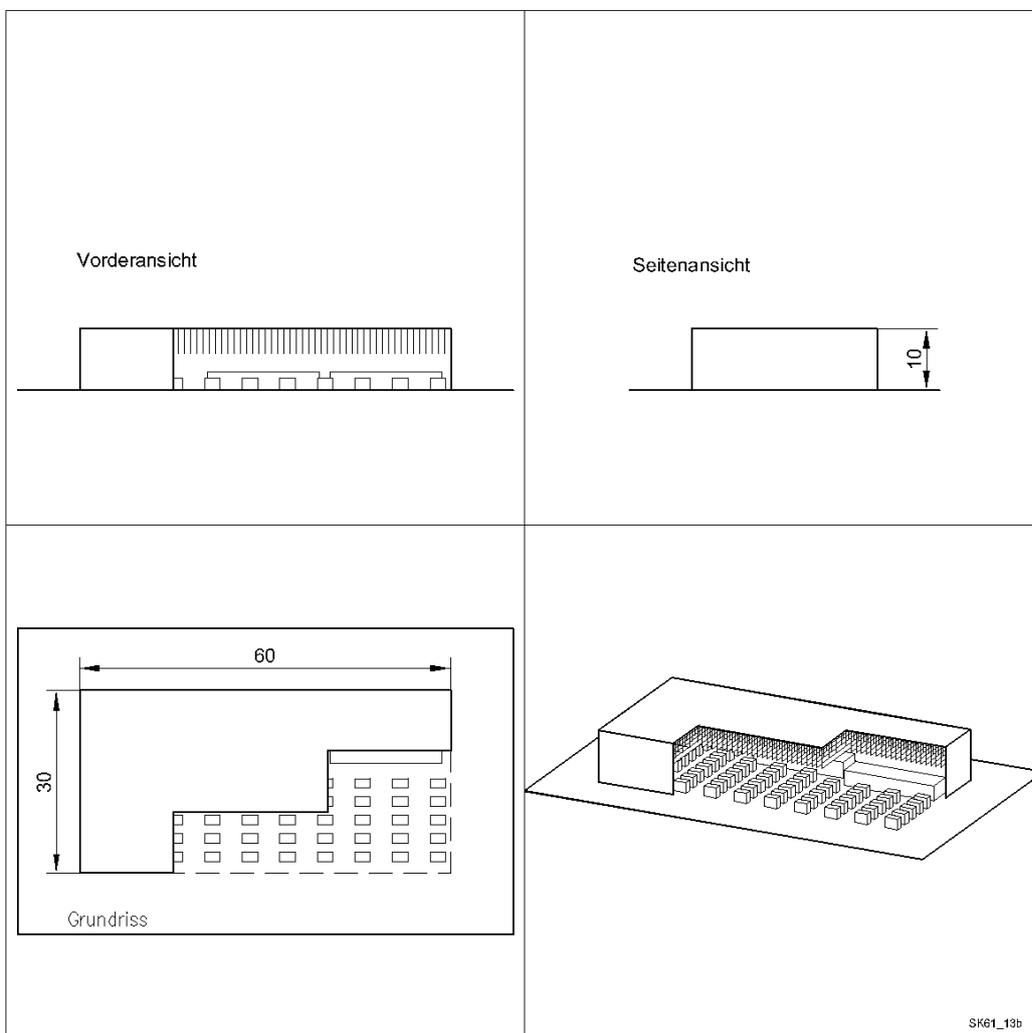


Abb. 8.1: Produktionshalle

Als Beispiel sei die in Abb. 8.1 dargestellte Produktionshalle mit ca. 100 Maschinen betrachtet.

Es wurde die Schallausbreitungskurve SAK sowohl mit wie auch ohne schallabsorbierende Decke berechnet. Wie die beiden Ausbreitungskurven in Abb. 8.2 zeigen, verbessert sich die Situation nach Einbau der Akustikdecke erheblich.

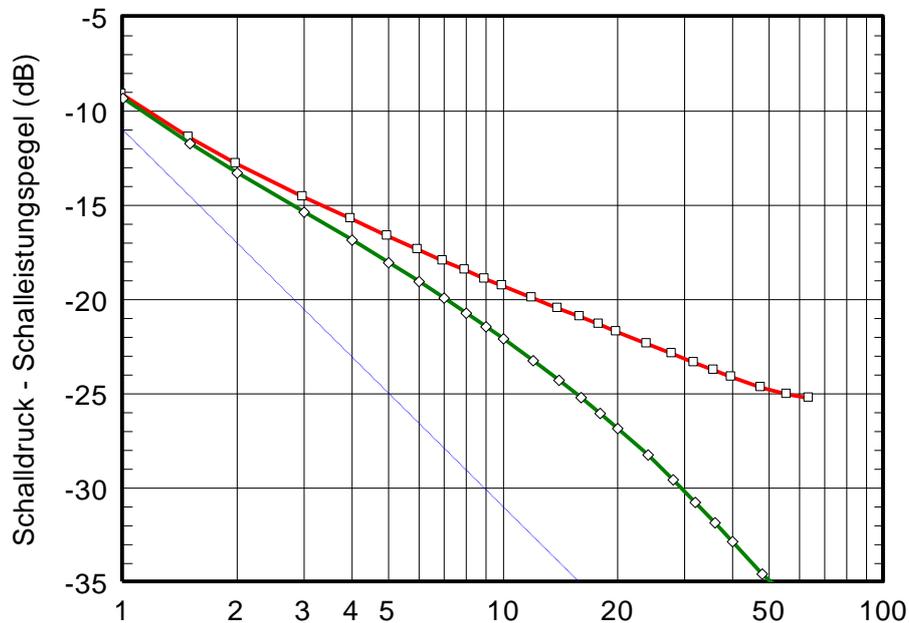


Abb. 8.2: Obere Kurve ohne Akustikdecke – $DL_f = 11.2$ dB, $DL_2 = 2.6$ dB
 Untere Kurve mit Akustikdecke – $DL_f = 8.6$ dB, $DL_2 = 4.3$ dB

In Betrieben der Metallverarbeitung ist insbesondere die Kombination von abschirmenden und absorbierenden Maßnahmen von Interesse.

In der Regel ist in diesen Bereichen die komplett geschlossene Umhausung nicht erwünscht, weil sie von oben mit dem Hallenkran erreicht werden müssen. In diesen Fällen ist es zweckmäßig, geräuschintensive Maschinen und Bereiche mit schallabsorbierenden Wänden voneinander akustisch zu entkoppeln. Allerdings kann die Wirkung dieser schallabsorbierenden Unterteilung sich nur voll entfalten, wenn auch die Hallendecke – über dem Kran – schallabsorbierend verkleidet ist.

Als Beispiel sei ein Betrieb zur Herstellung von Elektromotoren genannt, der schon 1987 in einer Untersuchung als Beispiel eines metallverarbeitenden Betriebs einbezogen worden war /17/ (Kap. 7.2). Abb. 8.3 zeigt ein Layout des Betriebs 1988, und Tab. 8.1 enthält die damals ermittelten Geräuschemissionswerte der in diesem Raum betriebenen Maschinen.

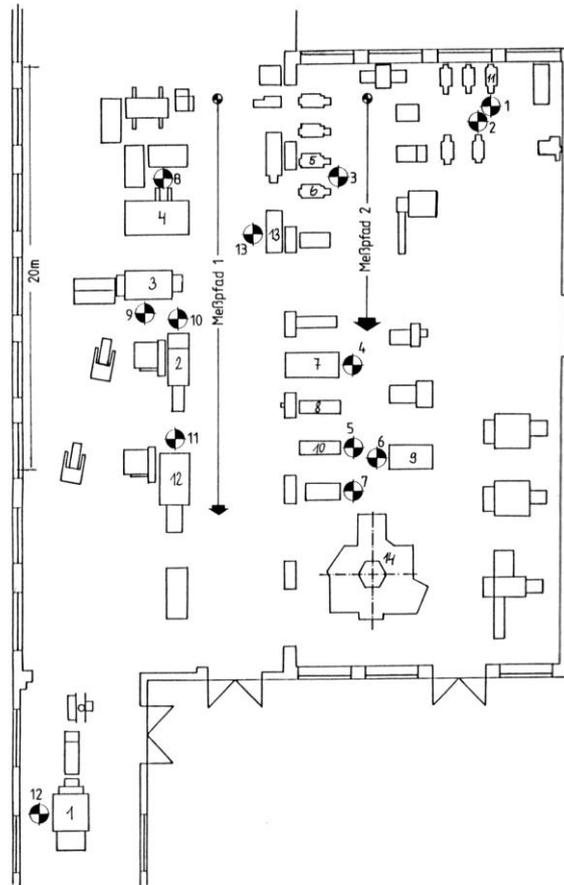


Abb. 8.3: Stanzerei aus der Untersuchung 1987 /17/, Kap.7.2 mit Umformmaschinen

Tab. 8.1: Emissionswerte der Maschinen in der Stanzerei – Stand 1987

Quelle Nr.	Maschinenart	Blechdicke (mm)	F _{max} (KN)	F _N (KN)	Hubzahl (min ⁻¹)	Max. Hubz. (min ⁻¹)	L _{WA} dB	L _{pA} dB	ΔL _I dB
1	Mech. Exzenterpresse (E.)	0,65	1000	1250	260	320	115,4	101,1	4,1
2	Mech. Ep.	0,5	8,5	-	37	-	112,0	98,1	9,8
3	Mech. Ep.	0,5	700	1250	88	180	111,7	97,5	8,7
4	Schlag-schere	0,5	-	-	-	-	101,8	88,0	6,1
5	Mech. Ep. Nutenstanze	0,5	9,5	-	175	-	99,7	90,8	3,6
6	Mech. Ep.	0,5	9,6	-	175	-	99,7	90,8	3,6
7	Mech. Ep. Nutenstanze	1,5	5,8	160	280	1100	102,5	89,1	3,9
8	Mech. Ep. Nutenstanze	0,5	12,8	100	420	-	102,5	90,0	3,0
9	Mech. Ep.	0,5	200	1500	Einzelhub 7	55	96,3	82,8	7,0
10	Nutenstanze	0,5	10	85	375	750	90,2	77,9	4,9
11	Nutenstanze	0,5	6,4	40	150	845	99,7	87,4	2,9
12	Ep.	0,5	654	1000	34	50	110,5	96,3	7,4
13	Ep.	0,5	12,8	-	320	400	98,8	86,4	5,0
14	Nutenstanze autom. gekap.	0,5	-	-	900	1100	101,8	86,2	< 3,0

Obwohl sich die Geräuschemission der Schnellläufer-Stanzmaschinen, mit denen die Rotor- und Statorbleche der Elektromotoren hergestellt werden, praktisch kaum verändert hat, ist die gesamte Betriebssituation in schalltechnischer Hinsicht entschieden günstiger. Wie das jetzige Layout Abb. 8.4 zeigt, sind mit Trennwänden einzelne „Kabinette“ geschaffen worden. Diese bestehen aus schallabsorbierenden Paneelen, wie sie auch für Maschinenkapseln verwendet werden (Abb. 7.2). Sie erstrecken sich jedoch nur bis zu einer Höhe von ca. 3 m und bilden so einzelne Kabinen ohne Dach. Die Zugänglichkeit durch den Hallenkran bleibt so gewährleistet und dennoch ergibt sich eine Verringerung der Schallübertragung aus einem in den anderen Bereich von ca. 10 dB.

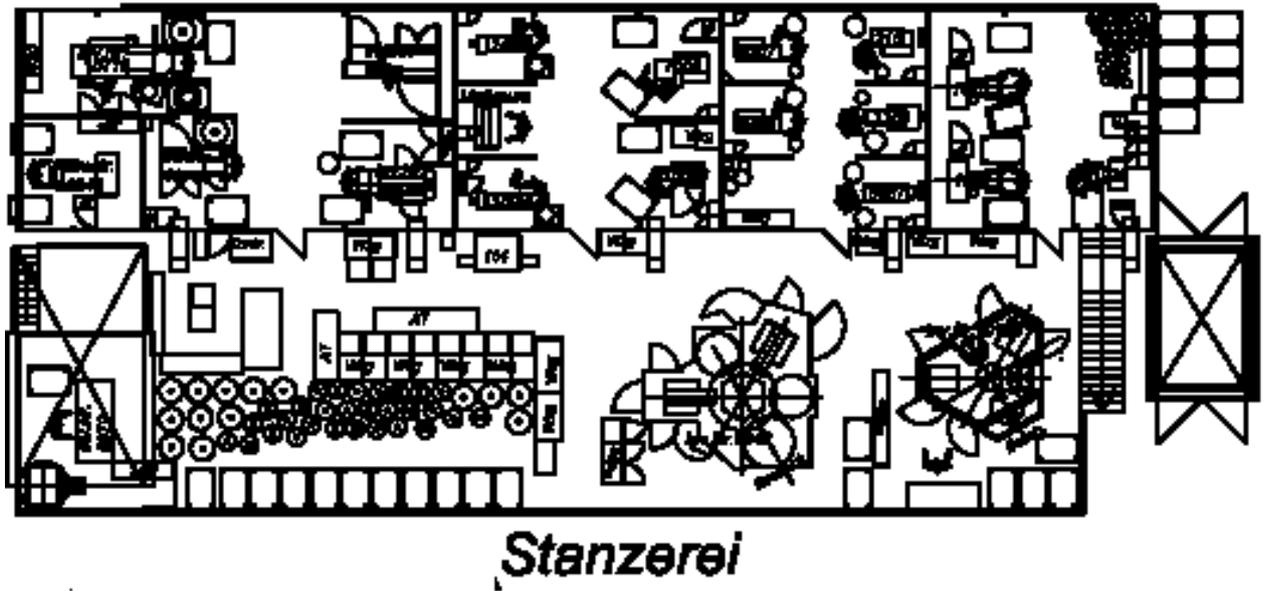


Abb. 8.4: Anordnung der Schnellläufer-Stanzmaschinen in oben offenen schallabsorbierenden „Kabinetten“



Abb. 8.5: Nutenstanze in Kabine



Abb. 8.6: Durch Trennwände abgeteilter Arbeitsplatz



Abb. 8.7: Oben offene Kabine mit Stanzmaschinen

Nach Auskunft des Betriebs wird in der Anwendung dieser Teilabtrennungen kein Nachteil gesehen. Allerdings sind früher ebenfalls installierte schallabsorbierende Deckeninstallationen aus Gründen der freien Zugänglichkeit von oben wieder demontiert bzw. nach Beschädigung nicht mehr ersetzt worden.

9 Die Lärmimmission an charakteristischen Arbeitsplätzen

Die Maschinen- und Metall Berufsgenossenschaft hat zahlreiche Messungen an typischen Arbeitsplätzen in Betrieben der Metallverarbeitung durchgeführt. Die Messergebnisse werden laufend gespeichert und den jeweiligen Maschinen und Tätigkeiten zugeordnet. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht zu den Inhalten dieser Datenbank.

Tab. 9.1: Schalldruckpegel an typischen Maschinen und von Tätigkeiten in metallverarbeitenden Betrieben.

Arbeitsbereich/Schallquelle	Arbeitsgang/Tätigkeit	L _{Aeq} von ...bis in dB	Mittelwert L _{Aeq}	Mittelwert K _i	Messwerte
Abkantbank, Abkantaumat	Stahlbleche abkanten	76 - 88	83,4	5,2	30
Biegemaschine	Biegen von Rohren u. Profilen	80 - 92	85,2	3,4	34
Bohren					
Handbohrmaschine	Stahl u. Blech bohren	75 - 89	81,3	3,9	20
Bohrwerk	Stahl bohren u. fräsen	75 - 88	81,6	3,3	17
Ständerbohrmaschine	Stahl bohren u. senken	72 - 88	81,0	3,7	72
Drahtbearbeitung					
Abschneiden	Schneiden an Maschine	89 - 96	91,3	2,0	6
Biegen	Biegen an Biegemaschine	86 - 90	87,4	2,2	5
Richten	Richten an Richtmaschine	87 - 94	91,2	2,0	5
Ziehen	Ziehen (bis 6-Block-Zug)	84 - 99	91,5	1,6	16
Drehen					
Dreh-/Bearbeitungsautomat	Drehen im Automaten	74 - 89	83,0	1,9	95
Drehmaschine	Konventionell drehen	73 - 89	80,8	2,6	139
Druckgießmaschine	Druckgießen	85 - 90	87,9	4,4	11
Fräsmaschine/-werk	Fräsen v. Stahl, Alu, Guss	71 - 91	81,6	2,8	119
Gießerei					
Maschinenformen	Gießstrecke	86 - 100	91,4	3,7	9
Handformen	Handformarbeiten	81 - 99	87,8	4,0	5
Kernschießmaschine	Kernherstellen	81 - 100	86,4	5,9	14
Kerneinlegestation	Kerneinlegen	84 - 93	87,7	2,6	7
Putzerei	Arbeiten mit Winkelschleifer	92 - 100	97,1	3,4	11
Härterei (Glühvorgang, Ofen)	Mit Auflegen u. Entleeren	74 - 91	84,1	3,8	20
Hartlöten		78 - 89	83,9	2,3	8
Hobelmaschine	Hobeln von Metallteilen	73 - 87	79,9	2,7	11
Honen		80 - 103	91,7	2,1	7
Nibbelmaschine	Nibbeln v. Blechen (0,8-8mm)	79 - 93	85,1	4,3	29
Oberflächenbeschichtung	Mit Auf- u. Abnahme der Teile				
Farbspritzen		77 - 89	81,5	2,1	26
Lackiermaschine	Galvanisieren	72 - 91	81,0	3,3	11
Galvanikanlage	Beschichten v. Stahlteilen	74 - 85	80,7	3,3	10
Pulverbeschichtung					
Pressen					

Arbeitsbereich/Schallquelle	Arbeitsgang/Tätigkeit	L _{Aeq} von ...bis in dB	Mittelwert L _{Aeq}	Mittelwert K _i	Messwerte
Exzenterpresse	Stanzen (Stahlbleche / -profile)	83 - 100	88,6	5,6	59
Gesenkbiegepresse	Biegen u. kanten	78 - 87	82,3	5,2	6
Hydraulikpresse	Stanzen (Stahlbleche)	86 - 101	93,4	5,2	18
(Stanzen)	Bleche ziehen u. schneiden	84 - 96	90,7	4,2	17
Hydraulikpresse (Ziehen)	Einpressen, prägen	83 - 95	89,0	2,3	12
Nietenpresse	Stahlstäbe / -rohre richten	78 - 91	84,1	6,2	24
Presse (allgemein)		80 - 93	87,2	5,0	12
Richtpresse					
Poliermaschine		76 - 87	81,0	2,3	11
Profiliermaschine		82 - 85	83,0	2,5	6
Richten					
Richtplatte	Flachstahl richten	92 - 97	94,2	8,2	4
Richt- u. Ankörmplatz	Bleche richten u. ankörnen	94 - 114	105,5	9,4	11
Rommel (Gleit-schleifanlage)	Schwingentgraten (Metallteile)	83 - 103	90,2	2,4	21
Sägen					
Bandsäge (Stahl)	Stahlprofile, Rund-/Flacheisen	77 - 87	80,9	2,2	20
Bandsäge (Blech)	Bleche verschiedener Stärken	94 - 102	97,5	2,3	4
Bandsäge (Aluminium)	Aluminiumprofile	87 - 91	89,0	7,0	2
	Stahlrohre u. Vierkantprofile	76 - 84	80,6	3,8	11
Bügelsägemaschine	Alu- u. Kunststoffprofile	82 - 107	92,1	3,5	19
Doppelgehrungssäge	Stahlprofile ablängen	80 - 94	86,0	3,3	26
Kreissäge (Stahl)	Aluprofile ablängen	84 - 94	88,7	4,8	10
Kreissäge (Aluminium)	Glasleisten sägen	78 - 86	83,2	4,5	4
Glassäge					
Schleifen	Stahlteile und Bleche schleifen				
Bandschleifmaschine		84 - 95	88,4	2,2	30
Druckluftschleifer		83 - 95	89,8	4,5	14
Flachschleifmaschine		78 - 90	82,0	2,6	14
Rundschleifmaschine		74 - 87	82,0	1,9	12
Sägeblattschleifmaschine	Sägeblätter schleifen	73 - 95	82,7	3,7	15
	Zahnflanken/-höhen schleifen	79 - 89	82,6	1,5	15
Sägezahnschleifmaschine	Bohrer, Fräser schleifen	73 - 91	81,7	2,6	35
	Stahl- u. Gussteile schleifen	85 - 107	93,2	2,1	63
Werkzeugschleifmaschine	Trennen (Flexen)	87 - 103	95,1	2,5	18
Winkelschleifer (Schleifen)					
Winkelschleifer (Trennen)					
Schmieden					
Schmiedehammer		93 - 108	99,5	10,0	13
Schmiedepresse		86 - 97	91,5	4,1	8
Schneiden					
Brennschneiden		76 - 97	85,3	2,6	31
Laserschneiden		79 - 87	83,4	2,4	8
Plasmaschneiden		80 - 102	89,0	1,5	12
Tafelschere	Bleche (1,25 bis 14 mm)	81 - 97	89,3	7,0	54
Schweißen					
MIG/MAG		77 - 96	86,6	4,2	98
WIG		68 - 85	75,9	4,3	14
Punktschweißen		72 - 88	83,1	5,0	40

Arbeitsbereich/Schallquelle	Arbeitsgang/Tätigkeit	L_{Aeq} von ...bis in dB	Mittelwert L_{Aeq}	Mittelwert K_i	Messwerte
Unterpulverschweißen Ultraschallschweißen		81 - 100 78 - 96	90,8 87,3	2,3 7,3	4 6
Spritzgießmaschine	Kunststoffteile spritzgießen	75 - 87	81,5	2,3	64
Strahleinrichtung	Strahlen v. Stahlteilen, Blechen	78 - 95	87,6	2,1	33
Verpackungsmaschine	Verpacken	68 - 96	83,1	3,3	11

Zur Bewertung dieser Pegel ist festzustellen, dass es weitgehend „fremdgeräuschfrei“ ermittelte, aber nicht raumkorrigierte Schalldruckpegel sind. Sie können somit näherungsweise als Emissionsschalldruckpegel unmittelbar an der Maschine (1m-Abstand) betrachtet werden.

