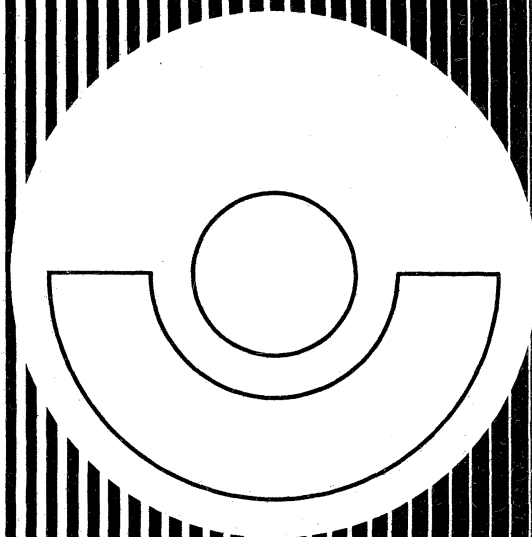


**BIA** report



## **Lärmbelastung durch Bolzensetzwerkzeuge**

**Geräuschemission, Geräuschimmission  
Beurteilung der Gehörschädlichkeit**

**BIA-Report 3/85**



**Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit - BIA**

Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V.

LÄRMBELASTUNG DURCH BOLZENSETZWERKZEUGE

GERÄUSCHEMISSION, GERÄUSCHIMMISSION,  
BEURTEILUNG DER GEHÖRSCHÄDLICHKEIT

Jürgen H. Maue

BIA-REPORT 3/85

ISSN 0173-0487

HERAUSGEBER:

BERUFGENOSSENSCHAFTLICHES INSTITUT FÜR  
ARBEITSSICHERHEIT - BIA

Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V.

LINDENSTR. 80, POSTFACH 2043, D-5205 SANKT AUGUSTIN 2

TELEFON: (02241) 231-02

TELEX: 889 460 BIA D

I N H A L T

	Seite
1 Aufgabenstellung	5
2 Beschreibung der Meßobjekte	6
3 Analyse der Schallimpulse	10
3.1 Schalldruck-Zeit-Diagramm	10
3.2 Frequenzspektrum	12
4 Erfassung der Schallimpulse durch integrale Schallpegelmesser	14
4.1 Zeitbewertung	14
4.2 Mittelungspegel	15
4.3 Meßgerätetechnische Anforderungen	16
4.4 Vergleichsmessung von Schallmeßgeräten	18
4.5 Beurteilung der Meßgeräte	23
5 Geräuschemissionsmessung nach DIN 45 635 Teil 34	24
6 Einflußparameter für die Lärmbelastung bei der Bolzen- setzerarbeit	29
6.1 Ladungsstärke	30
6.2 Werkstückmaterial	31
6.3 Arbeitsumgebung	35
6.4 Arbeitshaltung	38
6.5 Resultierende Lärmbelastung am realen Arbeitsplatz	40
7 Beurteilung der Geräuschimmission	44
7.1 Meß- und Beurteilungsverfahren	45
7.1.1 Meßverfahren nach DIN 45 645	45
7.1.2 Pfander-Verfahren	46
7.1.3 Verfahren nach Frick/Geinoz	49
7.2 Vergleich der Beurteilungsergebnisse	50
7.3 Diskussion der Beurteilungsverfahren	54
8 Bestimmung des Beurteilungspegels	56
8.1 Mittlerer Impulspegel $L_{AIm}$ , gemessen mit integrierendem Schallpegelmesser	57
8.2 Mittlerer Impulspegel $L_{AIm}$ , berechnet aus dem maxi- malen Impulspegel $L_{AImax}$	58
8.3 Bestimmen des Beurteilungspegels	62
9 Zusammenfassung	64
10 Schrifttum	67
Anhang A : Zeitbewertete Schallmessung	69
Anhang B : Integrale Schallmessung	76



## 1 Aufgabenstellung

Bolzensetzwerkzeuge sind Schußapparate, mit denen sich Setzbolzen durch die Energie einer Treibladung mit einem Schlag in harte Baustoffe, wie Beton oder Stahl, eintreiben lassen. Da diese Werkzeuge unabhängig von fremden Energiequellen, wie Elektrizität oder Druckluft, arbeiten, finden sie vor allem im Baubereich eine weite Verbreitung, z.B. bei der Befestigung von Elektroinstallationen oder abgehängten Decken.

Jeder Eintreibvorgang erzeugt einen starken, extrem kurzen Lärmimpuls, der das Gehör des Beschäftigten schädigen kann. Für die Messung und Bewertung derartiger Impulse werden in der Literatur verschiedene Verfahren empfohlen. Es besteht die Frage, ob sich diese extrem kurzen Schallimpulse mit handelsüblichen Schallpegelmessern ausreichend genau erfassen lassen oder ob dazu spezielle Meßtechniken erforderlich sind. Auch liegen derzeit noch keine gesicherten Erkenntnisse darüber vor, welches der verschiedenen Impulsbewertungsverfahren der Gehörschädlichkeit der Impulse am besten gerecht wird. Je nach Verfahren kann man mit sehr unterschiedlichen Beurteilungsergebnissen rechnen [1].

Da zur Beurteilung von Lärmschwerhörigkeitsfällen sowie zur Durchführung von Lärmschutz- und Vorbeugemaßnahmen genauere Kenntnisse über die Höhe der Lärmbelastung und die Beurteilung der Lärmimpulse bei Bolzensetzarbeiten benötigt werden, beauftragte der Fachausschuß "Bau" das BIA mit der Untersuchung der Lärmbelastung an Bolzensetzarbeitsplätzen und Überprüfung der verschiedenen Meß- und Beurteilungsverfahren auf ihre Anwendbarkeit in der Praxis.

Dazu wurde die Lärmbelastung der Beschäftigten bei der Arbeit mit drei Bolzensetzwerkzeugen unterschiedlicher Bauart sowie die Auswirkung verschiedener Einflußfaktoren auf die Lärmbelastung untersucht.

Eine Reihe von Schallmeßgeräten war auf ihre Eignung zur Verarbeitung derartiger Kurzzeitimpulse hin zu überprüfen. Zur Beurteilung der Lärmimpulse wurden verschiedene Auswertungsverfahren angewandt und bewertend gegenübergestellt. Aus den gewonnenen Ergebnissen ließ sich schließlich ein Vorschlag für ein einfaches, praktikables Meß- und Bewertungsverfahren zur Erfassung und Beurteilung von Bolzensetzerlärm ableiten.

## 2 Beschreibung der Meßobjekte

Zur Erläuterung der Funktionsweise von Bolzensetzwerkzeugen sei zunächst der konstruktive Aufbau dieser Werkzeuge etwas genauer betrachtet.

Vom Prinzip her lassen sich die beiden in Abbildung 1 gezeigten Werkzeugarten unterscheiden.

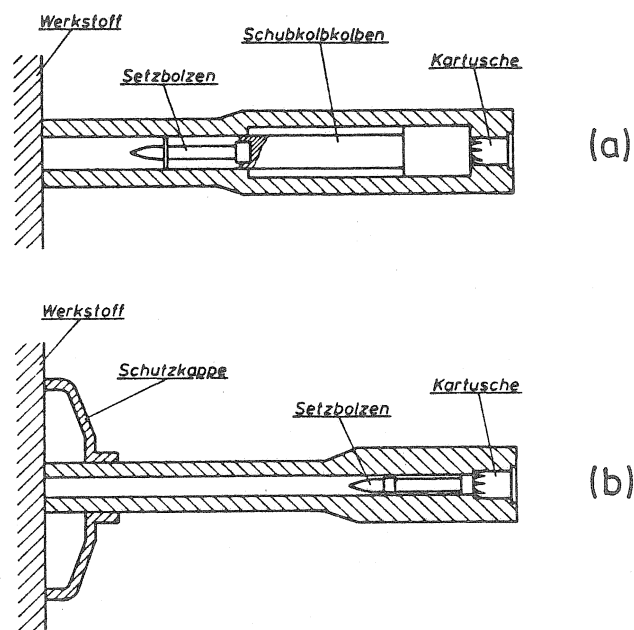


Abbildung 1 : Prinzipskizze zum konstruktiven Aufbau von Bolzensetzwerkzeugen

Beide Werkzeuge werden durch Zündung einer Kartuschenladung gestartet (in Abbildung 1 wurde auf die Darstellung des entsprechenden Auslösemechanismus verzichtet).

Bei dem im oberen Teil der Abbildung gezeigten Bolzensetzwerkzeug (a) wirken die Pulvergase der Kartusche auf einen Schubkolben, der seinerseits den Setzbolzen einschiebt. Bei dem im unteren Teil der Abbildung gezeigten Werkzeug (b) wird der Setzbolzen dagegen unmittelbar durch die Pulvergase der Kartusche eingetrieben. Während die Eintreibenergie beim Werkzeug ohne Schubkolben (b) allein über den Setzbolzen übertragen wird, wirken beim Werkzeug mit Schubkolben (a) die beiden Massen von Schubkolben und Setzbolzen gemeinsam als Träger der Eintreibenergie. Aufgrund der unterschiedlichen zu beschleunigenden Massen ergibt sich für das Werkzeug ohne Schubkolben (b) bei gleicher Kartuschenenergie eine sehr viel höhere Mündungsgeschwindigkeit als für das Schubkolbenwerkzeug (a).

Nach der Unfallverhütungsvorschrift "Arbeiten mit Schußapparaten" [2] sind in Abhängigkeit von Mündungsgeschwindigkeit und der Eintreib- bzw. Auftreffenergie die beiden Werkzeugklassen A und B zu unterscheiden. Die Zuordnung ergibt sich aus der nachfolgenden Tabelle:

Klasse	Mündungsgeschwindigkeit $V_m$ [m/s]	Auftreffenergie [J]
A (Bolzenschubwerkzeug)	$V_m \leq 100$ $100 < V_m \leq 160$	beliebig < 420
B (Bolzentreibwerkzeug)	$100 < V_m \leq 160$ $V_m > 160$	$\geq 420$ beliebig

Tabelle 1 : Einteilung der Bolzensetzwerkzeuge in Klassen



Aufgrund des festgestellten Zusammenhanges zwischen dem konstruktiven Aufbau und der Mündungsgeschwindigkeit handelt es sich bei den Geräten der Klasse A in der Regel um Werkzeuge mit Schubkolben (a) (niedrige Mündungsgeschwindigkeit) und bei den Geräten der Klasse B um Werkzeuge ohne Schubkolben (b) (hohe Mündungsgeschwindigkeit). Die Werkzeuge der Klasse A sind als Bolzenschubwerkzeuge, die Werkzeuge der Klasse B als Bolzentreibwerkzeuge definiert.

Die Eintreibenergie bzw. Leistung der Setzwerkzeuge läßt sich im allgemeinen durch die Wahl von Kartuschen unterschiedlicher Ladung in Grenzen variieren. Die Kartuschen sind je nach Ladungsstärke mit unterschiedlicher Farbe gekennzeichnet :

Weiß	-	schwächste Ladung
Grün	-	schwache Ladung
Gelb	-	mittlere Ladung
Blau	-	starke Ladung
Rot	-	sehr starke Ladung
Schwarz	-	stärkste Ladung

Bei einigen Werkzeugen kann die Eintreibenergie auch durch eine entsprechende Einstellvorrichtung am Werkzeug geändert werden ("By-Pass"-System).

Für die Untersuchung wurden drei Bolzensetzwerkzeuge von vergleichbarer Eintreibleistung, d.h. von etwa gleicher Kartuschengröße und gleichem Bolzenkaliber, ausgewählt (siehe Abbildung 2).

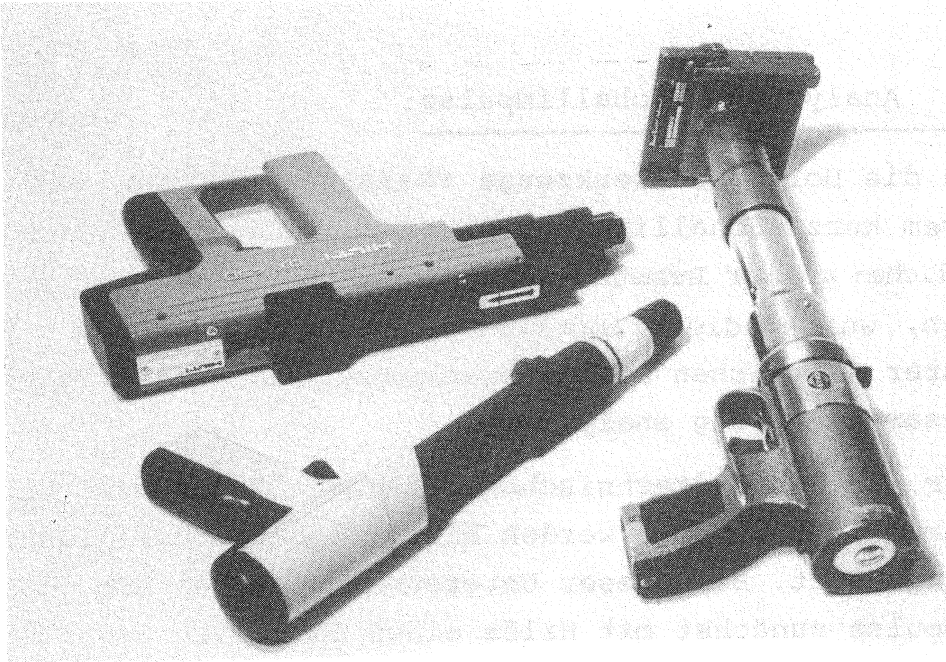


Abbildung 2 : Ansicht der drei untersuchten Bolzensetzwerkzeuge

Zwei Werkzeuge entsprachen als Schubkolbengeräte der Klasse A (Bolzenschubwerkzeuge), das dritte Werkzeug ohne Schubkolben war der Klasse B (Bolzentreibwerkzeuge) zuzuordnen.

Zur Unterscheidung wurden die Geräte mit den Buchstaben A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> und B gekennzeichnet :

- A<sub>1</sub> - Bolzensetzwerkzeug der Klasse A  
Bolzenschubwerkzeug, Schubkolbengerät mit integriertem Schalldämpfer, Bolzendurchmesser 3,7 mm, Kartusche 6,8/11
- A<sub>2</sub> - Bolzensetzwerkzeug der Klasse A  
Bolzenschubwerkzeug, Schubkolbengerät, Bolzendurchmesser 3,75mm, Kartusche 6,8/11
- B - Bolzensetzwerkzeug der Klasse B  
Bolzentreibwerkzeug, Werkzeug ohne Schubkolben, Bolzendurchmesser 3,8 mm, Kartusche 6,3/16

### 3 Analyse der Schallimpulse

Da die Bolzensetzwerkzeuge charakteristische, extrem kurze Schallimpulse erzeugen, die sich wesentlich von den üblichen aus der Industrie bekannten Schlagimpulsen unterscheiden, wurden diese Impulse zunächst hinsichtlich ihrer zeitlichen Druckschwankungen und ihrer Frequenzzusammensetzung analysiert.

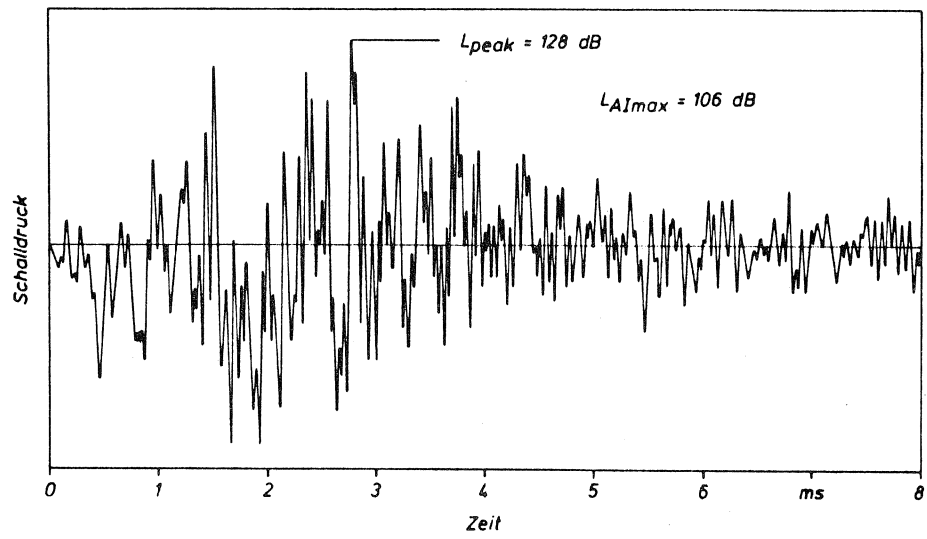
Zur genauen meßtechnischen Erfassung und Aufzeichnung derartiger Impulse werden häufig Speicheroszilloskope eingesetzt. Bei dieser Untersuchung wurden die Schallimpulse zunächst mit Hilfe eines digitalen Signalspeichers (Transientenrekorder) zwischengespeichert, um sie ggf. anschließend weiter analysieren oder auf einen Schreiber ausgeben zu können. Für die Schallimpulsanalyse kamen folgende Meßgeräte zum Einsatz :

- 1 Meßverstärker, Firma Brüel & Kjaer, Typ 2636 mit 1/4"-Mikrofon, Typ 4135,
- 1 Digitaler Signalspeicher, Firma Brüel & Kjaer, Typ 7502 mit 10 K-Speicherumfang,
- 1 Echtzeit-Terz/Oktav-Analysator, Firma Brüel & Kjaer, Typ 2131
- 1 Digitaler Signalanalysator, Firma Hewlett & Packard, Typ 5420 A mit Plotter,
- 1 Mehrkanalschreiber, Firma Gould, Typ GS 1000.

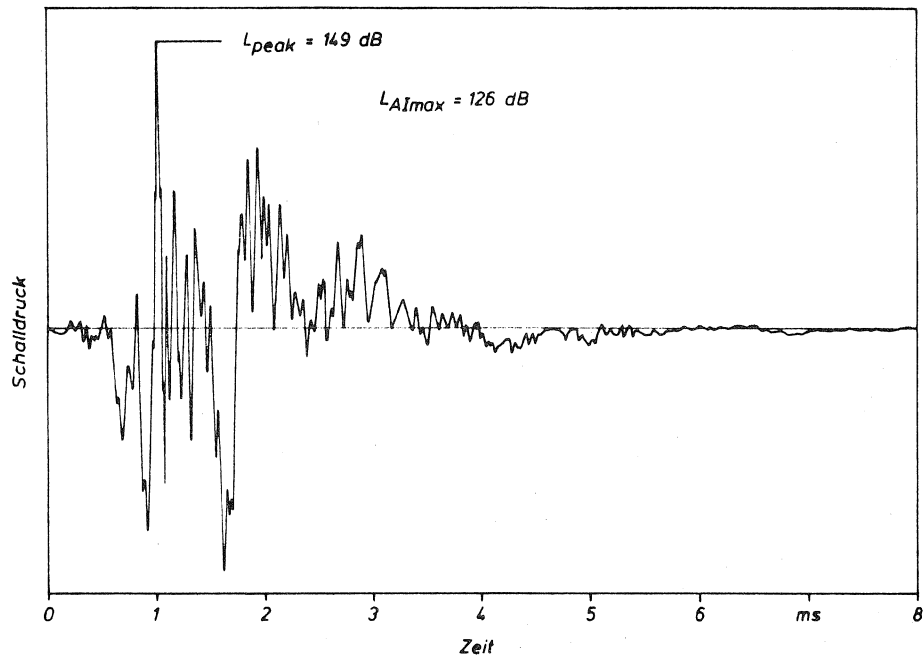
#### 3.1 Schalldruck-Zeit-Diagramm

In Abbildung 3 sind die Schallimpulse der drei untersuchten Bolzensetzwerkzeuge für die Bolzensetzarbeit in Beton zusammengestellt (mittlere Ladungsstärke bzw. Geräteeinstellung auf mittleren Bereich). Da sich die Impulse in den Pegelspitzen um über 20 dB unterschieden, wurden die Schallsignale für die verschiedenen Werkzeuge mit unterschiedlichen Schalldruck-Maßstäben aufgezeichnet, um auch die Schallimpulse der leiseren Geräte noch in ausreichender Größe darzustellen (20 dB Schallpegelunterschied entspricht einem Schalldruckverhältnis von 10 : 1).

