

ARBEITSWISSENSCHAFTLICHE ERKENNTNISSE

Forschungsergebnisse für die Praxis

Bildschirmarbeit – Lärminderung in der Produktion

Probst, W.

Beurteilung und Minderung des Lärms an Bildschirmarbeitsplätzen im Büro und in der Produktion

Inhalt

- 1 Vorbemerkung
- 2 Einleitung
- 3 Anforderungen oder – wie laut darf's denn sein?
- 4 Von der Emission zur Immission – wie laut wird's?
 - 4.1 Die Geräuschemission der Maschinen
 - 4.2 Schallausbreitung und Abschätzung der Immission
- 5 Lärminderungsmaßnahmen
 - 5.1 Einkauf lärmarmen Maschinen
 - 5.2 Konstruktive Lärminderungsmaßnahmen
 - 5.3 Raumakustische Lärminderungsmaßnahmen
 - 5.4 Kapselung und Teilkapselung
 - 5.5 Schallschirme und Raumabtrennungen
- 6 Schrifttum

Ergebnisse aus dem im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft, Arbeit und Sozialordnung, Berlin und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund durchgeführten Forschungsvorhaben, dargestellt in der Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin – Forschung – Fb 702 und Fb 720 von

Rau, G.; Roßner, K.: **Bestandsaufnahme und Minderung der Geräuschbelastung an Arbeitsplätzen mit Bildschirmgeräten in der Produktion**

van den Brulle, P.: **Schalltechnische Gestaltung von Büroräumen mit Bildschirmen**

Nachdruck und auszugsweise Wiedergabe nur mit ausdrücklicher vorheriger Zustimmung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, gestattet.

Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 125
Bildschirmarbeit – Lärminderung in der Produktion

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 2003
ISSN 0720-1699

1 Vorbemerkung

Diese Schrift aus der Reihe „Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse – Forschungsergebnisse für die Praxis“ befasst sich wie die AE Nr. 123 [1] und die AE Nr. 124 [2] mit dem Thema „Beurteilung und Minderung des Lärms an Bildschirmarbeitsplätzen im Büro und in der Produktion“.

Während in den genannten AE Nr. 123 und 124 die Bildschirmarbeitsplätze in Büros behandelt werden, bezieht sich das Folgende auf derartige Arbeitsplätze in der Produktion bzw. im industriellen Umfeld.

Eine leichter lesbare und auch für den Nichtfachmann gedachte Behandlung dieser Themen findet sich in

- Technik Nr. 26 „Lärminderung an Bildschirmarbeitsplätzen in Büros“ [3]
- Technik Nr. 27 „Lärminderung an Bildschirmarbeitsplätzen in der Produktion“ [4].

Grundlage dieser genannten Schriften sind die beiden Forschungsberichte „Bestandsaufnahme und Minderung der Geräuschbelastung an Arbeitsplätzen mit Bildschirmgeräten in der Produktion“ [5] und „Schalltechnische Gestaltung von Büroräumen mit Bildschirmen“ [6].

2 Einleitung

Viele Arbeitsplätze in der Produktion und in produktionsnahen Bereichen haben sich in den vergangenen Jahren dramatisch gewandelt. Durch das Vordringen von Elektronik und Informationstechnik werden die zu bedienenden Maschinen und technischen Einrichtungen immer mehr vernetzt und die von einem Einzelnen zu steuernden oder zu überwachenden Prozesse immer komplexer. Der Mensch kommuniziert mit der Technik nicht mehr mit Schalthebeln und Einstellrädern, sondern mit Tastatur und Bildschirm. Damit wurde der Maschinenarbeitsplatz in zunehmendem Maße zum Bildschirmarbeitsplatz, an dem von einer einzelnen Person wesentlich mehr technische Informationen verarbeitet werden, als dies früher möglich war.

Mit dieser gestiegenen Produktivität sind allerdings auch die Anforderungen an die Beschäftigten gewachsen. Das Vordringen der Informationstechnik im Maschinenbau hat den erforderlichen Aufmerksamkeitsgrad und die notwendige geistige Präsenz in vielen Bereichen erhöht.

Der beschriebene Wandel bei den Arbeitsplätzen führt auch zu einer kritischeren Beurteilung von Geräuschbelastungen. Es ist bekannt, dass die Sensibilität gegenüber Störungen wie Lärm umso höher ist, je komplexer die zu bewältigenden Aufgaben sind. Je stärker die Aufmerksamkeit durch „unnütze“ Informationen wie z. B. Lärm gebunden wird, umso mehr kommt es zu Störungen, Beeinträchtigungen und Stressreaktionen, weil die zur Bewältigung der zu erledigenden Aufgaben notwendigen Informationen nur ungenügend ausgewählt und verfügbar gehalten werden können.

In der genannten Untersuchung [5] ist schon für 1994 geschätzt worden, dass ca. 575.000 Beschäftigte an Bildschirmarbeitsplätzen in der Produktion beschäftigt sein werden. Dies gilt vorwiegend für die Branchen Maschinenbau, Elektrotechnik, Chemie und Fahrzeugbau.

Die Mehrzahl der Bildschirmgeräte konnte zum Zeitpunkt dieser Untersuchung den folgenden 4 Gruppen zugeordnet werden:

CNC-Maschinen	(54 %)
BDE-Terminals	(40 %)
Leit- /Prozessrechner	(4 %)
Sonstige Bildschirmterminals	(2 %)

3 Anforderungen oder – wie laut darf's denn sein?

Will man vorhandene Bildschirm-Arbeitsplätze im Hinblick auf die Lärmsituation beurteilen oder neue schalltechnisch optimal planen, so sollte man sich zuerst über die anzustrebenden Ziele im Klaren sein. Diese werden in der Regel als maximal zulässige oder als anzustrebende A-bewertete Schalldruckpegel oder auch – unter Einbeziehung von Korrekturen für Ton- und Informationshaltigkeit und von Zeitkorrekturen bei zeitlich schwankender Schalleinwirkung – als Beurteilungspegel [7] beschrieben.

Grenzwerte dieser Art orientieren sich meist an den Pegeln, bei deren Unterschreitung nur noch ein geringes Risiko für das Eintreten einer unerwünschten Wirkung besteht. Dies gilt z. B. für den von der Arbeitsstättenverordnung [8] und der BGV B 3 (bisher UV Lärm, VBG 121) [9] genannten Wert eines maximalen Beurteilungspegels von 85 dB(A) zur Vermeidung von Gehörschäden. Dieser Wert wird durch zahlreiche Untersuchungsbefunde belegt und praktisch weltweit anerkannt.