10 Richtlinienentwurf

Die folgende Gliederung wird als Basis einer Richtlinie „Lärminderung in metallverarbeitenden Betrieben“ vorgeschlagen.

- 1 Anwendungsbereich
- 2 Übersicht zu den einbezogenen Betrieben der Metallbearbeitung (schalltechnische Klassifizierung) mit Erfahrungswerten zu den Beurteilungspegeln an Arbeitsplätzen
- 3 Die Geräuschemissionswerte von Maschinen, Vorgängen und technischen Einrichtungen
 - Bohrmaschinen
 - Drehmaschinen
 - Fräsmaschinen
 - Wälzfräsmaschinen
 - Schleifmaschinen
 - Kaltkreissägemaschinen
 - Schmiedepressen
 - Schneidpressen
 - Kompressoren
 - Druckluftschrauber
 - Schweißgeräte
 - Handschleifmaschinen elektrisch
 - Handschleifmaschinen pneumatisch
 - Handbohrmaschinen elektrisch
 - Handstichsägen elektrisch
 - Sägemaschinen
 - Blechscheren
 - Bandschleifmaschinen
 - Metallhammer
 - Druckluftdüsen
 - Abkantbänke
 - Walz- und Biegemaschinen
 - Abwurf von Metallteilen
 - Stanzen
- 4 Die Schallausbreitung - Kenn- und Erwartungswerte
- 5 Lärminderungsmaßnahmen
 - Absorbierende Verkleidungen (Decken, Wände)
 - Absorbierende Raumteiler
 - Lärmarme und lärmindernde Produkte
 - Lärmarme Düsen
 - Lärmarme Schleifscheiben

- Rückschlagfreie Hämmer
 - Kapselung
- 6 Sanierung von bestehenden Betrieben
 - Durchführung von Schallmessungen und Beurteilung des Ist-Zustandes
 - Beurteilungspegel und Lärmkataster
 - Emission bestimmender Schallquellen
 - Die Ermittlung der Schallpegel an Arbeitsplätzen aus den Emissionswerten
 - Lärmminderungsplanung
 - Änderung von Verfahren
 - Ersatz von nicht dem Stand der Technik entsprechenden Maschinen
 - Schalltechnisch günstige räumliche Anordnung
 - Verbesserung der raum- und bauakustischen Qualität
 - 7 Planung von neuen Arbeitsräumen
 - Vorplanung (unter Berücksichtigung der Lärmträchtigkeit von Funktionsbereichen)
 - Detail- und Maßnahmenplanung (auf der Basis einer Immissionsprognose)
 - 8 Hinweise für einzelne Betriebstypen

Dieser Vorschlag basiert im Wesentlichen auf den Inhalten der beiden vorliegenden Teilberichte.

11 Literatur

- /1/ 89/391/EWG Richtlinie des Rates vom 12.06.1989 über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit, Veröffentlicht in: ABI EG (1989) einschließlich aller technisch relevanten Änderungen
- /2/ 86/188/EWG Richtlinie des Rates vom 12.05.1986 über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Lärm am Arbeitsplatz, Veröffentlicht in: ABI EG (1986) einschließlich aller technisch relevanten Änderungen
- /3/ 89/392/EWG Richtlinie 89/392/EWG des Rates vom 14.06.1989 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Maschinen
- /4/ 9. GSGV 9. Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz (9. GSGV) und zur Änderung von Verordnungen zum Gerätesicherheitsgesetz vom 12.5.1993. GB BI I (1993) S. 704
- /5/ BGI 688 Regeln „Lärm am Arbeitsplatz in der Metall-Industrie (bisher ZH 1/581), 05/2000
- /6/ VDI 3760 VDI Richtlinie 3760, Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen 02/1996
- /7/ 3. GSGV Dritte Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz (Maschinenlärminformations-Verordnung - 3. GSGV) vom 18.01.1991 (BGBl. I, S. 146)
- /8/ AWE 125 „Bildschirmarbeit – Lärminderung in der Produktion“ „Beurteilung und Minderung des Lärms an Bildschirmarbeitsplätzen im Büro und in der Produktion“ - aus der Reihe „Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse – Forschungsergebnisse für die Praxis“ Nr. 125, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 2002
- /9/ Technik 27 „Akustische Gestaltung von Bildschirmarbeitsplätzen in der Produktion“ Technik 27, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 2002
- /10/ ISO 3746 Akustik - Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 3 über einer reflektierenden Ebene, 08/1995
- /11/ ISO 3744 Akustik - Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen durch Schalldruckmessungen - Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 für ein im wesentlichen freies Schallfeld über einer reflektierenden Ebene, Beuth Ver-

- lag GmbH, Berlin 1994
- /12/ VDI 2561 Die Geräuschemission von Gesenk- und Freiformschmieden und Maßnahmen zu ihrer Minderung, 07/1968
- /13/ DIN 8583 Fertigungsverfahren Druckumformen, 09/2003
1 bis 6
- /14/ Kappeter, B. „Pressluftdüsen, schall- und lufttechnische Eigenschaften im Vergleich“, Allgemeine Unfallversicherungsanstalt 09/2002
- /15/ Heisel, U. Fb 847, Lärminderung beim Schruppschleifen mit handgeführten Werkzeugmaschinen, Dortmund/Berlin 1999
- /16/ Horns H. Fa 17, Katalog lärmindernder Maßnahmen in der Fertigung – Metallverarbeitung, Dortmund, 1989
- /17/ Probst, W. Fb 578, Geräuschemissionswerte von Maschinen als Grundlage zur Bestimmung der Geräuschmission. Fallbeispiel: Textilindustrie, Metallverarbeitung, Getränkeabfüllung, Dortmund 1989.
- /18/ VDI 3749 Emissionskennwerte technischer Schallquellen; Druckluft-Werkzeuge und -Maschinen; Schleifer, 07/1986
Blatt 5
- /19/ DIN EN ISO Akustik - Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten - Teil 1: Allgemeine Grundlagen (ISO 11690-1:1996); Deutsche Fassung EN ISO 11690-1:1996, 02/1997
11690-1
- /20/ VDI 3752 Emissionskennwerte technischer Schallquellen; Werkzeugmaschinen; Pressen zum Schneiden von Blech (Schneidpressen), 07/1993
Blatt 1

Anhang 1 Handwerksräume in metallverarbeitenden Betrieben

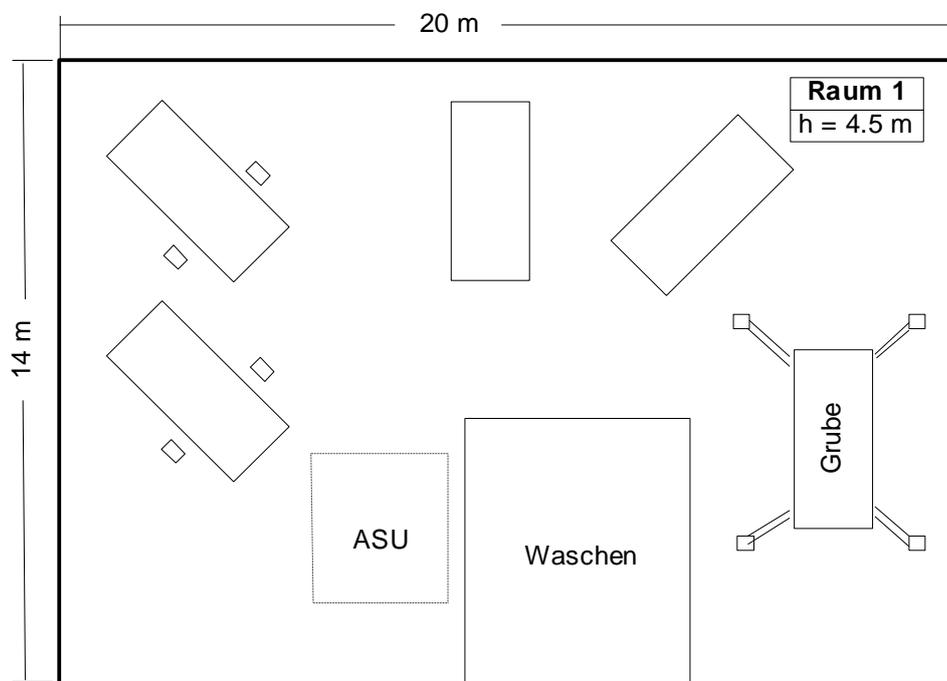
Handwerksraum 1 : Kfz-Werkstatt

Beschäftigte: 6

Raum: 20 m x 14 m x 4.5 m

Begrenzungsflächen: Boden Klinker, Wände und Decke glatt verputzt und gestrichen (reflektierend)

2 Hebebühnen und ein ASU-Platz



Anh.1, Abb. 1: Handwerksbetrieb 1 im Grundriss mit den Geräuschquellen

Arbeiten:

Maximal 10 Kfz/Tag, Mittel 8 Kfz/Tag

Arbeitsgänge pro Tag:

6 Pkw mit je 4 Rädern und je 4 Schrauben ergibt 96 Ab- und Anschraubvorgänge bzw. 192.

3 bis 4 ASU von je 10 min am Tag

Geräuschintensive Werkzeuge/Tätigkeiten:

Winkelschleifer

Schlagschrauber

Luftmeißel

Richtarbeiten

Schutzgasschweißen

Scheiben herausschneiden (mit pneumatischem Scheibenausschneider)
Abgasuntersuchungen ASU (Pkw und Lkw, Benziner und Diesel)

Während der Untersuchung fällt auf, dass schon relativ wenig geräuschintensive Tätigkeiten zu einer erheblichen Lärmbelastung an allen Arbeitsplätzen führen. Der Grund hierfür liegt in der schon als extrem zu bezeichnenden Halligkeit der Betriebsräume. Während dem Betrieb auch nur eines Schlagschraubers ist eine Kommunikation an diesem und anderen Arbeitsplätzen nicht mehr möglich.

Anh. 1, Tab. 1: Geräuschemissionswerte (Schalleistungspegel):

Spek Nr	Bezeichnung	Frequenz							Gesamt
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	Schlagschrauber	64.1	77.3	83.3	84.9	87.9	92.1	89.9	95.8
2	Scheibenschneidgerät	58.1	72.3	77.3	89.5	92.8	97.9	98.2	101.9
3	Schruppscheibe	63.6	68.6	83.6	90.9	99.3	99.5	96.7	103.7
4	Karosseriemeißel	94.9	103.6	112.7	116.2	122.2	121.8	124.2	128.1
5	Lamellenscheibe	77.3	76.8	89.0	95.1	99.2	107.9	110.2	112.5

Anh. 1, Tab. 2: Dauer pro Pkw-Arbeitsplatz und Tag:

Nr	Bezeichnung	Dauer
1	Schlagschrauber, 1m	5 s
2	Scheibenschneidgerät, 1m	6 m
3	Schruppscheibe, 1m	30 m
4	Karosseriemeißel, 1m	5 m
5	Lamellenscheibe, 1m	30 m

Beurteilung der Geräuschemission und -immission

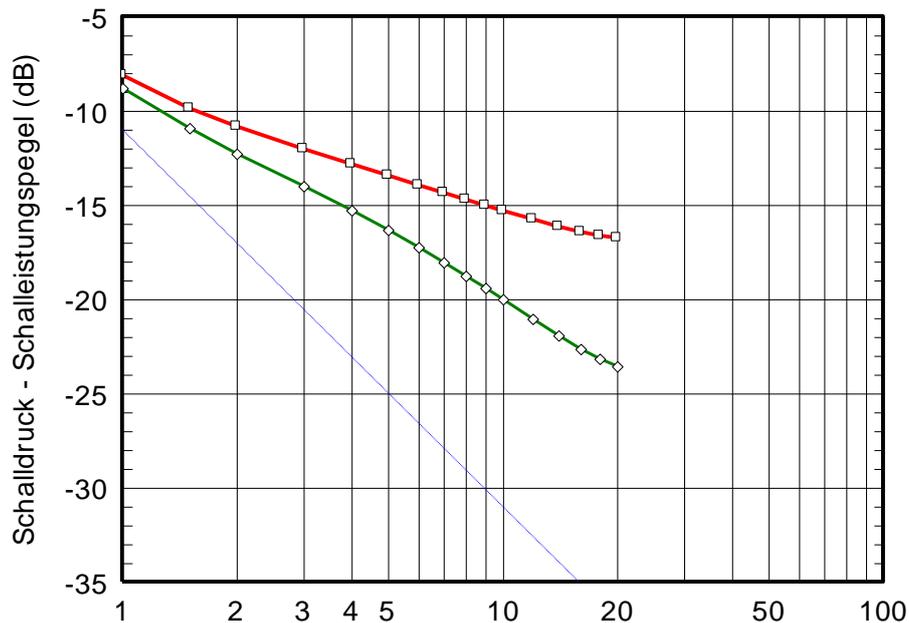
Die verwendeten Geräte und ausgeführten Tätigkeiten sind zum Teil sehr geräuschintensiv. Eine Lärminderung an den Quellen ist nur sehr begrenzt möglich – z. B. durch den Ersatz der Schruppscheibe durch eine Fächerscheibe mit gleicher Wirksamkeit, aber geringerer Emission. Die Beurteilungspegel liegen aufgrund der nur sporadisch lärmintensiven Arbeiten i. d. R. unter 85 dB(A).



Anh.1, Abb. 2: Kfz-Werkstatt mit Fahrzeugen auf der Hebebühne
Raumakustisch relevante Daten und Streukörperberechnung

Anh. 1, Tab. 3: Geometrie des Raumes sowie Zahl und Größe der Streukörper –
Streukörperberechnung nach VDI 3760, 1996

Raum	L (m)	B (m)	H (m)	V (m ³)
1	14	20	4.5	1260
Anzahl	L (m)	B (m)	H (m)	S kumulativ (m ²)
5	4	2	2	160
1	5	5	5	285
10	0.3	0.3	3	321.9
Q (1/m)	0.064			



Anh.1, Abb. 3: Schallausbreitung nach VDI 3760 : 199... – $DL_f = 15,1$ – $DL_2 = 1,8$,
Verbesserung durch Akustikdecke auf $DL_f = 10,6$ – $DL_2 = 3,8$

Beurteilung der raumakustischen Situation

Die nach DIN EN ISO 11690-1 /19/ in Tabelle 3 empfohlenen akustischen Eigenschaften von Arbeitsräumen liegen nicht vor. Damit ist eine wesentliche Verbesserung durch Montage einer schallabsorbierenden Decke zu erreichen. Eine weitere Verkleidung von sonstigen Raumbegrenzungsflächen unter Einbeziehung von Raumteilern bedarf einer weitergehenden Analyse unter Mitwirkung der für den Betriebsablauf verantwortlichen Personen.

Handwerksraum 2 : Stanzteile-Herstellung (Verarbeitung von leichten Blechen)

Beschäftigte: 2 – 4 (älterer Betrieb in Auflösung)

Raum: 14 m x 22 m x 6 m

Begrenzungsflächen: Boden Klinker, Wände und Decke glatt verputzt und gestrichen (reflektierend)

Maschinen:

1 Stanze und eine Schlagschere

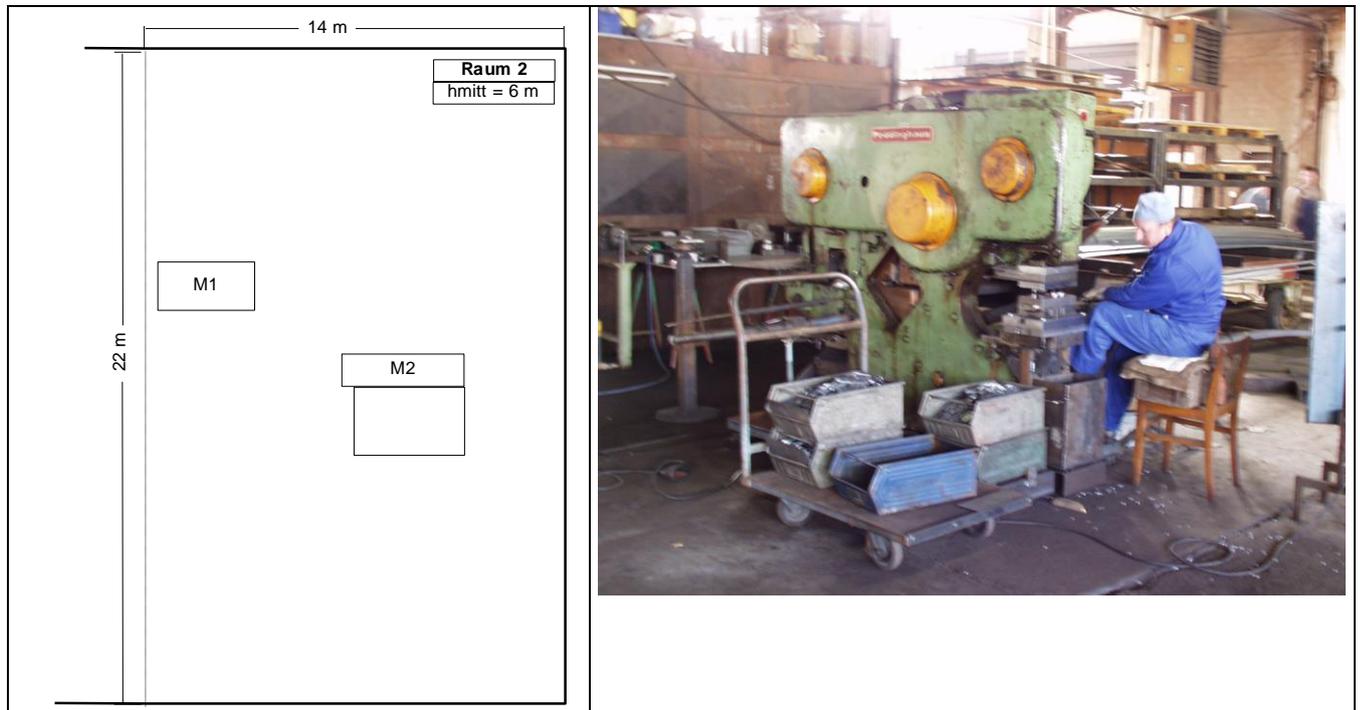
Arbeiten:

Herstellung von Stanzteilen (Flachstahl C45 26 x 4)

Geräuschintensive Werkzeuge/Tätigkeiten:

Stanze Peddinghaus Modell 210 Super 16 Stanzhöchstleistung 80 MP (2 Bohrungen und Ablängen Flachstahl 8cm x 2 cm)

Schlagschere mit automatischer Zuführung (4mm Blech schneiden)



Anh.1, Abb. 4: Handwerksbetrieb 2 im Grundriss mit den Geräuschquellen

Die Geräuschemission der Quellen:

Anh. 1, Tab. 4: Messwerte (Schalldruckpegel A-bewertet):

Spek Nr	Bezeichnung	Frequenz							Gesamt
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
6	Stanze 3m Abstand mitt.	73.7	77.7	82.8	87.9	82.1	76.9	74.5	90.6
7	Stanze 3m (1 s Mittelwert)	75.4	79.6	84.1	91	83.2	76.7	73.7	92.8
8	Stanze Lmax 3m	82.9	87.6	91.7	91.7	91.9	86.9	83	97.3
9	Bedienerohr Lmax	84.9	95.1	101.2	101.8	103.5	96.8	96.2	107.9
10	Bedienerohr Leq	74.3	85.9	91.4	92.5	93.2	87.6	85.9	98.3
11	Schlagschere Lmax 3m	63.9	69.1	78.4	89.8	88.9	89.3	84.8	94.6
12	Schlagschere Leq 3m	64.7	69.3	79	84.5	89.6	88	81.9	93.1

Anh. 1, Tab. 5: Geräuschemissionswerte (Schalleistungspegel A-bewertet) :

Spek Nr	Bezeichnung	Frequenz							Gesamt
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	Stanze Peddinghaus	88.5	93.1	97.9	105.1	97.5	91.3	88.4	106.9
2	Schlagschere EHS10	77.8	82.8	92.8	98.6	103.9	102.6	96.6	107.5

(Schalleistungspegel bei der Schlagschere L_{WAmax})

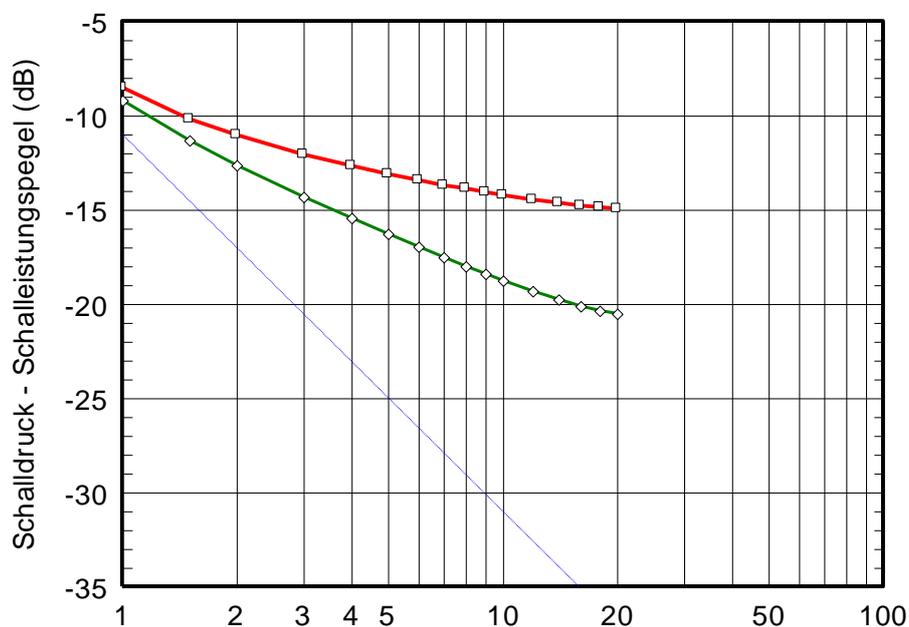
Beurteilung der Geräuschemission und -immission

Die Geräuschemission der Stanze und der Schlagschere entspricht trotz deren Alter dem Stand der Technik nach VDI 3752, Blatt 1 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Primäre Lärminderungsmaßnahmen sind nicht erfolgversprechend.