Werkzeug A<sub>1</sub>



Werkzeug A<sub>2</sub>



Werkzeug B

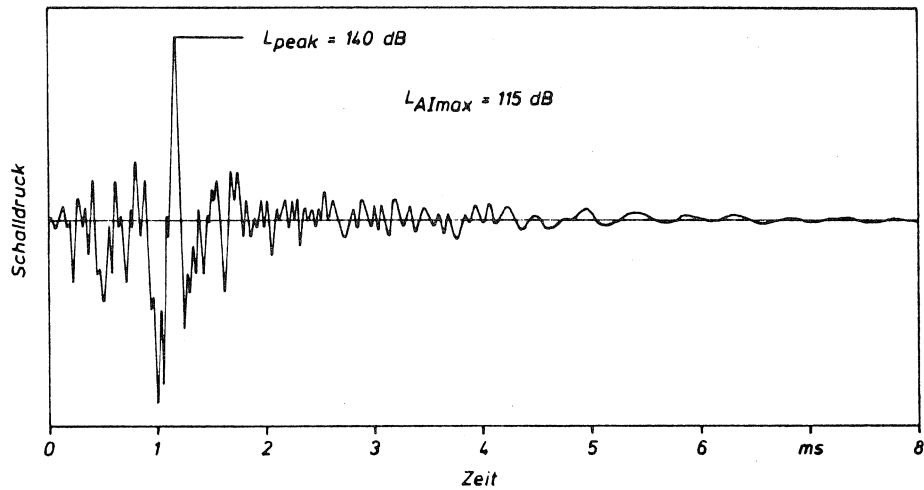


Abbildung 3 : Schalldruck-Zeit-Diagramme der Schallimpulse der drei untersuchten Bolzensetzwerkzeuge

Wie man den Aufzeichnungen entnehmen kann, steigt der Schalldruck nach Zündung der Ladung jeweils innerhalb einer Zeit von wenigen Millisekunden (max. 3 ms) auf den Spitzenwert, der bei den hier untersuchten Werkzeugen mit Schallpegeln  $L_{\text{peak}}$  von 128 dB bis 149 dB gemessen wurde. Die Anstiegszeiten für die einzelnen Druckspitzen betragen ca. 50  $\mu\text{s}$  (Spitze - Spitze). Die Impulse klingen verhältnismäßig schnell wieder ab. Der Impuls des Gerätes A<sub>1</sub> ist innerhalb von 10 ms um über 20 dB abgeklungen. Die Schallpegel der Geräte A<sub>2</sub> und B sind bereits innerhalb von 5 ms entsprechend abgefallen.

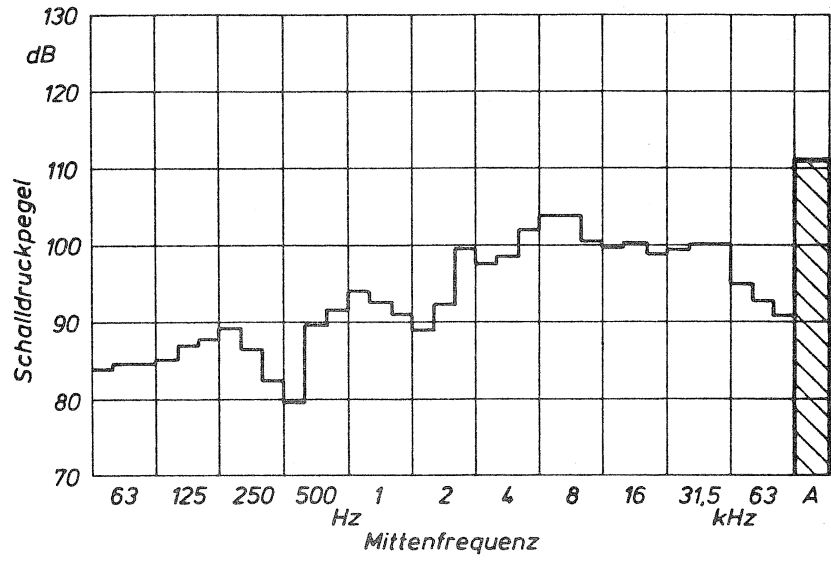
Der für das Gerät A<sub>1</sub> festzustellende langsamere Pegelabfall ist vermutlich dadurch zu erklären, daß die Spitze des Explosionsknalls durch den eingebauten Schalldämpfer soweit gemindert wird, daß der vom Gehäuse abgestrahlte Schallanteil bei der Aufzeichnung stärker ins Gewicht fällt. Da die Körperschallschwingung des Gehäuses nicht so schnell abklingt wie der kurze Explosionsknall wird der Impuls zeitlich gedehnt. Bei Schubkolbenwerkzeugen wie den Geräten A<sub>1</sub> und A<sub>2</sub> kann man aufgrund der Kolbenbewegung im allgemeinen mit einer stärkeren Anregung des Gehäuses rechnen als bei Bolzentreibwerkzeugen wie dem Gerät B (siehe auch [4 und 5]).

Bolzensetzwerkzeuge ohne Schubkolben erzeugen in der Regel extrem kurze, explosionsartige Schallimpulse, da die mechanische Körperschallanregung des Gehäuses durch bewegte Teile vernachlässigbar gering ist.

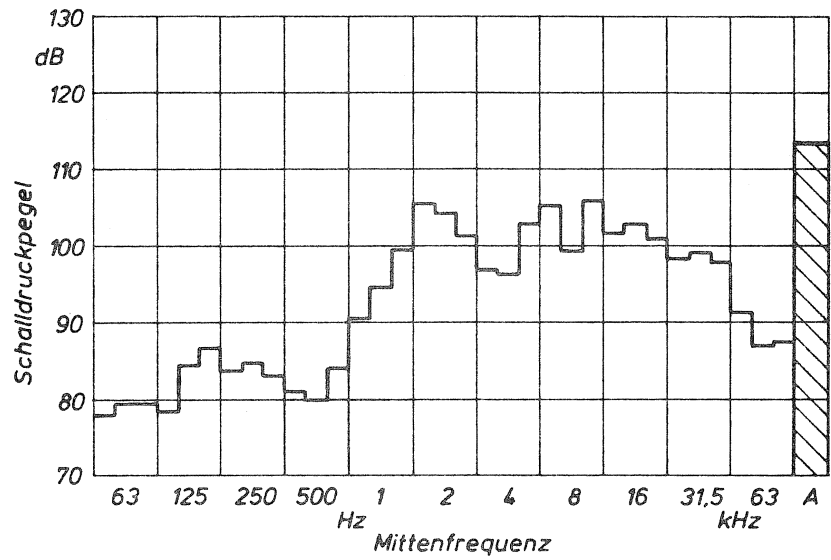
### 3.2 Frequenzspektrum

Zur Untersuchung der Frequenzzusammensetzung der durch die Bolzensetzer erzeugten Impulsgeräusche wurden Frequenzanalysen in Terzbandbreite durchgeführt. Als Meßort wurde dazu der in DIN 45 635 Teil 34 [7] für den Arbeitsplatz festgelegte Meßpunkt gewählt.

Werkzeug A<sub>1</sub>



Werkzeug A<sub>2</sub>



Werkzeug B

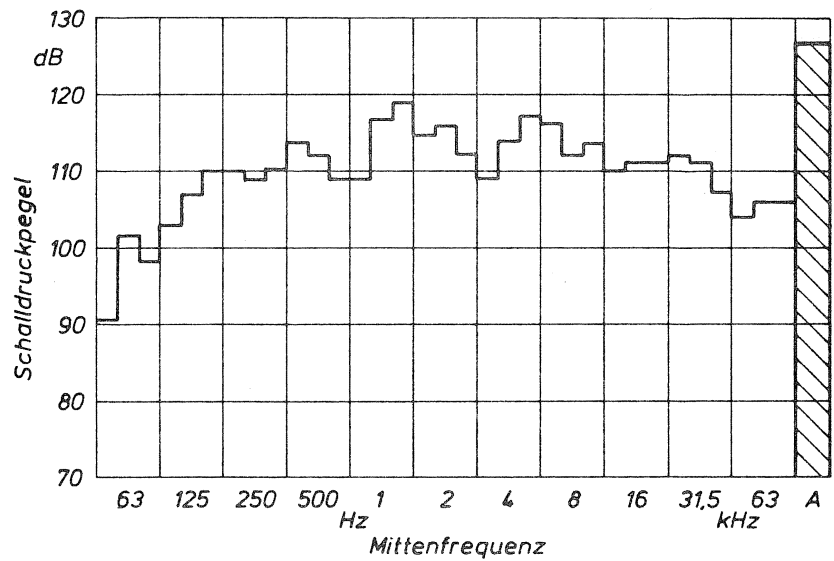


Abbildung 4 : Terzbandspektren für die Schallimpulse der drei untersuchten Bolzensetzwerkzeuge

Zur Erfassung der kurzen Impulse wurde der Echtzeit-Terz/Oktav-Analysator jeweils auf Maximalwert-Speicherung und die Zeitbewertung "I" ("Impuls") eingestellt. In Abbildung 4 sind die für die drei Werkzeuge bei maximaler Eintreibleistung analysierten Terzbandspektren zusammengestellt.

Anmerkung :

Aufgrund des Einschwingverhaltens der Frequenzfilter werden extrem kurze Schallimpulse von einigen Echtzeit-Analysatoren nicht richtig erfaßt. Deshalb wurden Vergleichsmessungen durch Zwischenspeicherung der Impulse auf einem digitalen Signalspeicher und repetitive Ausgabe auf den Analysator durchgeführt. Dabei konnten keine Abweichungen zu den durch einmalige Maximalwert-Analyse gewonnenen Ergebnissen festgestellt werden. Zur zusätzlichen Absicherung der Meßergebnisse wurden mit Hilfe eines digitalen Signalanalyzers auch schmalbandige Analysen durchgeführt (Fourier-Transformation). Nach Umrechnung der schmalbandigen Frequenzspektren in Terzbandbreite ergaben sich keine nennenswerten Unterschiede zu den in Abbildung 4 gezeigten Terzspektren.

## 4 Erfassung der Schallimpulse durch integrierende Schallpegelmesser

---

### 4.1 Zeitbewertung

Jeder Schallpegelmesser besitzt eine gewisse Anzeigetragheit (Zeitbewertung), um damit bei einem etwas schwankenden Geräusch eine möglichst einfache Ablesung des Meßergebnisses zu ermöglichen. Man unterscheidet nach DIN/IEC 651 [8] folgende Anzeigearten bzw. Zeitbewertungen:

- "S" - "langsam" (engl.:"slow")  
große Anzeigetragheit - gedämpfte Anzeige von schwankenden Geräuschpegeln (Zeitkonstante  $\tau = 1 \text{ s}$ )
- "F" - "schnell" (engl.:"fast")  
geringe Anzeigetragheit - unruhige Anzeige bei schwankenden Geräuschpegeln (Zeitkonstante  $\tau = 125 \text{ ms}$ )
- "I" - "Impuls" (engl.:"impulse")  
sehr geringe Anzeigetragheit für Pegelanstieg, große Anzeigetragheit für Pegelabfall, sehr schnelle Reaktion des Zeigers auf Schallimpulse, verzögerter Rücklauf der Anzeige (2,9 dB/s)  
(Zeitkonstante  $\tau_1 = 35 \text{ ms}$  /  $\tau_2 = 1,5 \text{ s}$ )

Aufgrund dieser gegebenen Anzeigetragheiten können sich speziell bei Impulsgeräuschen, wie sie die untersuchten Bolzensetzer erzeugen, erhebliche Abweichungen zwischen dem tatsächlichen Pegel des Schallimpulses und der Anzeige des Schallpegelmessers ergeben. Der vom Schallpegelmesser angezeigte Wert wird stets weit unter den im Abschnitt 3.1 dargestellten Pegelspitzen liegen. Die Abweichung fällt mit zunehmender Zeitkonstante für den Pegelanstieg größer aus. So mißt man z.B. bei einem Impulssignal von 5 ms Dauer (Tonimpuls) mit einem Schallpegelmesser in der Zeitbewertung "S" einen Maximalpegel, der um 23 dB unter dem tatsächlichen Impulspegel liegt. In der Zeitbewertung "F" ergibt sich ein Anzeigewert von 14 dB unter dem Pegel des entsprechenden Dauersignals (siehe Anhang A).

#### 4.2 Mittelungspegel

Trotz dieser unterschiedlichen Pegelanzeige bei der Messung von Einzelimpulsen in den Zeitbewertungen "F" und "S" ergibt die Pegelintegration jeweils den gleichen Mittelungspegel, der dem energieäquivalenten Dauerschallpegel  $L_{eq}$  entspricht (siehe Anhang B).

Rein theoretisch kann der energieäquivalente Dauerschallpegel  $L_{eq}$  in jeder Zeitbewertung bestimmt werden, die für den Pegelanstieg und den Pegelabfall die gleiche Zeitkonstante aufweist. Da eine kürzere Zeitkonstante eine genauere Impulsverarbeitung durch den Effektivwertbildner ermöglicht [9], kommt für die Erfassung des energieäquivalenten Mittelungspegels  $L_{eq}$  von Bolzensetzerimpulsen praktisch nur die Zeitbewertung "F" oder eine Integration mit einer noch kürzeren Zeitkonstanten in Betracht.



In der Zeitbewertung "I" ergibt sich bedingt durch den langsamen Pegelabfall nach dem Impulsereignis ein Mittelungspegel, der je nach Art und zeitlichem Abstand der Impulse weit höher als der energieäquivalente Dauerschallpegel ausfallen kann. Die Differenz zwischen dem mittleren Impulspegel  $L_{AIm}$  und dem energieäquivalenten Dauerschallpegel  $L_{Aeq}$  ist als Impulszuschlag  $K_I$  definiert ( $K_I = L_{AIm} - L_{Aeq}$ ).

Bei den extrem kurzen Bolzensetzerimpulsen kann dieser Zuschlag bis zu ca. 16 dB(A) betragen (siehe Anhang B).

#### 4.3 Meßgerätetechnische Anforderungen

Die zuverlässige integrale Erfassung der Bolzensetzerimpulse setzt ein Schallmeßgerät voraus, das die aus der Impulscharakteristik resultierenden hohen geräte-technischen Anforderungen erfüllt.

(1) Pegelbereich :

Der Schallpegelmesser muß die bei Bolzensetzwerkzeugen auftretenden hohen Spitzenschalldruckpegel  $L_{peak}$  von bis zu ca. 150 dB verarbeiten können.

(2) Frequenzbereich :

Da das den kurzen Impulsen entsprechende Frequenzspektrum auch bei hohen Frequenzen bis zu 40 kHz nennenswerte Schallanteile aufweist, sollte das Meßgerät für die exakte Analyse des Geräusches auch diese hohen Frequenzen erfassen und verarbeiten können. Dazu kommen nur 1/4"-Mikrofone oder hochwertige 1/2"-Mikrofone in Betracht. Für die A-bewertete Messung des Impulses sind jedoch auch 1"-Mikrofone geeignet.

(3) Scheitelfaktor :

Höchste Anforderungen werden an die Quadrierstufe und den Effektivwert-Detektor des Schallpegelmessers gestellt, da die Impulssignale einen hohen Scheitelfaktor (Verhältnis Spitzenwert zu Effektivwert) besitzen. Der Schallpegelmesser sollte deshalb hohe Scheitelfaktoren von ca. 30 entsprechend 29,5 dB verarbeiten können.

(4) Dynamik :

Die Forderung des hohen Scheitelfaktors läßt sich nur in Verbindung mit einem großen Dynamikbereich des Gerätes realisieren. Eine große Verarbeitungsdynamik ist auch für die integrale Verarbeitung der Impulse erforderlich, da der Mittelungspegel ggf. weit unter den Spitzenpegeln liegen kann. Falls beispielsweise auf einen angenommenen Bolzensetzerimpuls von 5 ms Dauer eine längere Pause von 60 s folgt, ergibt sich ein Mittelungspegel  $L_{eq}$ , der über 40 dB unter dem Pegel des Schallimpulses liegt. Berücksichtigt man den erforderlichen Rauschabstand und eine Scheitelreserve, so sollte die Verarbeitungsdynamik des integrierenden Meßgerätes mindestens 60 dB, besser 70 dB, betragen.

(5) Abtastrate :

Da das einzelne Impulssignal nur über eine sehr kurze Zeit anliegt, muß der integrierende Schallpegelmesser eine sehr hohe Abtastrate besitzen oder kontinuierlich aufintegrieren, um das Impulssignal in seiner vollen Höhe zu erfassen. Der durch die Abtastung bedingte Fehler ist umso geringer, je größer die Zeitkonstante für den Pegelabfall ist.

Dieser Fehler ist beispielsweise in der Zeitbewertung "S" oder "I" geringer als in der Zeitbewertung "F". Bei der Bestimmung des energieäquivalenten Dauerschallpegels  $L_{eq}$  sollte dennoch die Zeitbewertung "F" bevorzugt werden, da kurze Impulse in der Zeitbewertung "S" durch den Effektivwertdetektor nicht so genau verarbeitet werden. Die Abtastrate sollte dabei mindestens 10/s betragen. Bei der Bestimmung des mittleren Impulspegels  $L_{AIm}$  kann ggf. auch eine etwas niedrigere Abtasthäufigkeit ausreichen, da der langsame Pegelabfall in der Zeitbewertung "I" durch eine Abtastung leichter zu erfassen ist.

Neben diesen speziell für die Verarbeitung extremer Schallimpulse formulierten gerätetechnischen Anforderungen sollte das Meßgerät auch den für Schallpegelmessern in DIN/IEC 651 und DIN 45 655 festgelegten allgemeinen Anforderungen entsprechen.

#### 4.4 Vergleichsmessung von Schallmeßgeräten

Die hier zusammengestellten hohen Anforderungen werden bisher nur von wenigen Schallpegelmessern erfüllt. Da die Schallmeßgerätenormen DIN/IEC 651 [9] und DIN 45 655 [10] speziell bei derartig kurzen Schallereignissen größere Toleranzen zulassen, muß man in jedem Fall mit etwas größeren Meßfehlern rechnen als bei der Messung weniger impulsartiger Geräusche. Eine besonders große Meßunsicherheit besteht bei Verwendung von nicht bauart-geprüften Geräten, die nach den Erfahrungen der Schallpegelmesserprüfstelle im BIA die in den Meßgerätenormen für die Impulsverarbeitung gestellten Anforderungen in der Regel nicht erfüllen.

Um zu untersuchen, in welchem Bereich sich die Fehler bei der Messung der Bolzensetzerimpulse bewegen, wurden einige handelsübliche integrierende Schallpegelmessern miteinander verglichen.

Es handelt sich dabei um moderne, vielfach verkaufte integrierende Schallpegelmesser der Genauigkeitsklasse 1 und 2, die in der folgenden Tabelle zusammengestellt sind :

Anzahl	Gerät/ Genauigkeitsklasse	Hersteller/ Typ	Mikrofon- größe	gemessener Mittelungspegel	Anforderungen der Meßgerätenorm er- füllt
1	integr. Schallpegelmesser Klasse 1	Brüel & Kjaer 2218	1/4"	$L_{Aeq}$	ja
2	integr. Schallpegelmesser Klasse 1	Brüel & Kjaer 2233	1/2"	$L_{AFm}/L_{AIm}$	ja
2	Pegelstatistik- und Mittelungsgerät Klasse 1	Brüel & Kjaer 4426	1/2"	$L_{AFm}/L_{AIm}$	ja
1	integr. Schallpegel- messer, Klasse 1	GEN RAD 1988	1/2"	$L_{AFm}/L_{AIm}$	nein
1	Schallpegelmesser mit INCA-Rechner, Kl. 1	GEN RAD 1982	1/2"	$L_{AIm}$	nein
2	Personendosimeter Klasse 2	GEN RAD 1954	7 mm	$L_{AIm}$	nicht geprüft
2	Personendosimeter Klasse 2	DUPONT MK-1	1/2"	$L_{Aeq}$	nicht geprüft

Tabelle 2: Liste der für die Vergleichsmessung eingesetzten Schallmeßgeräte

Alle eingesetzten Schallmeßgeräte waren vor der Messung durch die Schallpegelmesserprüfstelle im BIA geprüft worden. Die Anforderungen nach DIN/IEC 651, Klasse 1, und DIN 45 655 wurden nur von den bauart-geprüften Geräten erfüllt. Die Personendosimeter konnten lediglich durch Vergleichsmessungen mit Präzisions-Schallpegelmessern bei einigen ausgewählten Geräuschen geprüft werden, da sonst ein Umbau der Geräte zur elektrischen Einspeisung der Prüfsignale erforderlich gewesen wäre. Als Vergleichsnorm wurde ein der Genauigkeitsklasse 0 entsprechender Meßverstärker der Firma Brüel & Kjaer vom Typ 2636 gewählt, dessen Anstiegszeitkonstante in der Zeitbewertung "I" genau dem Sollwert nach DIN/IEC 651 entsprach.