Obwohl der Regelungsbereich der Arbeitsstättenverordnung mit den zusätzlichen Grenzwerten 70 dB(A) und 55 dB(A) grundsätzlich alle Arbeitsplätze erfasst und nicht nur – wie dies für die BGV B 3 gilt – das Schutzziel der Vermeidung von Gehörschäden verfolgt, sind die Bildschirmarbeitsplätze in dieser Systematik noch nicht explizit erfasst. Die Autoren der Arbeitsstättenverordnung hatten 1974 noch keine Kenntnis über diesen Arbeitsplatztyp, der erst in späteren Jahren in den Produktionsbereichen installiert wurde.

Eine dem neueren Stand entsprechende Erkenntnisquelle ist hier die VDI-Richtlinie 2058 Blatt 3 [10] vom Februar 1999. Sie ordnet den Arbeitsplätzen Grenzwerte zu, die vom A-bewerteten Beurteilungspegel auch unter Berücksichtigung der von außen einwirkenden Geräusche nicht überschritten werden sollen.

Die Art der Tätigkeit bestimmt, welcher Grenzwert für einen bestimmten Arbeitsplatz heranzuziehen ist.

Bei Bildschirmen in der Produktion ist somit die Art der Tätigkeit zu qualifizieren.

Im einfachsten Fall ersetzt das Bildschirmterminal nur die o.g. Schalthebel und Einstellräder, d.h., die Bedienungselemente der Maschine wurden auf die Tastatur bzw. das Schaltpult oder einen Touch-Screen verlagert. Auch die reine Zustands- und Betriebsüberwachung an einer grafischen Bildschirmdarstellung einer Maschine oder Anlage kann eine Aufgabe mit geringer Komplexität darstellen.

In diesen und anderen Fällen beträgt der Beurteilungspegel, der nicht überschritten werden soll, 85 dB(A).

Muss die Bedienung oder Betriebsüberwachung mit hohem Aufmerksamkeitsgrad erfolgen, weil z. B. ständig ein Zustand eintreten kann, auf den schnell reagiert werden muss, so handelt es sich schon um eine wesentlich höhere Anforderung. In diese Gruppe gehören auch die CNC-Bildschirmarbeitsplätze, an denen mit vorgegebenem Instruktionssatz die Programme zur Fertigungssteuerung erstellt werden. Eine diesbezügliche Einordnung erfolgt immer dann, wenn kontinuierlich beobachtet und reagiert werden muss.

In diesen und anderen Fällen beträgt der Beurteilungspegel, der nicht überschritten werden soll, 70 dB(A).

Die dritte Gruppe von Bildschirmarbeitsplätzen verlangt hochkonzentriertes und/oder schöpferisches Arbeiten, wobei stets mehrere Informationen präsent gehalten werden müssen und/oder sofortige Entscheidungsfindung und Reaktion beim Eintreten bestimmter Ereignisse erforderlich wird. Zu dieser Gruppe gehört z. B. das ständige Beobachten der von einer Überwachungskamera gelieferten Darstellung in einem hochsensiblen Bereich, das Entwickeln und Testen eines neuen Softwareprogramms zur Fertigungssteuerung, die Durchführung von Berechnungen oder die Analyse der mit Auswerteprogrammen erzielten Ergebnisse.

In diesen und anderen Fällen beträgt der Beurteilungspegel, der nicht überschritten werden soll, 55 dB(A).

Zulässiger Beurteilungspegel	Tätigkeitsmerkmal	Bildschirmterminal zum Vorgang
85 dB(A)	<ul style="list-style-type: none"> - geringe Komplexität - wiederkehrender Arbeitsinhalt - Entscheidungsfindung aufgrund eindeutig vorgegebener Alternativen 	<ul style="list-style-type: none"> - Bedienen oder Steuern der Maschine oder Anlage - Überwachen der Funktionen einer Maschine oder Anlage - Störungsfeststellung aufgrund von Bildschirmmeldungen
70 dB(A)	<ul style="list-style-type: none"> - mittlere und hohe Komplexität - wiederkehrende, aber unterschiedliche Arbeitsinhalte - Entscheidungsfindung aufgrund vorgegebener Entscheidungsstrukturen 	<ul style="list-style-type: none"> - Beobachten komplizierter Abläufe und Anlagenfunktionen - Erstellen von Programmen mit vorgegebenem Instruktionssatz wie z. B. CNC-Programmierung - Beobachtung mehrerer grafisch präsentierter Informationen und Ableitung von Entscheidungen
55 dB(A)	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Komplexität - schöpferisches Denken - laufende Entscheidungsfindung unter Berücksichtigung mehrerer gleichzeitig vorliegender Informationen 	<ul style="list-style-type: none"> - Beobachten komplizierter Abläufe und Anlagenfunktionen mit der Notwendigkeit ständiger Entscheidungsfindung - Entwicklung und Test von Software - kreatives Arbeiten - Ständiges Kontrollieren mit hohem Aufmerksamkeitsgrad (kurzzeitige Darbietung, schnelle Reaktion erforderlich)

Tabelle 1: Zuordnung von Tätigkeitsmerkmalen allgemein und von Tätigkeiten an Bildschirmterminals in der Produktion zum maximal zulässigen Beurteilungspegel

4 Von der Emission zur Immission – wie laut wird's?

4.1 Die Geräuschemission der Maschinen

Ursache des Lärms an Arbeitsplätzen ist die Emission der Maschinen. Diese Emission wird mit den folgenden zwei Kennwerten

- Schalleistungspegel L_{WA}
- Emissions-Schalldruckpegel L_{pA}

beschrieben.

Entsprechend der 9. Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz [11] ist der Hersteller einer Maschine verpflichtet, ihre Geräuschemission anzugeben. Mit der Information der beiden genannten Kennwerte erfüllt er diese Verpflichtung und

ermöglicht so einem potentiellen Käufer, seine Maschine schalltechnisch zu beurteilen.

Der Schalleistungspegel als Hauptkennwert kennzeichnet den gesamten – also in alle Richtungen – von einer Maschine abgestrahlten Schall.

Der Emissions-Schalldruckpegel ist der von einer Maschine an ihrem zugeordneten Arbeitsplatz theoretisch sich einstellende Schallpegel, wenn Freifeldbedingungen vorliegen.

Eine Maschine ist schalltechnisch um so günstiger, je niedriger diese beiden Emissionskennwerte sind.

Wird eine Maschine in einem Raum betrieben, so ergibt sich an ihrem zugeordneten Arbeitsplatz ein Schallpegel, der von diesen beiden Kennwerten und von der Größe und Ausstattung des Raumes abhängt. Diese Raumeigenschaften werden in akustischer Hinsicht durch die äquivalente Absorptionsfläche A beschrieben.