Raumakustisch relevante Daten und Streukörperberechnung

Anh. 1, Tab. 6: Geometrie des Raumes sowie Zahl und Größe der Streukörper – Streukörperberechnung nach VDI 3760

Raum	L (m)	B (m)	H (m)	V (m ³)
2	14	22	6	1848
Anzahl	L (m)	B (m)	H (m)	S kumulativ (m ²)
2	3	1	2	38
3	6	1	2	140
Q (1/m)	0.019			



Anh.1, Abb. 5: Schallausbreitung nach VDI 3760 : 199..– DLf = 16,0 – DL2 = 1,0
Verbesserung durch Akustikdecke auf DLf = 11,7 – DL2 = 2,3

Beurteilung der raumakustischen Situation

Die nach DIN EN ISO 11690-1 /19/ in Tabelle 3 empfohlenen akustischen Eigenschaften von Arbeitsräumen liegen nicht vor. Damit wäre – im Falle der angestrebten Sanierung des Betriebs - eine gewisse Verbesserung durch Montage einer schallabsorbierenden Decke zu erreichen.

In der vorliegenden Situation sind allerdings raumakustische Maßnahmen aufgrund der geringen Zahl von Schallquellen und Arbeitsplätzen unter Kosten – Nutzen Gesichtspunkten uneffektiv. Besser wäre Teilabtrennung der Quellen und lokale Absorption.

Handwerksraum 3 : Mechanische Werkstatt, Maschinenherstellung

Maschinenherstellung, z. B. Teigportioniermaschine, Gesenkschmiedehämmer mit 50 kg Bärge wicht

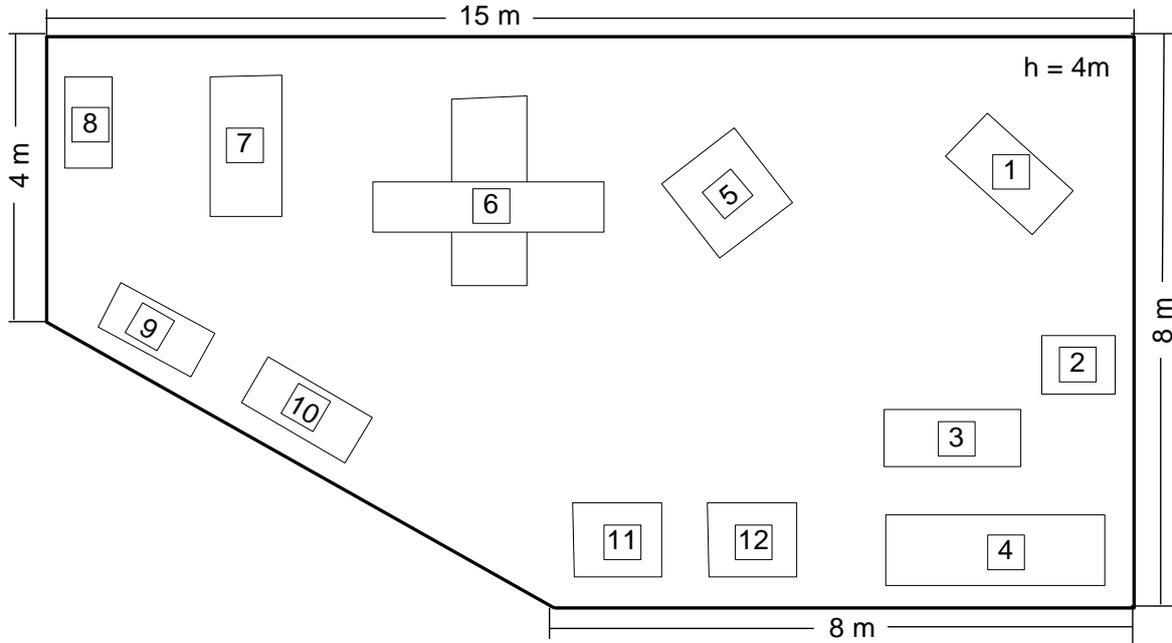
Beschäftigte: wechselnd – derzeit auslastungsbedingt 3

Raum: 15 m x 8 m x 4 m

Begrenzungsflächen: Boden Beton, Wände und Decke Beton gestrichen (reflektierend)

Geräuschintensive Werkzeuge/Tätigkeiten:

Alle mit der Herstellung von Maschinenteilen verbundenen Arbeiten



Anh.1, Abb. 6: Handwerksbetrieb 3 im Grundriss mit den Geräuschquellen

Die Geräuschemission der Quellen:

Maschinen:

- 1 Fräsmaschine
- 2 Fräsmaschine
- 3 Drehbank
- 4 Drehbank
- 5 Richttisch
- 6 Plattenbohrwerk (Schormann)
- 7 Hobel
- 8 Schleifmaschine
- 9 Gesenkerudiermaschine
- 10 Fräsmaschine
- 11 Fräsmaschine
- 12 Schleifmaschine

Anh. 1, Tab. 7: Messwerte (Schalldruckpegel A-bewertet)

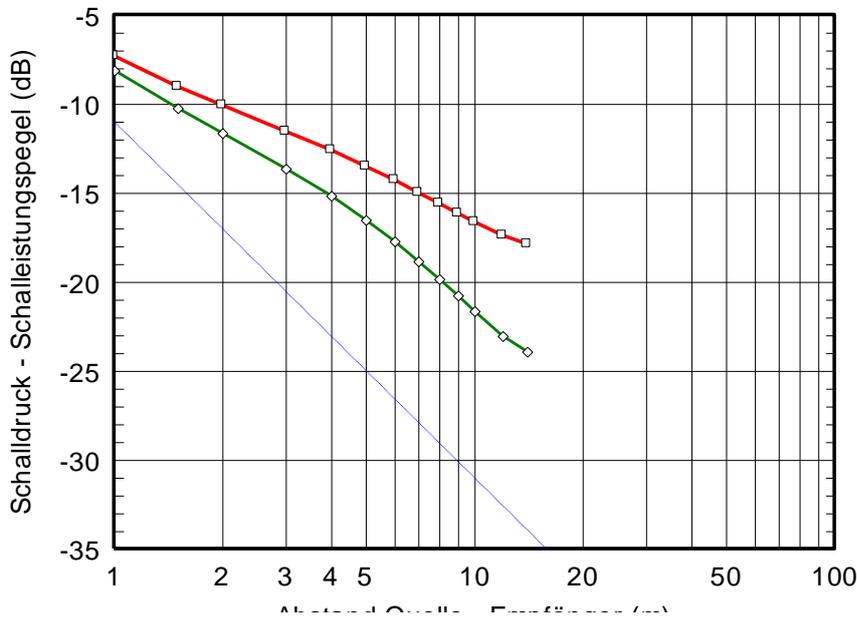
Spek Nr	Bezeichnung	Frequenz							Gesamt
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
13	Raumpegel v. Plattenbohrw.	67.6	66.8	80.7	81.2	83.1	77.9	68.1	87.2

Anh. 1, Tab. 8: Geräuschemissionswerte (Schalleistungspegel A-bewertet)

Bezeichnung	Frequenz							Gesamt
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Plattenbohrwerk	78.7	78.5	93.0	94.0	96.4	91.6	91.6	100.8



Anh.1, Abb. 7: Mechanische Werkstatt mit Werkzeugmaschinen



Anh.1, Abb. 8: Schallausbreitung nach VDI 3760 : 199..– $DL_f = 13,7$ – $DL_2 = 3,0$
 Verbesserung durch Akustikdecke auf $DL_f = 9,2$ – $DL_2 = 5,1$

Beurteilung

Es wurde nur die Geräuschemission des Plattenbohrwerks bestimmt – diese entspricht dem Stand der Technik. Da im Rahmen der existierenden Auslastung kein Lärmbereich vorliegt, sind weitergehende Maßnahmen nicht erforderlich. Geht man von prosperierender Geschäftstätigkeit und damit erhöhter Auslastung aus, so besteht in diesem Raum das Problem der sehr dichten Maschinenaufstellung. Diese in Handwerksbetrieben häufig anzutreffende Situation verbietet aus betriebsorganisatorischen Gründen jede Maßnahme, die auf eine Unterteilung in Kombination mit einer absorbierenden Verkleidung von Raumbegrenzungsflächen hinausläuft.

Handwerksraum 4 : Mechanische Werkstatt

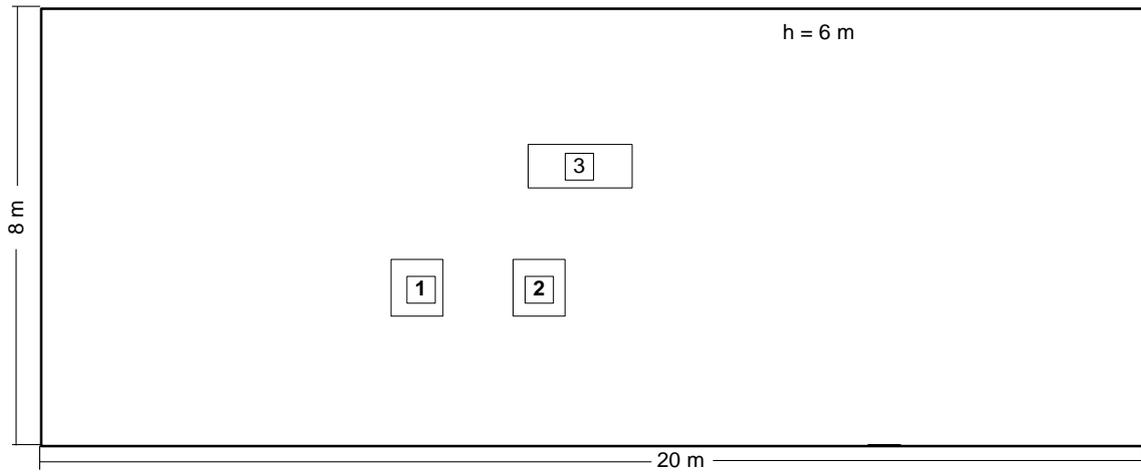
Herstellung von Schmiedemaschinen

Beschäftigte: 2-3 (Aktivitäten derzeit gering)

Raum: 20 m x 8 m x 6 m

Begrenzungsflächen: Boden Beton, Decke raumseitig Styropor, zwei Stirnwände Lochziegel

Arbeiten: Endmontage, Probetrieb und Lagerung von Maschinen



Anh.1, Abb. 9: Handwerksraum 4 im Grundriss mit den Geräuschquellen

Geräuschquelle: 1 Schmiedehammer Kuhn, 5.5 kW, 220 Hübe/min,
930 Joule/Schlag

Anh. 1, Tab. 9: Schalldruckpegel-Messwerte und Schalleistungspegel

Rohdaten Schalldruckpegel A-bewertet

Spek Nr	Bezeichnung	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
14	Schmiedehammer Leq 3S/s	81.0	90.9	93.1	98.1	98.6	95.7	91.4	103.6
15	Schmiedehammer Lmx 3S/s	83.9	94.0	96.4	101.2	102.2	99.5	95.1	106.8
16	Stangenanfasen	45.3	53.1	56.2	61.9	67.3	61.8	60.0	70.3

Schalleistungspegel

Spek Nr	Bezeichnung	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
1	Schmiedehammer 3 Schl/s	92.1	102.3	104.7	109.9	110.5	107.8	103.6	115.3
2	Stangenanfasen	56.5	64.6	67.9	73.8	79.3	73.9	72.3	82.0



Anh.1, Abb. 10: Mechanische Werkstatt mit Schmiedehammer

Beurteilung

Der Schmiedehammer, der nur zum Testen vor der Auslieferung in Betrieb genommen wird, erzeugt Schalldruckpegel um 100 dB(A). Trotzdem können im vorliegenden Fall keine weitergehenden Lärminderungsmaßnahmen empfohlen werden, weil sich bei Betrieb in der Regel nur die Bedienungsperson im Raum befindet. Sie ist dem Direktfeld der Maschine ausgesetzt und damit ist von raumakustischen Maßnahmen eine nur marginale Verbesserung zu erwarten.

Handwerksraum 5 : Mechanische Werkstatt

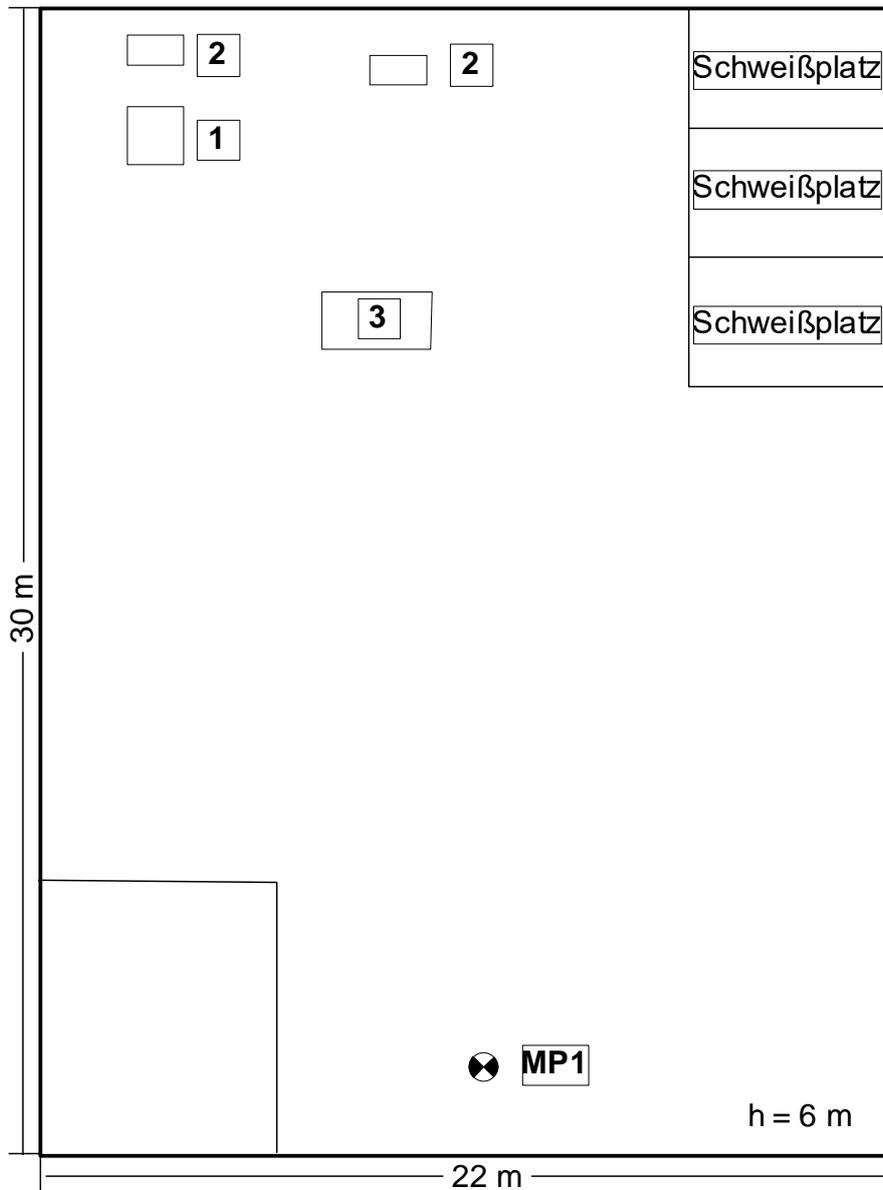
Betriebstyp: Mech. Werkstatt (Maschinenherstellung, z. B. Teigportioniermaschine, Gesenkschmiedehämmer)

Beschäftigte: wechselnd – derzeit 2 Personen

Raum: 30 m x 22 m x 6 m

Begrenzungsflächen: Boden Beton, Decke raumseitig Styropor, zwei Stirnwände Lochziegel

Arbeiten: Endmontage, Probetrieb und Lagerung von Maschinen



Anh.1, Abb. 11: Handwerksraum 5 im Grundriss mit den Geräuschquellen

Schallquelle : 1 Schmiedehammer Kuhn, 5.5 kW, 220 Hübe/min, 930 Joule/Schlag

Anh. 1, Tab. 10: Rohdaten Schalldruckpegel A-bewertet

Spek Nr	Bezeichnung								Gesamt
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
17	Kaltkreissäge MP1	54.5	66.6	69.0	74.4	68.0	62.5	48.6	76.9
18	Kaltkreissäge 1m	65.9	81.6	89.7	92.5	88.9	84.9	76.9	96.0
19	Komb. Stanze 1m	61.5	71.3	77.7	88.2	81.7	85.4	79.9	91.3
20	Schutzgasschweißen 1m	50.0	54.4	63.3	70.2	76.2	80.1	82.4	86.0
21	Ständerbohrmaschine 1m	50.0	65.1	73.0	78.2	78.0	73.6	62.3	82.5

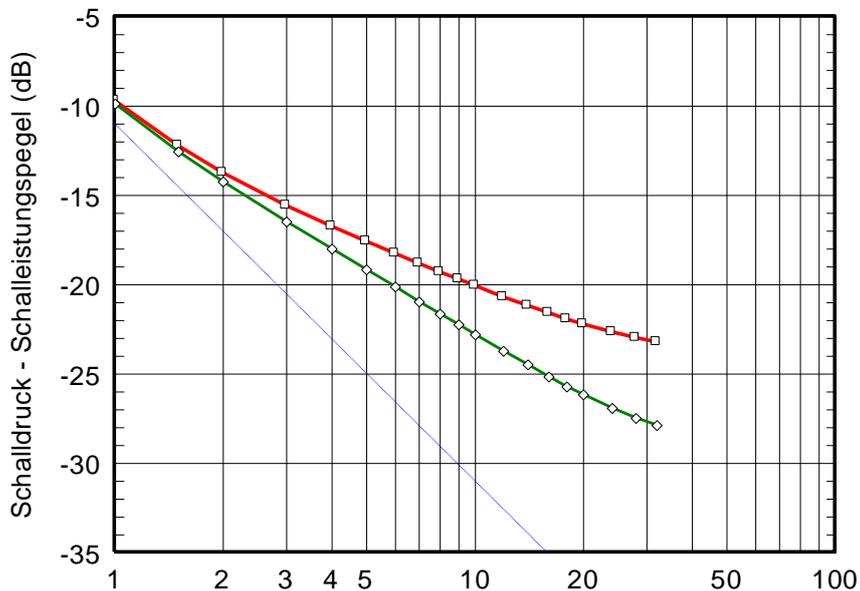
Anh. 1, Tab. 11: Schalleistungspegel der Geräuschquellen

Bezeichnung								
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
Kaltkreissäge alt	77.8	93.7	101.9	104.8	101.3	97.3	89.4	108.3
komb. Stanze	74.1	84.1	90.7	101.3	94.9	98.7	93.3	104.4
Schutzgasschweißen	61.9	66.5	75.5	82.5	88.6	92.5	94.9	97.7
Ständerbohrmaschine	62.3	77.6	85.6	90.9	90.8	86.5	75.3	95.3



Anh.1, Abb. 12: Werkstatt zur Maschinenherstellung

Raumakustische Situation und Schallausbreitung nach VDI 3760:



Anh.1, Abb. 13: Schallausbreitung nach VDI 3760

Die obere Kurve im SAK-Diagramm Anh.1, Abb. 13 entspricht der vorhandenen Situation – durch die Lochziegelwände ergibt sich mit DL_f von 10.4 dB und DL_2 von 2.4 dB zwar kein extrem schlechter Wert – die Anforderungen für Lärmbereiche wären aber nicht erfüllt. Dies würde erst durch Einbau einer absorbierenden Unterdecke erreicht, wie die untere Kurve mit einem DL_f von 7.8 dB und einem DL_2 von 3.6 dB zeigt. In der gegebenen betrieblichen Situation kommt dies allerdings nicht in Betracht.

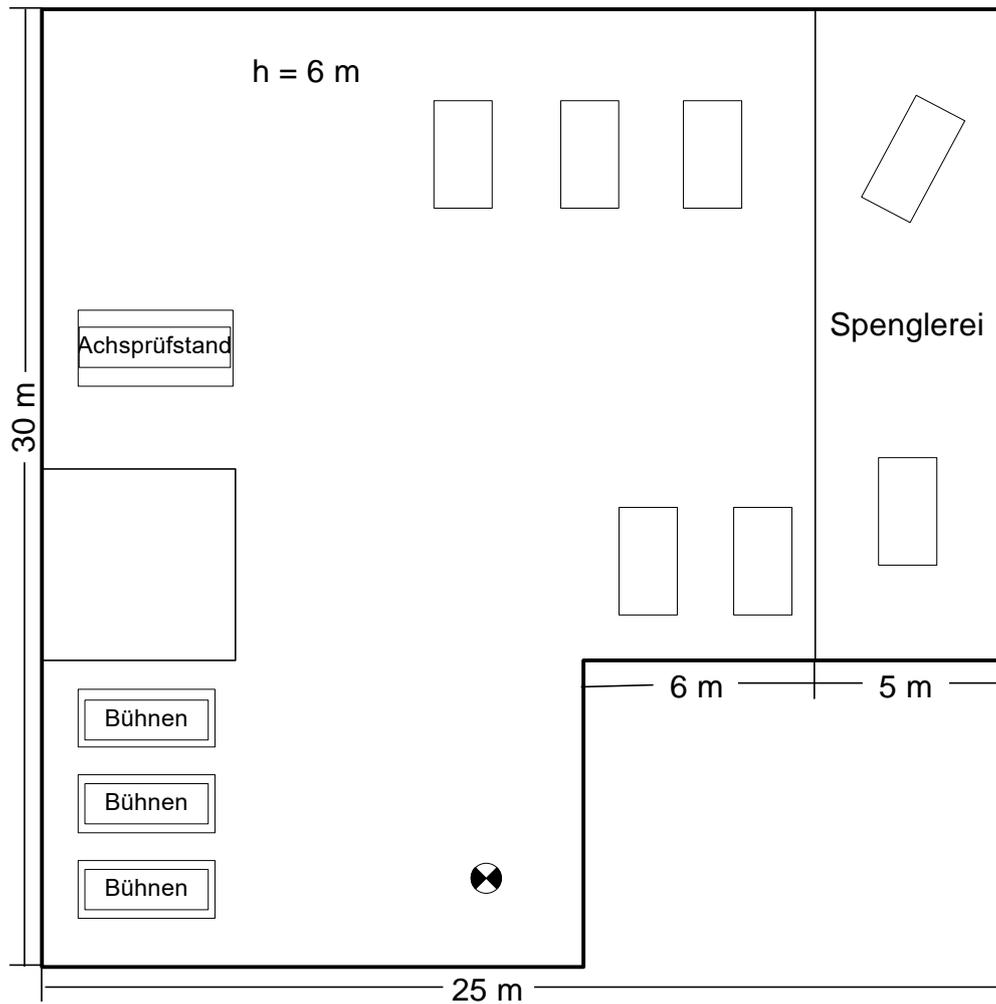
Handwerksraum 6: Kfz-Werkstatt

Beschäftigte im Reparatur- und Wartungsbetrieb ca. 7 Personen

Raum: Akustisch effektiv 22.6 m x 20 m x 6 m (siehe Grundriss)

Begrenzungsflächen: Boden Plattenbelag, Wände teils gekachelt, teils Beton gestrichen, Decke Betondielen. Der Raum ist auffallend hallig.