Mit Hilfe des Meßverstärkers wurden jeweils die Maximalpegel der einzelnen Impulse erfaßt und damit nach der im Anhang B hergeleiteten Beziehung der energieäquivalenten Mittelungspegel  $L_{Aeq}$  und der mittlere Impulspegel  $L_{AIm}$  berechnet. Bei dieser rechnerischen Bestimmung des Mittelungspegels wird der Fehler, der sich aus einer ungenauen Rücklaufzeitkonstanten und einem hohen Grundrauschen ergeben könnte, eliminiert.

Die Vergleichsmessungen der Schallmeßgeräte wurden bei direkter Beschallung durch Bolzensetzerimpulse im schallabsorbierenden Meßraum des BIA durchgeführt. Dazu wurden jeweils 5 Setzbolzen innerhalb von 5 Minuten in einen Betonblock eingetrieben und der Impulslärm durch die verschiedenen Schallmeßgeräte in 1 m Abstand vom Werkzeug parallel erfaßt. Durch Wiederholung jeder Messung mit etwas geänderten Mikrofonpositionen konnte nachgewiesen werden, daß die festgestellten Differenzen der Ergebnisse unabhängig von der Anordnung der Mikrofone waren.

Anmerkung :

Der Einfluß unterschiedlicher Mikrofonpositionen ließe sich auch durch eine elektrische Vergleichsmessung der Geräte ausschalten, bei der durch Speicherung der Bolzensetzerimpulse, z.B. mit Hilfe eines digitalen Signal-speichers, und direkter elektrischer Einspeisung in die verschiedenen Schallpegelmesser stets das gleiche Signal zu verarbeiten wäre.

Da jedoch bei mehreren der untersuchten Meßgeräte keine Möglichkeit der elektrischen Eingabe von Signalen bestand, konnten nur einzelne Geräte zusätzlich nach diesem Verfahren überprüft werden. Die damit gewonnenen Meßwerte bestätigten die durch die direkte akustische Messung über die Mikrofone erhaltenen Ergebnisse.

Die Ergebnisse der Vergleichsmessungen sind in der Tabelle 3 zusammengestellt :

Meßgerät	Meßgröße	Mittelungspegel [dB(A)]		
		Werkzeug A <sub>1</sub>	Werkzeug A <sub>2</sub>	Werkzeug B
	<u>L<sub>Aeq</sub></u>			
Sollwert *)	L <sub>Aeq</sub>	69,6	89,9	81,2
Brüel & Kjaer 2218	L <sub>Aeq</sub>	69,1	89,7	81,0
Brüel & Kjaer 2233	L <sub>AFm</sub>	68,8	89,5	80,5
Brüel & Kjaer 4426	L <sub>AFm</sub>	70,1	88,7	80,8
GEN RAD 1988	L <sub>AFm</sub>	71,3	87,7	79,0
DUPONT Dosimeter I	L <sub>Aeq</sub>	65,5	83,7	74,6
DUPONT Dosimeter II	L <sub>Aeq</sub>	65,9	84,5	75,5
	<u>L<sub>AIm</sub></u>			
Sollwert *)	L <sub>AIm</sub>	85,8	106,0	96,5
Brüel & Kjaer 2233	L <sub>AIm</sub>	86,1	105,2	96,7
Brüel & Kjaer 4426	L <sub>AIm</sub>	85,9	104,9	96,2
GEN RAD 1988	L <sub>AIm</sub>	83,9	104,5	95,0
GEN RAD 1982 mit INCA	L <sub>AIm</sub>	85,3	105,5	95,9
GEN RAD Dosimeter I	L <sub>AIm</sub>	82,5	103,5	94,2
GEN RAD Dosimeter II	L <sub>AIm</sub>	84,0	104,0	95,2

\*) als Sollwert wurde der durch Messung des L<sub>AImax</sub> (Brüel & Kjaer 2636) und Berechnung nach Anhang B bestimmte Mittelungspegel angesetzt.

Tabelle 3: Zusammenstellung der mit den untersuchten Schallpegelmessern gewonnenen Ergebnisse. Messung im Semi-Schallschluckraum in 1 m Abstand vom Werkzeug; Mittelungspegel über 5 Impulse innerhalb von 5 Minuten.

Danach liegen die Meßfehler für die meisten Schallpegelmesser im Bereich bis etwa 2 dB(A). Für die bauart-geprüften Schallpegelmesser der Firma Brüel & Kjaer ergeben sich sogar nur Abweichungen bis zu etwa 1 dB(A). Der Schallpegelmesser vom Typ 2218 führt zu den genauesten Meßergebnissen, da er allen für die Verarbeitung von Bolzensetzerimpulsen formulierten Anforderungen entspricht.

Die festgestellten Abweichungen von maximal 0,5 dB liegen im Rahmen der durch die Kalibrierung und das Berechnungsverfahren gegebenen Genauigkeit. Mit elektrischen Prüfsignalen ließ sich zeigen, daß das Gerät auch noch kürzere Impulse einwandfrei integriert.

Auch mit dem Pegelstatistikgerät vom Typ 4426 ergeben sich nur geringfügige Abweichungen vom berechneten Mittelungspegel, obwohl das Gerät den Pegel nur alle 100 Millisekunden registriert und damit den Maximalpegel nur zufällig erfassen kann. Wie in Anhang B erläutert, resultiert der Mittelungspegel vor allem aus der Integration über den Pegelabfall, der in der Zeitbewertung "F" bei dieser Abtastrate noch ausreichend genau erfaßt wird.

Durch die Messungen mit dem Schallpegelmesser der Firma GENRAD vom Typ 1988 wurde der berechnete Mittelungspegel in der Regel um 2 bis 3 dB(A) unterschritten. Nur in einem Fall ergab sich ein zu hoher Mittelungspegel ( $L_{eq}$  für Werkzeug  $A_1$ ), wofür möglicherweise das Grundrauschen des Meßgerätes verantwortlich ist. Auch durch zusätzliche Messungen mit elektrisch eingespeisten Prüfsignalen wurde bestätigt, daß dieser Schallpegelmesser kurze Impulse nicht in voller Höhe erfassen kann.

Der GENRAD-Schallpegelmesser vom Typ 1982 mit INCA-Rechner ist für die Erfassung des energieäquivalenten Mittelungspegels gänzlich ungeeignet, da er den Schallpegel nur im 1 s-Takt abtastet. In der Zeitbewertung "I" ergeben sich verhältnismäßig geringe Abweichungen von weniger als 1 dB(A), obwohl die Zeitkonstante für den Pegelanstieg und den Pegelabfall zu groß ausfallen. Der dadurch entstehende Fehler des zu geringen Maximalpegels  $L_{AImax}$  wird in diesem Fall durch den Fehler des zu langsamen Pegelabfalls nahezu kompensiert.

Mit den Schalldosimetern der Firma GENRAD werden um bis zu etwa 3 dB zu niedrige mittlere Impulspegel  $L_{AIm}$  gemessen. Die Ergebnisse der beiden typengleichen Meßgeräte differieren dabei um bis zu 1,5 dB(A). Diese verhältnismäßig einfachen Schallmeßgeräte der Genauigkeitsklasse 2 zeigen damit bei der Verarbeitung von Bolzensetzerlärmimpulsen keine nennenswert größeren Meßfehler als die Präzisionsschallpegelmesser des gleichen Herstellers.

Die größten Meßfehler lassen sich für die Schalldosimeter der Firma DUPONT feststellen. Speziell bei den lautereren Werkzeugen A<sub>2</sub> und B ergeben sich hohe negative Pegelabweichungen von ca. 6 dB(A). Diese Dosimeter sind offenbar mit der schwierigen Aufgabe der energieäquivalenten Integration von Bolzensetzerimpulsen überfordert.

#### 4.5 Beurteilung der Meßgeräte

Bei der Beurteilung der hier gewonnenen Ergebnisse und der eingesetzten Meßgeräte ist zu berücksichtigen, daß das aufgenommene Geräusch einen besonders ungünstigen Fall darstellt, da die Bolzensetzerimpulse unter Freifeldbedingungen (schallabsorbierender Meßraum) kürzer ausfallen als in einem halligen Arbeitsraum und da der zeitliche Abstand der Einzelimpulse von 60 Sekunden zusätzliche Anforderungen an den Integrator stellt. So ergaben sich beispielsweise in einem Meßraum mit schallharten Wänden geringere Pegelabweichungen.

Außerdem ist zu beachten, daß die hier ermittelten Pegelabweichungen nicht ohne weiteres als charakteristisch für den einzelnen Schallpegelmessertyp anzunehmen sind, d.h. ein anderes Gerät der gleichen Bauart kann möglicherweise andere Abweichungen aufweisen.



Andererseits muß man auch berücksichtigen, daß die Geräte vor der Messung einer genauen Prüfung und teilweise auch einer Reparatur durch den Hersteller unterzogen wurden. Bei einer weniger sorgfältig vorbereiteten Messung wären deshalb wahrscheinlich noch größere Pegelabweichungen zu erwarten.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß sich der Mittelungspegel für Bolzensetzerlärm mit modernen bauart-geprüften integrierenden Schallpegelmessern verhältnismäßig genau erfassen läßt, auch wenn das Meßgerät bei besonders lauten Einzelimpulsen evtl. leicht übersteuert. Bei Schallpegelmessern, die die Anforderungen der Meßgerätenormen hinsichtlich Impulsverarbeitung nicht erfüllen, muß man mit Pegelabweichungen bis zu etwa 5 dB(A) rechnen. In der Regel dürfte der Meßwert dabei unter dem tatsächlichen Mittelungspegel liegen, da die Impulse nicht voll erfaßt werden. Speziell bei der Bestimmung des energieäquivalenten Mittelungspegels  $L_{eq}$  mit nicht geprüften Schallpegelmessern sind zu niedrige Meßergebnisse zu erwarten, da die energieäquivalente Pegelintegration besonders hohe Anforderungen an das Meßgerät stellt (Abtastrate, siehe auch Anhang B).

#### 5 Geräuschemissionsmessung nach DIN 45 635 Teil 34

Die Geräuschemissionsmessung wurde in Anlehnung an die Emissionsmeßnorm für Bolzensetzwerkzeuge DIN 45 635 Teil 34 [7] durchgeführt. Die Abbildung 5 zeigt die bei der Messung gewählte Meßpunktanordnung auf der Meßfläche in 1 m Abstand und am Arbeitsplatz.

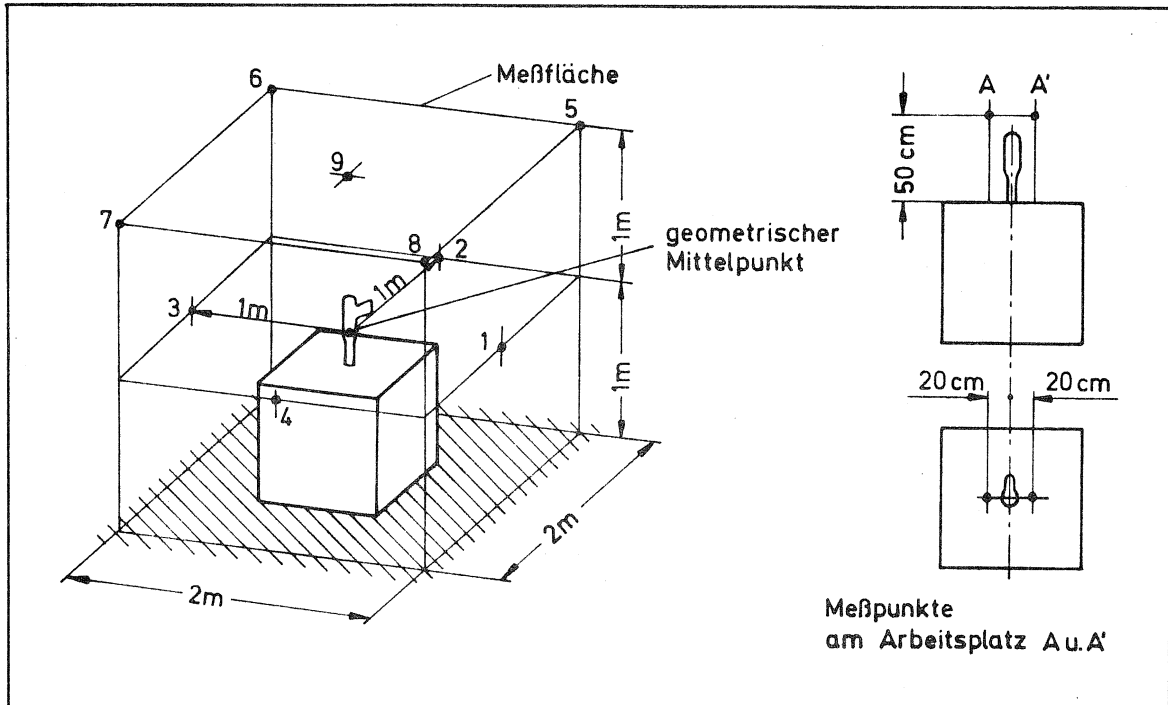


Abbildung 5: Meßfläche und Meßpunktanordnung für die Schallemissionsmessung von Bolzensetzwerkzeugen (DIN 45 635)

Die Setzbolzen wurden - wie in der Abbildung 5 skizziert - jeweils senkrecht in einen Betonblock von 80 x 80 cm<sup>2</sup> Grundfläche eingetrieben (Festigkeit des Betons 25 - 40 N/mm<sup>2</sup>).

Die Höhe der Betonoberfläche wurde durch Unterlegen von massiven Holzstücken und einer Gummimatte so eingestellt, daß der geometrische Mittelpunkt des Werkzeuges ca. 1 m über dem Boden lag.

Nach den Festlegungen der Norm sollen die Bolzensetzwerkzeuge bei der Prüfung gemäß der Bedienungsanleitung des Herstellers betrieben werden. Die Werkzeuge sind dabei "mit der stärksten bestimmungsgemäß zu verwendenden Ladung" einzusetzen (siehe Anmerkung auf Seite 25 ). "Der Setzbolzen ist dieser Ladungsstärke anzupassen".

Für die hier untersuchten Werkzeuge wurde in den Bedienungsanleitungen als stärkste Ladung jeweils die Kartusche mit der Kennfarbe "Schwarz" angegeben. Die in der Leistung regelbaren Werkzeuge wurden auf die maximale Leistung eingestellt. Es wurden Setzbolzen von 3,7 mm bzw. 3,8 mm Durchmesser und 32 mm Länge eingetrieben.

Anmerkung :

Der Begriff "bestimmungsgemäß" kann sich bei dieser in DIN 45 645 Teil 34 gewählten Formulierung sowohl auf das Werkzeug als auch auf die Arbeitsaufgabe, hier das Eintreiben in Beton mittlerer Festigkeit, beziehen. Falls durch den Hersteller in der Betriebsanleitung keine maximale Ladung oder Geräteeinstellung für eine bestimmte Arbeitsaufgabe vorgeschrieben ist, kann man davon ausgehen, daß die Werkzeuge bei dieser Prüfung mit der höchsten für das Werkzeug vorgesehenen Ladung und - bei in der Leistung regelbaren Werkzeugen - bei Einstellung der höchsten Leistung zu betreiben sind.

Die Messungen fanden in einem schallabsorbierenden Meßraum mit schallharten Böden (Semi-Schallschluckraum) statt, um Raumrückwirkungen durch Schallreflexionen an den Wänden zu vermeiden. Den entsprechenden Meßaufbau zeigt die Abbildung 6.

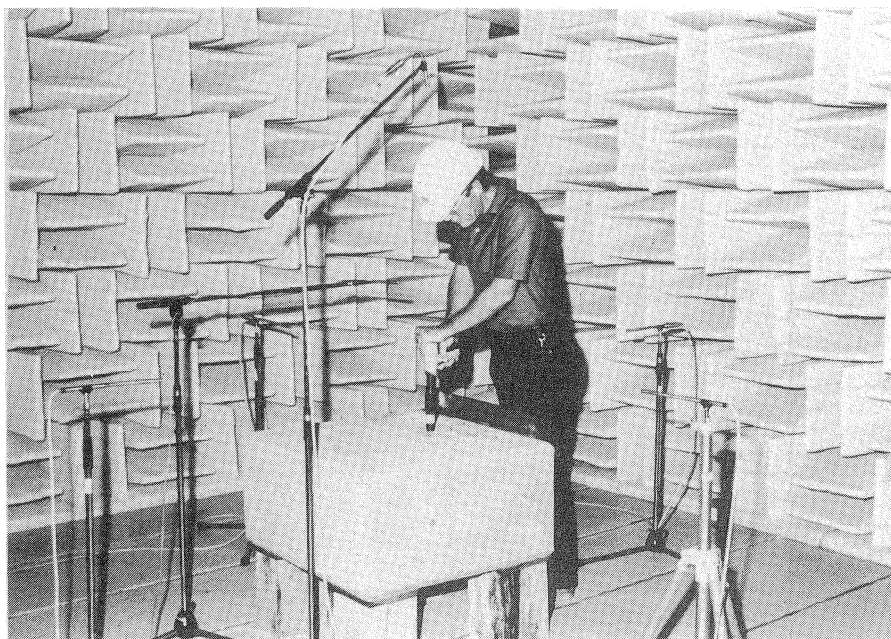


Abbildung 6: Meßaufbau für die Geräuschemissionsmessung von Bolzensetzern im schallabsorbierenden Meßraum des BIA

Als Meßgröße wurde jeweils der maximale A-bewertete Impulsschalldruckpegel  $L_{AI\max}$  an allen neun Mikrofonpositionen parallel aufgezeichnet. Da die Geräuschemission der Werkzeuge von Impuls zu Impuls um bis zu 3 dB(A) schwankte, wurden jeweils 5 Einzelimpulse gemessen und zu einem Mittelwert zusammengefaßt. Durch Mittelung der an den neun Meßpunkten gewonnenen Schalldruckpegel ließen sich daraus der 1 m-Meßflächen-Impulsschalldruckpegel  $\bar{L}_{pAI}$  und unter Berücksichtigung des Meßflächeninhaltes der Impuls-Schalleistungspegel  $L_{WAI}$  bestimmen.

Zusätzlich wurde am definierten Meßpunkt für den Arbeitsplatz der arbeitsplatzbezogene Emissionswert erfaßt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 4 zusammengestellt.

Emissionskenngröße	Bolzensetzwerkzeug		
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B
1m - Meßflächen-Impuls- schalldruckpegel $\bar{L}_{pAI}$ [dB]	105	123	107
Impuls - Schalleistungs- pegel $L_{WAI}$ [dB]	118	136	120
arbeitsplatzbezogener Emissionswert $L_{AI\max}$ [dB]	111	127	113

Tabelle 4 : Ergebnisse der Geräuschemissionsmessung nach  
DIN 45 635 Teil 34

Für die beiden Werkzeuge mit Schubkolben A<sub>1</sub> und A<sub>2</sub> wurde sowohl die geringste (Gerät A<sub>1</sub>) als auch die höchste Geräuschemission (Gerät A<sub>2</sub>) ermittelt. Das Bolzentreibwerkzeug B ist ca. 2 dB(A) lauter als das Gerät A<sub>1</sub>.

Ein Vergleich der hier gewonnenen Ergebnisse mit den Ergebnissen anderer Meßstellen (z.B. [6]) zeigt, daß das Gerät A<sub>1</sub> innerhalb der Gruppe der Bolzenschubwerkzeuge als eines der leisesten Geräte im unteren Pegelbereich liegt. Dagegen rangiert das Gerät A<sub>2</sub> eher im oberen Pegelbereich für Werkzeuge mit Schubkolben. Das Gerät B ist wiederum unter dem Gesichtspunkt der Geräuschemission als günstig einzustufen, besonders wenn man berücksichtigt, daß Bolzentreibwerkzeuge im Durchschnitt etwas lauter als Bolzenschubwerkzeuge sind.