Zur einfachen Beurteilung der Maschinenemission im Hinblick auf die genannten höchstzulässigen Beurteilungspegel mit einem Einzahlwert kann der Schallpegel L_{AP} verwendet werden, der sich bei Betrieb dieser Maschine an ihrem Arbeitsplatz einstellt, wenn der Raum eine Bezugs-Absorptionsfläche von 100 m^2 aufweist. Dieser Wert ergibt sich mit den beiden Emissionskennwerten nach

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

Der zweite Term ist also ein von dem Bezugsraum verursachter Zuschlag dL zum Emissions-Schalldruckpegel L_{pA} – er kann aus dem Diagramm **Bild 1** entnommen werden.

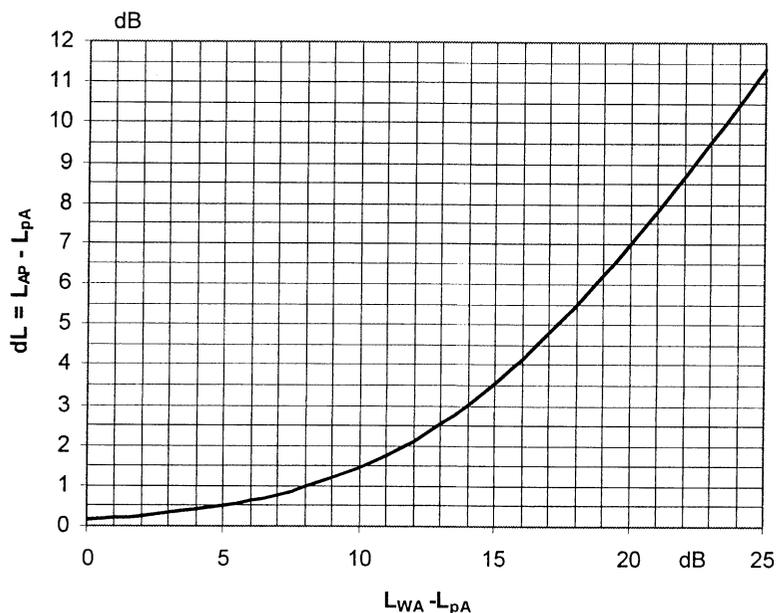


Bild 1: Zuschlag dL zum Emissions-Schalldruckpegel zur Bestimmung des Schallpegels am Arbeitsplatz für den Bezugsraum mit der äquivalenten Absorptionsfläche 100 m^2

Beispiel:

Es werden Angebote für ein CNC-Bearbeitungszentrum mit integriertem Bildschirm-Arbeitsplatz zur Programmierung der Teilefertigung eingeholt. Aufgrund

der Spezifikation muss es möglich sein, während des Normalbetriebes der Maschine (Teile-Serienfertigung) den Fertigungsablauf für ein neues Serienteil zu programmieren.

Aufgrund der Zuordnung nach **Tabelle 1** wird ein höchstzulässiger Beurteilungspegel von 70 dB(A) als angemessen betrachtet.

Es liegen zwei Angebote vor:

Maschine 1: $L_{pA} = 65 \text{ dB(A)}$; $L_{WA} = 85 \text{ dB(A)}$

Maschine 2: $L_{pA} = 68 \text{ dB(A)}$; $L_{WA} = 78 \text{ dB(A)}$

Somit schneidet Maschine 1 beim Emissions-Schalldruckpegel, Maschine 2 aber beim Schalleistungspegel 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 Schalleistung (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.

4.2 Schallausbreitung und Abschätzung der Immission

Wenn Bildschirmarbeitsplätze in der Produktion eingerichtet werden, so sollten in jedem Einzelfall einer Beschaffungsmaßnahme für denselben Raum die am zukünftigen Aufstellungsort derzeit vorhandenen Beurteilungspegel sowie die genannten Emissionswerte für die neu zu beschaffende Maschine bekannt sein. Ohne diese Information ist eine zielgerichtete Beurteilung nicht möglich. **Bild 2** zeigt als Beispiel eine den gesetzlichen Anforderungen entsprechende Geräuschangabe für eine Verpackungsmaschine.

Maschine	Verpackungsautomat TCC3 mit Bildschirmüberwachung und -steuerung
Messverfahren	DIN ISO 3744 und DIN ISO 11204
Betriebszustand	Serienfertigung 8000 Beh./h 1 l PET
Geräuschemissionswerte	
Schalleistungspegel L_{WA}	87 dB(A)
Unsicherheitsfaktor K_{WA}	3 dB
Emissions-Schalldruckpegel L_{pA}	69 dB(A)
Unsicherheitsfaktor K_{pA}	3 dB

Bild 2: Geräuschangabe für eine Verpackungsmaschine nach ISO 4871

Wie in Abschnitt 3 beschrieben, beziehen sich die Anforderungen auf die Schallpegel an den Arbeitsplätzen – die Emission der Maschinen darf im Prinzip belie-

big hoch sein, wenn durch andere Maßnahmen für ausreichend niedrige Arbeitsplatzpegel gesorgt wird.

Der von den Maschinen abgestrahlte Schall breitet sich im Arbeitsraum aus und führt so zu den letztlich an den Arbeitsplätzen feststellbaren Schalldruckpegeln. Je günstiger der Raum in schalltechnischer Hinsicht ist, desto niedriger sind diese Schalldruckpegel bei gegebenem Schalleistungspegel der Quelle.

Sind die beiden Geräuschemissionswerte Schalleistungspegel L_{WA} und Emissions-Schalldruckpegel L_{pA} einer Maschine bekannt, so kann für jeden beliebigen Raum der bei Betrieb dieser Maschine zu erwartende Schallpegel zumindest näherungsweise bestimmt werden.

Die Raumeigenschaften werden durch die äquivalente Absorptionsfläche A beschrieben. Um sie zu ermitteln, wird das Produkt der gesamten Raumbooberfläche S_{Raum} (Fläche von Boden, Decke und Wänden) und des mittleren Absorptionsgrads $\bar{\alpha}$ bestimmt.

$$A = S_{Raum} \times \bar{\alpha} \quad (2)$$

Wenn keine genaueren Informationen vorliegen, kann von den in **Tabelle 2** genannten Werten ausgegangen werden:

Raumeigenschaften	Mittlerer Absorptionsgrad $\bar{\alpha}$
Schallharte Räume ohne absorbierende Flächen, z. B. geflieste oder glatt verputzte Flächen in der Nahrungsmittelindustrie	0.13
Normaler Raum mit leicht absorbierenden Objekten, z. B. Textilproduktion, Papierherstellung, Verpackung usw.	0.2
Raum mit schallabsorbierender Decke oder anderen Absorptionsflächen	0.4