Arbeiten: Während der Messungen arbeiteten 3 Personen an 2 Autos. Stark wechselnde Tätigkeit.



Anh.1, Abb. 14: Handwerksraum 6 im Grundriss mit den Geräuschquellen

In dem Raum finden die für eine Kfz-Werkstatt typischen Tätigkeiten statt. Die wesentlich und die meiste Zeit bestimmende Schallquelle ist der Leerlaufbetrieb und manchmal auch das Hochdrehen der Motoren.

Die im folgenden genannten Schalleistungspegel wurden aus den Messungen des Raumpegels bei Betrieb der Quellen bestimmt. Aufgrund der Halligkeit des Raums ist dieses Näherungsverfahren (Anwendung der Hallraumformel) angemessen.

Anh. 1, Tab. 12: Schalldruckpegel-Messwerte und Schalleistungspegel

Rohdaten Schalldruckpegel A-bewertet

Spek Nr	Bezeichnung	Frequenz							Gesamt
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
23	Audi 2.5 TDI Leerlauf Raump.	49.5	57.6	67.8	66.5	64.0	57.9	53.6	71.6
24	Audi 2.5 TDI Leerlauf Raump.	47.8	55.0	62.9	62.5	60.2	53.8	47.4	67.3
	Mittelwert	48.7	56.5	66.0	64.9	62.5	56.3	51.5	70.0

Spek Nr	Bezeichnung	Frequenz							Gesamt
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
23	Raumpegel oh. bes. Tätigkeit	50.6	55.7	61.4	58.3	54.4	49.2	39.2	64.5

Schalleistungspegel

Spek Nr	Bezeichnung	Frequenz							Gesamt
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Audi 2.5 TDI Leerlauf Raump.	64.5	72.9	83.0	82.4	80.5	74.7	70.3	87.4
	Quellen oh. bes. Tätigkeit	66.3	72.1	78.4	75.8	72.4	67.6	58.0	81.8



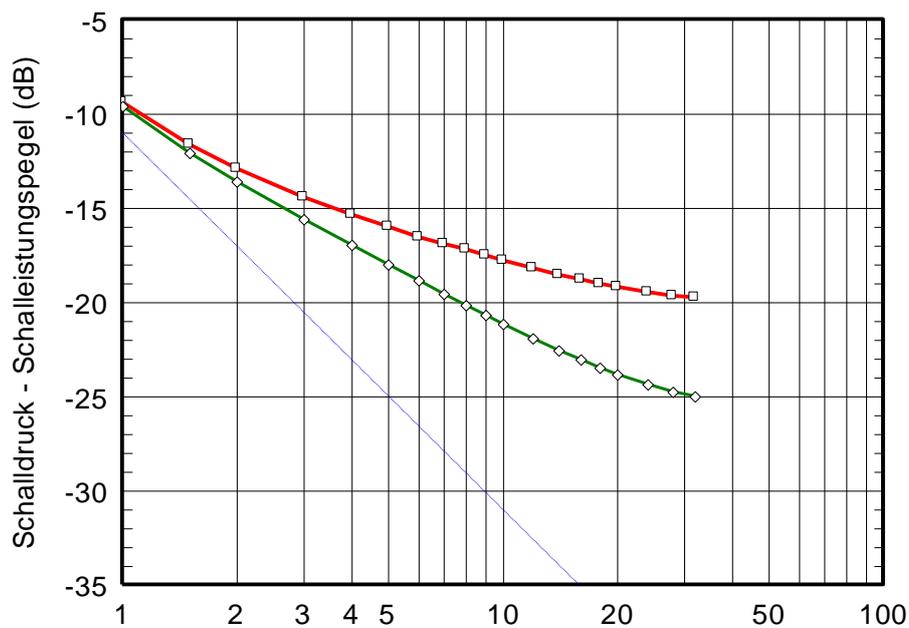
Anh.1, Abb. 15: Kfz-Werkstatt mit Wartungsplätzen

Beurteilung

Die Quellen (Motoren im Leerlauf) weisen einen relativ geringen Schalleistungspegel auf. Dies führt aber aufgrund des sehr halligen Raums dennoch zu unnötig hohen Schallpegeln.

Anh. 1, Tab. 13: Raumakustisch relevante Daten und Streukörperberechnung

Raum	L (m)	B (m)	H (m)	V (m ³)
6	23	20	6	2760
Anzahl	L (m)	B (m)	H (m)	S kumulativ (m ²)
5	4	2	2	160
Q (1/m)	0.014			



Anh.1, Abb. 16: Schallausbreitung nach VDI 3760 : 199..– DLf = 12,6 – DL2 = 1,7
Verbesserung durch Akustikdecke auf DLf = 9,4 – DL2 = 3,0

Gesamtbeurteilung

Durch absorbierende Verkleidung der Raumbegrenzungsflächen könnte das akustische Arbeitsklima entscheidend verbessert werden. Eine diesbezügliche Anforderung von Seiten des Arbeitsschutzes besteht aufgrund der moderaten Beurteilungspegel aber nicht.

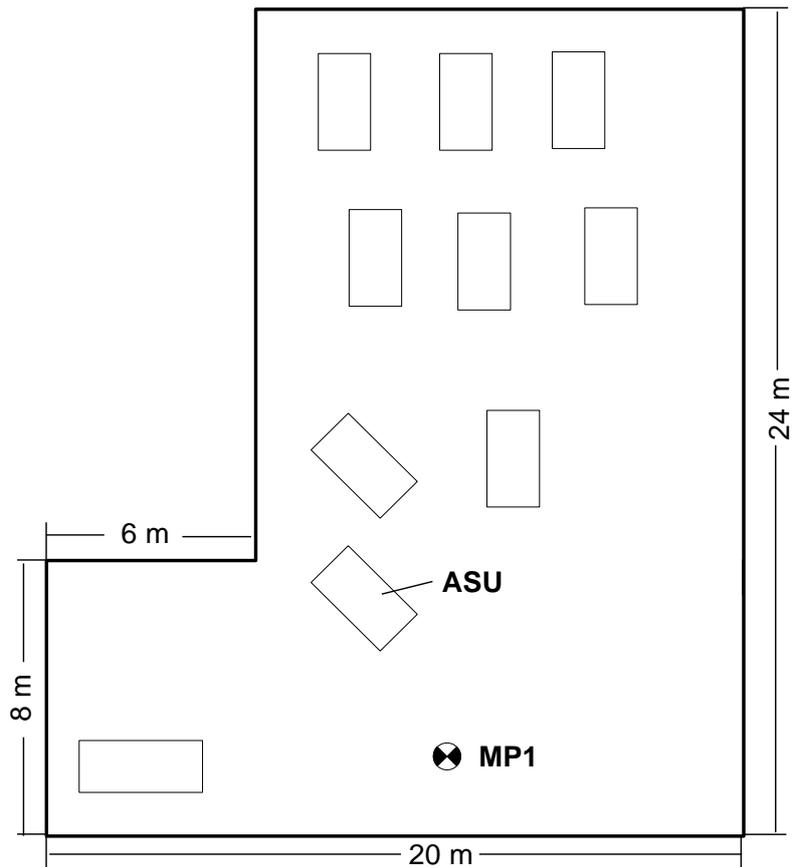
Arbeitsraum 7: Kfz-Werkstatt - Raum für ASU-Untersuchung

Beschäftigte in diesem Raum : 1 Person (nur für ASU zeitweise)

Raum: Akustisch effektiv 1 m x 24 m x 3 m (siehe Grundriss)

Begrenzungsflächen: Beton (schallhart)

Arbeiten: Durchführung der ASU-Untersuchung.



Anh.1, Abb. 17: Raum zur ASU - Untersuchung

Die im folgenden genannten Schalleistungspegel wurden aus den Messungen des Raumpegels bei Durchführung der ASU bestimmt. Aufgrund der Halligkeit des Raums ist dieses Näherungsverfahren (Anwendung der Hallraumformel) angemessen.

Anh. 1, Tab. 14: Schalldruckpegel-Messwerte und Schalleistungspegel
Rohdaten Schalldruckpegel A-bewertet

Spek Nr	Bezeichnung	Frequenz							
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
25	ASU Raumpegel 5s	87.4	81.9	83.5	87.1	87.2	83.3	75.1	93.5
26	Leerlauf Raumpegel	47.6	57.4	63.1	64.1	59.7	53.1	45.4	68.1
27	Leerlauf Raumpegel	47.5	55.6	62.7	64.5	60.4	54.5	47.8	68.1

Schalleistungspegel

Spek Nr	Bezeichnung	Frequenz							
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
	ASU Pkw	98.7	93.9	96.1	100.2	100.7	97.3	89.4	106.3
	Pkw Leerlauf	58.9	69.4	75.7	77.2	73.2	67.1	59.7	81.0



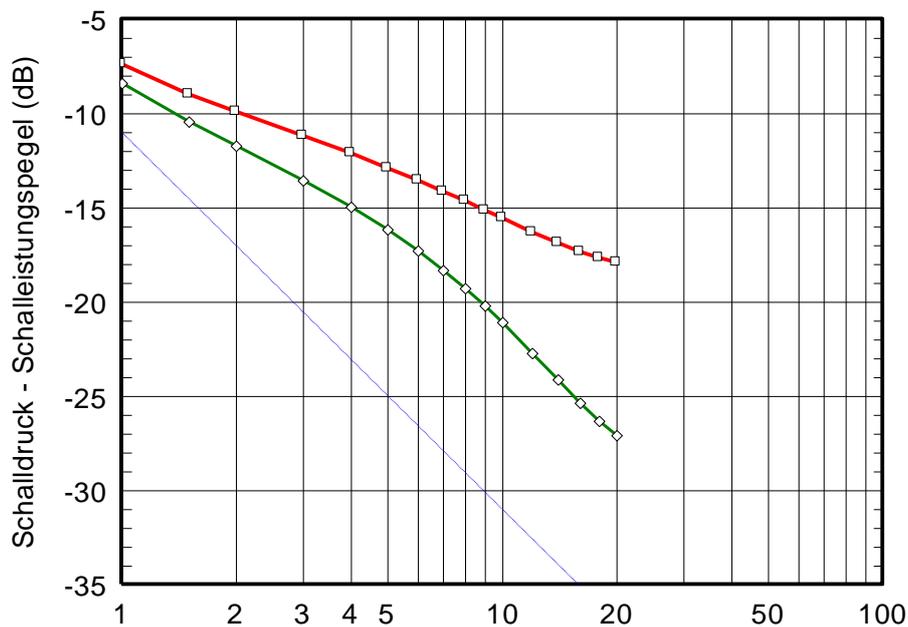
Anh.1, Abb. 18: Kfz-Werkstatt mit Fläche zur ASU-Untersuchung

Beurteilung

Bei der Durchführung der Abgasuntersuchung werden Schalleistungspegel von 106 dB(A) verursacht. Die damit verbundene Schallbelastung ist aufgrund des sehr halligen Raums unnötig hoch.

Anh. 1, Tab. 15: Raumakustisch relevante Daten und Streukörperberechnung

Raum	L (m)	B (m)	H (m)	V (m ³)
8	16	20	3	960
Anzahl	L (m)	B (m)	H (m)	S kumulativ (m ²)
10	4	2	2	320
Q (1/m)	0.083			



Anh.1, Abb. 19: Schallausbreitung – $DL_f = 14,9$ – $DL_2 = 2,7$
 Mit Akustikdecke $DL_f = 9,7$ – $DL_2 = 5,5$

Beurteilung

Mit DL_f von 14.9 dB ist der Schallpegel bei Betrieb der Motoren um ca. 6 dB höher als er sein müsste – auch wenn aufgrund der relativ niedrigen Beurteilungspegel keine hohe Motivation zu einer solchen Maßnahme bestehen dürfte.

Kompressorraum 9

Beschäftigte in diesem Raum : keine

Die im folgenden genannten Schalleistungspegel wurden nach einem angenäherten Hüllflächenverfahren (DIN ISO 3744/46) bestimmt.

Maschine : Kompressor Kaeser Typ 500-500, 725 U/min, 500 ltr/min, 500 ltr Kessel 10 atü



Anh.1, Abb. 20: Kompressorraum in der Kfz-Werkstatt

Anh. 1, Tab. 16: Schalldruckpegel-Messwerte und Schalleistungspegel

Spek	Bezeichnung								
Nr		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
	Kompressor	82.1	82.6	85.8	81.9	81.8	80.7	80.0	91.0

Auf die Berechnung der Schallausbreitungskurve wird hier verzichtet.

Handwerksraum 10: Lackiererei

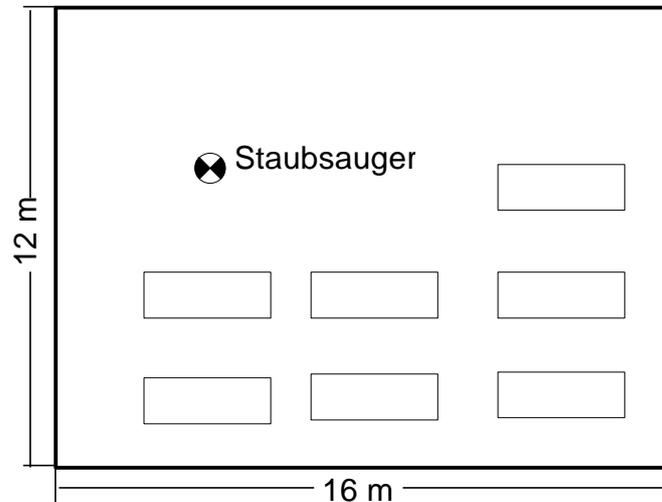
Beschäftigte in diesem Raum : 3 – 4 Personen

Raum: 16 m x 12 m x 5 m (siehe Grundriss)

Begrenzungsflächen: Boden Plattenbelag, Wände Betondielen, Decke geschlossene Kunststoffpaneele.

Arbeiten:

Vorbereiten von Karosserien zum Spritzen (Schleifen, Reinigungsblasen)



Anh.1, Abb. 21: Handwerksraum 10 im Grundriss mit der Geräuschquelle Staubsauger

Die im folgenden genannten Schalleistungspegel wurden aus den Messungen des Schalldruckpegels auf einer Messfläche in Anlehnung an DIN ISO 3744/46 bestimmt.



Anh.1, Abb. 22: Staubsauger



Anh.1, Abb. 23: Schleifmaschinen

Anh. 1, Tab. 17: Schalldruckpegel-Messwerte und Schalleistungspegel

Rohdaten Schalldruckpegel A-bewertet

Spek	Bezeichnung								
Nr		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
29	Meßwert Staubsauger 1m	49.2	69.0	73.6	78.0	80.5	82.0	76.2	86.2
33	Luftpistole zum Reinigen 1m	53.8	62.7	72.1	80.5	86.5	89.4	88.5	93.6
34	Meßwert Schleifen 1m (el.)	64.7	56.5	59.3	66.3	75.3	68.5	63.7	77.2
35	Meßwert Schleifen 1m (pneum.)	50.0	58.5	70.6	79.0	82.8	80.2	74.2	86.3

Schalleistungspegel

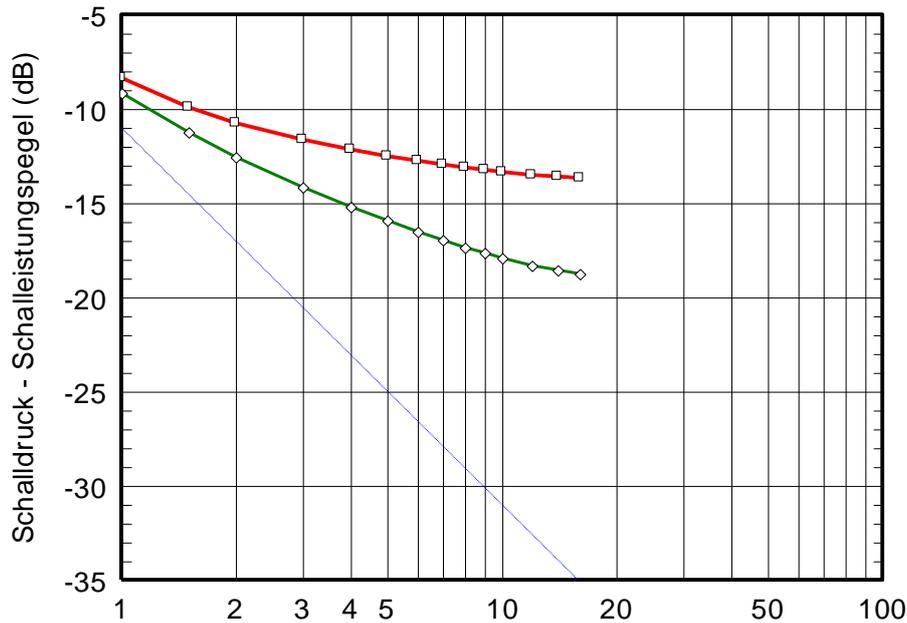
Spek	Bezeichnung								
Nr		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
	Staubsauger	56.0	75.9	80.7	85.2	87.7	89.3	83.5	93.3
	Reinigen mit Luftpistole	62.7	71.8	81.4	90.0	96.1	99.1	98.3	103.0
	Schleifen elektrisch	73.6	65.6	68.6	75.8	84.9	78.2	73.5	86.7
	Schleifen pneumatisch	58.9	67.6	79.9	88.5	92.4	89.9	84.0	95.8

Beurteilung

Wesentliche Geräuschbelastung beim Reinigen und Schleifen der Werkstücke.

Anh. 1, Tab. 18: Raumakustisch relevante Daten und Streukörperberechnung

Raum	L (m)	B (m)	H (m)	V (m ³)
10	16	12	5	960
Anzahl	L (m)	B (m)	H (m)	S kumulativ (m ²)
7	3	1	1	77
Q (1/m)	0.020			



Anh.1, Abb. 24: Schallausbreitung – $DL_f = 16,9 - DL_2 = 0,7$
 Mit Akustikdecke $DL_f = 12,1 - DL_2 = 1,7$

Beurteilung

In der Lackiererei treten vorwiegend beim Schleifen und Reinigen hohe Schallbelastungen auf. Wegen der nur zeitweisen Betätigung liegen aber die Beurteilungspegel im unkritischen Bereich. Da dieser Lackierbereich ohnehin von den anderen Arbeitsbereichen abgetrennt und in einem eigenen Raum untergebracht ist, werden weitergehende Maßnahmen am Raum nicht vorgeschlagen (absorbierende Ausstattungen sind wegen der Lacknebel nicht unkritisch, und weitere Raumteiler würden den Betrieb unangemessen behindern).

Allerdings könnte eine wesentliche Pegelminderung durch Ersatz der derzeit verwendeten Druckluftdüsen durch lärmarme Produkte – siehe Abschnitt 6.1 – erreicht werden. Weiter wäre es zu empfehlen, lärmarme Fächerschleifscheiben anstatt der derzeit verwendeten Standardscheiben zu verwenden.

Handwerksraum 11: Lackiererei - Lackierkabine

Beschäftigte in diesem Raum : 1 Person zeitweise
 Raum: 4 m x 7 m x 4 m (siehe Grundriss)
 Arbeiten: Spritzlackieren von Karosserien



Anh.1, Abb. 25: Spritzlackieren in der Lackierkabine

Die im folgenden genannten Schalleistungspegel wurden aus den Messungen des Schalldruckpegels auf einer Messfläche in Anlehnung an DIN ISO 3744/46 bestimmt.