Dazu ist allerdings anzumerken, daß die hier für das Gerät B genannten Pegel nur für eine verhältnismäßig glatte Werkstoffoberfläche gelten. Auf einer rauhen Betonoberfläche oder bei geringerer Andrückkraft wurden um bis zu 10 dB(A) höhere Pegel gemessen. Diese Pegelunterschiede lassen sich dadurch erklären, daß bei diesem Werkzeug die Pulvergase der Treibladung nicht durch einen Kolben nach außen abgeschlossen sind, sondern direkt aus dem Lauf austreten. Je nach Abdichtung des Laufes durch den Schutzkorb des Werkzeuges können sich deshalb recht unterschiedliche Geräuschemissionen ergeben. Dieser Effekt könnte eventuell auch die von anderen Meßstellen beobachteten großen Pegelstreuungen erklären.

Nachdem diese Teilschallquelle an den Bolzentreibwerkzeugen bekannt war, wurde der Schutzkorb versuchsweise mit zusätzlichen Gummidichtlippen versehen. Dadurch ließ sich auf glatter Betonoberfläche eine Lärminderung von ca. 3 dB(A) und auf rauher Betonoberfläche von mehr als 10 dB(A) gegenüber dem nicht abgedichteten Schutzkorb erreichen.

## 6 Einflußparameter für die Lärmbelastung bei der Bolzensetzerarbeit

---

Bei der Anwendung der Bolzensetzwirkzeuge in der Praxis können sich je nach Aufgabe Arbeitsbedingungen ergeben, die wesentlich von den in der Meßnorm DIN 45 635 Teil 34 festgelegten Bedingungen abweichen und zu entsprechend unterschiedlichen Lärmbelastungen führen. Man kann annehmen, daß die Belastung des Beschäftigten von folgenden Parametern beeinflußt wird :

- Ladungsstärke bzw. Geräteeinstellung,
- Werkstoff (z.B. Beton oder Stahl),
- Arbeitsumgebung (Schallreflexion),
- Körperhaltung (Abstand des Ohres zum Gerät).

Um zu prüfen, wie weit die Lärmbelastung bei realen Arbeiten von dem nach der Norm ermittelten arbeitsplatzbezogenen Emissionswert abweichen kann, wurden zunächst die Auswirkungen der Einflußparameter auf den Schallpegel am Ohr des Beschäftigten getrennt untersucht und schließlich auch Lärmmessungen unter üblichen Arbeitsbedingungen durchgeführt.

#### 6.1 Ladungsstärke bzw. Geräteeinstellung

Während die Messungen nach DIN 45 635 Teil 34 entsprechend den Festlegungen jeweils mit der stärksten Ladung und Einstellung auf höchste Leistung durchgeführt wurden, konnte die Leistung für alle im Rahmen dieser Untersuchungen durchgeführten Arbeiten etwas reduziert werden, da sich damit alle erforderlichen Eintreibaufgaben lösen ließen. Die Setzwerkzeuge A<sub>1</sub> und B waren gemäß Bedienungsanleitung stets mit Kartuschen der Kennfarbe "Schwarz" (stärkste Ladung) zu betreiben und ließen sich durch eine Einstellvorrichtung am Werkzeug leistungsmäßig an die jeweilige Aufgabe anpassen. Das Werkzeug A<sub>2</sub> wurde bei den durchgeführten Eintreibarbeiten mit Kartuschen der Kennfarbe "Gelb" (mittlere Ladung) betrieben.

In der Tabelle 5 sind die für mittlere und maximale Leistung ermittelten arbeitsplatzbezogenen Emissionswerte für die drei Werkzeuge gegenübergestellt.

Bei den hier untersuchten Bolzensetzarbeiten in Beton reduziert sich der Schallpegel bei mittlerer Werkzeugleistung um etwa 1 bis 4 dB(A) gegenüber dem in der Norm definierten Betriebszustand mit maximaler Leistung. Für Arbeiten mit sehr geringer Ladungsstärke bzw. der entsprechenden Geräteeinstellung ist mit einer weiteren Pegelminderung zu rechnen. Nach [4] und [5] sind bei einzelnen Werkzeugen je nach Ladungsstärke und Einstellung Pegelunterschiede bis zu etwa 8 dB(A) möglich.

Werkzeugein- stellung/Leistung	Arbeitsplatzbezogener Emissionswert $L_{A\text{max}}$ [dB] für Bolzensetzwerkzeug		
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B
mittlere Leistung	107	126	111
maximale Leistung (DIN 45 635 Teil 34)	111	127	113

Tabelle 5 : Lärmbelastung beim Bolzensetzen in Beton mit unterschiedlicher Werkzeugleistung bzw. Ladungsstärke und entsprechend angepaßten Bolzen

## 6.2 Werkstückmaterial

Zur Untersuchung des Werkstoffeinflusses auf die Geräuschentwicklung wurde die Lärmbelastung nicht nur beim Bolzensetzen in Beton sondern auch beim Eintreiben von Bolzen in Stahl gemessen.

Als Materialproben standen eine massive 30 mm dicke Stahlplatte von 200 x 200 mm<sup>2</sup> Fläche und ein 200 mm breites U-Profil von ca. 1,4 m Länge zur Verfügung. Beide Stahlteile wurden bei der Messung jeweils mit 2 Schraubzwingen auf den im Abschnitt 5 beschriebenen Betonblock aufgespannt. Das U-Profil lag dabei mit beiden Schenkeln auf dem Block auf und war in einem Abstand von ca. 80 cm festgespannt (siehe Skizze neben Tabelle 6). Die für die drei verschiedenen Werkstoffe gewonnenen Meßergebnisse sind in Tabelle 6 zusammengestellt (jeweils aus 5 Einzelmessungen berechnete Mittelwerte).



Werkstoff	arbeitsplatzbezogener Emissionswert $L_{AImax}$ (dB)		
	Gerät		
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B
Beton	107	126	111
massive Stahlplatte ca. 30×200×200 mm <sup>3</sup> auf Beton aufgespannt	109	128	116
200 mm U-Profil St 37 (s. Skizze)	126	130	120

↓ - Einspannung

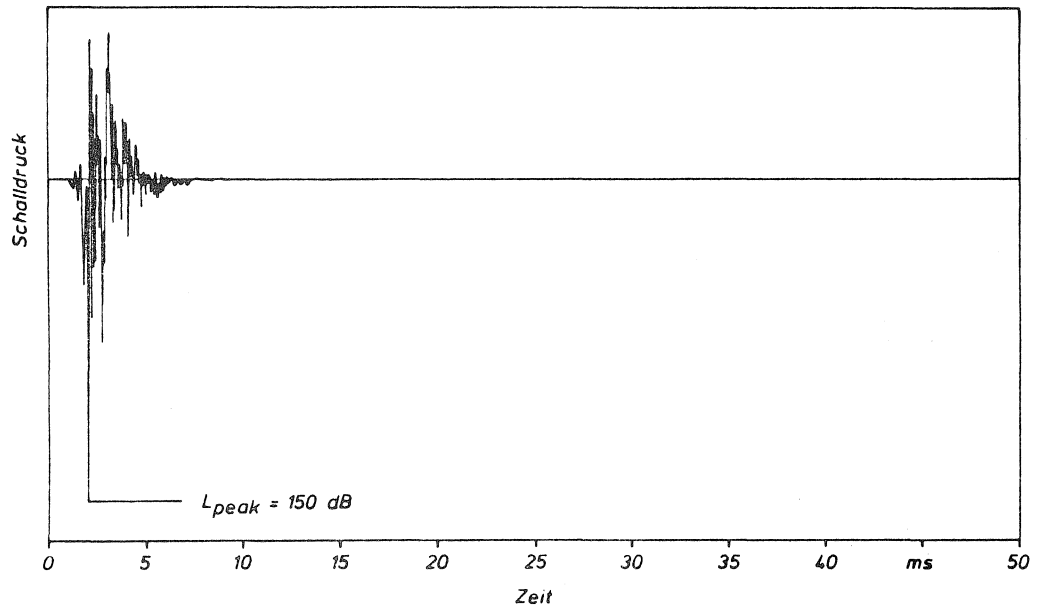
Tabelle 6: Geräuschemission von Bolzensetzwerkzeugen in Abhängigkeit vom Werkstoff (mittlere Ladung)

Daraus kann man entnehmen, daß sich für alle hier untersuchten Werkzeuge beim Bolzensetzen in Stahl höhere Schallpegel ergeben als beim Bolzensetzen in Beton. Beim Eintreiben der Bolzen in die massive Stahlplatte wurden um 2 bis 5 dB(A), beim Eintreiben der Bolzen in das U-Profil sogar um bis zu 19 dB(A) höhere Impulspegel gemessen.

Diese Ergebnisse lassen sich dadurch erklären, daß die Stahlteile aufgrund ihrer geringeren Masse und größeren Nachgiebigkeit in viel stärkerem Maße angeregt werden als der schwere Betonblock. Dadurch trägt das Werkstück selbst mit zur Schallabstrahlung bei und bewirkt damit eine Pegelerhöhung. Da das Stahlmaterial eine verhältnismäßig geringe Dämpfung erfährt, kommt es außerdem zu

einer zeitlichen Dehnung des Impulses. Die Abbildung 7 zeigt das unterschiedliche Abklingverhalten beim Bolzensetzen in Stahl und Beton durch Gegenüberstellung der entsprechenden Schalldruck-Zeit-Diagramme.

Werkstoff:  
Beton



Werkstoff:  
Stahlprofil

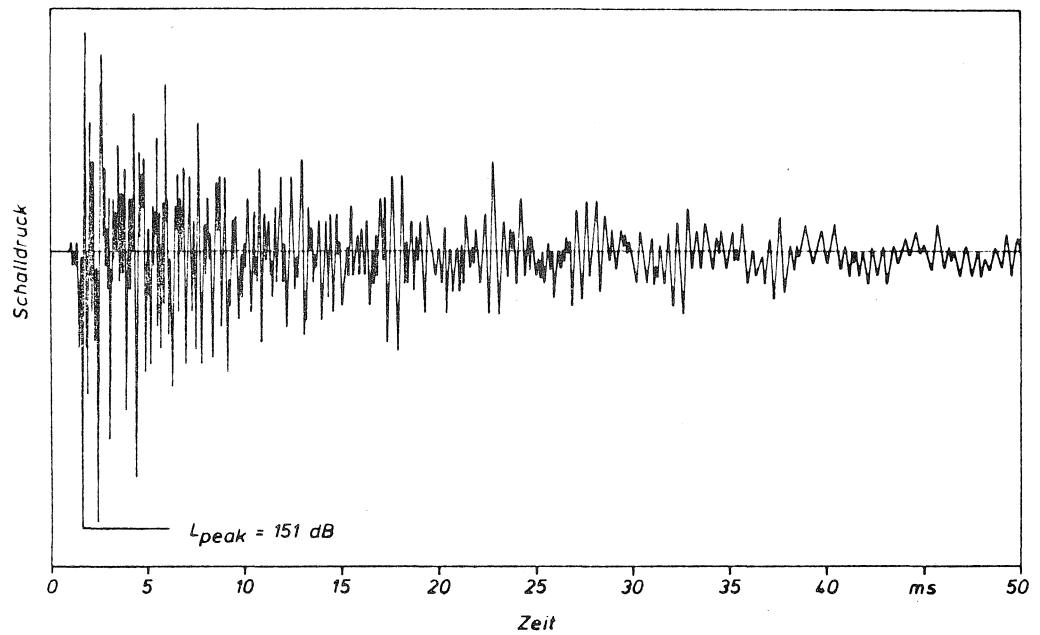


Abbildung 7: Schalldruck-Zeit-Diagramm für das Eintreiben von Setzbolzen in Beton und Stahl-Profil (Bolzensetzwerkzeug A<sub>2</sub>)

Die Pegelunterschiede zwischen dem Bolzensetzen in die massive Stahlplatte und das U-Profil lassen sich durch unterschiedliche Nachgiebigkeiten und Dämpfungsverhalten der Konstruktionen erklären. Da die Stahlplatte mit einer Seite gegen den Betonblock gespannt ist, ergibt sich dafür eine geringere Nachgiebigkeit und eine höhere Dämpfung durch die Reibung in der Kontaktfläche zum Beton.

Daraus resultieren niedrigere Pegel als beim Eintreiben der Bolzen in das wesentlich nachgiebigere U-Profil. Die Werkstückanregung des U-Profiles ist so hoch, daß das Werkstückgeräusch das vom Bolzensetzer abgestrahlte Geräusch weit überragt. Deshalb ergeben sich auch für die verhältnismäßig leisen Setzwerkzeuge A<sub>1</sub> und B unerwartet hohe Impulspegel.

Die Messungen zeigen, daß der Schallpegel für ein und dasselbe Bolzensetzwerkzeug je nach Werkstück und Konstruktion sehr unterschiedliche Werte annehmen kann. Beim Eintreiben von Bolzen in Beton kann man danach im allgemeinen mit den niedrigsten Pegeln rechnen. Die höchsten Pegel sind bei wenig gedämpften, stark nachklingenden Stahlkonstruktionen zu erwarten. Da bei einer Stahlkonstruktion eine jede Kontaktstelle, wie z.B. eine Verschraubung oder Nietung, eine gewisse Dämpfung bewirkt, kann man annehmen, daß sich die Schallpegel beim Bolzensetzen in realen Stahlkonstruktionen, die sich in der Regel aus mehreren Teilen zusammensetzen, etwa innerhalb des hier für die unterschiedlich stark gedämpften und unterschiedlich nachgiebigen Stahlteile gemessenen Pegelbereichs bewegen. Zur groben Abschätzung kann man für Bolzensetzarbeiten in Stahl einen um ca. 5 dB(A) höheren Impulspegel ansetzen als beim Bolzensetzen in Beton (bei gleicher Eintreibleistung).

Für verhältnismäßig leise Setzwerkzeuge dürfte sich ein etwas größerer Pegelunterschied ergeben.

Anmerkung :

Nach anderen Untersuchungen [4; 5; 6] treten bei Bolzensetzarbeiten in Beton und Stahl keine nennenswerten Pegelunterschiede auf. Dies ist vermutlich dadurch zu erklären, daß die Messungen dort an einer großen Stahlmasse St 37 und nicht an relativ dünnen, stärker klingenden Stahlkonstruktionen durchgeführt wurden.

6.3 Arbeitsumgebung

Die Geräuschbelastung an einem Arbeitsplatz im geschlossenen Raum setzt sich im allgemeinen aus dem von den Maschinen und Werkzeugen direkt abgestrahlten Schall und dem von den Raumbegrenzungsflächen oder Maschinenflächen reflektierten Schall zusammen. Um zu prüfen, in welchem Maße die Geräuschbelastung bei Bolzensetzarbeiten in Arbeitsräumen durch den Reflexionsschall beeinflußt wird, wurden die Bolzensetzwerkzeuge außer im schallabsorbierenden Meßraum auch in einem halligen Raum eines Neubaus gemessen. Dieser Raum hatte eine Grundfläche von ca. 4 x 10 m<sup>2</sup>, eine Höhe von ca. 3,2 m und wies allseitig stark reflektierende Betonflächen auf. Die Nachhallzeit des Raumes lag im Frequenzbereich von 125 Hz bis 8000 Hz zwischen 0,9 s und 2 s entsprechend einem mittleren Schallabsorptionsgrad von  $\bar{\alpha} = 0,06$  bis  $\bar{\alpha} = 0,14$ . Bei gleichem Meßaufbau wie im schallabsorbierenden Meßraum wurden hier am Meßpunkt für den Arbeitsplatz zunächst die Schalldruck-Zeit-Diagramme der verschiedenen Werkzeuge beim Bolzensetzen in Beton aufgenommen.

Darin lassen sich nach etwa 10 ms von der Decke und den Wänden reflektierte Schallanteile erkennen, die jedoch um ca. 20 dB unter dem vom Werkzeug direkt abgestrahlten Geräusch liegen (siehe Abbildung 8).

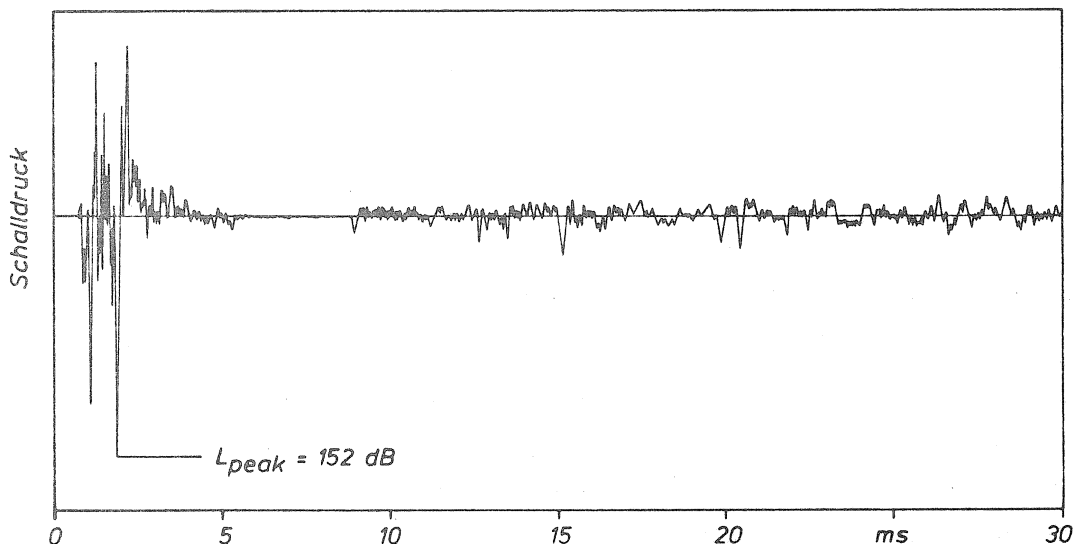


Abbildung 8 : Schalldruck-Zeit-Diagramm beim Bolzensetzen in halligem Arbeitsraum (Werkzeug A<sub>2</sub>, Werkstoff: Beton)

Da der reflektierte Schall verhältnismäßig langsam wieder abfällt (Nachhallzeit), wird der Impuls subjektiv als deutlich lauter empfunden als der Bolzensetzerimpuls im schallabsorbierenden Meßraum. Die vom Werkzeug direkt abgestrahlten energiereichen Impulsspitzen von wenigen Millisekunden Dauer werden aufgrund der Trägheit des Gehörs nicht so laut wahrgenommen.

Zur quantitativen meßtechnischen Erfassung der hier beobachteten Schallreflexionen wurden zusätzlich Messungen mit einem integrierenden Schallpegelmessgerät durchgeführt. Der Raumeinfluß läßt sich allerdings nur durch die Größe des energieäquivalenten Mittelungspegels  $L_{Aeq}$  und nicht durch den mittleren Impulspegel  $L_{AIm}$  erfassen, da bei der Zeitbewertung "I" alle Schallreflexionen durch den langsamen Pegelabfall ("Schleppe") verdeckt werden. Für den mittleren Impulspegel  $L_{AIm}$  am Arbeitsplatz ergaben sich beim Bolzensetzen in Beton keine nennenswerten Pegelunterschiede für die beiden Meßräume. Der energieäquivalente Dauerschallpegel  $L_{Aeq}$  wurde jedoch im halligen Meßraum um ca. 2 bis 3 dB(A) höher gemessen als im schallabsorbierenden Meßraum.

Ein größerer Raumeinfluß ergibt sich bei einem größeren Meßabstand zu den Bolzensetzwerkzeugen, da dort der vom Werkzeug direkt abgestrahlte Schallanteil im Verhältnis zum Reflexionsschallanteil niedriger liegt. Beispielsweise wurden im Meßabstand von 3 m zum Werkzeug Schallpegeldifferenzen von 10 bis 12 dB(A) ( $L_{Aeq}$ ) zwischen beiden Räumen gemessen (wichtig für Nachbararbeitsplätze). Für den mittleren Impulspegel  $L_{AIm}$  ergaben sich in 3 m Abstand lediglich reflexionsbedingte Unterschiede von 4 bis 5 dB(A).