Tabelle 2: Zur Abschätzung des mittleren Absorptionsgrads

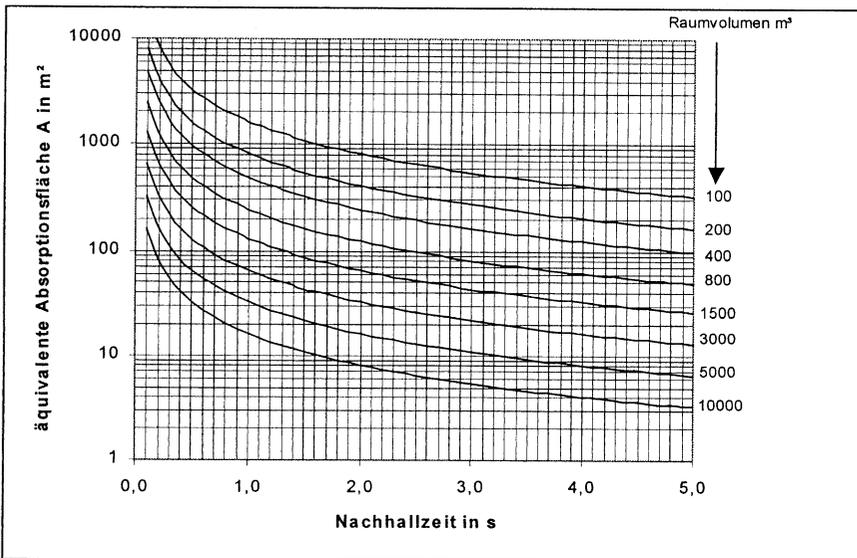


Bild 3: Bestimmung der äquivalenten Absorptionsfläche aus der gemessenen Nachhallzeit.

Die äquivalente Absorptionsfläche A kann auch aus einer Messung der Nachhallzeit bestimmt werden. Dies ist dann sinnvoll, wenn eine einfache Zuordnung des Raums nach **Tabelle 2** nicht möglich ist. Diese Messung kann von den meisten schalltechnischen Beratungsbüros problemlos durchgeführt werden. Mit der gemessenen Nachhallzeit kann aus dem Diagramm **Bild 3** die äquivalente Absorptionsfläche bestimmt werden.

Wird eine Maschine mit den angegebenen Geräuschemissionswerten L_{WA} und L_{pA} in einem Raum mit bekannter äquivalenter Absorptionsfläche A betrieben, dann sind zur Beurteilung zwei Schallpegel von Interesse:

Der wichtigste Wert ist der Schallpegel L'_{AP} , der von der Maschine bei Betrieb in diesem Raum an dem ihr zugeordneten Arbeitsplatz verursacht wird, wenn keine anderen Fremdgeräusche einwirken.

Dieser Arbeitsplatzpegel L'_{AP} kann aus den beiden angegebenen Geräuschkennwerten mit dem Diagramm **Bild 4** bestimmt werden, wobei im ersten Schritt mit der äquivalenten Absorptionsfläche A als Ausgangsgröße und der Differenz der Kennwerte $L_{WA} - L_{pA}$ als Kurvenparameter der Korrekturwert dL_{AP} ermittelt wird. Dieser Korrekturwert führt mit dem Emissions-Schalldruckpegel L_{pA} zum Arbeitsplatzpegel L'_{AP} .

$$L'_{AP} = L_{pA} + dL_{AP} \quad (3)$$

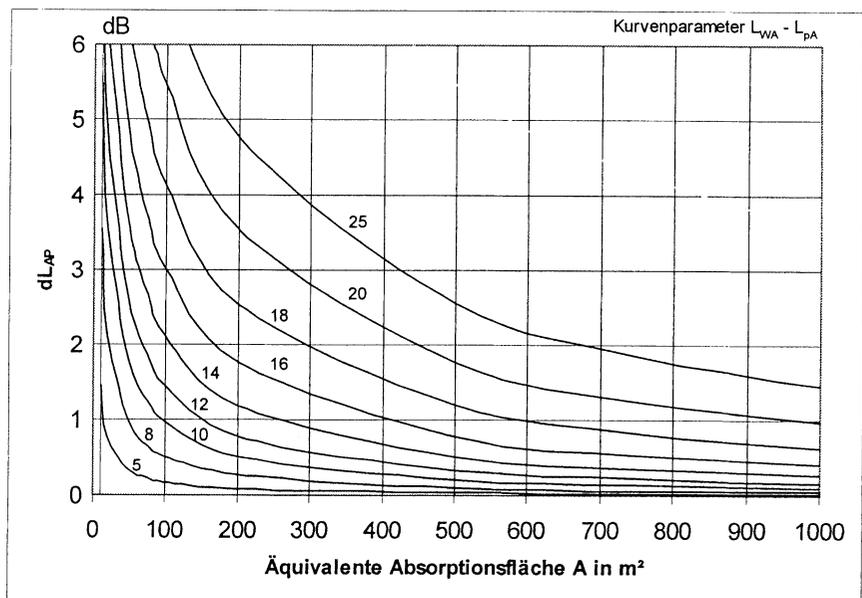


Bild 4: Pegeldifferenz dL_{AP} zur Bestimmung des Schallpegels am Arbeitsplatz

Ist an dieser Position aufgrund des Betriebs von anderen Maschinen schon ein Schallpegel L_{Fremd} vorhanden, so wird mit diesem und dem von der Maschine verursachten Schallpegel L'_{AP} unter Zuhilfenahme des Schemas **Bild 6** oder mit (4) der Schallpegel am Arbeitsplatz L_{AP} bestimmt.

$$L_{AP} = 10 \cdot \log \left(10^{0,1L'_{AP}} + 10^{0,1L_{Fremd}} \right) \quad (4)$$

Ein zweiter Wert, der oft benötigt wird, ist der von der Maschine im übrigen Raum – also an den anderen Arbeitsplätzen – verursachte anteilige Schalldruckpegel. Dieser Schallpegel L_{Raum} kann mit dem Diagramm **Bild 5** und mit

$$L_{\text{Raum}} = L_{\text{WA}} + dL_{\text{Raum}} \quad (5)$$

abgeschätzt werden, wobei wiederum von der oben beschriebenen äquivalenten Absorptionsfläche A des Raums auszugehen ist.