Anh. 1, Tab. 19: Messwerte des Schalldruckpegels und Schalleistungspegel
Rohdaten Schalldruckpegel A-bewertet

Spek	Bezeichnung								
Nr		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
32	Meßwert Spritzlackieren	68.7	74.1	69.0	67.1	72.6	77.5	80.0	84.3

Schalleistungspegel

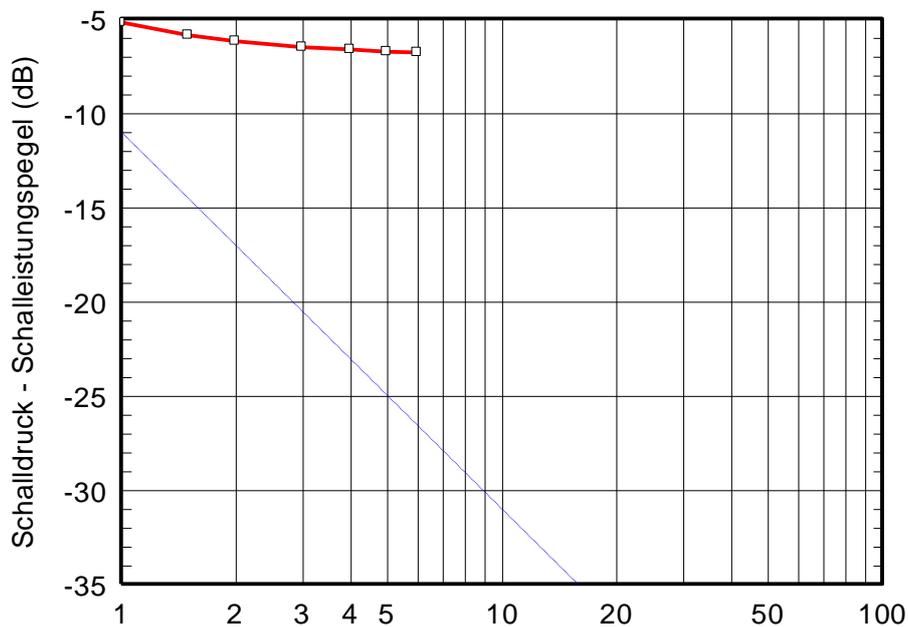
Spek	Bezeichnung								
Nr		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
	Spritzlackieren	74.7	80.8	76.2	74.7	80.7	85.9	88.7	91.7

Beurteilung

Einziges Geräuschquelle ist die Lackierpistole mit einem Schalleistungspegel von ca. 92 dB(A)

Anh. 1, Tab. 20: Raumakustisch relevante Daten und Streukörperberechnung

Raum	L (m)	B (m)	H (m)	V (m ³)
11	4	7	4	112
Anzahl	L (m)	B (m)	H (m)	S kumulativ (m ²)
1	1	1	1	5
Q (1/m)	0.011			

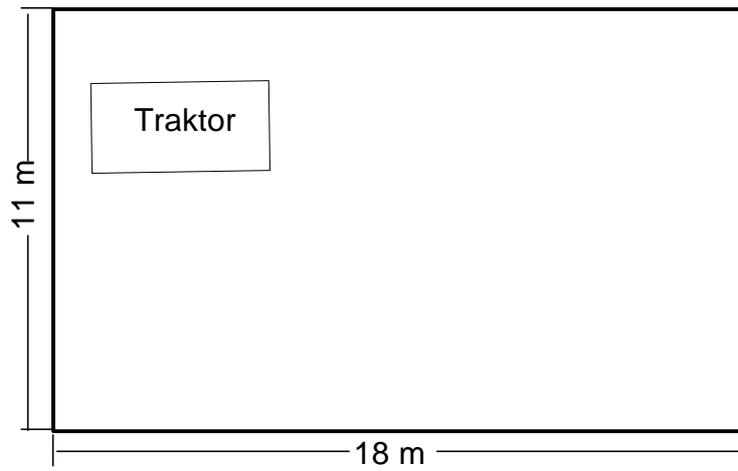
Anh.1, Abb. 26: Schallausbreitung – $DL_f = 19,0$ – $DL_2 = 0,2$

Beurteilung

In Lackierkabinen verbieten sich trotz der erheblichen Raumrückwirkung – letztlich handelt es sich um eine Art Hallraum – absorbierende Flächenverkleidungen aufgrund der mit den Lacknebeln verbundenen Brandgefahr und der erforderlichen Reinigbarkeit.

Handwerksraum 12: Landmaschinen – Reparatur- und Wartung

Beschäftigte in diesem Raum : 2 Person Adresse:
 Raum: 18 m x 11 m x 3.5 m (siehe Grundriss)
 Arbeiten: Reparatur und Wartung von Traktoren



Anh.1, Abb. 27: Handwerksraum 12 im Grundriss mit dem Montageplatz



Anh.1, Abb. 28: Traktor-Wartungsplatz



Anh.1, Abb. 29: Richtarbeit



Anh.1, Abb. 30: Maschinen zum Schruppen

Anh.1, Abb. 31: Lichtbogens
schweißen

Die im folgenden genannten Schalleistungspegel wurden aus den Messungen des Schalldruckpegels auf einer Messfläche in Anlehnung an DIN ISO 3744/46 bestimmt.

Anh. 1, Tab. 21: Gemessene Schalldruckpegel und Schalleistungspegel
Rohdaten Schalldruckpegel A-bewertet

Spek	Bezeichnung								
Nr		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
36	Schlagschrauben (Radmuttern) 1m	63.7	71.4	76.0	83.1	88.2	92.4	95.6	98.6
37	Schruppen (mit Metabo 2000 W) 1m	60.0	60.0	71.2	83.1	90.1	96.1	94.0	99.0
38	Leerlauf Metabo 2000 W	60.0	66.8	80.0	84.8	92.0	90.0	89.5	96.1
39	Schruppen (mit Bosch 670 W) 1m	51.3	54.9	63.5	71.4	82.4	90.1	82.2	91.5
40	Leerlauf Bosch 670 W	50.2	56.8	67.5	77.7	85.5	91.0	85.7	93.2
41	Richten (Biegen 8mm Flachstahl) Lmax	74.4	81.4	91.0	96.2	97.4	95.6	94.0	101.5
42	Richten (Biegen 8mm Flachstahl) Leq	67.1	80.2	91.1	90.3	92.1	90.7	87.0	97.7
43	Lichtbogenschweißen mit 150 A	56.4	61.0	65.0	62.1	65.0	67.9	68.7	74.2

Schalleistungspegel

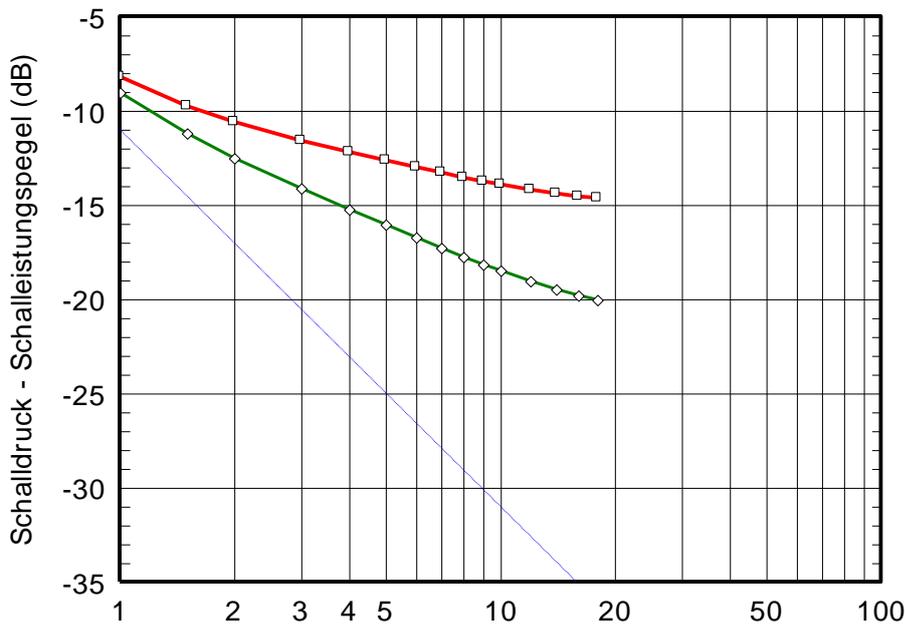
Spek	Bezeichnung								
Nr		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
36	Schlagschrauben (Radmuttern) 1m	72.4	80.4	85.2	92.4	97.7	102.0	105.3	107.6
37	Schruppen (mit Metabo 2000 W) 1m	68.7	69.0	80.4	92.4	99.6	105.7	103.7	108.5
38	Leerlauf Metabo 2000 W	68.7	75.8	89.2	94.1	101.5	99.6	99.2	105.4
39	Schruppen (mit Bosch 670 W) 1m	60.0	63.9	72.7	80.7	91.9	99.7	91.9	101.0
40	Leerlauf Bosch 670 W	58.9	65.8	76.7	87.0	95.0	100.6	95.4	102.7
41	Richten (Biegen 8mm Flachstahl) Lmax	83.1	90.4	100.2	105.5	106.9	105.2	103.7	111.8
42	Richten (Biegen 8mm Flachstahl) Leq	75.8	89.2	100.3	99.6	101.6	100.3	96.7	107.0
43	Lichtbogenschweißen mit 150 A	65.1	70.0	74.2	71.4	74.5	77.5	78.4	83.2

Beurteilung

Unterschiedliche Arbeiten am jeweils in Reparatur befindlichen Traktor oder Gerät sowie Arbeiten an der Werkbank. Lärmintensive Richt-, Schleif und Schraubarbeiten mit relativ geringem Zeitanteil (< 10%), deshalb kein Lärmbereich.

Anh. 1, Tab. 22: Raumakustisch relevante Daten und Streukörperberechnung

Raum	L (m)	B (m)	H (m)	V (m ³)
12	18	11	3.5	693
Anzahl	L (m)	B (m)	H (m)	S kumulativ (m ²)
1	4	3	3	54
Q (1/m)	0.019			



Anh.1, Abb. 32: Schallausbreitung – $DL_f = 16,4$ – $DL_2 = 1,1$
 Mit Akustikdecke $DL_f = 12,0$ – $DL_2 = 2,3$

Beurteilung

Wie in den meisten untersuchten Handwerksbetrieben könnte zu den Zeiten, in denen lärmintensive Arbeiten verrichtet werden, durch Einsatz lärmarmere Werkzeuge eine schalltechnische Verbesserung erreicht werden. Allerdings ist die Motivation hierzu wegen der geringen Einsatzzeiten und der stets wechselnden Tätigkeit recht gering.

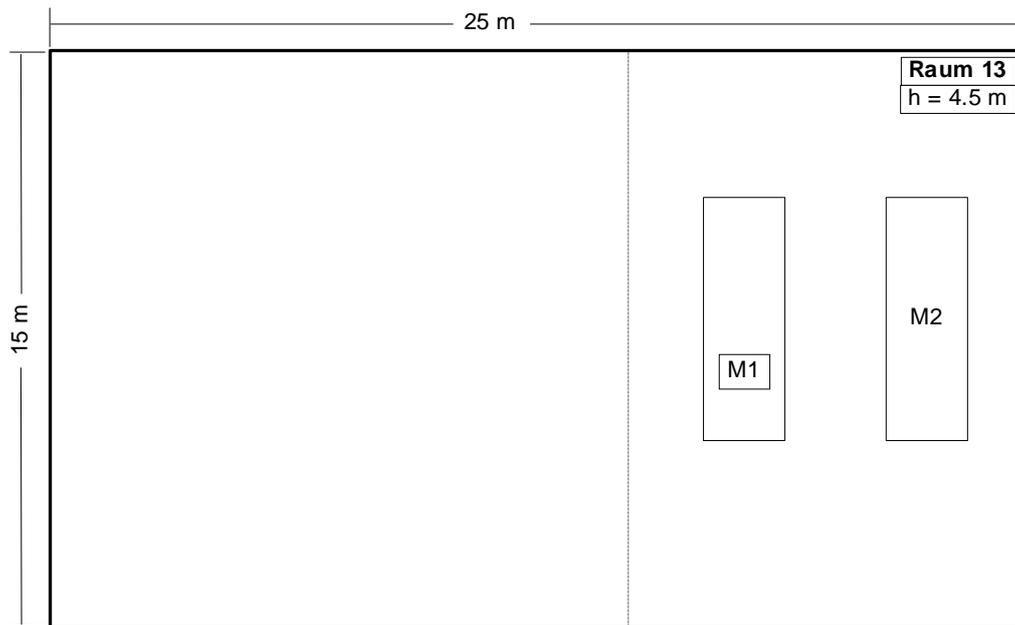
Handwerksraum 13: Aluprofil-Verarbeitung, Fensterrahmen-Herstellung

Raum: 25 m x 15 m x 4.5 m (siehe Grundriss)

Begrenzungsflächen: Boden Beton, Wände Betondielen gestrichen, Decke Trapezblech.

Arbeiten:

Profile sägen und ablängen



Anh.1, Abb. 33: Grundriss der Halle mit den beiden Profilbearbeitungsmaschinen



Anh.1, Abb. 34: Profilbearbeitungszentrum
EMMICI



Anh.1, Abb. 35: Profilsäge RAPID

Die im folgenden genannten Schalleistungspegel wurden aus den Messungen des Schalldruckpegels auf einer Messfläche in Anlehnung an DIN ISO 3744/46 bestimmt.

Maschine 1: Profilbearbeitungszentrum EMMICI Bj. 1999. Messung beim Schnitt (10 % der Betriebszeit)

Maschine 2: Doppelgehrungs-Profilsäge RAPID TGL 8099, Bj. 1984

Anh. 1, Tab. 23: Gemessene Schalldruckpegel A-bewertet

Spek Nr	Bezeichnung								
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
44	Profilbearb.zentrum Emmici Leq an AP (2m)	44.2	48.3	62.2	68.6	78.0	79.1	77.2	83.4
45	Profilbearb.zentrum Emmici Lmax an AP (2m)	48.3	54.4	66.8	71.2	82.8	84.5	83.4	88.7
46	Doppelgehrungssäge Rapid Leq an AP (2m)	54.5	62.3	70.8	76.1	85.7	88.9	86.9	92.6
47	Doppelgehrungssäge Rapid Lmx an AP (2m)	57.3	64.9	73.0	78.0	90.7	91.6	93.8	95.9

Anh. 1, Tab. 24: Ermittelte Schalleistungspegel

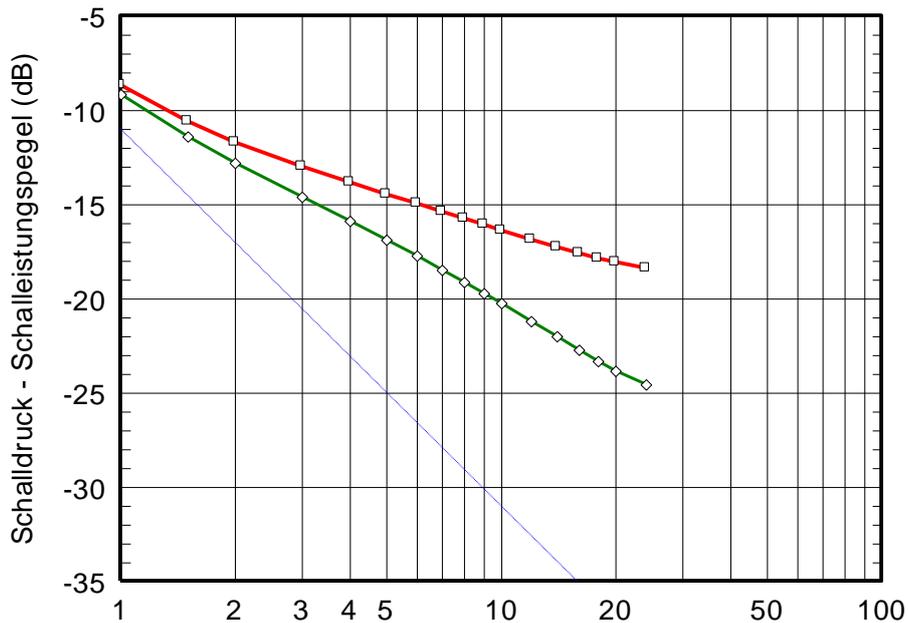
Spek Nr	Bezeichnung								
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
	Profilbearbeitungszentrum Leq 2m	57.8	62.4	76.6	83.3	93.0	94.3	92.6	98.3
	Profilbearbeitungszentrum Lmax 2m	61.9	68.5	81.2	85.9	97.8	99.7	98.8	103.7
	Doppelgehrungssäge Leq 2m	68.1	76.4	85.2	90.8	100.7	104.1	102.3	107.5
	Doppelgehrungssäge Lmax 2m	70.9	79.0	87.4	92.7	105.7	106.8	109.2	112.4

Beurteilung

Die Beurteilungspegel sind durch die Sägevorgänge bestimmt. Die weitere Profilbearbeitung verursacht Pegel im Bereich 80 bis 85 dB(A).

Anh. 1, Tab. 25: Raumakustisch relevante Daten und Streukörperberechnung

Raum	L (m)	B (m)	H (m)	V (m ³)
13	25	15	4.5	1687.5
Anzahl	L (m)	B (m)	H (m)	S kumulativ (m ²)
4	3	3	3	180
2	6	1	1	220
Q (1/m)	0.033			



Anh.1, Abb. 36: Schallausbreitung – $DL_f = 14,0$ – $DL_2 = 1,9$
 Mit Akustikdecke $DL_f = 10,3$ – $DL_2 = 3,5$

Beurteilung

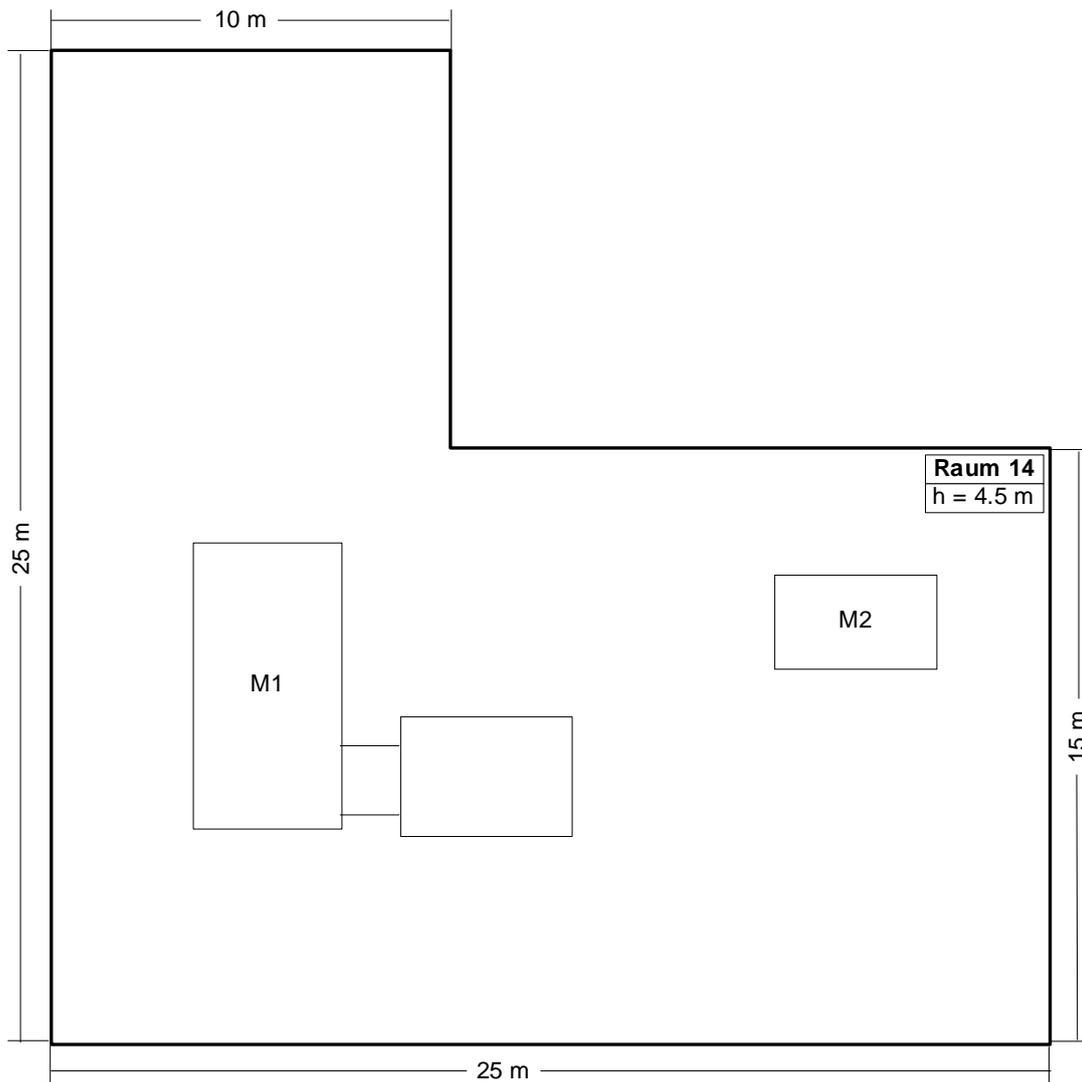
Die Maschinen (z. B. Profilmbearbeitungszentrum) entsprechen neuester Bauart und sind bereits durch integrierte, innen absorbierend ausgestattete Vollkapsel lärmgemindert. Eine weitere Verbesserung könnte durch Einbau einer schallabsorbierenden Decke erzielt werden. Allerdings besteht hierzu keine wesentliche Notwendigkeit, weil die Beurteilungspegel den Wert von 80 dB(A) nicht übersteigen.

Handwerksraum 14: Kunststoffprofil-Verarbeitung, Fensterrahmen-Herstellung

Raum: 25 m x 25 m x 4.5 m (siehe Grundriss)

Begrenzungsflächen: Boden Beton, Wände Betondielen gestrichen, Decke Trapezblech.

Arbeiten: Profile fräsbearbeiten, ablängen, zusammenbauen, Ecken verputzen
 Bearbeitungsdauer pro Rahmen ca. 3 min.



Anh.1, Abb. 37: Grundriss mit Profilbearbeitungszentrum (M1) und Eckenverputzautomat (M2)



Anh.1, Abb. 38: Profilverarbeitungszentrum RAPID



Anh.1, Abb. 39: Montagetisch

Die im folgenden genannten Schalleistungspegel wurden aus den Messungen des Schalldruckpegels auf einer Messfläche in Anlehnung an DIN ISO 3744/46 bestimmt.