Anmerkung :

Die unterschiedliche Auswirkung des Reflexionsschalls auf den mittleren Impulspegel  $L_{AIm}$  und den energieäquivalenten Mittelungspegel  $L_{Aeq}$  hat zur Folge, daß sich je nach Raumeinfluß unterschiedliche Impulszuschläge ergeben. In sehr halligen Arbeitsräumen reduziert sich der Impulszuschlag für den Meßpunkt am Arbeitsplatz um ca. 2 dB(A) auf etwa 14 dB(A) (maximaler Impulszuschlag nach Anhang B:  $K_I = 16$  dB(A)). Im größeren Meßabstand von 3 m beträgt der Impulszuschlag nur noch etwa 9 bis 10 dB(A).

Nach diesen unter ungünstigen raumakustischen Bedingungen gewonnenen Ergebnissen kann man zusammenfassend feststellen, daß sich die bei Bolzensetzarbeiten auf den Beschäftigten einwirkende Schallenergie um ca. 3 dB(A) durch Schallreflexionen im Arbeitsraum erhöhen kann. Rein subjektiv wird der Bolzensetzerimpuls im halligen Raum jedoch deutlich lauter wahrgenommen, da die Schallreflexionen nur langsam abklingen und der Impuls dadurch zeitlich gedehnt wird.

Für Beschäftigte, in deren Nähe Bolzensetzerarbeiten ausgeführt werden, kann sich dagegen der Raumeinfluß mit Werten von 10 dB(A) oder darüber auswirken.

#### 6.4 Arbeitshaltung

Je nachdem welche Körperhaltung bei der Arbeit mit dem Bolzensetzwerkzeug eingenommen wird, ob der Bolzen beispielsweise über Kopf in die Decke oder seitlich in eine Wand einzutreiben ist, können sich unterschiedliche Abstände zwischen Werkzeug und Ohr des Beschäftigten und somit unterschiedliche Lärmbelastungen ergeben. Möglicherweise sind sogar beide Ohren des Beschäftigten aufgrund eines unterschiedlichen Abstandes zur Lärmquelle und einer abschattenden Wirkung des Kopfes ungleich lärmbelastet.

Zur Untersuchung einer möglichen seitendifferenten Lärmbelastung beider Ohren wurde bei den verschiedenen in Tabelle 7 zusammengestellten Bolzensetzerarbeiten die Belastung jeweils an beiden Ohren parallel erfaßt. Dabei ergaben sich in keinem Fall nennenswerte beidseitige Pegeldifferenzen.

Als maximale Seitendifferenz wurde in einem Fall 1,5 dB(A) als Mittel über 5 Schüsse gemessen. Diese geringen interauralen Pegeldifferenzen lassen sich vermutlich dadurch erklären, daß der Beschäftigte seinen Blick zur visuellen Arbeitskontrolle unbewußt dem Werkzeug zuwendet (siehe auch [11]).

Anmerkung :

Durch zusätzliche Messungen wurde festgestellt, daß sich bei bewußt zur Seite gewandtem Kopf größere Pegeldifferenzen für beide Ohren ergeben können. In halligen Arbeitsräumen traten dabei Differenzen von bis zu 7 dB(A), unter Freifeldbedingungen sogar Differenzen von über 10 dB(A) auf. Für reale Arbeitsplätze sind solche hohen interauralen Pegeldifferenzen jedoch auszuschließen.

Um zu prüfen, in welchem Maße sich die Lärmbelastung des Beschäftigten von dem Schallpegel an dem in der DIN 45 635 Teil 34 gerätebezogen festgelegten Meßpunkt für den Arbeitsplatz unterscheidet, wurden die Schallpegel bei verschiedenen Bolzensetzerarbeiten jeweils parallel am genormten Meßpunkt als auch am Ohr des Beschäftigten erfaßt. Der Meßpunkt für den Arbeitsplatz wurde dabei ausgehend von der Eintreibstelle (Wand- bzw. Deckenfläche) entsprechend den in der Norm gegebenen Maßen festgelegt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 7 zusammengestellt (jeweils Mittelwerte aus 5 Einzelpulsen). Danach kann man feststellen, daß sich beim Bolzensetzen in den Betonblock gemäß den Festlegungen der Norm am Ohr der Bedienperson ein um etwa 5 dB(A) niedrigerer Pegel ergibt als an dem in der Norm definierten Meßpunkt für den Arbeitsplatz. Die bei dieser Arbeit eingenommene Körperhaltung ist allerdings nicht typisch für übliche Eintreibarbeiten, bei denen das Werkzeug in einem sehr viel geringeren Abstand zum Ohr gehalten wird.



Deshalb ergeben sich für die in Tabelle 7 anschließend aufgeführten Arbeiten auch höhere Lärmbelastungen für die Beschäftigten (Meßpunkt am Ohr), die mit Differenzen von maximal 2 dB(A) nur geringfügig von dem am definierten Arbeitsplatz-Meßpunkt gewonnenen Werten abweichen.

Daraus kann man schlußfolgern, daß mit der Festlegung des Meßpunktes für den Arbeitsplatz in der DIN 45 635 Teil 34 offenbar ein der Praxis entsprechender Meßabstand gefunden wurde.

Meßraum	Tätigkeit	Werkzeugleistung	Meßpunkt	max. Impulsschallpegel $L_{A1max}$ [dB]		
				A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B
Semi-schall-schluckraum	Bolzensetzen in Betonblock (DIN 45 635 Teil 34)	höchste	AP nach DIN	111	127	113
			Ohr	106	122	107
		mittlere	AP nach DIN	107	126	111
			Ohr	102	121	106
Neubauräume (Volumen 100 bis 230 m <sup>3</sup> )	Eintreiben von Gewindebolzen (27 mm Länge) in Betondecke	mittlere	AP nach DIN	108	127	111
	Ohr		108	127	110	
	Anschließen von Holzlatten gegen Betondecke	mittlere	AP nach DIN	110	125	115 *
			Ohr	112	125	116 *
	Anschließen von Spanplatten gegen Betonwand	mittlere	AP nach DIN	108	119	114 *
			Ohr	107	119	114 *

\*) große Pegelstreuungen

Tabelle 7: Lärmbelastung bei Bolzensetzarbeiten unter verschiedenen Arbeitsbedingungen.

(Meßwerte jeweils für den Arbeitsplatz nach DIN und direkt am Ohr)

### 6.5 Resultierende Lärmbelastung am realen Arbeitsplatz

Nach den in den vorigen Kapiteln dargestellten Zusammenhängen ist die Lärmbelastung des Beschäftigten bei der Bolzensetzerarbeit außer vom jeweils eingesetzten Werkzeug auch abhängig von der Ladungsstärke bzw. Einstellung des Werkzeuges, dem Werkstoff, der Arbeitsumgebung und der Körperhaltung bei der Arbeit.

Die Auswirkung dieser Einflußgrößen auf die Lärmbelastung und die möglichen Abweichungen vom nach DIN 45 635 Teil 34 bestimmten arbeitsplatzbezogenen Emissionswert sind in der Tabelle 8 nochmals zusammengefaßt :

Einflußgröße	Auswirkung	Pegelunterschied zum arbeitsplatzbezogenen Emissionswert (DIN)
Ladungsstärke Geräteeinstellung	zunehmende Leistung ergibt höhere Lärmbelastung	je nach Werkzeug und Leistung sind 1 bis 8 dB(A) niedrigere Pegel möglich
Werkstoff	stärker klingende Werkstoffe (z.B. Stahlprofil) führen zu höherer Lärmbelastung	bei klingendem Werkstoff sind Pegelerhöhungen von bis zu 20 dB(A) möglich; ein weicher, nachgiebiger Werkstoff kann bei einzelnen Werkzeugen eine geringfügige Pegelminderung bewirken
Arbeitsumgebung	in stark halligen Arbeitsräumen ergibt sich eine etwas höhere Lärmbelastung	je nach Arbeitsraum sind um ca. 1 bis 3 dB(A) höhere Schallpegel ( $L_{Aeq}$ ) möglich
Körperhaltung	mit zunehmendem Abstand des Werkzeuges zum Kopf nimmt die Lärmbelastung ab	bei üblichen Bolzensetzerarbeiten ergeben sich keine nennenswerten Pegelabweichungen zum Meßpunkt nach DIN

Tabelle 8 : Zusammenstellung der Auswirkungen verschiedener Einflußparameter auf die Lärmbelastung bei Bolzensetzarbeiten

Danach können sich je nach Arbeitsbedingungen sowohl höhere als auch niedrigere Lärmbelastungen ergeben als unter Normbedingungen. Da bei der Mehrzahl der Arbeitsaufgaben vermutlich nicht mit der höchsten Geräteleistung gearbeitet wird, wäre eine Pegelminderung gegenüber dem genormten Betriebszustand möglich. Diese Pegelminderung kann jedoch ggf. durch eine unter ungünstigen räumlichen Bedingungen zu erwartende Pegelerhöhung aufgehoben werden.

Mit einer Pegelerhöhung ist auch dann zu rechnen, wenn der Bolzen nicht in Beton sondern in ein stärker klingendes Werkstück, wie z.B. ein Stahlprofil, eingetrieben wird.

Zur Absicherung dieser auf simulierten Messungen basierenden Überlegungen zur Lärmbelastung des Beschäftigten bei der Bolzensetzerarbeit wurde die Belastung für drei praktische Anwendungsfälle erfaßt. Dabei wurden folgende Arbeiten untersucht :

- Eintreiben von Gewindebolzen in eine Betondecke,
- Anschließen von Holzlatten gegen eine Betondecke (Abbildung 9) und
- Anschließen von Preßspanplatten gegen Betonwände.

Bei diesen Messungen wurden nacheinander alle drei untersuchten Bolzensetzwerkzeuge eingesetzt. Die Ergebnisse sind in der bereits im vorigen Kapitel gegebenen Tabelle 7 mit enthalten.



Abbildung 9 : Arbeitsplatz mit Bolzensetzwerkzeug zur Befestigung von Holzlatten an der Decke

Beim Eintreiben der Setzbolzen in eine Betondecke wurden für die Geräte A<sub>1</sub> und B jeweils um 3 dB(A) niedrigere Pegel gemessen als bei der Bestimmung des arbeitsplatzbezogenen Emissionswertes nach DIN (höchste Leistung). Das Ergebnis für das Gerät A<sub>2</sub> entsprach dem nach DIN gemessenen Pegel.

Beim Anschließen der Holzlatten ergaben sich dagegen für die Geräte A<sub>1</sub> und B etwas höhere Pegel als nach der Meßnorm (1 bzw. 3 dB(A)), während das Gerät A<sub>2</sub> mit einem 2 dB(A) niedrigeren Pegel gemessen wurde. Bei der Befestigung der Spanplatten an der Betonwand wurden schließlich für die Werkzeuge A<sub>1</sub> und A<sub>2</sub> verhältnismäßig niedrige Schallpegel gemessen, während das Ergebnis für das Werkzeug B um 1 dB über dem Meßwert nach DIN lag.

Für das Bolzentreibwerkzeug B ergaben sich bei diesem praktischen Einsatz wesentlich größere Pegelstreuungen als unter Normbedingungen, da der Explosionsknall je nach Auflage der Werkzeugschutzkappe auf dem Material mehr oder weniger gedämmt aus dem Lauf austreten konnte.

Aus den hier betrachteten Anwendungsfällen kann man folgern, daß die Lärmbelastung des Beschäftigten am realen Arbeitsplatz nur wenig von dem am Meßpunkt nach DIN gewonnenen Wert abweicht. Der durch die Geräuschemissionsmessung nach DIN 45 635 Teil 34 gewonnene arbeitsplatzbezogene Emissionswert kann deshalb als Grundlage zur Abschätzung der Lärmbelastung eines Beschäftigten bei der Arbeit mit dem entsprechenden Werkzeug dienen.

## 7 Beurteilung der Geräuschemission

Die von Bolzensetzwerkzeugen erzeugten Lärmimpulse sind zeitlich wesentlich kürzer, als alle anderen bekannten Schallimpulse an Arbeitsplätzen. So ergibt sich beispielsweise für einen Schlagimpuls bei Richtarbeiten eine Impulsdauer von weit über 100 ms, während der Bolzensetzerimpuls schon innerhalb von ca. 10 ms abgeklungen ist (siehe Abschnitt 3.1). Wegen dieses extremen Impulscharakters des Bolzensetzergeräusches gibt es derzeit noch kein allgemein anerkanntes Meß- und Bewertungsverfahren zur Beurteilung der Gehörschädlichkeit. Da die Bolzensetzerimpulse Ähnlichkeiten mit den Explosionsknallen von Waffen aufweisen, werden häufig neben den aus der Normung bekannten Meßverfahren auch spezielle für Waffenlärm entwickelte Meßverfahren für die Beurteilung vorgeschlagen [6].

Vor der Diskussion, welchem Verfahren für die einfache Messung und Beurteilung von Bolzensetzerlärm in der Praxis der Vorzug gegeben werden sollte, seien hier zunächst die verschiedenen auf diese Impulse anwendbaren Verfahren kurz beschrieben und anhand der für Bolzensetzerimpulse gewonnenen Beurteilungsergebnisse miteinander verglichen.

## 7.1 Meß- und Beurteilungsverfahren

### 7.1.1 Meßverfahren nach DIN 45 645

Zur Beurteilung der Gehörschädlichkeit von impulshaltigen Industriegeräuschen ist nach DIN 45 645 Teil 1 und Teil 2 der zeitlich gemittelte Schalldruckpegel zu bestimmen [12]. Im Teil 1 dieser Norm wird allerdings die Beurteilung von extrem hohen Einzelimpulsen und Knallen mit Impulspegeln  $L_{AImax}$  von mehr als 135 dB ausgeschlossen. Da die Bolzensetzerimpulse diesen Grenzwert nicht erreichen, fällt deren Beurteilung deshalb noch in den Anwendungsbereich der Norm.

Nach DIN 45 645 sind als Mittelungspegel der mittlere Impulspegel  $L_{AIm}$  und der energieäquivalente Dauerschallpegel  $L_{Aeq}$  zu unterscheiden. Bei impulshaltigen Geräuschen ergibt sich für den mittleren Impulspegel  $L_{AIm}$  aufgrund des langsamen Rücklaufs der Anzeige in der Zeitbewertung "I" ("Impuls") ein höherer Wert als für den energieäquivalenten Dauerschallpegel  $L_{Aeq}$  (siehe Anhang B).

Die Differenz zwischen dem mittleren Impulspegel  $L_{AIm}$  und dem energieäquivalenten Dauerschallpegel  $L_{Aeq}$  ist als Impulszuschlag  $K_I$  definiert :

$$K_I = L_{AIm} - L_{Aeq}$$

Für diesen Impulszuschlag ergeben sich umso höhere Werte, je kürzer die einzelnen Impulse ausfallen und je stärker die Impulse aus dem Grundgeräusch herausragen. Bei üblichen Impulsgeräuschen in der Industrie beträgt der Zuschlag  $K_I$  ca. 3 bis 6 dB(A).

Bei einem derartig extremen Impulsgeräusch, wie es Bolzensetzer erzeugen, kann der Impulszuschlag aber Werte bis zu 16 dB(A) erreichen (siehe Anhang B).

Nach DIN 45 645 Teil 2 ist der Impulszuschlag zur Beurteilung impulshaltiger Geräusche zum energieäquivalenten Mittelungspegel zu addieren, um damit einer angenommenen größeren Gehörschädlichkeit der Lärmimpulse Rechnung zu tragen. Bei Messung des mittleren Impulspegels  $L_{AIm}$  ist dieser Zuschlag bereits im Meßergebnis enthalten. Eine gesonderte Bestimmung des Impulszuschlages ist damit nicht erforderlich.

Anmerkung :

Abweichend von dem in DIN 45 645 Teil 2 festgelegten Verfahren wird im internationalen Bereich zur Beurteilung der Gehörschädlichkeit von Geräuschen der energieäquivalente Dauerschallpegel  $L_{Aeq}$  bevorzugt und für Impuslärm ggf. ein fester Zuschlag vorgesehen [13].

### 7.1.2 Pfander-Verfahren

In der Literatur wird zur Beurteilung von Bolzensetzerlärm häufig ein von Bürck entworfenes und von Pfander angepaßtes Verfahren vorgeschlagen [5,13,14], das im deutsch-französischen Militärbereich Anwendung findet. Dieses Pfander-Verfahren wurde für Waffenknalle entwickelt und durch umfangreiche Untersuchungen bei der Deutschen Bundeswehr erprobt. Als Risikoindikator diente dabei die Rückwanderungszeit der temporären Hörschwellenverschiebung (TTS).

Die Messung nach diesem Verfahren erfordert die oszillo-  
grafische Aufzeichnung des Schalldruckimpulses, um daraus  
den Spitzenpegel  $L_{\text{peak}}$  und eine willkürlich definierte  
Wirkzeit  $t_w$  bestimmen zu können (siehe Abbildung 10).  
Zur Ermittlung dieser Wirkzeit wird ein Pegel von 10 dB  
unterhalb des Spitzenpegels  $L_{\text{peak}}$  markiert und alle Zeit-  
anteile, in denen der Schalldruck diesen Wert überschreitet,  
aufaddiert.

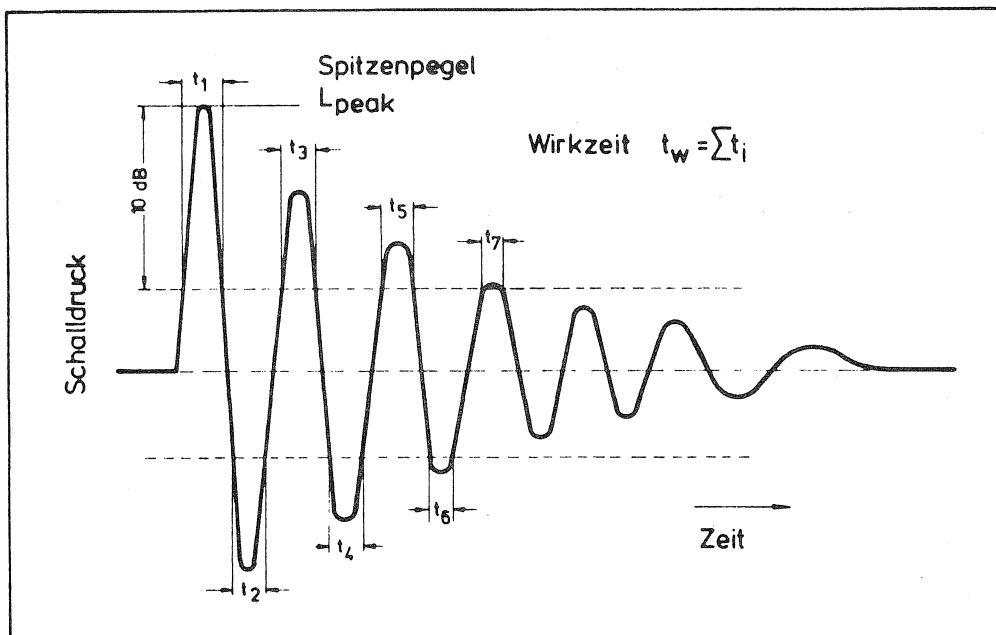


Abbildung 10 : Bestimmung des Spitzenpegels  $L_{\text{peak}}$  und der  
Wirkzeit  $t_w$  nach Pfander

Aus den beiden Kenngrößen Spitzenpegel  $L_{\text{peak}}$  und Wirk-  
zeit  $t_w$  läßt sich mit Hilfe eines Diagramms die pro  
Tag maximal zulässige Impulszahl  $N_{\text{pf}}$  ermitteln. Für  
Gehörschutz ist nach Pfander eine Schalldämmung von  
25 dB und eine entsprechend verschobene Grenzkurve an-  
zunehmen.



Da diese grafische Auswertung verhältnismäßig umständlich und fehlerbehaftet ist, sei hier eine Rechenformel angegeben, die sich aus der Grenzkurve von Pfander herleiten läßt. Danach gilt folgender Zusammenhang :

$$\lg N_{\text{Pf}} = 16,5 - 0,1 L_{\text{peak}} - \lg t_w$$

oder

$$N_{\text{Pf}} = \frac{10^{16,5}}{10^{0,1 L_{\text{peak}}} t_w}$$

mit  $N_{\text{Pf}}$  - maximal zulässige Impulszahl je Tag

$L_{\text{peak}}$  - Spitzenpegel (unbewertet, 22,4 kHz Tiefpass)

$t_w$  - Wirkzeit nach Pfander in ms

Der dem Pfander-Verfahren zugrunde liegende Gedanke, die Schallenergie über sekundäre Kenngrößen ( $L_{\text{peak}}$  und  $t_w$ ) zu erfassen und als Maß für die Gehörschädlichkeit der Impulse heranzuziehen, scheint allerdings nicht mehr ganz zeitgemäß. Heute läßt sich die Schallenergie auch für sehr kurze, hohe Schallimpulse mit Hilfe moderner Schallmeßgeräte genauer und - vor allem - wesentlich einfacher erfassen (siehe Abschnitt 4).