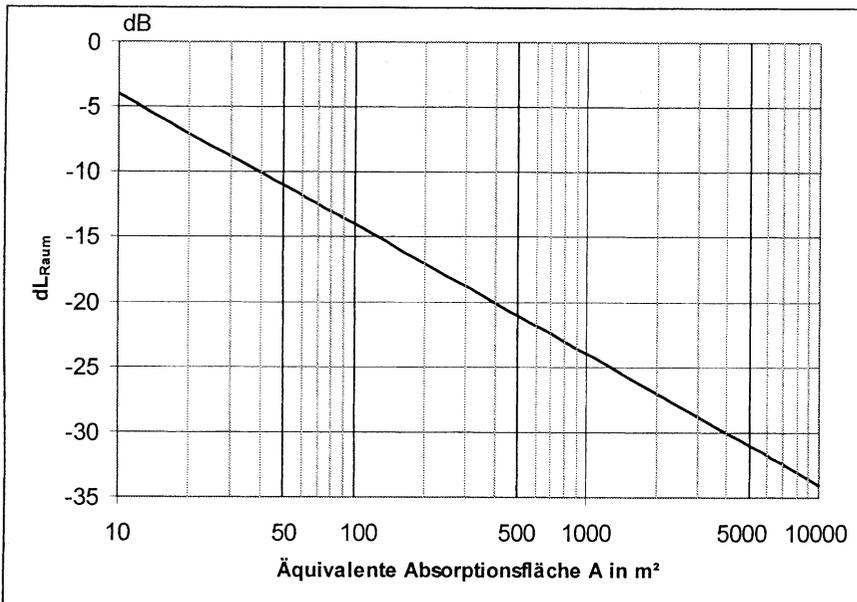
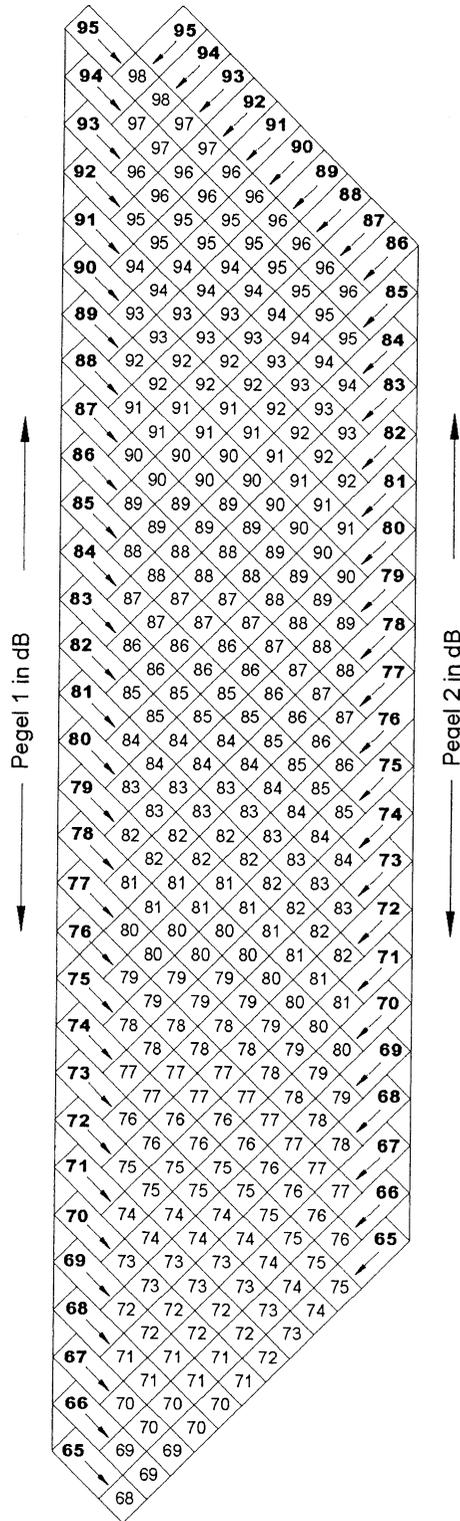


Bild 5: Korrekturwert dL_{Raum} zur Bestimmung des Schallpegels im Raum

Wirken an einem Arbeitsplatz mehrere und von unterschiedlichen Maschinen verursachte Geräusche ein, so werden diese Schallpegel getrennt nach dem vorgenannten Verfahren bestimmt. Aus jeweils zwei Schallpegeln L_1 und L_2 wird mit

$$L = 10 \cdot \log \left(10^{0,1L_1} + 10^{0,1L_2} \right) \text{ dB} \quad (6)$$

oder vereinfacht mit dem Schema **Bild 6** der Summenpegel gebildet (zu dieser Summe werden Schritt für Schritt die weiteren Pegel dazugezählt).



Schema zur Pegeladdition
Die beiden Teilpegel werden am linken und rechten Rand des Schemas aufgesucht – die Verlängerung der an diesen Teilpegeln befindlichen Pfeile führt im Schnittpunkt zum gesuchten Summenpegel.
Ergibt sich kein Schnittpunkt mit Zahlwert, so ist der größere der beiden Teilpegel als Summenwert zu nehmen.
Ist einer der beiden Teilpegel größer als 95 dB(A), so werden beide Teilpegel um X dB(A) vermindert und nach dem vorgenannten Verfahren addiert – das Ergebnis ist dann wieder um X dB(A) zu erhöhen. Für X wird zweckmäßigerweise die kleinste durch 10 teilbare ganze Zahl gewählt, mit der beide um X verminderte Teilpegel in den Bereich von 65 dB(A) bis 95 dB(A) fallen.

Bild 6: Schema zur Pegeladdition

Beispiel 1:

In einem Raum mit Abmessungen 18 m x 12 m x 6 m soll eine Rotationsdruckmaschine mit 4 Druckstationen entsprechend **Bild 7** aufgestellt werden. Die Raumbooberflächen sind reflektierend. Die Maschine hat die Abmessungen 10 m x 2 m x 2 m. Der angegebene Schalleistungspegel beträgt $L_{WA} = 93$ dB(A). Am Leitstand müssen die Andrucke mit hoher Konzentration beurteilt werden, um die Maschine richtig einjustieren zu können. Der Arbeitsplatz ist für den Fall, dass nur die Rotationsdruckmaschine in Betrieb ist, schalltechnisch zu beurteilen.

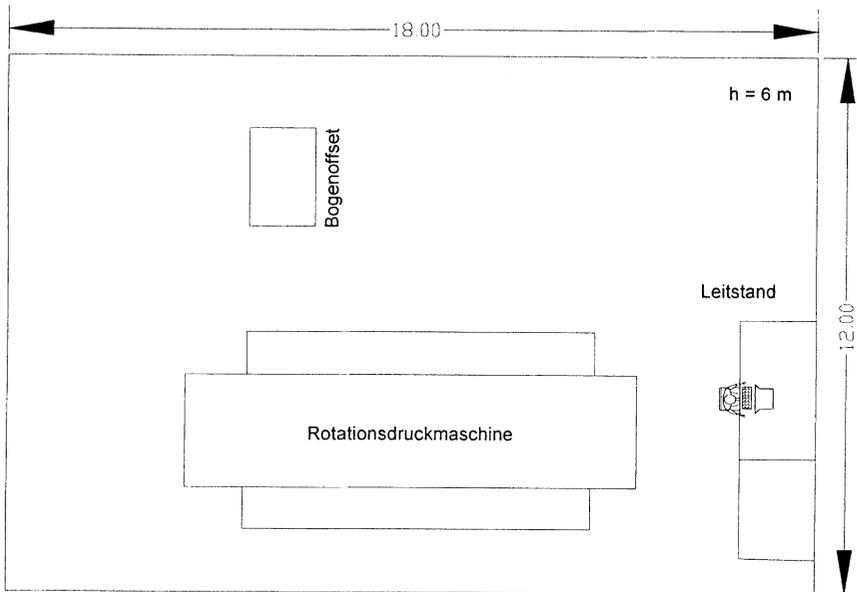


Bild 7: Raum mit Rotationsdruckmaschine

Lösung:

Aufgrund der Tätigkeitsbeschreibung wird nach **Tabelle 1** ein maximaler Beurteilungspegel von 70 dB(A) als Anforderung festgelegt.