Maschine 1: Profilverarbeitungszentrum RAPID Optim 400, Bj. 1998, 2800 min^{-1}

Maschine 2: Eckenverputzautomat Stürz Elumatec Bj. 1997

Anh. 1, Tab. 26: Gemessene Schalldruckpegel A-bewertet

Spek	Bezeichnung								
Nr		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
50	Profilbearb.zentrum R. Optim 400 Leq (1m)	60.1	66.0	72.0	75.5	78.2	80.3	79.2	85.2
51	Profilbearb.zentrum R. Optim 400 Lmax (1m)	64.4	69.2	78.3	82.5	83.9	87.6	88.2	92.5
52	Eckenverputzautomat St. Elumatec Leq 2m	54.9	61.6	69.3	73.9	78.1	88.8	86.5	91.3
53	Eckenverputzautomat St. Elumatec Lmx 2m	58.0	69.2	80.8	86.0	85.1	101.4	98.0	103.2

Anh. 1, Tab. 27: Schalleistungspegel

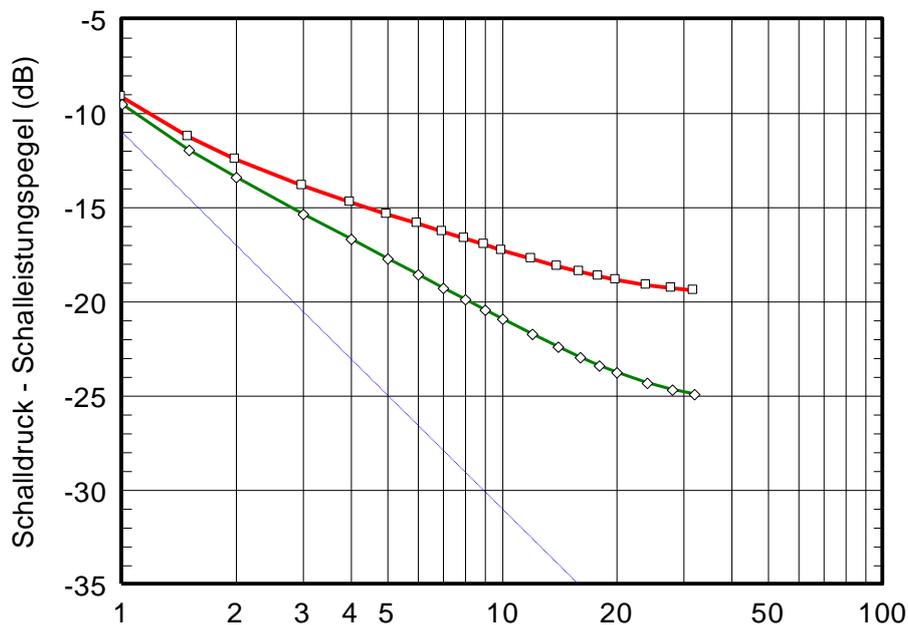
Spek	Bezeichnung								
Nr		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
	Profilbearbeitungszentrum, L_{WA}	73.5	79.7	86.0	89.7	92.6	94.9	93.9	99.5
	Profilbearbeitungszentrum, L_{Wmax}	77.8	82.9	92.3	96.7	98.3	102.2	102.9	107.0
	Eckenverputzautomat, L_{WA}	66.8	73.7	81.6	86.4	90.7	101.5	99.3	103.9
	Eckenverputzautomat, L_{Wmax}	69.9	81.3	93.1	98.5	97.7	114.1	110.8	116.0

Beurteilung

Die Beurteilungspegel liegen im Bereich 80 bis 85 dB(A).

Anh. 1, Tab. 28: Raumakustisch relevante Daten und Streukörperberechnung

Raum	L (m)	B (m)	H (m)	V (m ³)
14	25	25	4.5	2812.5
Anzahl	L (m)	B (m)	H (m)	S kumulativ (m ²)
2	4	2	2	64
1	8	2	1	100
Q (1/m)	0.009			



Anh.1, Abb. 40: Schallausbreitung – $DL_f = 13,1$ – $DL_2 = 1,8$
 Mit Akustikdecke $DL_f = 9,7$ – $DL_2 = 3,1$

Beurteilung

In diesem Raum betragen die Beurteilungspegel 80 – 85 dB(A) – eine Verbesserung von mehr als 3 dB ist aufgrund der direkten Zuordnung Mensch-Geräuschquelle kaum möglich. Raumakustische Verbesserungen durch schallabsorbierende Verkleidung von Flächen ergäbe rechnerisch eine Verbesserung um 1 – 2 dB – zuwenig, um den damit verbundenen Aufwand zu rechtfertigen. Die mit absorbierenden Maßnahmen gebotene weitere Raumaufteilung durch Teiltrennwände würde den Betriebsablauf zu stark beeinträchtigen.

Handwerksraum 15: Stahlbau, Strahlanlage

Raum: 7 m x 7 m x 5.3 m (siehe Grundriss)

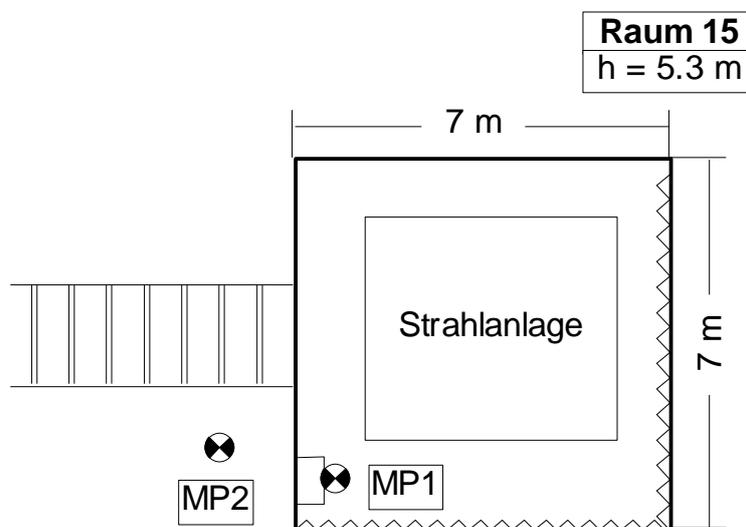
Strahlanlage in einer schallabsorbierend ausgekleideten Kabine. Strahlen mit Stahlkugeln. Strahlvorgang in einer Kapsel.

Arbeiten: Bedienung, Wartung

Anh. 1, Tab. 29: Gemessene Schalldruckpegel und ermittelte Schalleistungspegel

Spek Nr	Bezeichnung	Frequenz							
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
54	in Strahlkabine Leq	74.1	72.2	77.5	78.2	76.0	76.5	73.1	84.4
55	in Strahlkabine Lmax	79.6	74.5	80.1	80.0	77.4	79.6	75.8	86.0
56	außerhalb Strahlkabine	63.1	66.4	72.1	73.2	70.1	66.3	59.2	77.7

Spek Nr	Bezeichnung	Frequenz							
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
54	Emission Strahlkapsel L_{WA}	87.6	86.3	92.2	93.4	91.7	92.6	89.6	99.6
56	Emission Strahlkapsel L_{WAmax}	93.1	88.6	94.8	95.2	93.1	95.7	92.3	102.2



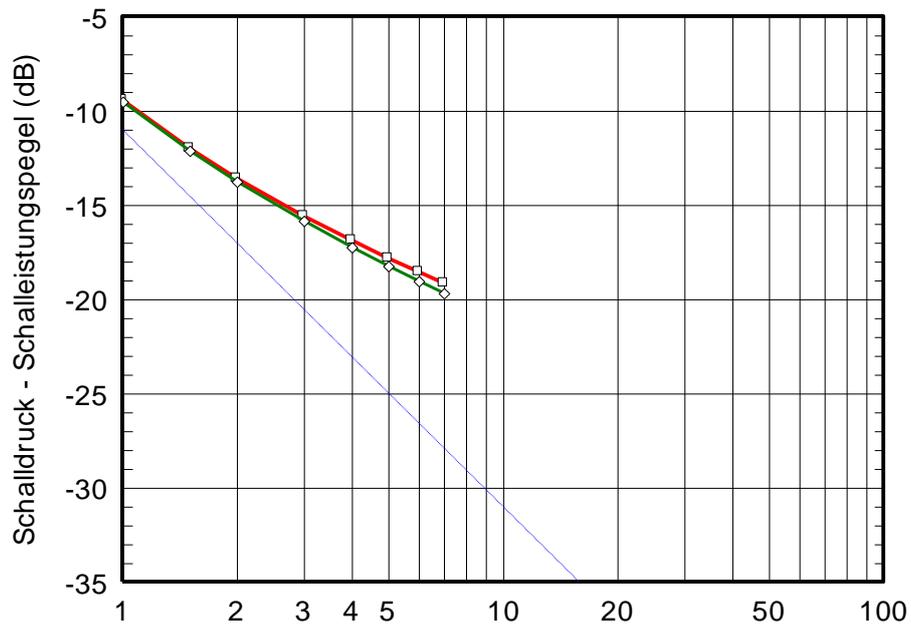
Anh.1, Abb. 41: Grundriss gekapselte Strahlanlage in begehbare, schallabsorbierend ausgekleideter Kabine



Anh.1, Abb. 42: Blick in die geöffnete begehbare Kabine

Anh. 1, Tab. 30: Raumakustisch relevante Daten und Streukörperberechnung

Raum	L (m)	B (m)	H (m)	V (m ³)
15	7	7	5.3	259.7
Anzahl	L (m)	B (m)	H (m)	S kumulativ (m ²)
1	5	5	3	85
Q (1/m)	0.082			



Anh.1, Abb. 43: Schallausbreitung – $DL_f = 7,9$ – $DL_2 = 2,7$
 Mit zus. Akustikdecke $DL_f = 7,5$ – $DL_2 = 3,0$

Beurteilung

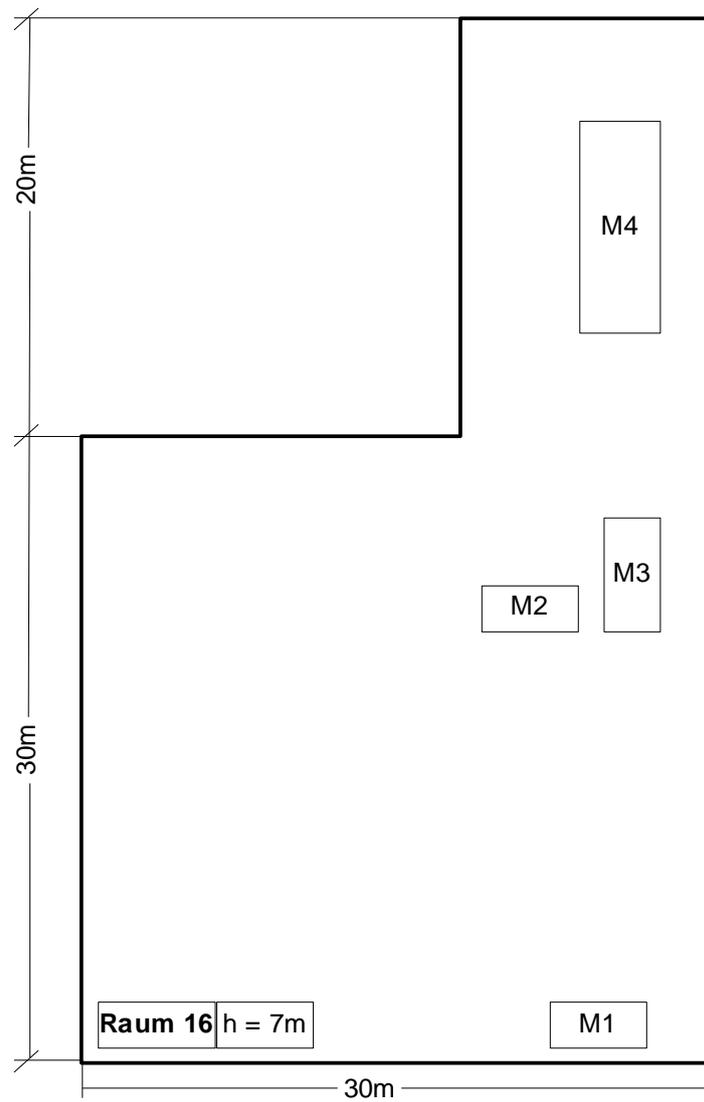
Die Beurteilungspegel liegen im Bereich 80 bis 85 dB(A) (MP2 in Bild Anh.1, Abb. Z41). Dieser Pegel könnte niedriger sein, wenn die Kapselwand eine höhere Schalldämmung aufweisen würde und wenn alle noch offenen Durchgangsöffnungen konsequenter geschlossen wären.

Handwerksraum 16: Stahlbau

Raum: 50 m x 30 m x 7 m (siehe Grundriss)

Stahlbau mit Abkantpresse, Brennschneideanlage und Richttischen

Arbeiten: Trennung, Umformung



Anh.1, Abb. 44: Grundriss Stahlbauhalle (M1 Strahlanlage, M2 Abkantschere, M3 Abkantpresse, M4 Brennschneideanlage)



Anh.1, Abb. 45: Hydraulische Abkantpresse



Anh.1, Abb. 46: Richtarbeiten mit Hammer

Die im folgenden genannten Schalleistungspegel wurden aus den Messungen des Schalldruckpegels auf einer Messfläche in Anlehnung an DIN ISO 3744/46 bestimmt.

Anh. 1, Tab. 31: Gemessene Schalldruckpegel A-bewertet

Spek Nr	Bezeichnung								Gesamt
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
57	Hydr. Abkantpresse Baykal 1m	48.2	60.4	68.3	71.8	70.7	65.1	58.7	75.9
58	Richten 10mm Blech Leq 2m	71.0	78.1	83.0	94.0	102.2	100.1	91.7	105.0
59	Richten 10mm Blech Lmax 2m	78.3	89.0	94.8	104.5	113.7	111.8	104.9	116.3

Anh. 1, Tab. 32: Schalleistungspegel

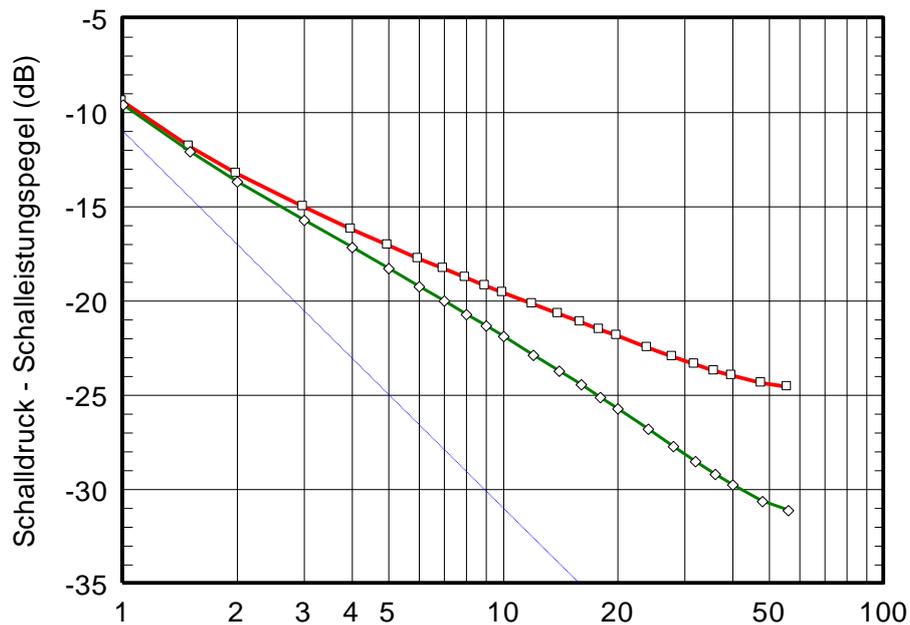
Spek Nr	Bezeichnung								Gesamt
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Hydr. Abkantpresse Baykal L_{WA}	62.6	75.1	83.3	87.1	86.2	80.7	74.5	91.2
	Richten 10mm Blech L_{WA}	83.2	90.5	95.6	106.7	115.0	113.0	104.7	117.8
	Richten 10mm Blech L_{WAmax}	90.5	101.4	107.4	117.2	126.5	124.7	117.9	129.4

Beurteilung

Die Beurteilungspegel sind durch die Richtvorgänge bestimmt und zeigen einen Lärmbereich an. Die weitere Blechbearbeitung verursacht Pegel im Bereich 80 bis 85 dB(A).

Anh. 1, Tab. 33: Raumakustisch relevante Daten und Streukörperberechnung

Raum	L (m)	B (m)	H (m)	V (m ³)
16	50 *	30 *	7	7700
Anzahl	L (m)	B (m)	H (m)	S kumulativ (m ²)
20	3	3	1	420
Q (1/m)	0.014			



Anh.1, Abb. 47: Schallausbreitung – DLf = 10,9 – DL2 = 2,4
 Mit Akustikdecke DLf = 8,7 – DL2 = 3,7

Beurteilung

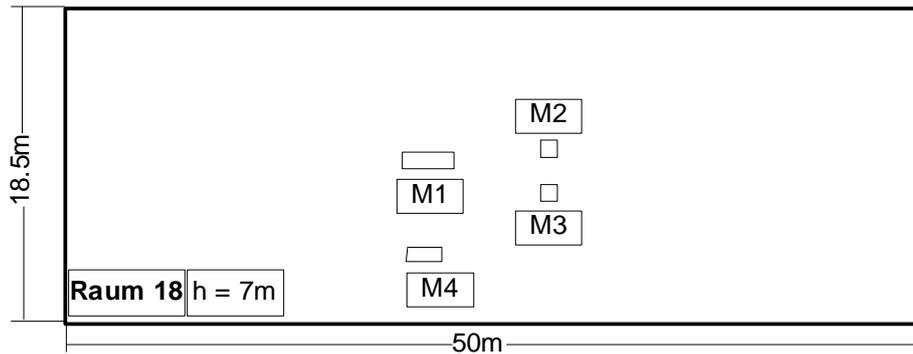
Raumakustische Maßnahmen an der Halle versprechen aufgrund der Hallengröße wenig Erfolg – Kosten von ca. 70.000,-€ stünden Pegelminderungen von 1 – 2 dB gegenüber. Allerdings wäre am Richttisch wesentliche Verbesserungen möglich. Dieser könnte durch Dämpfungsbelag und Konterblech an der Unterseite bedämpft werden. Außerdem wäre es zweckmäßig, die Einsetzbarkeit von leisen und rückschlagfreien Hämmern zu testen.

Handwerksraumraum 18: Stahlbauhalle

Raum (Stahlbauhalle):

50 m x 18.5 m x 7 m (siehe Grundriss)

Maschinen und Arbeitsplätze zum Bohren, Brennen, Sägen, Stanzen und Schutzgasschweißen



Anh.1, Abb. 48: Grundriss Stahlbauhalle



Anh.1, Abb. 49: Bohr-Brennanlage



Anh.1, Abb. 50: Schutzgasschweißen



Anh.1, Abb. 51: Säge- Bohrmaschine

Anh.1, Abb. 52: Stanze

Die im folgenden genannten Schalleistungspegel wurden aus den Messungen des Schalldruckpegels auf einer Messfläche in Anlehnung an DIN ISO 3744/46 bestimmt.

Anh. 1, Tab. 34: Gemessene Schalldruckpegel A-bewertet

Spek Nr	Bezeichnung								
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
60	Bohr- Brennanlage Wagner 1m	47.0	57.4	68.7	77.6	75.1	74.8	76.3	82.9
63	Schutzgasschweißen 1m	50.0	56.5	66.7	75.8	85.2	86.9	86.8	91.8
64	Säge- Bohranlage Trennjäger Rohr 100x4 L	69.6	80.8	88.1	91.0	94.3	85.0	73.5	97.0
65	Säge- Bohranlage Trennjäger Platte 15 Leq	73.0	84.2	92.1	90.8	90.1	80.8	71.4	96.3
66	Kreissäge Trennjäger LTS400HA Leq	59.7	69.8	79.0	87.0	77.6	72.1	64.0	88.3
67	Kreissäge Trennjäger LTS400HA Leq	61.8	71.3	77.5	80.8	78.7	72.4	64.2	84.6
68	Kreissäge Trennjäger VCT 325 Leq	68.2	77.9	84.8	87.0	81.9	77.8	78.1	90.7
69	Kombischere Darley als Stanze Leq 1m	58.2	67.2	67.3	71.4	71.4	70.4	63.8	77.3
70	Kombischere Darley als Stanze Lmax 1m	66.9	77.7	75.7	80.9	82.2	80.2	75.0	86.3
71	Kombischere Darley als Schere Lmax 1m	54.5	68.7	78.5	82.8	80.5	76.9	68.0	86.3
72	Kombischere Darley als Schere Leq 1m	50.7	57.3	66.9	71.1	68.6	65.0	56.4	74.7

Anh. 1, Tab. 35: Schalleistungspegel

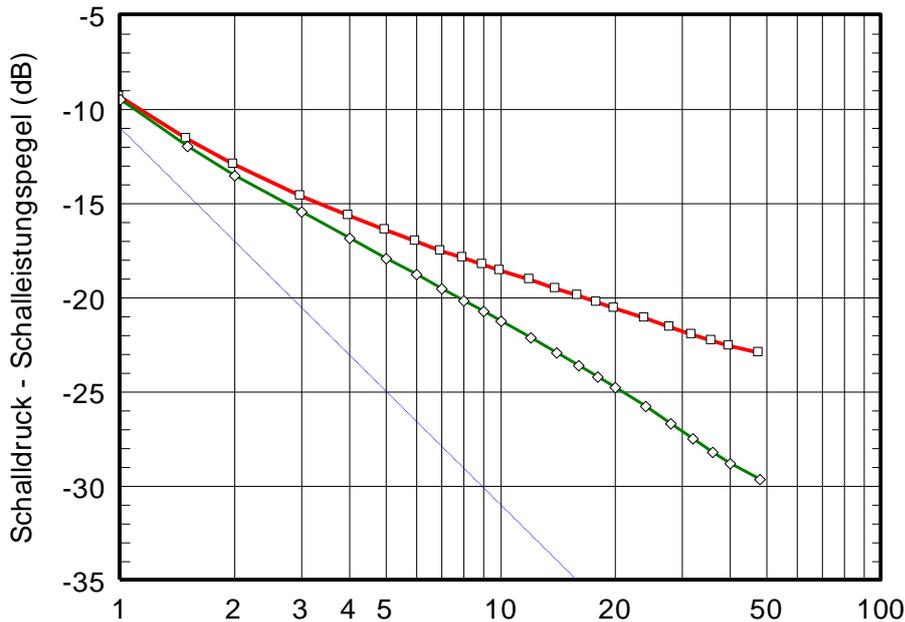
Spek Nr	Bezeichnung								Gesamt
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Bohr- Brennanlage Wagner	59.9	70.6	82.1	91.2	88.9	88.7	90.3	96.1
	Schutzgasschweißen	59.9	66.5	76.8	86.0	95.5	97.2	97.2	101.6
	Säge- Bohranlage Trennjäger Rohr 100x4	82.7	94.2	101.7	104.8	108.3	99.1	87.8	110.9
	Säge- Bohranlage Trennjäger Platte 15	86.1	97.6	105.7	104.6	104.1	94.9	85.7	110.1
	Kreissäge Trennjäger LTS400HA	72.8	83.2	92.6	100.8	91.6	86.2	78.3	102.1
	Kreissäge Trennjäger LTS400HA	74.9	84.7	91.1	94.6	92.7	86.5	78.5	98.4
	Kreissäge Trennjäger VCT 325	81.3	91.3	98.4	100.8	95.9	91.9	92.4	104.4
	Kombischere Darley als Stanze L_{WA}	70.9	80.2	80.5	84.8	84.9	84.0	77.5	90.6
	Kombischere Darley als Stanze L_{WAmax}	79.6	90.7	88.9	94.3	95.7	93.8	88.7	100.6
	Kombischere Darley als Schere L_{WA}	63.4	70.3	80.1	84.5	82.1	78.6	70.1	88.1
	Kombischere Darley als Schere L_{WAmax}	67.2	81.7	91.7	96.2	94.0	90.5	81.7	99.8

Beurteilung

Extrem wechselhafte Geräuschbelastung. Längere Mittelwertbildung erforderlich.
Beurteilungspegel 80 bis 88 dB(A).