Außerdem ist das Pfander-Verfahren nur in den Fällen anwendbar, in denen der Beschäftigte den ganzen Arbeitstag mit den gleichen Lärmimpulsen belastet ist und keine weitere Lärmbelastung durch andere Arbeiten besteht. Diese Voraussetzungen sind erfahrungsgemäß an realen Arbeitsplätzen selten gegeben.

### 7.1.3 Verfahren nach Frick/Geinoz

Zur Annäherung des Beurteilungsergebnisses nach Pfander wurde von Frick und Geinoz ein vereinfachtes Meß- und Beurteilungsverfahren konzipiert [15]. Dieses Verfahren basiert darauf, daß das für die Zeitbewertung in den Schallpegelmesser eingebaute RC-Glied im Anfangsteil der Kennlinie wie ein Integrator arbeitet (siehe auch Anhang B). Bei sehr kurzen Einzelimpulsen (Impulsdauer  $t \leq 0,2 \tau$ ) entspricht der in einer bestimmten Zeitbewertung (Zeitkonstante  $\tau$ ) gemessene Maximalpegel  $L_{\max}$  dem energieäquivalenten Mittelungspegel  $L_{\text{eq}}$  für die durch die Zeitkonstante  $\tau$  gegebene Mittelungszeit. Damit läßt sich der Energieinhalt des Einzelimpulses beispielsweise durch den in der Zeitbewertung "I" gemessenen Maximalpegel  $L_{\text{AImax}}$  beschreiben (falls  $t \leq 0,2 \cdot 35 \text{ ms}$ ).

Nach Frick/Geinoz wird die je Tag maximal zulässige Impulszahl  $N_{\text{Fr}}$  nach folgender Gleichung aus dem maximalen A-bewerteten Impulspegel  $L_{\text{AImax}}$  berechnet :

$$\lg N_{\text{Fr}} = 14,31 - 0,1 L_{\text{AImax}}$$

$$\text{bzw.} \quad N_{\text{Fr}} = \frac{10^{14,31}}{10^{0,1 L_{\text{AImax}}}}$$

Falls der Schalldruck ohne die Frequenzbewertung A mit dem auch von Pfander benutzten 22,4 kHz Tiefpaßfilter (Eckfrequenz 22,4 kHz, Flankensteilheit 24 dB/Oktav) erfaßt wird, ist ein zahlenmäßig etwas abweichender Zusammenhang zu berücksichtigen [14]. Da sich beide von Frick/Geinoz vorgeschlagenen Verfahren prinzipiell nicht unterscheiden und zu etwa gleichen Ergebnissen führen, sei hier nur die Auswertung für den A-bewerteten Maximalpegel  $L_{AImax}$  betrachtet.

Die Anwendung dieses Verfahrens nach Frick/Geinoz bedeutet eine erhebliche meßtechnische und auswertetechnische Vereinfachung gegenüber dem Pfander-Verfahren. Das Verfahren setzt jedoch ebenso wie das Pfander-Verfahren voraus, daß außerdem zu beurteilenden Impulsen keine zusätzliche Lärmbelastung in der übrigen Arbeitszeit besteht.

## 7.2 Vergleich der Beurteilungsergebnisse

Nach dem Verfahren von Pfander und von Frick/Geinoz werden jeweils die je Arbeitstag maximal zulässigen Impulszahlen bestimmt, durch deren Einhaltung Gehörschäden bei den Betroffenen vermieden werden sollen. Die danach berechneten Impulszahlen kann man als Maß zur Beschreibung der Gehörschädlichkeit der Impulse annehmen, d.h. die Schädlichkeit ist umso höher je kleiner diese Zahl ausfällt. Nach DIN 45 645 ist die Lärmbelastung zur Beschreibung und Beurteilung der Gehörschädlichkeit jeweils für einen 8 h-Arbeitstag zu mitteln. Der damit bestimmte Beurteilungspegel dient als Maß für die Gehörschädlichkeit der Belastung.

Um die beschriebenen Meß- und Beurteilungsverfahren für die Bolzensetzerimpulse vergleichen zu können, wurden die nach DIN 45 645 bestimmten Mittelungspegel in die je Tag jeweils maximal zulässigen Impulszahlen umgerechnet. Dazu wurde der allgemein als Grenzwert für Gehörschädlichkeit geltende Beurteilungspegel von 85 dB(A) als Grenzkriterium zugrunde gelegt und die diesem Pegel äquivalente Impulszahl ermittelt. Bei dieser Rechnung ist allerdings - ebenso wie beim Pfander-Verfahren - vorauszusetzen, daß außer der Impuls-lärmbelastung während der Arbeitsschicht keine zusätzliche Lärmbelastung besteht. Die entsprechenden Rechenformeln sind im Anhang B hergeleitet.

Die nach den verschiedenen Beurteilungsverfahren gewonnenen Ergebnisse sind in der Tabelle 9 für die drei Bolzensetzwerkzeuge zusammengestellt. In Abbildung 11 sind diese Zahlen zur Veranschaulichung graphisch dargestellt. Wegen der bestehenden großen Unterschiede der nach den verschiedenen Verfahren gewonnenen Beurteilungsergebnisse wurden die Impulszahlen in dieser Abbildung in einem logarithmischen Maßstab aufgetragen.

	Schalldruckpegel [dB]		maximal zulässige Impulszahl N je Arbeitstag Beurteilungsverfahren			
	L <sub>peak</sub>	L <sub>AImax</sub>	L <sub>Aeq</sub> = 85 dB	Pfander	Frick/Geinoz	L <sub>AIm</sub> = 85 dB
Gerät A <sub>1</sub>	128	107	5248	4556	4074	126
Gerät A <sub>2</sub>	149	126	66	58	49	2
Gerät B	135	111	2089	1492	1622	50

Tabelle 9 : Maximal zulässige Impulszahlen je Arbeitstag bei Anwendung unterschiedlicher Bewertungsverfahren (Werkstoff: Beton)

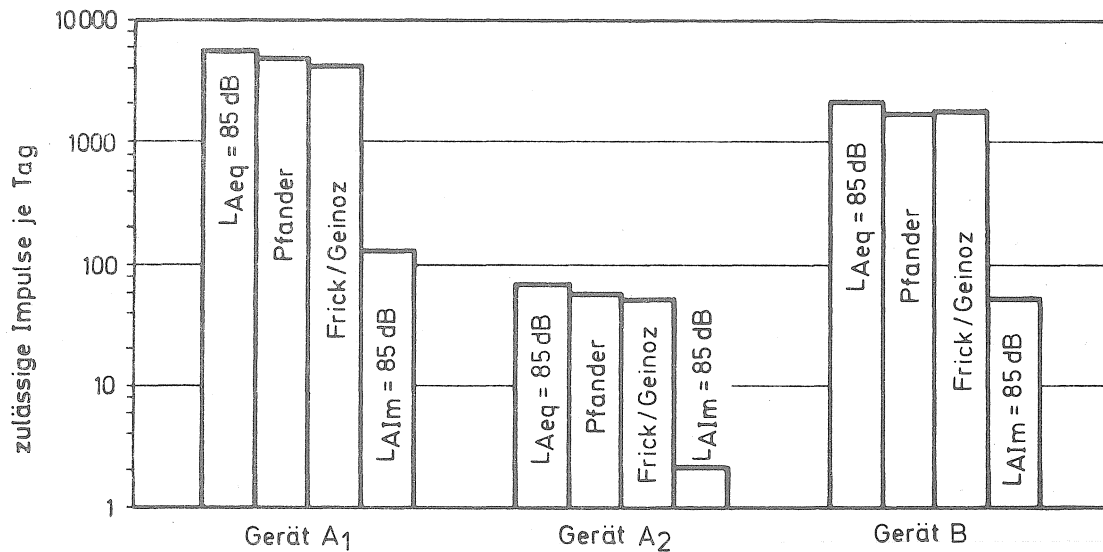


Abbildung 11 : Graphische Darstellung der in Tabelle 9 zusammen-  
gestellten Beurteilungsergebnisse

Die höchste Zahl der je Arbeitstag zulässigen Impulse ergibt sich bei allen drei Geräten jeweils bei Ansatz des energieäquivalenten Dauerschallpegels von 85 dB(A) als Bewertungskriterium, die geringste Impulsbelastung bei Ansatz des mittleren Impulspegels von 85 dB(A) als Bewertungskriterium. Bei Beurteilung auf der Basis des energieäquivalenten Dauerschallpegels wäre beispielsweise bei keinem der drei Geräte eine gehörschädigende Wirkung anzunehmen, wenn nicht mehr als ca. 60 Impulse am Tag abgegeben werden. Andererseits ergeben aber bereits zwei Impulse des Gerätes A<sub>2</sub> bei Messung des mittleren Impulspegels einen Beurteilungspegel von 85 dB(A).

Die Beurteilung nach dem Pfander-Verfahren und nach Frick/Geinoz führt jeweils zu einer etwas niedrigeren Impulszahl als der Ansatz des energieäquivalenten Dauerschallpegels von 85 dB(A).

Die im Rahmen der Meßgenauigkeit gute Übereinstimmung der Ergebnisse nach Pfander und Frick/Geinoz bestätigt, daß sich das Pfander-Verfahren durch das von Frick/Geinoz vorgeschlagene vereinfachte Verfahren oder ein anderes auf Energiemessung basierendes Verfahren ersetzen läßt.

Setzt man die nach den einzelnen Verfahren berechneten Impulszahlen ins Verhältnis, ergibt sich bei Beurteilung nach Pfander bzw. Frick/Geinoz im Vergleich zum Ansatz eines mittleren Impulspegels von  $L_{AIm} = 85$  dB etwa die dreißigfache zulässige Impulszahl je Arbeitstag (siehe Tabelle 10).

Bei Messung des energieäquivalenten Dauerschallpegels  $L_{Aeq}$  wird sogar die vierzigfache Impulszahl wie bei der Bestimmung des mittleren Impulspegels  $L_{AIm}$  zugelassen.

	Meßverfahren		
	$L_{Aeq} = 85$ dB	Pfander bzw. Frick/Geinoz	$L_{AIm} = 85$ dB
zulässige Impulszahl N je Arbeitstag	$N_{eq} = 40 \cdot N_{AI}$	$N_{pf} = 30 \cdot N_{AI}$	$N_{AI}$
Impulszuschlag $K_I$ [dB]	0	1	16

Tabelle 10: Vergleich der je Arbeitstag zulässigen Bolzensetzimpulse und der Impulszuschläge bei Anwendung verschiedener Beurteilungsverfahren

Der Zusammenhang zwischen den einzelnen Bewertungsverfahren läßt sich auch als Zuschlag gegenüber dem energieäquivalenten Dauerschallpegel bzw. als Impulszuschlag angeben.

Bei Bewertung nach Pfander bzw. Frick/Geinoz ergibt sich danach ein Zuschlag von ca. 1 dB gegenüber dem energieäquivalenten Pegel, bei Messung des mittleren Impulspegels beträgt der Zuschlag ca. 16 dB.

### 7.3 Diskussion der Beurteilungsverfahren

Die Gegenüberstellung im vorigen Kapitel zeigt, daß das Gehörschadensrisiko bei Ansatz des energieäquivalenten Dauerschallpegels als Beurteilungsgrundlage geringer als nach den anderen hier betrachteten Verfahren eingeschätzt wird. Bei Anwendung des Pfander-Verfahrens bzw. des entsprechend konzipierten Näherungsverfahrens nach Frick/Geinoz ergibt sich für die Bolzensetzerarbeit eine um ca. 1 dB strengere Beurteilung.

Die strengste Beurteilung erfahren die Impulse durch Ansatz des mittleren Impulspegels  $L_{AIm}$  von 85 dB als Grenzkriterium, entsprechend einer Differenz von 16 dB gegenüber dem energieäquivalenten Dauerschallpegel  $L_{Aeq}$ .

Die Frage, welches der hier betrachteten Verfahren am besten geeignet ist, um die Gehörschädlichkeit der Bolzensetzerimpulse zu beurteilen, läßt sich aufgrund der heutigen arbeitsmedizinischen Kenntnisse über die Dosis-Wirkungs-Beziehung nicht eindeutig beantworten.

Das Pfander-Verfahren wurde in sehr umfangreichen Untersuchungen für Waffenlärm erprobt. Die festgelegte Grenzkurve basiert jedoch nicht auf tatsächlich festgestellten Gehörschädigungen sondern auf Messungen der Rückwanderungszeit für zeitliche Hörschwellenverschiebungen (TTS). In einzelnen Untersuchungsreihen wurden für einen nicht unerheblichen Teil der Betroffenen (bis zu 15 %) auch nach 24 Stunden noch signifikante Hörschwellenverschiebungen festgestellt.

Außerdem bleibt nach den Ausführungen von Pfander [14] unklar, ob eine tägliche Belastung entsprechend der vorgegebenen Grenzwerte nicht langfristig zu einer Gehörschädigung führt (siehe auch [16]). Bei dem von Pfander untersuchten Personenkreis handelt es sich vorwiegend um Soldaten, die die Schießübungen im Rahmen ihrer Ausbildung absolvieren, die aber nicht tagtäglich entsprechend hoch belastet sind. Aus diesen Gründen lassen sich die Ergebnisse nicht ohne weiteres auf Arbeitsplätze mit Bolzensetzerlärm übertragen. Die Anwendung des Pfander-Verfahrens bietet dem Beschäftigten möglicherweise keinen ausreichenden Schutz vor Gehörschäden.

Diese Feststellung gilt dann natürlich ebenso für das als Näherungsverfahren konzipierte Verfahren von Frick/Geinoz.

Außerdem sind beide Verfahren (Pfander und Frick/Geinoz) nur unter der Voraussetzung anwendbar, daß zu den betrachteten Lärmimpulsen während der Arbeitszeit keine andere Lärmbelastung hinzu kommt.

Der im internationalen Bereich häufig auch zur Beurteilung von impulshaltigen Schall bestimmte energieäquivalente Dauerschallpegel  $L_{Aeq}$  ließe bei Ansatz des Grenzwertes von 85 dB für die Beschäftigten eine noch höhere Lärmbelastung zu als das Pfander-Verfahren. Deshalb ist es ebenso fraglich, ob der energieäquivalente Dauerschallpegel von 85 dB als Grenzkriterium eine ausreichende Sicherheit vor Gehörschäden durch Bolzensetzerlärm bietet. Eine im Oktober 1981 in Southampton tagende Expertenkommission auf dem Gebiet Impulslärm [17] kam zu dem Urteil, daß man aus Gründen der Vorsorge bei impulshaltigem Lärm ein größeres Gehörschadensrisiko annehmen müsse, als es in der Meßgröße des energieäquivalenten Dauerschallpegels zum Ausdruck kommt.



Danach sollte zur Beurteilung von impulshaltigem Schall ein Impulsschlag angewandt werden. Zur Beurteilung von Geräuschen mit Impulsspitzenpegeln  $L_{\text{peak}}$  von mehr als 145 dB wurde aber kein geeignetes Verfahren empfohlen.

Bei Beurteilung der Bolzensetzerimpulse anhand des mittleren Impulspegels  $L_{\text{AIm}}$  würde man im Grunde der Empfehlung dieser internationalen Expertenkommission entsprechen. Ob allerdings der für diese Impulse ermittelte Zuschlag von bis zu 16 dB in dieser Höhe aus arbeitsmedizinischer Sicht gerechtfertigt ist, kann aufgrund unseres derzeitigen Kenntnisstandes nicht entschieden werden. Möglicherweise beinhaltet dieser Zuschlag bzw. das entsprechende Meßverfahren eine gewisse Sicherheitsreserve, die wegen der hohen Spitzenpegel und der wiederholt aufgetretenen Gehörschadensfälle durchaus wünschenswert scheint. Neben dem Schutzgedanken spricht auch noch die einfache Anwendbarkeit des Meßverfahrens für die Bestimmung des mittleren Impulspegels  $L_{\text{AIm}}$ . Für die Messung ließe sich die gleiche Meßausrüstung einsetzen, die bei üblichen Arbeitsplatzlärmanalysen Anwendung findet (siehe Abschnitt 4). Außerdem könnte die gesamte Lärmwirkung der Arbeitsschicht, also sowohl der Bolzensetzerlärm als auch der bei den übrigen Arbeiten entstehende Lärm, nach dem gleichen Verfahren und in Übereinstimmung mit der DIN 45 645 erfaßt und beurteilt werden.

## 8 Bestimmung des Beurteilungspegels

Gemäß den im vorigen Kapitel gegebenen Erläuterungen sollte zur Beurteilung von Bolzensetzerlärm an Arbeitsplätzen der mittlere Impulspegel  $L_{\text{AIm}}$  bestimmt und daraus unter Berücksichtigung der Belastungszeit der Beurteilungspegel berechnet werden.

Die Geräuschmessung und -auswertung ist in den Normen DIN 45 641 und DIN 45 645 ausführlich behandelt (siehe auch [19]). Neben dem bekannten Verfahren der Bestimmung des mittleren Impulspegels  $L_{AIm}$  mit Hilfe eines integrierenden Schallpegelmessers (siehe Abschnitt 8.1) wird hier ein vereinfachtes Verfahren vorgestellt, daß lediglich die Bestimmung des maximalen Impulspegels  $L_{AImax}$  des einzelnen Bolzensetzerimpulses erfordert (siehe Abschnitt 8.2).

Falls während der täglichen Arbeitszeit außer dem Bolzensetzerlärm keine zusätzliche Lärmbelastung besteht, kann aus dem maximalen Impulspegel  $L_{AImax}$  und der Anzahl der je Tag ausgeführten Eintreibvorgänge auch direkt der Beurteilungspegel berechnet werden (siehe Abschnitt 8.3).

#### 8.1 Mittlerer Impulspegel $L_{AIm}$ , gemessen mit integrierendem Schallpegelmesser

---

Wie durch die Vergleichsmessung verschiedener Schallpegelmesser gezeigt werden konnte (Kapitel 4), sind moderne integrierende Schallpegelmesser mit ausreichend hoher Abtastrate zur meßtechnischen Erfassung der Bolzensetzerimpulse geeignet. Für genaue Messungen sollte das Meßgeräte die im Kapitel 4 genannten Anforderungen erfüllen und nach den entsprechenden Meßgerätenormen geprüft sein.

Zur Bestimmung des mittleren Impulspegels  $L_{AIm}$  ist die Pegelintegration in der Zeitbewertung "I" durchzuführen. Falls der integrierende Schallpegelmesser nur die Messung des energieäquivalenten Dauerschallpegels  $L_{Aeq}$  erlaubt, kann der mittlere Impulspegel  $L_{AIm}$  auch durch Addition des für Bolzensetzerlärm anzusetzenden Impulszuschlages von  $K_I = 16$  dB zum energieäquivalenten Pegel berechnet werden (siehe Anhang B).

Bei der Messung ist zu beachten, daß das Mikrofon möglichst genau im gleichen Abstand zum Bolzensetzwerkzeug gehalten wird, den auch das Ohr des Beschäftigten zum Werkzeug hat. Da das Bolzensetzwerkzeug in der Regel in geringem Abstand zum Ohr gehalten wird, kann ein kleiner Abstandsfehler bei der Messung bereits einen verhältnismäßig großen Fehler im Meßergebnis zur Folge haben. Die Meßzeit sollte so gewählt werden, daß damit die kennzeichnende Lärmbelastung der Bolzensetzertätigkeit erfaßt wird (siehe DIN 45 645 Teil 2). Es empfiehlt sich, mindestens 5 Lärmimpulse, die in einem für die Tätigkeit üblichen Zeitabstand abgegeben werden, zu erfassen.

Aus dem damit bestimmten mittleren Impulspegel  $L_{AIm}$  läßt sich nach Kapitel 8.3 unter Berücksichtigung der Belastungszeit und ggf. vorhandener zusätzlicher Lärmbelastungen bei anderen Tätigkeiten der Beurteilungspegel berechnen.