Die Raumbooberfläche beträgt

$$S = (2 \times 18 \times 12 + 2 \times (18 + 12 \times 6)) \text{ m}^2 = 792 \text{ m}^2$$

und die äquivalente Absorptionsfläche

$$A = 792 \text{ m}^2 \times 0.13 = 103 \text{ m}^2$$

Mit Diagramm **Bild 5** ergibt sich ein Korrekturwert dL_{Raum} von -15 dB und somit ein Raumschallpegel von

$$L_{\text{Raum}} = L_{WA} + dL_{\text{Raum}} = (93 - 15) \text{ dB(A)} = 78 \text{ dB(A)}$$

Dieser Pegel ist mit dem Schema **Bild 6** zu dem für den Leitstand angegebenen Emissions-Schalldruckpegel dazuzurechnen. Damit wird der Schallpegel am Leitstand im günstigsten Fall 78 dB(A) betragen. -

Die Anforderung ist somit um 8 dB überschritten.

Lösungsversuch:

Schallabsorbierende Ausstattung des Raumes mit **Tabelle 2** $\bar{\alpha} \approx 0.4$

damit ist A

$$A = 792 \text{ m}^2 \times 0.4 = 317 \text{ m}^2$$

Mit Diagramm **Bild 5** ergibt sich nunmehr ein Korrekturwert dL_{Raum} von -19 dB und somit ein Raumschallpegel von

$$L_{\text{Raum}} = L_{\text{WA}} + dL_{\text{Raum}} = (93 - 19) \text{ dB(A)} = 74 \text{ dB(A)}$$

Diese Lösung ist somit wesentlich günstiger, erfüllt aber noch nicht die Anforderung nach **Tabelle 1**.

In technischer Hinsicht besteht nun noch die Möglichkeit, den Arbeitsplatz in eine Kabine zu verlegen oder ihn durch einen Schirm vom übrigen Raum abzutrennen.

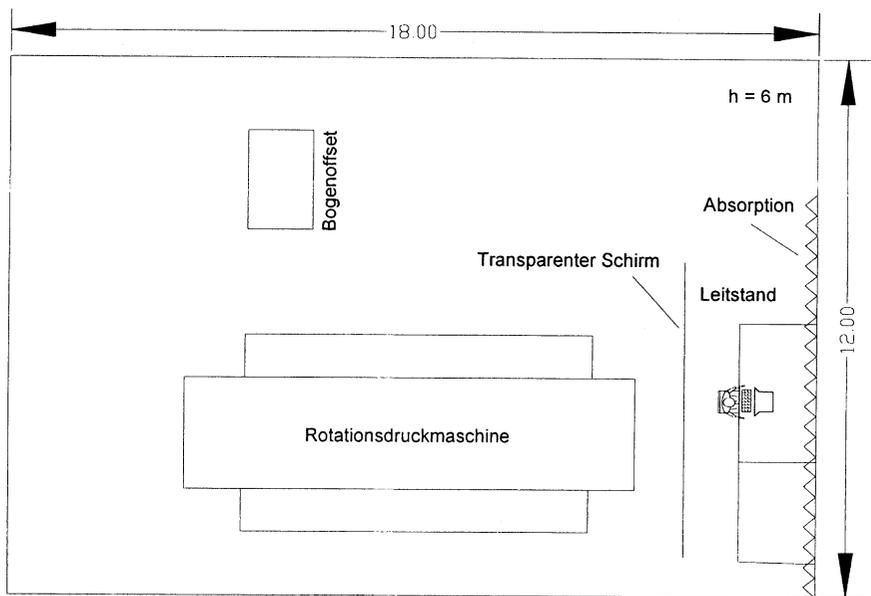


Bild 8: Raum mit Rotationsdruckmaschine und lärmgemindertem Leitstand

Wenn der Raum absorbierend ausgestattet ist, so kann entsprechend [2] Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 124 Bildschirmarbeit – Lärminderung in Mehrpersonen-Büros, S. 10, **Bild 3** durch einen Schirm mit 0.8facher Raumhöhe eine Pegelminderung von ca. 8 dB erzielt werden. Im vorliegenden Fall wird die im **Bild 8** dargestellte Anordnung gewählt:

Der zu schützende Arbeitsplatz ist vom lauten Maschinenbereich durch eine 4 m hohe Trennwand abgeschildert. Die Decke und die Wand hinter dem Leitstand sind absorbierend verkleidet. Die abschirmende Trennwand ist in Sichthöhe aus Glas oder durchsichtigem Kunststoff ausgeführt, wodurch eine Beobachtung des Raumes und der Maschine möglich ist.

Für einen Schirm dieser Art kann bei schallabsorbierender Ausstattung des Raums eine zusätzliche Pegelminderung von ca. 5 dB vorausgesetzt werden.

Damit beträgt der Schallpegel nunmehr

$$L \approx (74-5) \text{ dB(A)} < 70 \text{ dB(A)}.$$

Die Anforderung nach **Tabelle 1** ist somit erfüllt.

Es sei angemerkt, dass das beschriebene Verfahren streng genommen nur bei bestimmten räumlichen Gegebenheiten zutrifft – in allen anderen Fällen stellt es eine Näherung dar. Bei komplexeren Aufgabenstellungen mit mehreren Maschinen kann der Fachmann die an den Maschinenarbeitsplätzen zu erwartenden Schallpegel aus den Kennwerten der Maschinen mit dem in VDI-Richtlinie 3760 [12] angegebenen Berechnungsverfahren vorausbestimmen.

Die wichtigste Maßnahme ist es selbstverständlich, schon beim Einkauf einer Maschine auf deren Lärmarmut zu achten. Mit dem unter 4.2 angegebenen Instrumentarium kann auf der Basis von angegebenen Emissionswerten schnell und einfach beurteilt werden, ob die für einzelne Bildschirmarbeitsplätze geltenden Anforderungen nach **Tabelle 1** mit einem angebotenen Fabrikat überhaupt erfüllt werden können.