Raumakustisch relevante Daten und Streukörperberechnung

Raum	L (m)	B (m)	H (m)	V (m ³)
18	50	18.5	7	6475
Anzahl	L (m)	B (m)	H (m)	S kumulativ (m ²)
15	3	2	2	390
5	0.8	0.8	1	409.2
Q (1/m)	0.016			



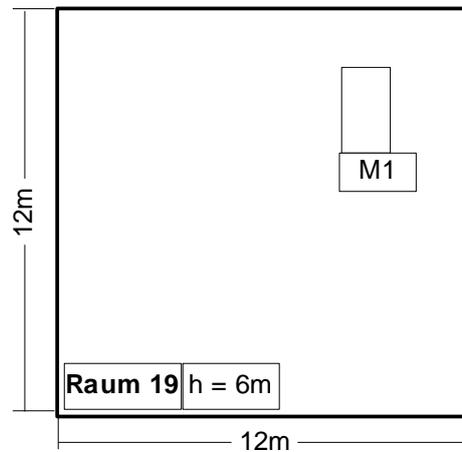
Anh.1, Abb. 53: Schallausbreitung – $DL_f = 11,8$ – $DL_2 = 2,1$
 Mit Akustikdecke $DL_f = 9,3$ – $DL_2 = 3,4$

Beurteilung

Hier könnte durch mehr auf die Lärmproblematik ausgerichtete Layoutplanung eine Verbesserung erzielt werden. Derzeit führt der Betrieb jeder einzelnen Maschine und jede lärmintensive Tätigkeit zur „akustischen Verseuchung“ weiter Hallenbereiche. Durch konsequente Anordnung der geräuschintensiven Maschinen an einer schallabsorbierend verkleideten Rückwand und die Montage von ca. 3 m hohen und 5 m langen, beidseitig schallabsorbierenden Trennwänden zwischen diesen Maschinen würde die Schallübertragung wesentlich gemindert. Außerdem müssten konsequent lärmarme Blasdüsen angewendet werden, um die derzeit häufig an unterschiedlichen Stellen emittierten Blasgeräusche zu mindern.

Handwerksraum 19: Garagentorfertigung

Raum (Vorbereitungsraum): 12 m x 12 m x 6 m (siehe Grundriss)
 Boden Beton, Wände verputzt gestrichen, Dach Kunststoffpaneele
 Kreissäge zum Ablängen von Profilen



Anh.1, Abb. 54: Grundriss des Vorbereitungsraums



Anh.1, Abb. 55: Kreissäge zum Ablängen der Profile

Die im folgenden genannten Schalleistungspegel wurden aus den Messungen des Schalldruckpegels auf einer Messfläche in Anlehnung an DIN ISO 3744/46 bestimmt.

Anh. 1, Tab. 36: Gemessene Schalldruckpegel A-bewertet

Spek Nr	Bezeichnung								
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
73	Stahlprofil U35x35x3 abl. Kreissäge 1m	62.4	73.6	82.6	85.0	85.1	87.6	87.0	93.0

Anh. 1, Tab. 37: Schalleistungspegel

Bezeichnung								
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
Stahlprofil ablängen mit Kreissäge	69.5	81.1	90.4	93.0	93.4	96.1	95.6	101.2

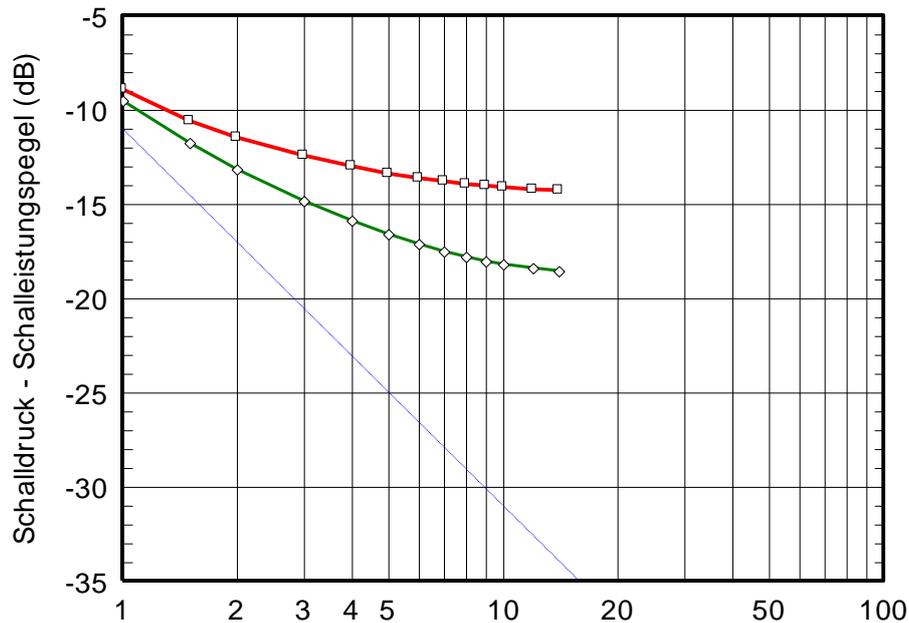
Kreissäge Berg u. Schmidt Typ VKS 350

Beurteilung

Nur sporadische Geräuschbelastung. Beurteilungspegel ca. 80 bis 83 dB(A).

Anh. 1, Tab. 38: Raumakustisch relevante Daten und Streukörperberechnung

Raum	L (m)	B (m)	H (m)	V (m ³)
19	12	12	6	864
Anzahl	L (m)	B (m)	H (m)	S kumulativ (m ²)
1	2	1	1.5	11
Q (1/m)	0.003			



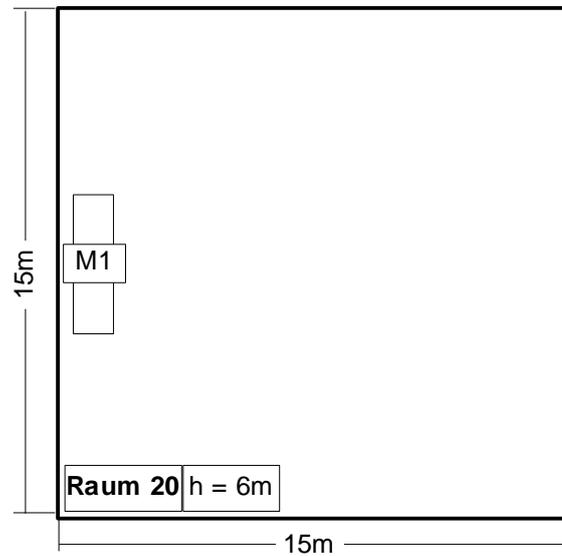
Anh.1, Abb. 56: Schallausbreitung – $DL_f = 15,5$ – $DL_2 = 0,6$
 Mit Akustikdecke $DL_f = 11,7$ – $DL_2 = 1,3$

Beurteilung

Aufgrund der nur sporadischen Nutzung und vor allem der „Nichtnutzung“ des übrigen Raums sind Lärminderungsmaßnahmen nicht wirkungsvoll. Die Emission der Säge selbst entspricht mit 101 dB(A) dem Stand der Technik und kann betriebsseitig kaum vermindert werden. Erst bei geplanter Nutzung des übrigen Raums ist zu empfehlen, den Sägebereich durch eine maschinenseitig absorbierend ausgeführte L-förmige Montagewand von 3 m Höhe akustisch vom übrigen Raum akustisch abzukoppeln und eine Akustikdecke einzubauen.

Handwerksraum 20: Garagentorfertigung

Raum (Holzbearbeitung und Montage): 15 m x 15 m x 6 m (siehe Grundriss)
 Boden Beton, Wände verputzt gestrichen, Dach Kunststoffpaneele
 Kreissäge Graule zum Ablängen von Holzpaneelen



Anh.1, Abb. 57: Grundriss des Montageraums



Anh.1, Abb. 58: Ablängen von Holzpaneelen mit der Kreissäge

Die im folgenden genannten Schalleistungspegel wurden aus den Messungen des Schalldruckpegels auf einer Messfläche in Anlehnung an DIN ISO 3744/46 bestimmt.

Anh. 1, Tab. 39: Schalldruckpegel A-bewertet

Spek Nr	Bezeichnung								Gesamt
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
74	Holzpaneele ablängen 1m	50.0	57.0	68.0	72.6	80.4	91.0	80.6	91.8

Anh. 1, Tab. 40: Schalleistungspegel, (Kreissäge Graule)

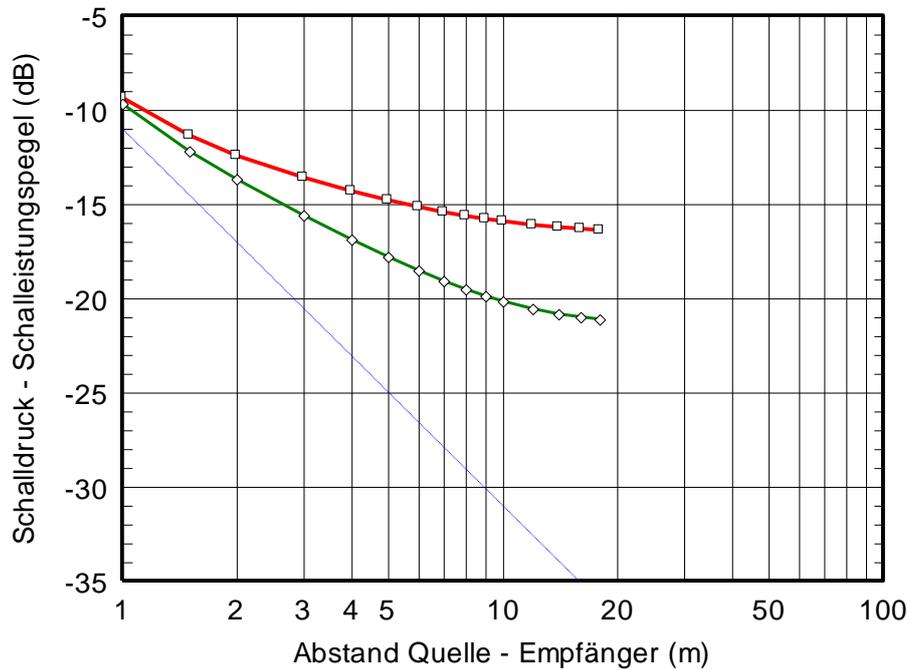
Bezeichnung								Gesamt
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
ablängen von Holzprofilen	58.9	66.3	77.6	82.5	90.6	101.4	91.1	102.1

Beurteilung

Geräuschbelastung durch Betrieb der Kreissäge. Beurteilungspegel 80 bis 83 dB(A).

Anh. 1, Tab. 41: Raumakustisch relevante Daten und Streukörperberechnung

Raum	L (m)	B (m)	H (m)	V (m ³)
20	15	15	6	1350
Anzahl	L (m)	B (m)	H (m)	S kumulativ (m ²)
1	2	1	1	8
Q (1/m)	0.001			



Anh.1, Abb. 59: Schallausbreitung – $DL_f = 14,3$ – $DL_2 = 0,9$
 Mit Akustikdecke $DL_f = 10,4$ – $DL_2 = 1,9$

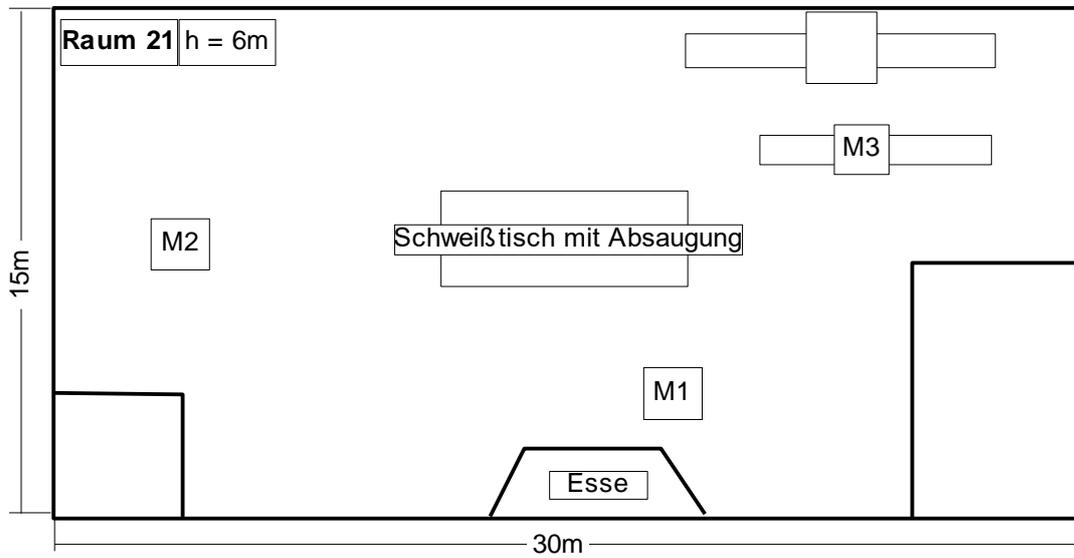
Beurteilung

Wie Raum 19 im selben Betrieb. Maßnahmen der dort genannten Art wären erst angezeigt, wenn noch weitere Arbeitsplätze im Raum integriert würden.

Handwerksraum 21: Schlosserei, Schmiede

Raum: 30 m x 15 m x 6 m (siehe Grundriss)

Boden Beton, Wände Betondielen gestrichen, Dach Trapezblech



Anh.1, Abb. 60: Grundriss der Schlosserei



Anh.1, Abb. 61: Esse



Anh.1, Abb. 62: Handschmieden



Anh.1, Abb. 63: Schmiedehammer Kuhn



Anh.1, Abb. 64: Schruppschleifen



Anh.1, Abb. 65: Kreissäge LPC



Anh.1, Abb. 66: Kreissäge Trennjäger

Die im folgenden genannten Schalleistungspegel wurden aus den Messungen des Schalldruckpegels auf einer Messfläche in Anlehnung an DIN ISO 3744/46 bestimmt.

Anh. 1, Tab. 42: Gemessene Schalldruckpegel A-bewertet

Spek Nr	Bezeichnung								
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
75	Schmiedehammer Kuhn K 23 Bearb. Leq 1m	70.8	79.9	85.0	86.4	88.2	84.4	80.9	93.0
76	Handschmieden 2 Pers. Hämmer Leq 1m	60.3	71.8	76.0	88.0	97.2	94.3	88.3	99.7
77	Schruppscheibe ELU Dm. 125mm Leq 1m	52.1	58.0	68.0	79.3	90.5	95.0	93.2	98.2
79	Lamellenscheibe Dm. 115mm m. Mat. Leq 1m	50.0	60.3	66.5	70.2	75.7	83.5	87.0	89.4
80	Lamellenscheibe Dm. 115mm Leerl. Leq 1m	50.0	59.2	66.6	69.2	73.1	79.3	86.2	87.4
81	Kreissäge LPC 110/400 12er Stahl Leq 1m	61.7	75.4	80.8	86.3	79.1	73.2	64.3	88.4
82	K.säge Trennjäger VC260 30/10 Flach Leq 1m	58.8	62.8	79.5	81.8	78.8	73.9	69.5	85.5

Anh. 1, Tab. 43: Schalleistungspegel

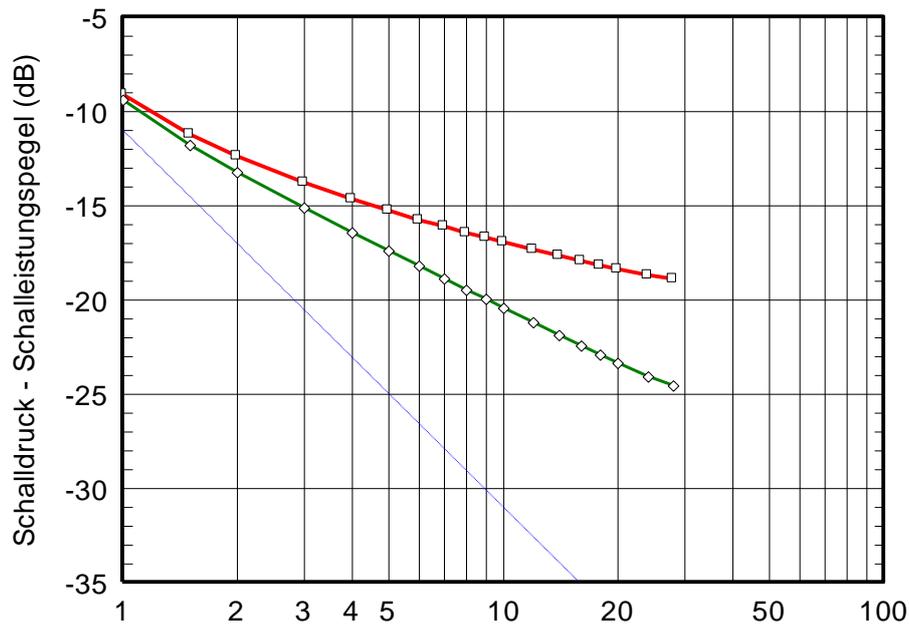
Bezeichnung								
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
Schmiedehammer Kuhn K 23 Bearbeitung	81.8	91.0	96.3	97.8	99.7	96.0	92.5	104.3
Handschmieden 2 Pers. Hämmer	70.2	81.8	86.1	98.2	107.5	104.7	98.7	110.0
Schruppscheibe ELU Dm. 125mm	62.0	68.0	78.1	89.5	100.8	105.4	103.6	108.5
Lamellenscheibe Dm. 115mm m. Mat.	59.9	70.3	76.6	80.4	86.0	93.9	97.4	99.3
Lamellenscheibe Dm. 115mm Leerlauf	59.9	69.2	76.7	79.4	83.4	89.7	96.6	97.7
Kreissäge LPC 110/400 12er Stahl	73.2	87.1	92.7	98.3	91.2	85.4	76.6	100.4
K.säge Trennjäger VC260 30/10 Flacheisen	70.3	74.5	91.4	93.8	90.9	86.1	81.8	97.5

Beurteilung

Stark wechselnde Geräuschbelastung bei Trennen, Richten und Schleifen. Längere Mittelwertbildung erforderlich. Beurteilungspegel 80 bis 90 dB(A).

Anh. 1, Tab. 44: Raumakustisch relevante Daten und Streukörperberechnung

Raum	L (m)	B (m)	H (m)	V (m ³)
21	30	15	6	2700
Anzahl	L (m)	B (m)	H (m)	S kumulativ (m ²)
10	2	2	2	200
Q (1/m)	0.019			



Anh.1, Abb. 67: Schallausbreitung – $DL_f = 13,4$ – $DL_2 = 1,6$
 Mit Akustikdecke $DL_f = 10,1$ – $DL_2 = 3,0$

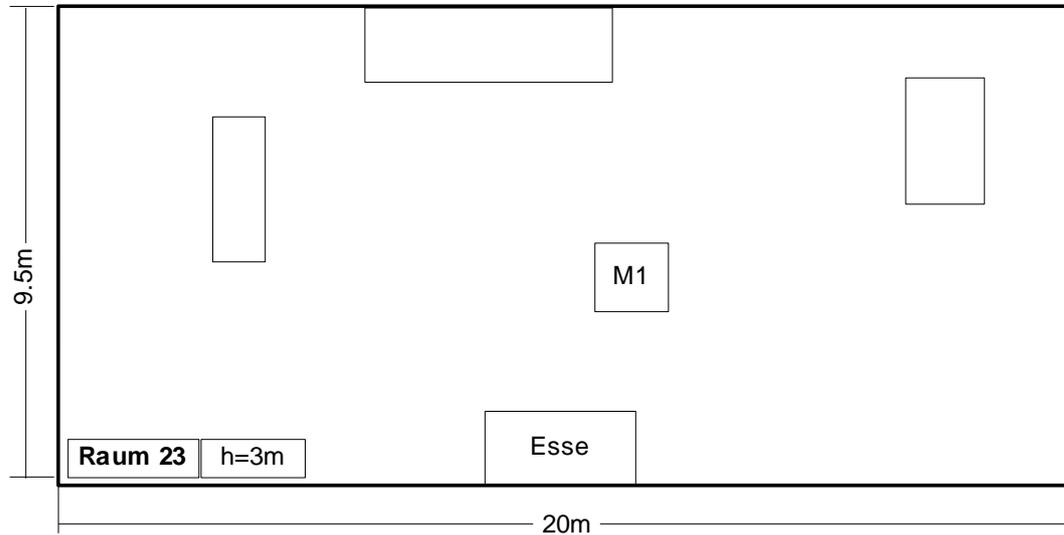
Beurteilung

Typischer Schlosserei-Handwerksbetrieb mit den von der jeweiligen Einzelfertigung abhängigen Tätigkeiten. Schmiedehammer und Kreissägemaschine sollten zusammen an einer schallabsorbierend verkleideten Rückwand aufgestellt und durch eine weitere maschinenseitig absorbierende Stellwand vom übrigen Raum entkoppelt sein. Lärmarme Blasdüsen und rückschlagfreie Hämmer könnten zur – wenn auch hier geringen – Verbesserung führen.