## 8.2 Mittlerer Impulspegel $L_{AIm}$ , berechnet aus dem maximalen Impulspegel $L_{AImax}$

---

Nach Anhang B läßt sich der mittlere Impulspegel  $L_{AIm}$  für Bolzensetzerimpulse auch aus dem maximalen "AI"-bewerteten Pegel  $L_{AImax}$  der Impulse und der Anzahl der Impulse je Zeiteinheit bestimmen. \*)

\*) Anmerkung :

Die hier für Bolzensetzerimpulse beschriebenen vereinfachten Verfahren lassen sich analog auch auf andere Impulsgeräusche bei einer Dauer des Einzelimpulses bis zu etwa 200 ms anwenden (siehe Anhang B). Die Verfahren gelten jedoch nur unter der Einschränkung, daß der Zeitabstand der Einzelimpulse mehr als 3 s beträgt. (Fehler  $\leq 0,5$  dB).

Die Anwendung dieses Verfahrens bietet gegenüber der Messung mit dem integrierenden Schallpegelmessgerät folgende Vorteile :

- Die Lärmmessung wird vereinfacht, da nur noch wenige Einzelimpulse erfaßt werden müssen.
- Die Messung kann auch mit konventionellen Schallpegelmessern ohne Schallpegelintegrator durchgeführt werden.
- Die Lärmbelastung läßt sich anhand des im Rahmen der Emissionsmessung bestimmten arbeitsplatzbezogenen Emissionswertes berechnen.
- Die Lärmbelastung kann aufgrund von Erfahrungswerten für den maximalen Impulspegel  $L_{AImax}$  und der Angabe der Impulszahl je Tag abgeschätzt werden (z.B. bei der Erstellung der Lärmanamnese in einem Lärmschwerhörigkeitsfall).

Bestimmen oder Abschätzen von  $L_{AImax}$  :

Da der maximale "AI"-bewertete Schalldruckpegel  $L_{AImax}$  für ein Bolzensetzwerkzeug von Impuls zu Impuls schwanken kann, empfiehlt es sich, bei der meßtechnischen Bestimmung des  $L_{AImax}$  mehrere Impulse nacheinander zu messen und bei der Berechnung des mittleren Impulspegels den Mittelwert heranzuziehen. Je nach Differenz der einzelnen Meßwerte und je nach erforderlicher Genauigkeit dürfte bereits die Erfassung von drei bis fünf Bolzensetzerimpulsen ausreichen.

Nach Abschnitt 6.5 ist der im Rahmen der Schallemissionsmessung gewonnene arbeitsplatzbezogene Emissionswert bei den meisten Bolzensetzerarbeiten mit der Gehörlastung des Beschäftigten vergleichbar. Falls dieser gerätespezifische Kennwert für das entsprechende Werkzeug bereits bekannt ist, kann deshalb auf eine Lärmmessung verzichtet und die Lärmbelastung überschlägig berechnet werden.

Schließlich läßt sich der maximale Impulspegel  $L_{AImax}$  anhand der in bisherigen Messungen gewonnenen Ergebnisse durch einen Wert von ca. 110 bis 130 dB(A) abschätzen. Die genannte untere Pegelgrenze von 110 dB(A) dürfte nur von modernen Bolzensetzwerkzeugen erreicht werden. Für einzelne ältere Geräte wurden auch schon Pegel von über 130 dB(A) gemessen. Bei überschlägigen Abschätzungen könnte man beispielsweise einen "Mittelwert" von 120 dB(A) ansetzen.

Bestimmen des mittleren Impulspegels  $L_{AIIm}$  :

Falls die einzelnen Impulse in zeitlichen Abständen von mindestens 3 Sekunden aufeinander folgen, läßt sich der mittlere Impulspegel  $L_{AIIm}$  anhand der nachfolgend beschriebenen Rechenformel oder dem daraus abgeleiteten Diagramm (Abbildung 12) aus dem maximalen Impulspegel und der Anzahl der Impulse je Zeiteinheit bestimmen.

a) rechnerische Auswertung

Zur rechnerischen Auswertung lassen sich nach Anhang B folgende Gleichungen ansetzen :

$$L_{AIIm} = 10 \lg \left[ \frac{1}{T} (1,5 N 10^{0,1 L_{AIImax}}) \right] \text{ dB}$$

(für  $T/N \geq 3s$  )

- mit T - betrachtetes Zeitintervall in s  
N - Anzahl der Impulse innerhalb T  
 $L_{AIImax}$  - maximaler "AI"-bewerteter Schallpegel

oder :

$$L_{AIm} = L_{AI\max} + 10 \lg \frac{1,5}{T_p} \quad \text{dB}$$

(für  $T_p \geq 3 \text{ s}$ )

mit  $T_p = \frac{T}{N}$  - mittlere Zeit zwischen den einzelnen Impulsen in s

b) graphische Auswertung

Die zweite Gleichung läßt sich in das in Abbildung 12 dargestellte Diagramm überführen. Nach Ermittlung des zeitlichen Abstandes zwischen den einzelnen Impulsen kann man damit dem maximalen Impulspegel  $L_{AI\max}$  jeweils den entsprechenden Mittelungspegel  $L_{AIm}$  zuordnen.

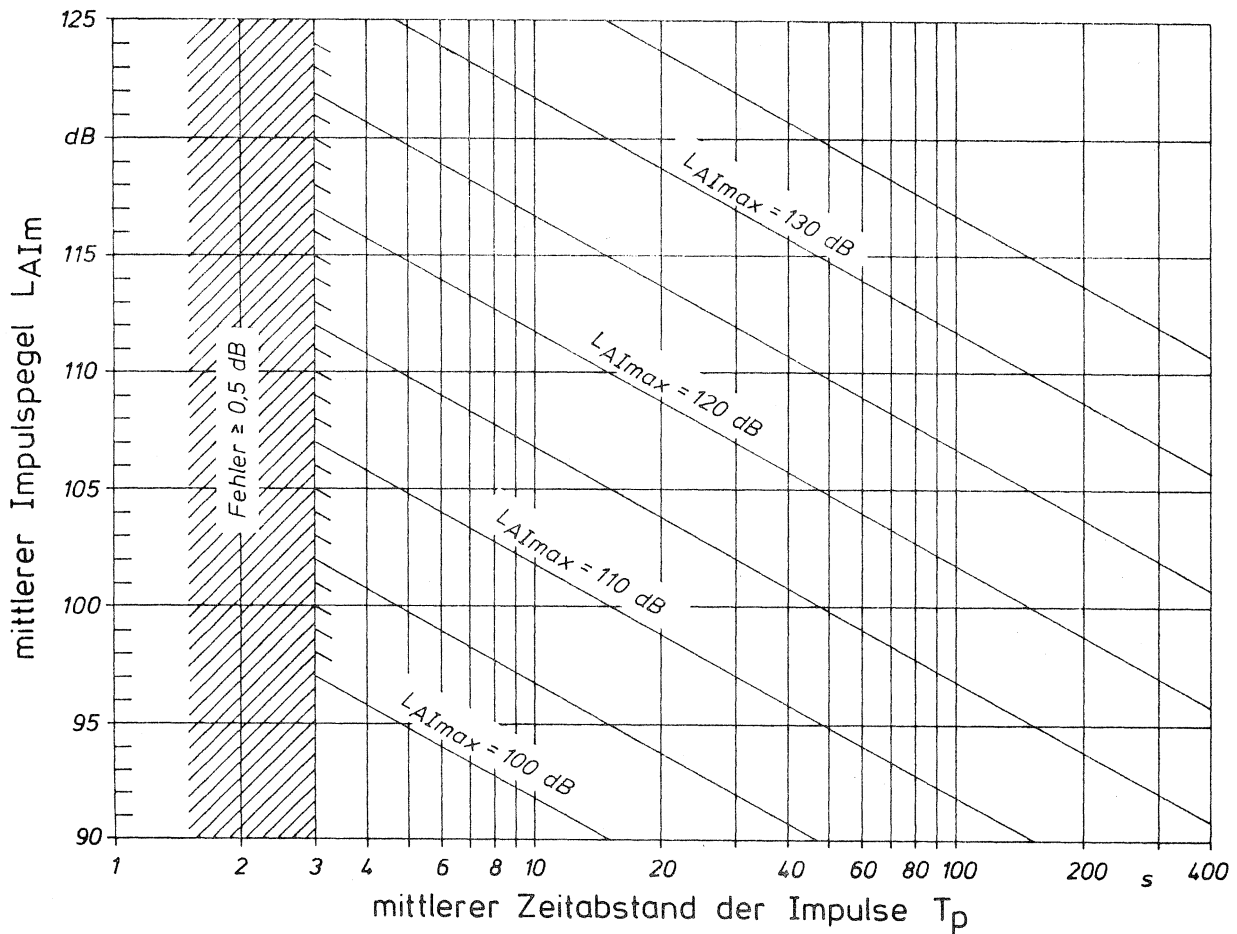


Abbildung 12 : Diagramm zur graphischen Bestimmung des mittleren Impulspegels  $L_{AIm}$  aus dem maximalen Impulspegel  $L_{AI\max}$  und dem Zeitabstand der Einzelimpulse  $T_p$

$T_p = \frac{T}{N}$  mit  $T$  = betrachtetes Zeitintervall  
 $N$  = Anzahl der Impulse innerhalb  $T$

### 8.3 Bestimmen des Beurteilungspegels

Bestimmen des Beurteilungspegels durch integrale Erfassung der längerfristig typischen Lärmbelastung :

Bei der Messung mit dem integrierenden Schallpegelmessgerät werden sowohl das Bolzensetzgeräusch als auch alle anderen auf den Beschäftigten einwirkenden Geräusche automatisch mitaufintegriert. Durch eine ausreichend lange Meßzeit kann auf diese Art die längerfristig typische Lärmbelastung der achtstündigen Arbeitsschicht erfaßt werden (siehe DIN 45 645 Teil 2). Der so bestimmte mittlere Impulspegel  $L_{AIm}$  entspricht dann dem Beurteilungspegel  $L_r$  für diesen Arbeitsplatz.

Bestimmen des Beurteilungspegels aus dem maximalen Impulspegel  $L_{AImax}$  und der Impulszahl  $N$  :

Falls neben dem Lärm der Bolzensetzwerkzeuge während der Arbeitsschicht keine zusätzliche Lärmbelastung besteht, kann der Beurteilungspegel nach der im Kapitel 8.2.1 gegebenen Gleichung aus dem maximalen Impulspegel  $L_{AImax}$  und der Anzahl der am Tag einwirkenden Impulse berechnet werden (mit  $T = T_r = 28800$  s - Beurteilungszeit) :

$$L_r = 10 \lg \left[ \frac{1}{28800} (1,5 \cdot N \cdot 10^{0,1L_{AImax}}) \right] \quad \text{dB}$$

$$(\text{für } T_p = T/N \geq 3 \text{ s})$$

Die Auswertung kann auch graphisch nach dem daraus abgeleiteten Diagramm durchgeführt werden (siehe Abbildung 13). Falls sich das Impulsgeräusch der Bolzensetzarbeit einem allgemeinen Grundgeräusch oder der Lärmbelastung durch andere Tätigkeiten überlagert, läßt sich der Beurteilungspegel auch durch einfache Addition der entsprechenden Mittelungspegel bestimmen.

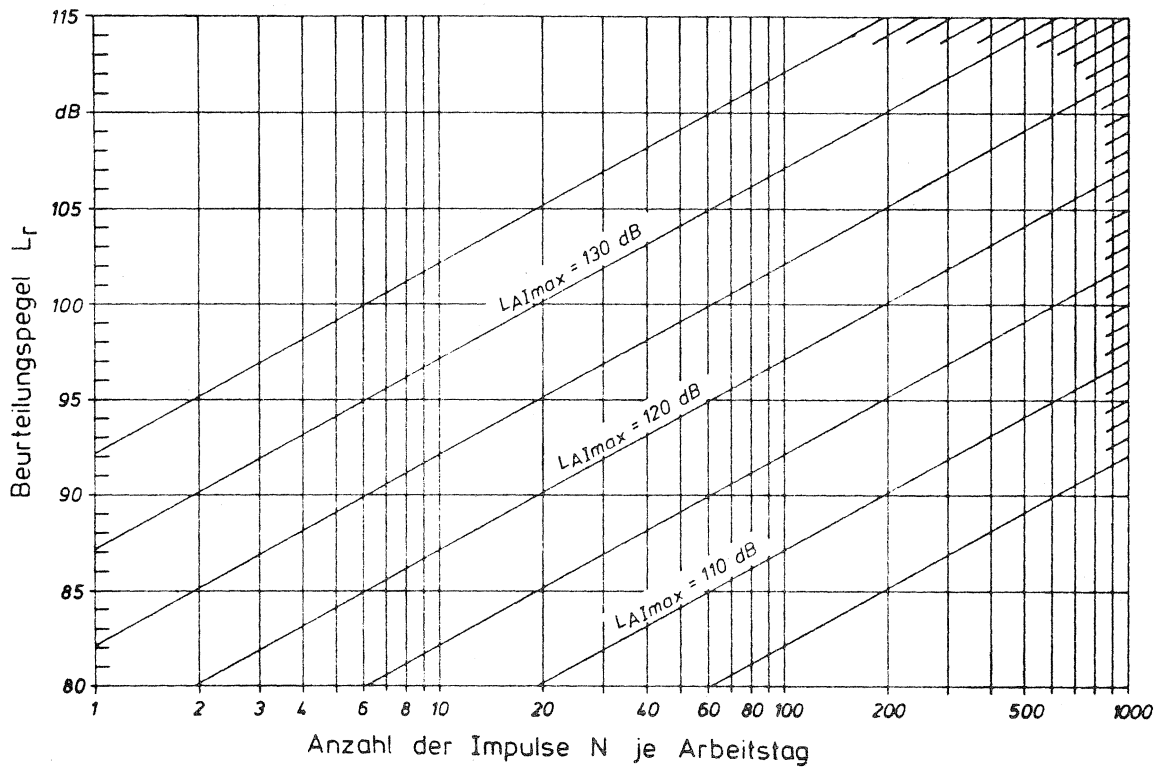


Abbildung 13 : Diagramm zur graphischen Bestimmung des Beurteilungspegels aus dem maximalen Impulspegel  $L_{AImax}$  und der Anzahl der Impulse je Arbeitstag  $N$ .

(Voraussetzung : keine zusätzliche Lärmbelastung durch andere Tätigkeiten)

Berechnen des Beurteilungspegels bei zeitweiliger Lärmbelastung durch Bolzensetzimpulse :

In vielen Anwendungsfällen werden die Bolzensetzwerkzeuge nur zu begrenzten Zeiten  $T_i$  (Teilzeiten) während des Arbeitstages bzw. der Arbeitswoche eingesetzt. Es empfiehlt sich dann die Lärmbelastung für diese Zeiten  $T_i$  nach den Kapiteln 8.1 oder 8.2 getrennt zu erfassen.



Der Beurteilungspegel läßt sich daraus unter Berücksichtigung des Zeitanteils  $T_i$  und ggf. vorhandener zusätzlicher Lärmbelastungen bei anderen Tätigkeiten nach folgender Gleichung berechnen :

$$L_R = 10 \lg \left[ \frac{1}{T_R} \sum_{i=1}^n (10^{0,1L_i} T_i) \right] \text{ dB}$$

mit  $L_i$  -  $L_{AIm}$  - Mittelungspegel für die Teilzeit  $T_i$   
 $T_i$  - Teilzeit mit Pegel  $L_i$   
 $T_R$  - 8 h - Beurteilungszeit

Die Beurteilungszeit  $T_R$  beträgt in der Regel acht Stunden. Falls die Lärmbelastung für den Beschäftigten an den einzelnen Tagen der Woche unterschiedlich hoch ist, z.B. weil nur tageweise Bolzensetzerarbeiten ausgeführt werden, kann nach VDI 2058 Blatt 2 [20] zur Beurteilung der Gehörschädlichkeit der Beurteilungspegel für die Arbeitswoche bestimmt werden. Dazu sind die Teilzeiten  $T_i$  jeweils für die Arbeitswoche anzusetzen und die gesamte Lärmbelastung der Woche auf die Beurteilungszeit von 40 Stunden zu beziehen.

## 9 Zusammenfassung

Bolzensetzwerkzeuge erzeugen im Arbeitseinsatz extrem kurze und hohe Schallimpulse, die das Gehör der Beschäftigten schädigen können.

Da die Bearbeitung von Lärmschwerhörigkeitsfällen sowie die Durchführung von Lärmschutz- und Vorbeugemaßnahmen genauere Kenntnisse über die Höhe der Lärmbelastung und die Möglichkeit der Lärmbeurteilung erfordern, wurde eine Untersuchung der Lärmbelastung an Bolzensetzerarbeitsplätzen durchgeführt und ein einfaches Meß- und Beurteilungsverfahren für die Praxis entwickelt.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde die Geräuschemission von drei Bolzensetzwerkzeugen unterschiedlicher Bauart nach DIN 45 635 Teil 34 erfaßt und mit den aus der Literatur bekannten Meßergebnissen anderer Untersuchungen an Bolzensetzwerkzeugen verglichen. Für die gleichen Werkzeuge wurde anschließend die Lärmbelastung der Beschäftigten bei verschiedenen Anwendungsfällen ermittelt. Zusätzliche Messungen dienten der Untersuchung des Einflusses verschiedener die Lärmbelastung beeinflussender Parameter, wie Ladungsstärke, Werkstoff, Arbeitsumgebung und Körperhaltung des Beschäftigten. Die Impulse wurden hinsichtlich ihres Pegel-Zeit-Verlaufs und ihrer Frequenzzusammensetzung analysiert.

Für die Bolzensetzerimpulse wurden die meßgerätetechnischen Anforderungen für integrierende Schallpegelmesser abgeleitet, die auch solche extremen Lärmimpulse mit hoher Genauigkeit verarbeiten können. Da nur einzelne Schallpegelmesser diese Anforderungen erfüllen, wurden verschiedene handelsübliche Schallpegelmesser durch Vergleichsmessungen auf ihre Eignung für derartige Lärmimpulsmessungen überprüft. Für die bauart-geprüften Präzisionsschallpegelmesser ergaben sich dabei verhältnismäßig geringe Meßfehler.

Zur Beurteilung der Lärmimpulse wurden neben den in DIN 45 645 beschriebenen Verfahren auch alternative, für den Bereich des Waffenlärms erprobte Meß- und Beurteilungsverfahren angewandt und bewertend gegenübergestellt. Aus den gewonnenen Ergebnissen ließ sich ein Vorschlag für ein einfaches, praktikables Meß- und Bewertungsverfahren zur Erfassung und Beurteilung von Bolzensetzerlärm ableiten. Das Ergebnis entspricht dem Beurteilungspegel nach DIN 45 645 Teil 2 und beinhaltet einen Impulszuschlag von bis zu etwa 16 dB(A) gegenüber dem energieäquivalenten Dauerschallpegel.