Dabei kann auch durchaus von der Anforderung der **Tabelle 1** für den Schallpegel am Arbeitsplatz ausgegangen und der damit maximal zulässige Emissionswert berechnet werden – damit liegt dann eine am Arbeitsschutz orientierte Anforderung für die Maschinenemission vor. Diese muss dann nur noch mit den Angabewerten für die angebotenen Maschinen verglichen werden.

Im o.g. Beispiel betrug die Anforderung nach **Tabelle 1** 70 dB(A). Dies wäre bei dem gegebenen Raum mit einem Zuschlag dL_{Raum} von -15 dB nur mit einem Schalleistungspegel von maximal $(70 + 15)$ dB(A) = 85 dB(A) erfüllbar.

Wenn diese Betrachtung zum Ergebnis führt, dass die Anforderung entsprechend dem derzeitigen Stand der Technik mit keinem der alternativ möglichen Maschinenfabrikate erfüllbar ist, kann schon im Angebotsstadium zusammen mit den potentiellen Maschinenlieferanten überlegt werden, ob und durch welche zusätzlichen Maßnahmen diese Anforderungen so weitgehend wie möglich erfüllt werden könnten. Dies bezieht den Lärmschutz in die Auftragsverhandlung ein und führt in der Regel zu besseren Ergebnissen, als dies bei der Trennung von Einkauf und Lärminderung möglich wäre.

Es ist in dieser allgemeinen Form nicht möglich und sinnvoll, die konstruktiven und primären Lärminderungsmaßnahmen an den Maschinen und Anlagen zu beschreiben oder auch nur aufzuzählen. Diese hängen von der Maschinenart ab und sind somit nur betriebsspezifisch zu betrachten.

Eine Reihe von derartigen Maßnahmen findet sich in [13] und [14].

In der Regel wird es kaum möglich sein, primäre Schallschutzmaßnahmen an Maschinen nach der Aufstellung im Betrieb durchzuführen. Derartige Datensammlungen und Maßnahmenbeschreibungen sind jedoch eine gute Grundlage, um sich beim Kauf einer Maschine fachbezogen nach der praktischen Ausführung im angebotenen Maschinentyp informieren zu können.

Mit der schallabsorbierenden Verkleidung von Decken- und Wandflächen erhöht sich die äquivalente Absorptionsfläche im Raum. Dies führt zu einer entsprechenden Verminderung des Raumschallpegels. Das in Abschnitt 4.2 beschriebene Verfahren ermöglicht es, die damit erreichbare Pegelminderung näherungsweise abzuschätzen.

Auch ohne rechnerische Ermittlung kann aufgrund der Erfahrung mit zahlreichen Projekten dieser Art festgestellt werden, dass bei den Maschinenarbeitsplätzen in kleinen und relativ niedrigen Räumen Pegelminderungen von 3 bis 6 dB, in großen und hohen Räumen von 0 bis 3 dB erreichbar sind. An Arbeitsplätzen, die sich in größerem Abstand von den schallabstrahlenden Maschinen befinden, ist die Pegelminderung größer.

Eine genauere Betrachtung ist durch Anwendung der Schallausbreitungsrechnung nach VDI-Richtlinie 3760 möglich. Der Fachmann wird in der Regel mit einem entsprechenden Computerprogramm und unter Berücksichtigung der geplanten Raum- und Aufstellungsgeometrie mit den vom Maschinenanbieter angegebenen Emissionswerten die an den Arbeitsplätzen zu erwartenden Schallpegel berechnen. Wird dies mit und ohne Einbeziehung einer schallabsorbieren-

5 Lärm-minderungs-maßnahmen

5.1 Einkauf lärmarmen Maschinen

5.2 Konstruktive Lärm-minderungs-maßnahmen

5.3 Raumakustische Lärm-minderungs-maßnahmen

den Decke durchgeführt, so ergibt sich direkt und projektbezogen deren Lärm-minderungswirkung.

Eine Sammlung von Produktdaten sowie allgemeine Hinweise zur schallabsorbierenden Decken- und Wandverkleidung in Produktionsräumen enthält der Katalog „Produkte zur Lärminderung“ [15].

Bei der Planung von Räumen, in denen Bildschirmarbeitsplätze eingerichtet werden, sollte unabhängig von der aktuellen Maschinenaufstellung eine grundsätzliche Entscheidung über die Anwendung von raumakustischen Maßnahmen getroffen werden. Wenn die Anforderungen nach **Tabelle 1** erkennbar gefährdet sind, so sollte die folgende auf die raumakustische Qualität in Arbeitsstätten bezogene Anforderung erfüllt werden:

$$DL_f < 8 \text{ dB und } DL_2 > 3.5 \text{ dB}$$

Dabei ist DL_f die Pegelüberhöhung und DL_2 die Pegelabnahme bei Abstandsverdopplung im mittleren Abstandsbereich zwischen 5 m und 16 m entsprechend VDI-Richtlinie 3760.

Bei der Auftragsvergabe zur Lieferung und Montage von schallabsorbierenden Decken- und Wandverkleidungen ist es empfehlenswert, die vom Lieferanten zugesicherten Werte hinsichtlich Schallabsorption mit entsprechenden Gewährleistungsbedingungen vertraglich festzulegen. Werden die damit berechneten Kennwerte bei der Abnahme nicht erreicht, so sollte die Absorption an einer 10 m² großen Prüffläche im Hallraum nach DIN EN 20 354 [16] nachgeprüft werden.

5.4 Kapselung und Teilkapselung

Ist es dem Hersteller mit konstruktiven Maßnahmen nicht gelungen, ausreichend niedrige Geräuschemissionswerte sicherzustellen, so ist es in vielen Fällen durch Kapselung oder auch Teilkapselung der Maschine möglich, diese Emission ausreichend zu mindern.

Mit völlig umschließenden Kapseln können die beiden Kennwerte L_{WA} und L_{pA} um 20 dB und mehr gemindert werden.

Derartige Kapseln führen unabhängig von der sonstigen Ausstattung des Raumes zur entsprechenden Minderung der anteiligen Schallpegel an den Arbeitsplätzen.

Oft ist eine völlige Umschließung nicht möglich, weil z. B. wegen Materialzu- und -abfuhr größere Öffnungen erforderlich sind - in diesen Fällen ist die Minderung der Gesamtemission bzw. des Schalleistungspegels L_{WA} meist auf 10 bis 15 dB begrenzt. Befindet sich der maschinenzugeordnete Arbeitsplatz unmittelbar vor einer derartigen Öffnung, so wird sich der Emissions-Schalldruckpegel L_{pA} weniger vermindern.