Handwerksraum 23: Schmiede, Schlosserei

Raum: 20 m x 9.5 m x 3 m (siehe Grundriss)

alle Begrenzungsflächen schallhart (Boden Beton, Wände Decke verputzt gestrichen)



Anh.1, Abb. 68: Grundriss der Schlosserei und Maschinenbelegung

M1 Schmiedehammer Kuhn Typ K12/42, Bärhub 200, Schlagzahl 225, Bärgeg. 38 kg, 3 kW, Bj. 1985



Anh.1, Abb. 69: Esse und Kuhn Schmiedehammer



Anh.1, Abb. 70: Handschmieden

Die im folgenden genannten Schalleistungspegel wurden aus den Messungen des Schalldruckpegels auf einer Messfläche in Anlehnung an DIN ISO 3744/46 bestimmt.

Anh. 1, Tab. 45: Schalldruckpegel A-bewertet

Spek Nr	Bezeichnung								Gesamt
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
99	Schmiedehammer Kuhn K12/42 Leq 1m	78.3	86.2	86.6	88.3	86.5	85.1	78.2	93.9
100	Schmiedehammer Kuhn K12/42 Lmax 1m	88.7	95.5	96.5	98.4	97.0	98.3	89.8	102.7
101	Handschmieden Leq 1m	60.5	71.6	71.7	83.6	83.5	76.2	73.9	87.5
102	Handschmieden Lmax 1m	63.8	78.1	77.6	88.7	92.6	86.4	84.8	94.8

Anh. 1, Tab. 46: Schalleistungspegel

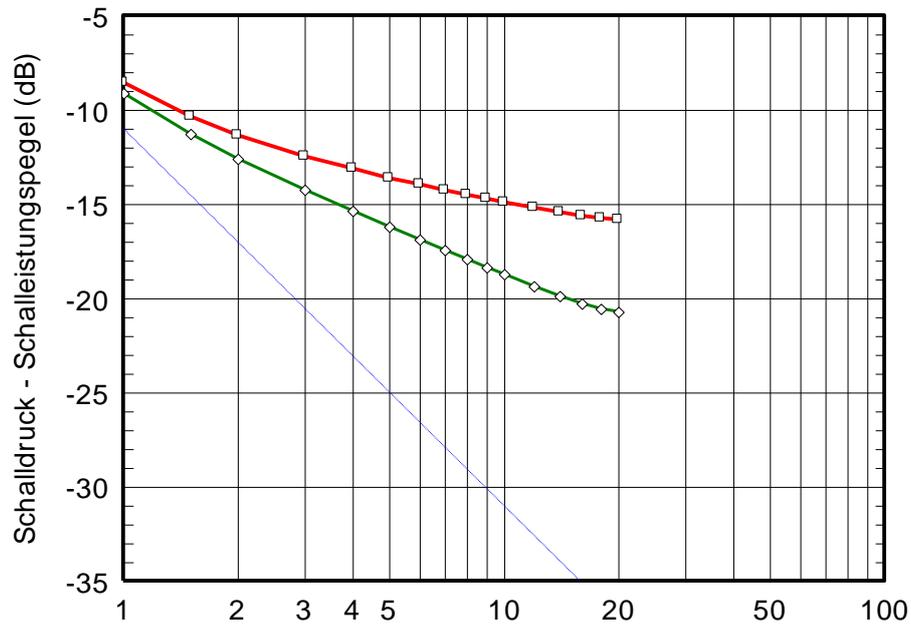
Bezeichnung								Gesamt
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Schmiedehammer Kuhn K12/42 L_{WA}	86.1	94.4	95.2	97.3	95.7	94.6	87.9	102.8
Schmiedehammer Kuhn K12/42 L_{WAmax}	96.5	103.7	105.1	107.4	106.2	107.8	99.5	113.6
Handschmieden L_{WA}	66.1	77.4	77.7	89.8	89.9	82.7	80.5	93.7
Handschmieden L_{WAmax}	69.4	83.9	83.6	94.9	99.0	92.9	91.4	101.7

Beurteilung

Stark wechselnde Tätigkeiten. Beurteilungspegel 80 bis 85 dB(A).

Anh. 1, Tab. 47: Raumakustisch relevante Daten und Streukörperberechnung

Raum	L (m)	B (m)	H (m)	V (m ³)
23	20	9.5	3	570
Anzahl	L (m)	B (m)	H (m)	S kumulativ (m ²)
3	2	2	2	60
1	3	3	1	81
Q (1/m)	0.036			



Anh.1, Abb. 71: Schallausbreitung – $DL_f = 15,4$ – $DL_2 = 1,2$
 Mit Akustikdecke $DL_f = 11,7$ – $DL_2 = 2,4$

Beurteilung

Typischer Schmiedebetrieb, in dem eine oder wenige Personen arbeiten und somit raumakustische Maßnahmen unter Kosten-Nutzen Gesichtspunkten zu aufwändig wären. Hier sind die üblichen punktuellen Verbesserungen durch Einsatz lärmarmen Düsen in der Blaspistole und die Verwendung von Fächerschleifscheiben beim Schrupschleifen zu empfehlen.

Anhang 2 Bewertete Schalldruckpegel bei Geräuschimpulsen

Problemstellung

Die folgende genauere Untersuchung zur Messung und Interpretation von Impulsgeräuschen hat sich aus den Problemen bei der Umsetzung der bisherigen Arbeiten an Schmiedemaschinen ergeben. Im Rahmen der Richtlinienarbeit zur VDI-Richtlinie 2561 Blatt 1 wurde stets von Messwerten des L_{AFmax} ausgegangen, die direkt an der Maschine oder in einem Abstand von 7 m ermittelt worden sind. Hieraus wurden die auf den L_{WAmax} bezogenen Emissionsdiagramme der Schmiedehämmer abgeleitet und im bisher vorliegenden Entwurf der Richtlinie mitgeteilt.

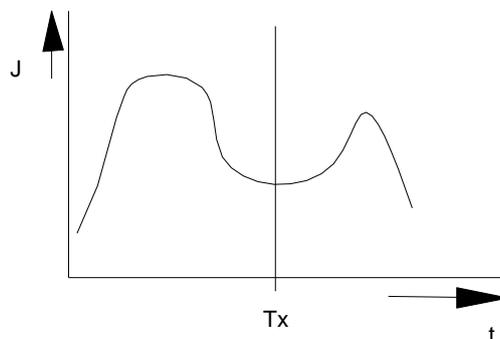
Zur Einbettung dieser Emissionsdiagramme in die übliche Systematik – Bestimmung der Emission -> Berechnung der Schallausbreitung -> Bestimmung der Schallimmission – mit dem Ziel, Beurteilungspegel an Arbeitsplätzen berechnen oder zumindest abschätzen zu können ist es erforderlich, die energieäquivalenten Mittelungspegel zu bestimmen. Um den Beitrag eines Schmiedehammerschlags zu diesem Mittelungspegel zu erhalten, wird nach heutiger Systematik der SEL bzw. der Schallenergiepegel eines Schlages verwendet. Im folgenden wird die Beziehung zwischen dem L_{AFmax} , der Schallenergie eines Schlages und dem Beitrag zum energieäquivalenten Mittelungspegel untersucht.

Die Abweichung des bewerteten Schalldruckpegels bei kurzen Signalen

Die Geräuscheinwirkung an einem bestimmten Ort kann als zeitlich veränderliche Funktion einer intensitätsproportionalen Größe $J(t)$ dargestellt werden. Im Fall einer fortschreitenden Schallwelle ergibt sich diese Schallintensität aus

$$J = \frac{p^2}{\rho c}$$

mit p Schalldruck, ρc Kennimpedanz der Luft



Anh. 2, Abb. 1: Bestimmung der zeitbewerteten Schallintensität zum Zeitpunkt T_x

Die Messung mit der Zeitbewertung FAST (Zeitkonstante $\tau=125$ ms) oder SLOW (Zeitkonstante $\tau=1000$ ms) bedeutet, dass die so zeitbewertete Intensität durch folgenden Ausdruck bestimmt ist.

$$J(t = T_x) = \frac{\int_{-\infty}^{T_x} J(t) \cdot e^{\frac{(t-T_x)}{\tau}} dt}{\int_{-\infty}^{T_x} e^{\frac{(t-T_x)}{\tau}} dt} \quad (\text{A.2.1})$$

Dies entspricht einer Mittelung der mit Exponentialfunktion gewichteten Schallintensität bis zum betrachteten Zeitpunkt.

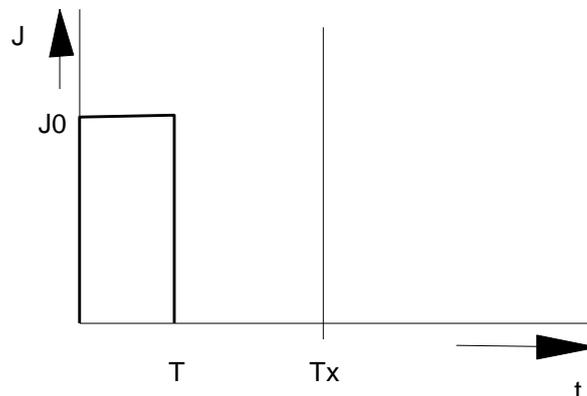
Mit

$$\int_{-\infty}^{T_x} e^{\frac{(t-T_x)}{\tau}} dt = \tau \quad (\text{A.2.2})$$

ergibt sich

$$J(t = T_x) = \frac{1}{\tau} \cdot \int_{-\infty}^{T_x} J(t) \cdot e^{\frac{(t-T_x)}{\tau}} dt \quad (\text{A.2.3})$$

Es sei als Beispiel ein kurzes Rechtecksignal mit Intensität J_0 für die Dauer T betrachtet. Das mit Zeitkonstante τ bewertete Signal J_τ zum Zeitpunkt T_x ist zu ermitteln.



Anh. 2, Abb. 2: Rechtecksignal – Bestimmung der bewerteten Intensität zum Zeitpunkt T_x

Das Ausgangssignal ist

$$J(t) = \begin{cases} J \text{ für } 0 < t < T \\ 0 \text{ sonst} \end{cases} \quad (\text{A.2.4})$$

Dann ist für $T_x > T$

$$\begin{aligned} J_\tau(t = T_x) &= \tau \int_{-\infty}^{T_x} J(t) \cdot e^{-\frac{(t-T_x)}{\tau}} dt \\ &= \frac{1}{\tau} \int_0^T J_0 \cdot e^{-\frac{(t-T_x)}{\tau}} dt \\ &= J_0 \cdot e^{-T_x/\tau} \cdot \left(e^{T/\tau} - 1 \right) \end{aligned} \quad (\text{A.2.5})$$

Für $T_x < T$ gilt

$$\begin{aligned} J_\tau(t = T_x) &= \frac{1}{\tau} \cdot \int_0^{T_x} J_0 \cdot e^{-\frac{(t-T_x)}{\tau}} dt \\ &= J_0 \cdot \left(1 - e^{-T_x/\tau} \right) \end{aligned}$$

Somit gilt

$$J_\tau = J_0 \cdot \begin{cases} \left(1 - e^{-t/\tau} \right) & \text{für } t < T \\ \left(e^{-(t-T)/\tau} - e^{-t/\tau} \right) & \text{für } t > T \end{cases} \quad (\text{A.2.6})$$

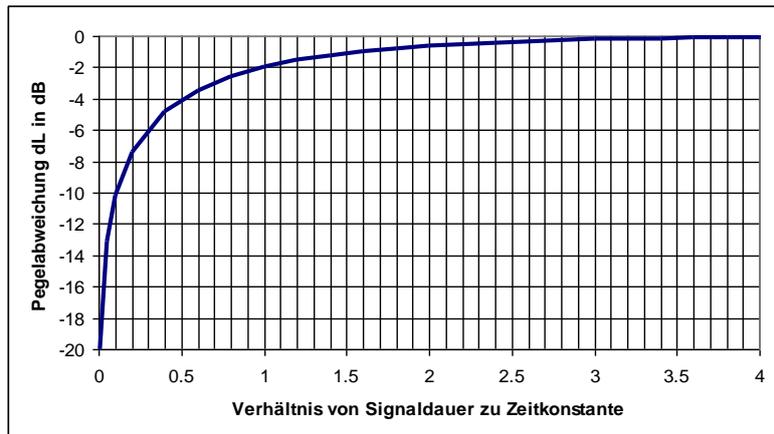
Der Maximalwert ergibt sich zum Zeitpunkt T mit

$$J_{\tau, \max} = J_0 \cdot \left(1 - e^{-T/\tau} \right) \quad (\text{A.2.7})$$

Von Interesse ist die Abweichung des maximalen bewerteten Schalldruckpegels vom maximalen unbewerteten Schalldruckpegel bei Signaldauer T und Zeitkonstante τ .

$$\Delta L = 10 \lg \left(\frac{J_\tau(t = T)}{J_0} \right) \text{ dB} = 10 \lg \left(1 - e^{-T/\tau} \right) \quad (\text{A.2.8})$$

Damit ergibt sich bei Messung des mit Zeitkonstante τ bewerteten Schalldruckpegels eines Schall-Rechtecksignals der Länge T die im Diagramm dargestellte Abweichung der Anzeige vom Signal-Schalldruckpegel.



Anh. 2, Abb. 3: Abweichung des angezeigten zeitbewerteten Pegels vom maximalen Pegel des Rechtecksignals

Dies bedeutet z. B., dass bei Messung eines Schallsignals von 125 ms Dauer mit der Zeitbewertung FAST (Zeitkonstante ebenfalls 125 ms) der angezeigte Pegelwert um 2 dB kleiner als der maximale Pegelwert des Rechtecksignals ist.

Transiente Schallsignale bei Raumeinfluss

Die Rückwirkung eines Raums auf das von einer Schallquelle abgestrahlte Schallsignal kann als Zeitbewertung dieses Signals mit einer Zeitkonstante τ_R beschrieben werden.

Nach (A.2.6) ergibt sich nach dem Verschwinden des unbewerteten Signals ($t > T$) der folgende zeitliche Verlauf des mit der Zeitkonstanten τ bewerteten Signals.

$$J_\tau = J_0 \cdot \left(e^{T/\tau} - 1 \right) \cdot e^{-t/\tau} = J_{\max} \cdot e^{-t/\tau} \quad (\text{A.2.9})$$

Im Pegelbereich entspricht dies

$$L = L_{\max} - \frac{10 \lg(e)}{\tau} \cdot t \quad (\text{A.2.10})$$

Aufgrund der Definition der Nachhallzeit T_{60} als die Zeit, in der der Schalldruckpegel um 60 dB abgesunken ist, ergibt sich

$$\tau_R = \frac{T_{60}}{6} \cdot \lg(e) \quad (\text{A.2.11})$$

Mit (A.2.6) und (A.2.11) ergibt sich der Anstieg des unbewerteten Schallsignals im Raumschallfeld, wenn die Nachhallzeit des Raumes T_{60} ist, zu

$$J(t) = J \cdot \left(1 - e^{-\frac{6}{T_{60} \cdot \lg(e)} t} \right) \quad (\text{A.2.12})$$

bzw.

$$L(t) = L_{\max} - 10 \lg \left(1 - e^{-\frac{6}{T_{60} \cdot \lg(e)} t} \right) \text{ dB} \quad (\text{A.2.13})$$

Im Folgenden sei angenommen, dass eine Quelle während der Zeitspanne T eine Schallleistung W mit dem Schallleistungspegel L_W abstrahlt.

$$L_W = 10 \lg \left(\frac{W}{W_0} \right) \text{ dB}$$

mit

W_0 Bezugsschallleistung 10^{-12} (Nm/s)

Das stationäre Schallfeld im Raum nach dem Anklingvorgang beträgt

$$J = \frac{4S_0}{A} \cdot 10^{0,1 \cdot L_W} \quad (\text{A.2.14})$$

mit

S_0 Bezugsfläche 1 m^2

A äquivalente Absorptionsfläche in m^2 .

Der Anstieg ergibt sich aus

$$J(t) = \frac{4}{A} \cdot 10^{0,1 \cdot L_W} \cdot \left(1 - e^{-\frac{6}{T_{60} \cdot \lg(e)} t} \right) \quad (\text{A.2.15})$$

bzw. als Pegel ausgedrückt zu

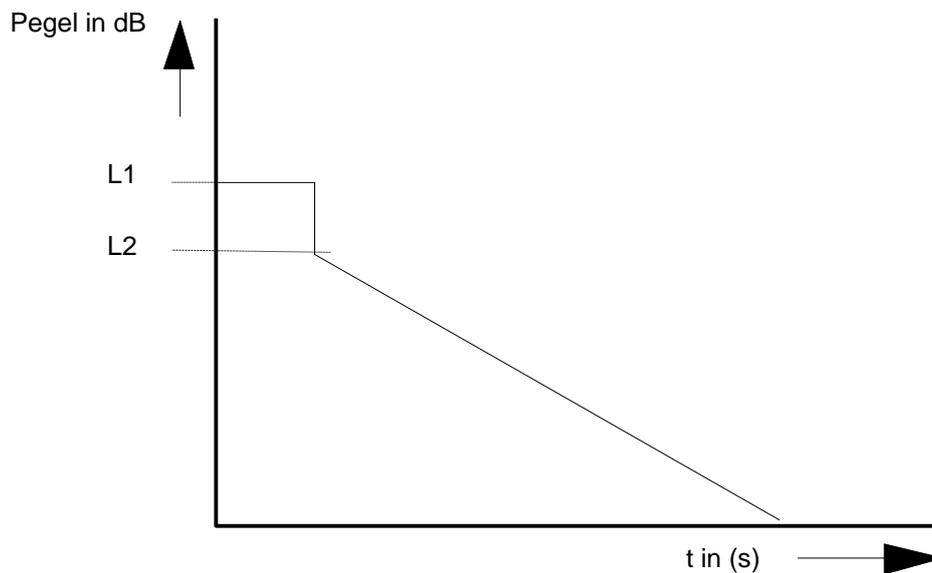
$$L(t) = L_W + \left(6 - 10 \lg \left(\frac{A}{S_0} \right) + 10 \lg \left(1 - e^{-\frac{6}{T_{60} \cdot \lg(e)} t} \right) \right) \text{ dB} \quad (\text{A.2.16})$$

Bezieht man das Direktschallfeld mit ein, so ergibt sich zum Zeitpunkt T bzw. am Ende des Schallsignals ein Pegel gemäß

$$L_1(T) = L_W - 10 \lg \left(\frac{S}{S_0} \right) + 10 \lg \left(1 + \frac{4S}{A} \cdot \left(1 - e^{-\frac{6}{T_{60} \cdot \lg(e)} \cdot T} \right) \right) \text{ dB} \quad (\text{A.2.17})$$

Nach dem Ende des Schallsignals und dem Wegfall des Direktanteils beginnt der Abklingvorgang mit einem Ausgangspegel L_2 .

$$L_2(T) = L_W - 10 \lg \left(\frac{A}{S_0} \right) + 6 - 10 \lg \left(1 - e^{-\frac{6}{T_{60} \cdot \lg(e)} \cdot T} \right) \text{ dB} \quad (\text{A.2.18})$$



Anh. 2, Abb. 4: Zeitlicher Verlauf des Schallpegels im Raum bei Anregung durch einen Rechteckimpuls (Prinzipdarstellung)

Dieser Abklingvorgang ergibt folgende Funktion des Pegels in Abhängigkeit von der Zeit:

$$L(t) = L_2(T) - \frac{60}{T_{60}} \cdot (t - T) \text{ dB} \quad (\text{A.2.19})$$

Damit ergibt sich aus der Emission eines Impulses mit Schallleistungspegel L_W und der Dauer T der folgende zeitliche Pegelverlauf im Raum:

$$L(t) = \begin{cases} L_W - 10 \lg \left(\frac{S}{S_0} \right) + 10 \lg \left(1 + \frac{4S}{A} \cdot \left(1 - e^{-\frac{6}{T_{60} \lg(e)} t} \right) \right) & 0 < t < T \\ L_W - 10 \lg \left(\frac{A}{S_0} \right) + 6 - 10 \lg \left(1 - e^{-\frac{6}{T_{60} \lg(e)} T} \right) - \frac{60}{T_{60}} \cdot (t - T) & T \leq t \end{cases} \quad (\text{A.2.20})$$

Bezogen auf intensitätsproportionale Größen entspricht dies

$$J(t) = \begin{cases} 10^{0,1 \cdot L_W} \cdot \frac{S_0}{S} \cdot \left(1 + \frac{4S}{A} \cdot \left(1 - e^{-\frac{6}{T_{60} \lg(e)} t} \right) \right) & 0 < t < T \\ 10^{0,1 \cdot L_W} \cdot \frac{4S_0}{A} \cdot \left(1 - e^{-\frac{6}{T_{60} \lg(e)} T} \right)^{-1} \cdot 10^{-\frac{6}{T_{60}} (t-T)} & T \leq t \end{cases} \quad (\text{A.2.21})$$

Erfolgt nun eine Messung mit einer bestimmten Zeitbewertung bzw. mit der Zeitkonstanten τ , so ergibt sich der Messwert des Pegels zum Zeitpunkt T_x aus

$$J_\tau(T_x) = \frac{1}{\tau} \int_0^{T_x} J(t) \cdot e^{-\frac{(t-T_x)}{\tau}} dt \quad (\text{A.2.22})$$

wobei für $J(t)$ die Funktion (A.2.21) einzusetzen ist