Bei einem Bildschirm-Arbeitsplatz dieser Art, der in der unmittelbaren Nähe eines offenen Kapselbereichs oder einer sonstigen Öffnung angeordnet ist, kann durch zusätzliche absorbierende Ausstattung des Raumes nur wenig weitere Verbesserung erzielt werden. Der Schallpegel ist hier eben vorwiegend vom Direktschall aus dieser Öffnung und nicht durch Reflexionen an den Raumbegrenzungsflächen bestimmt.

Bei einem der Maschine zugeordneten Bildschirmarbeitsplatz kann sich oft schon eine wesentliche Verbesserung ergeben, wenn die Lärmabstrahlung zu diesem Arbeitsplatz durch eine schallabschirmende Verkleidung oder auch nur durch eine transparente Scheibe gemindert wird. Die Hauptabstrahlung erfolgt dann in eine andere Richtung. Mit derartigen Teilabschirmungen ergibt sich eine Verringerung des Emissions-Schalldruckpegels L_{pA} um ca. 10 bis 15 dB, während sich der Schalleistungspegel L_{WA} praktisch nicht vermindert.

Derartige Maßnahmen bringen allerdings keinen Effekt, wenn die Maschine in einem Raum mit wenig Absorption betrieben wird, weil der vom Schallleistungspegel abhängige Raumschallpegel den niedrigen Direktschall hinter der Abschirmung praktisch „überdeckt“. Bei Maschinen mit Teilabschirmungen zwischen Quelle und Arbeitsplatz sollte stets auch eine schallabsorbierende Verkleidung der Raumbegrenzungsflächen einbezogen werden.

Zu dieser Kategorie zählen auch die Maschinen, bei denen der zugeordnete und andere Arbeitsplätze durch eine Verkleidung geschützt ist, die oben offen ist. Durch diese einfache Bauart kann auf alle Maßnahmen zum Luftaustausch und zur Wärmeabführung verzichtet werden. Der Schalleistungspegel L_{WA} und damit die Gesamtabstrahlung verringert sich auch bei dieser Bauart nur um 0 bis 5 dB, während die Minderung des Emissions-Schalldruckpegels L_{PA} 10 bis 15 dB betragen kann. Die pegelmindernde Wirkung der Teilkapselung kommt nur zum Tragen, wenn der Raum ausreichend hohe Absorption aufweist.

Ein Schallschirm unterbricht die direkte Schallausbreitung von der Quelle zum Arbeitsplatz und führt auf diese Weise zur Pegelminderung.

In Räumen kann der Schall durch die Reflexion an den Raumbegrenzungsflächen und an anderen Maschinen und Einrichtungen zum Arbeitsplatz gelangen – eine Pegelminderung ergibt sich deshalb nur, wenn sich der Arbeitsplatz nahe an der Quelle befindet und der Direktschall somit den Hauptanteil zur Immission beiträgt. Abschirmungen in Räumen wirken deshalb nur, wenn Arbeitsplatz und Geräuschquelle einen geringen Abstand voneinander haben und wenn der Schirm dazwischen angeordnet wird.

Soll trotz großem Abstand von Quelle und Arbeitsplatz eine wesentliche Pegelminderung erreicht werden – z. B. bei der Minderung der von einer Maschine oder Anlage auf einer Seite des Raumes an den auf der anderen Seite befindlichen Arbeitsplätzen verursachten Schallimmission – so muss der Schirm sehr große Abmessungen aufweisen und somit quasi als Raumteiler wirken.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, durch nahe am Arbeitsplatz angeordnete Teiltrennwände diesen vom übrigen Raum abzuschirmen. Die Deckenbereiche über diesen Wänden sollten schallabsorbierend verkleidet sein.

Schallschirme in Räumen sind grundsätzlich nur dann sinnvoll, wenn der Raum schallabsorbierend ausgestattet ist. Ist der Raum niedriger als die doppelte Schirmhöhe, so wird auch durch schallabsorbierende Verkleidung eines Deckenstreifens über dem Schirm eine wesentliche Verbesserung erzielt.

[1] „Bildschirmarbeit – Lärminderung in kleinen Büros“ „Beurteilung und Minderung des Lärms an Bildschirmarbeitsplätzen im Büro und in der Produktion“ - aus der Reihe „Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse - Forschungsergebnisse für die Praxis“ Nr. 123, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 2003

[2] „Bildschirmarbeit – Lärminderung in Mehrpersonenbüros“ „Beurteilung und Minderung des Lärms an Bildschirmarbeitsplätzen im Büro und in der Produktion“ - aus der Reihe „Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse – Forschungsergebnisse für die Praxis“ Nr. 124, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 2003

[3] „Lärminderung an Bildschirmarbeitsplätzen in Büros“ Broschüre Technik Nr. 26, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 2003

5.5 Schallschirme und Raumabtrennungen

6 Schrifttum

- [4] „Lärminderung an Bildschirmarbeitsplätzen in der Produktion“ Broschüre Technik Nr. 27, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 2003
- [5] G. Rau, K. Roßner: „Bestandsaufnahme und Minderung der Geräuschbelastung an Arbeitsplätzen mit Bildschirmgeräten in der Produktion“ Schriftenreihe Forschung Fb 702, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 1994
- [6] P. van den Brulle: „Schalltechnische Gestaltung von Büroräumen mit Bildschirmen“ Schriftenreihe Forschung Fb 720, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 1995
- [7] DIN 45645-2 (7/1997) „Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen - Teil 2: Geräuschimmissionen am Arbeitsplatz“
- [8] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 20.3.1975 BGBl. I S. 729-742
- [9] BG – Vorschrift Lärm BGV B 3, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., St. Augustin 2, Carl Heymans Verlag KG, Köln
- [10] VDI 2058 Blatt 3 (02/1999) „Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten“
- [11] Neunte Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz (9. GSGV) und zur Änderung von Verordnungen zum Gerätesicherheitsgesetz vom 12.05.1993, BGBl. I (1993), S. 704
- [12] VDI 3760 (02/1996) „Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen“
- [13] DIN EN ISO 11690-1 (02/1997) „Akustik - Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten - Teil 1: Allgemeine Grundlagen“ (ISO 11690-1:1996); deutsche Fassung EN ISO 11690-1: 1996
- [14] DIN EN ISO 11690-2 (02/1997) „Akustik - Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten - Teil 2: Lärminderungsmaßnahmen“ (ISO 11690-2:1996); deutsche Fassung EN ISO 11690-2: 1996
- [15] Probst, W.: „Produkte zur Lärminderung – Luftschallabsorbierende Werkstoffe, Bauteile und Systeme“, Hrsg. Bundesanstalt für Arbeitsschutz; Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln 1996
- [16] DIN EN 20354 (07/1993), „Akustik; Messung der Schallabsorption im Hallraum“ (ISO 354:1985); deutsche Fassung EN 20354:1993