## 10 Schrifttum

- [ 1] Maue, J. H.: Lärmbelastung beim Arbeiten mit Bolzensetzwerkzeugen. Technische Überwachung 25 (1985) Nr. 4, S. 169-173
- [ 2] Unfallverhütungsvorschrift 43.1: Arbeiten mit Schußapparaten. (VBG 45) Carl Heymanns Verlag, Köln (April 1983)
- [ 3] Merkheft "Bolzensetzwerkzeuge", Schriftenreihe der Bau-Berufsgenossenschaft, (ZH 1/501) Carl Heymanns Verlag, Köln
- [ 4] Sieling, P.: Untersuchung der Lärmimmission beim Arbeiten mit Bolzensetzwerkzeugen in Abhängigkeit von deren Arbeitsprinzipien und den Konstruktionsmerkmalen. Schlußbericht des Forschungsvorhabens AIF-Nr. 3739, Remscheid (1978)
- [ 5] Vreke, J.: Untersuchung des Einflusses der Kartuschen und der Parameter der Kartuschenaufnahmen bei Bolzensetzwerkzeugen auf deren Lärmimmission. Schlußbericht des Forschungsvorhabens AIF-Nr. 4616, Remscheid (1981)
- [ 6] Vreke, J.: Bestimmen und Bewerten der Lärmimmission von Bolzensetzwerkzeugen. Maschinenmarkt 88 (1982) Heft 80
- [ 7] DIN 45 635 Teil 34: Geräuschmessung an Maschinen - Luftschallmessung, Hüllflächenverfahren - Bolzensetzwerkzeuge. (September 1984) Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [ 8] DIN/IEC 651: Schallpegelmesser. (Dezember 1981) Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [ 9] Hedegaard, P.: Design Principles for Integrating Sound Level Meters. Technical Review No 4-83, Brüel & Kjaer (1983)
- [10] DIN 45 655: Integrierende mittelwertbildende Schallpegelmesser. (Entwurf Nov. 1984) Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [11] Pfeiffer, B.H., und Maue J.H.: Seitendifferente Lärmbelastung am Arbeitsplatz ?. ASP, Heft 11/1983
- [12] DIN 45 645  
Teil 1 : Einheitliche Bestimmung des Beurteilungspegels für Geräuschimmissionen (April 1977)  
Teil 2 : Einheitliche Bestimmung des Beurteilungspegels für Geräuschimmissionen am Arbeitsplatz (August 1980)  
Beuth-Verlag GmbH, Berlin

- [13] ISO 1996, Part 1-3: Description and measurement of environmental noise  
Part 1 : Basic quantities and procedures  
Part 2 : Acquisition of data pertinent to land use  
Part 3 : Application to noise limits and complaints
- [14] Pfander, F.: Das Knalltrauma. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1975)
- [15] Frick, H., und D. Geinoz: Impulsschallbewertung aufgrund einfach meßbarer Immissionsgrößen. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 27, S. 18-26, Springer Verlag (1980)
- [16] Hohmann, B.W.: Untersuchung zur Gehörschädlichkeit von Impulslärm. Dissertationsschrift an der ETH, Zürich, Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Mitteilungen der Sektion Physik (1984) Nr. 17
- [17] Results of the Workshop in Impulse Noise and Auditory Hazard. 1./2.October 1981, University of Southampton, Institute of Sound and Vibration Research, Memorandum 618, November 1981
- [18] DIN 45 641: Mittelungspegel und Beurteilungspegel zeitlich schwankender Schallvorgänge. (Juni 1976) Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [19] Maue, J.H.: Messungen von Schallimmissionen. In: Brokmann et al: Schall und Schwingungen am Arbeitsplatz, J.P.Bachem Verlag, Köln (1977)
- [20] VDI 2058 Blatt 2: Beurteilung von Arbeitslärm am Arbeitsplatz hinsichtlich Gehörschäden. (Oktober 1970) Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- [21] Weck, M., und P. Grund: Grenzen der Genauigkeit bei der Bestimmung von Mittelungspegeln. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 30 (1983)
- [22] Maue, J.: Assessment of Short Impulsive Noise Caused by Airpowered Gun-Nailers in Industry. ASHA-Report 10, The Proceedings of the Third International Congress on Noise as a Public Health Problem, Freiburg/Germany (1978) edited by Jerry V. Tobias, American Speech and Hearing Association, Rockville (USA) (1980)
- [23] Kurzzeit-Impulslärm - Messung und Bewertung - Kolloquium des Normenausschusses Akustik und Schwingungstechnik (FANAK) im DIN, (Juni 1976), BAU-Schriftenreihe Arbeitsschutz Heft Nr. 12, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven (1976)

## Anhang A

### Zeitbewertete Schallmessung

Der Aufbau eines Schallpegelmessers läßt sich durch das in Abbildung A 1 gezeigte Blockschaltbild vereinfacht darstellen.

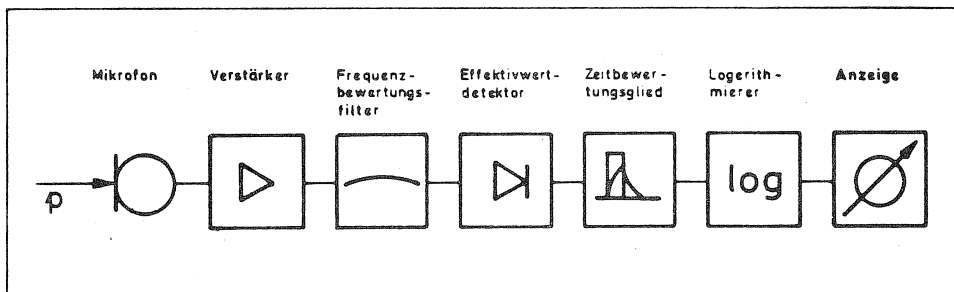


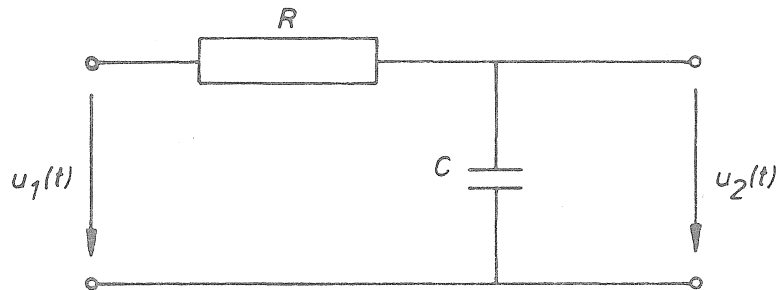
Abbildung A 1: Blockschaltbild eines Schallpegelmessers

Aufgrund der durch das Zeitbewertungsglied realisierten Anzeigeträgheit sind plötzliche Schallpegeländerungen und Schallimpulse nicht entsprechend ihrem tatsächlichen zeitlichen Verlauf zu erfassen. Da die daraus resultierenden Pegelabweichungen für die Messung von Bolzensetzerimpulsen eine besondere Bedeutung haben, seien hier der Aufbau des Zeitbewertungsgliedes und des Zeitverhaltens etwas genauer betrachtet.

A 1 Aufbau und Zeitverhalten des Zeitbewertungsgliedes

---

Das Zeitbewertungsglied entspricht einem RC-Glied mit dem in Abbildung A 2 gezeigten Aufbau.



$u_1(t)$  – Eingangsspannung

$u_2(t)$  – Ausgangsspannung

Abbildung A 2: RC-Glied für die Zeitbewertung des Schallpegels

Zur Beschreibung des Zeitverhaltens dieser Schaltung kann man mehrere Fälle unterscheiden.

Verhalten bei Spannungssprung und Einzelimpulsen :

Bei einem Spannungssprung der Eingangsspannung  $u_1$  von 0 auf  $\hat{u}_1$  zum Zeitpunkt  $t = 0$  erhöht sich die Ausgangsspannung  $u_2$  gemäß folgender e-Funktion :

$$u_2 = \hat{u}_1 \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (\text{A } 1)$$

mit  $\tau$  - Zeitkonstante

Der Pegelabfall von einer Spannung  $\hat{u}_1$  auf 0 läßt sich durch folgende Funktion beschreiben :

$$u_2 = \hat{u}_1 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (\text{A } 2)$$

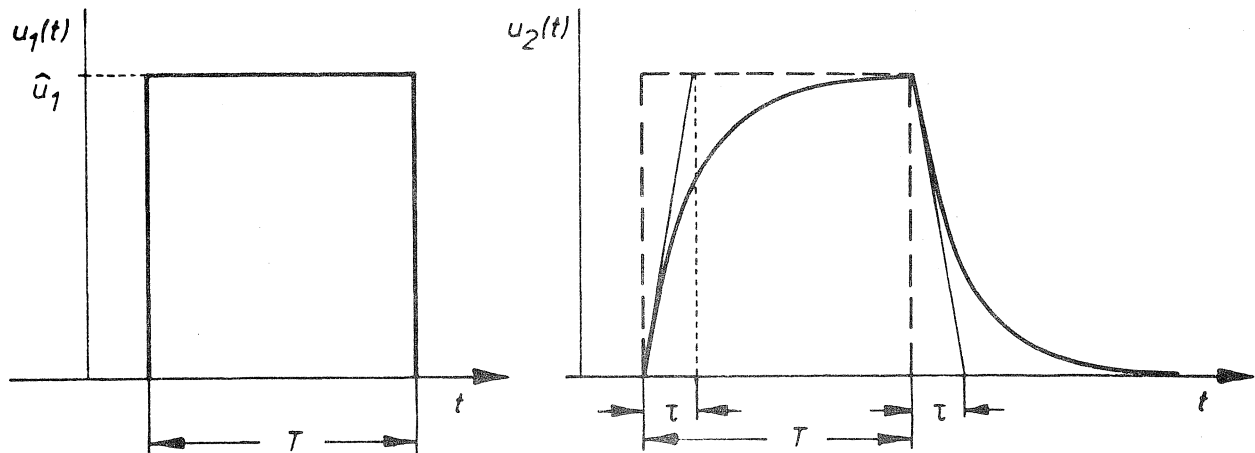


Abbildung A 3: Übertragungsverhalten des RC-Gliedes gegenüber einem Rechteckimpuls

mit  $u_1$  = Eingangsspannung

$u_2$  = Ausgangsspannung

Die Abbildung A 3 zeigt das Übertragungsverhalten des RC-Gliedes gegenüber einem Rechteckimpuls.

Verhalten bei Impulsfolge :

Legt man auf den Eingang des RC-Gliedes eine Folge von Rechteckimpulsen, so stellt sich nach einem Einschwingvorgang der in Abbildung 4 gezeigte stationäre Zustand ein.

Der eingeschwungene Zustand setzt sich aus einem Gleichanteil und einer überlagerten "Welligkeit" zusammen. Diese "Welligkeit" ist umso kleiner je größer die Zeitkonstante des RC-Gliedes ist (siehe Abbildung A 4). Bei einer hinreichend großen Zeitkonstante ist die "Welligkeit" vernachlässigbar gering und der abgelesene Gleichanteil entspricht dem Mittelwert der eingegebenen periodischen Impulsfolge (Integratorwirkung).



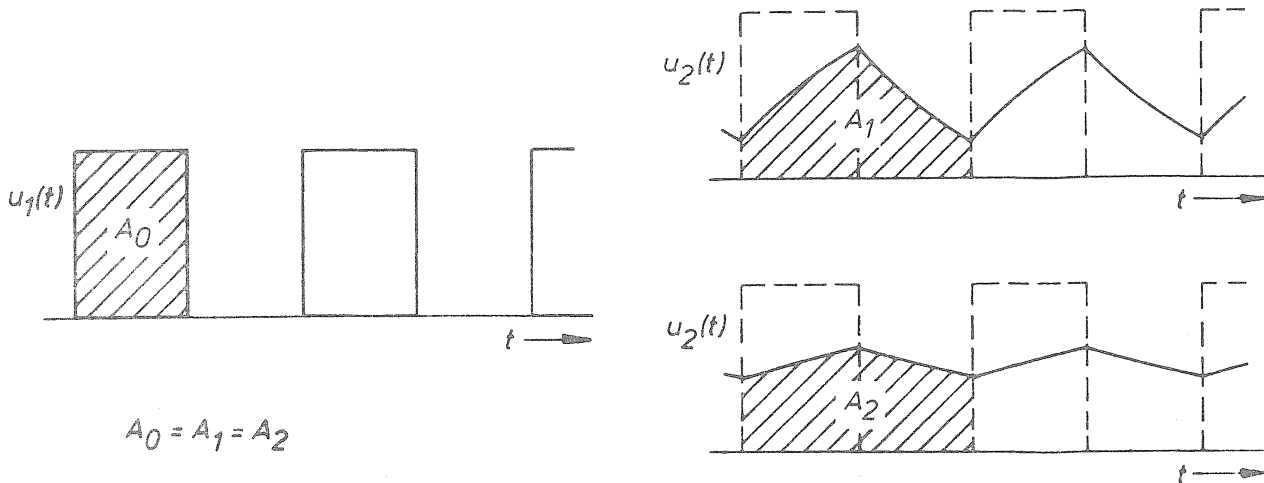


Abbildung A 4: Übertragung einer Rechteckimpulsfolge über ein RC-Glied (nach Abb. A 2) im eingeschwungenen Zustand für verschiedene Zeitkonstanten

Zeitverhalten des durch das RC-Glied bewerteten Pegels :

Beim Schallpegelmessers entspricht die Eingangsspannung  $u_1$  des RC-Gliedes dem quadrierten Meßsignal. Der Schallpegel wird anschließend durch Logarithmierung nach folgender Beziehung bestimmt :

$$L = 10 \lg \frac{u_2}{u_0} \quad \text{dB} \quad (\text{A } 3)$$

mit  $u_2$  = Ausgangsspannung des RC-Gliedes  
 $u_0$  = Bezugsspannung

Danach läßt sich das Verhalten des Schallpegelmessers bei Pegelschwankungen aus den zuvor beschriebenen Gleichungen herleiten.

Verhalten bei positivem Pegelsprung (Pegelanstieg):

Der vom Schallpegelmessgerät angezeigte Schalldruckpegel  $L$  kann bei einem Pegelsprung des Eingangssignals von  $L_0$  auf  $\hat{L}$  (mit  $\hat{L} \gg L_0$ ) zum Zeitpunkt  $t = 0$  durch folgende Funktion beschrieben werden (siehe auch Abbildung A 5)

$$10^{0,1 L} = 10^{0,1 \hat{L}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (\text{A 4})$$

(für  $\hat{L} \gg L_0$ )

bzw.

$$L = \hat{L} + 10 \lg \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \text{ dB} \quad (\text{A 5})$$

(für  $\hat{L} \gg L_0$ )

Die Abweichung der Anzeige  $L$  vom tatsächlichen Schallpegel  $\hat{L}$  ergibt sich nach folgender Gleichung :

$$\Delta L = \left| \hat{L} - L \right| = 10 \lg \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (\text{A 6})$$

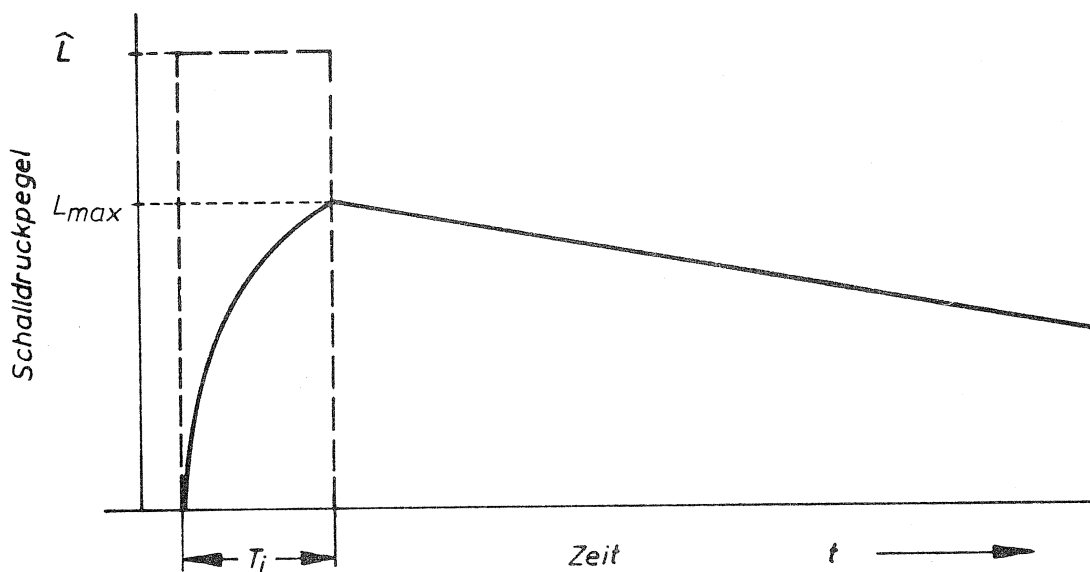


Abbildung A 5: Anzeigeverhalten eines Schallpegelmessgerät bei einem Einzelimpuls der Dauer  $T_i$

Verhalten des Schallpegelmessers bei negativem Pegelsprung  
(Pegelabfall)-----

Bei einem plötzlichen Pegelabfall von  $L_{\max}$  auf  $L_0$  verhält sich die Anzeige des Schallpegelmessers nach folgender Funktion :

$$10^{0,1L} = 10^{0,1L_{\max}} \left( e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (\text{A } 7)$$

(für  $L_{\max} \gg L_0$ )

bzw.

$$L = L_{\max} - 10 \lg \left( e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad \text{dB} \quad (\text{A } 8)$$

(für  $L_{\max} \gg L_0$ )

A 2 Zeitbewertungen nach DIN/IEC 651

Festgelegte Zeitkonstanten :

Nach der Schallpegelmessernorm DIN/IEC 651 [8] sind drei unterschiedliche Zeitbewertungen durch folgende festgelegte Zeitkonstanten definiert :

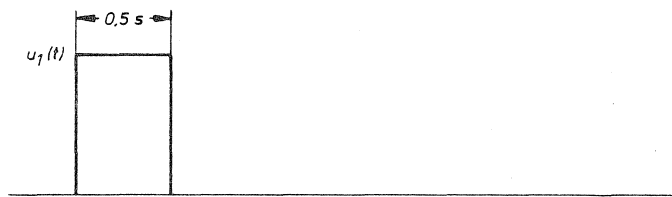
"S" - "langsam" (engl.: "Slow")  
Zeitkonstante  $\tau = 1 \text{ s}$

"F" - "schnell" (engl.: "Fast")  
Zeitkonstante  $\tau = 125 \text{ ms}$

"I" - "Impuls" (engl.: "Impulse")  
unterschiedliche Zeitkonstante für Pegelanstieg  
und Pegelabfall  
Pegelanstieg  $\tau_1 = 35 \text{ ms}$   
Pegelabfall  $\tau_2 = 1,5 \text{ s}$

Die Abbildung A 6 zeigt das Übertragungsverhalten des RC-Gliedes gegenüber einem Rechteckimpuls von 0,5 s Dauer für unterschiedliche Zeitbewertungen :

Eingangssignal  $u_1(t)$  :



Ausgangssignal  $u_2(t)$  :

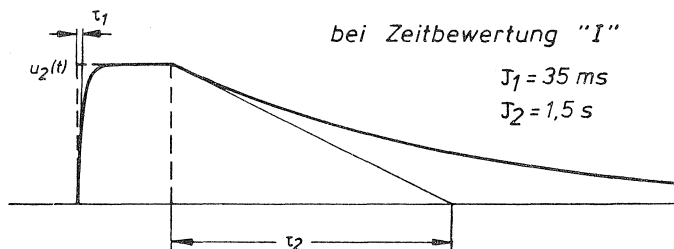
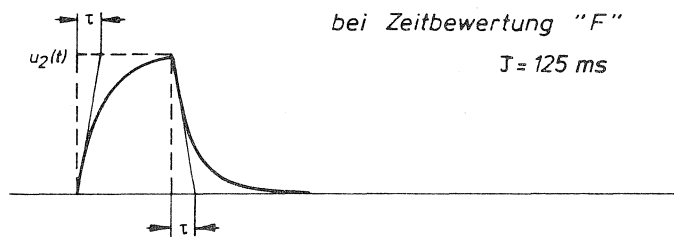
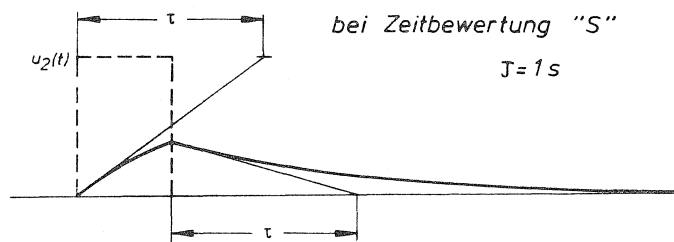


Abbildung A 6: Anzeigeverhalten eines Schallpegelmessers bei einem Einzelimpuls von 0,5 s Dauer für unterschiedliche Zeitbewertungen

Anhang B

Integrale Schallmessung

B 1 Erfassung von Einzelimpulsen mit dem integrierenden Schallpegelmesser

---

Wie die Erläuterungen im Anhang A gezeigt haben, weicht der vom Schallpegelmesser registrierte Pegel bei der Messung von Lärmimpulsen aufgrund der Zeitbewertung vom tatsächlichen momentanen Schallpegel ab.

Deshalb soll hier betrachtet werden, wie genau der Energieinhalt der Impulse der Integration des bewerteten Schallpegels erfaßt wird. Dazu sei hier ein idealer kontinuierlich arbeitender Integrator angenommen (keine Stichprobenabtastung).

Als Impulssignal sei der Einfachheit halber ein Tonimpuls der Dauer  $T_1$  angenommen. Das Anzeigeverhalten des Schallpegelmessers bei diesem Impuls ist in Abbildung B 1 dargestellt (siehe Gleichung (A 1) bis (A 5)).

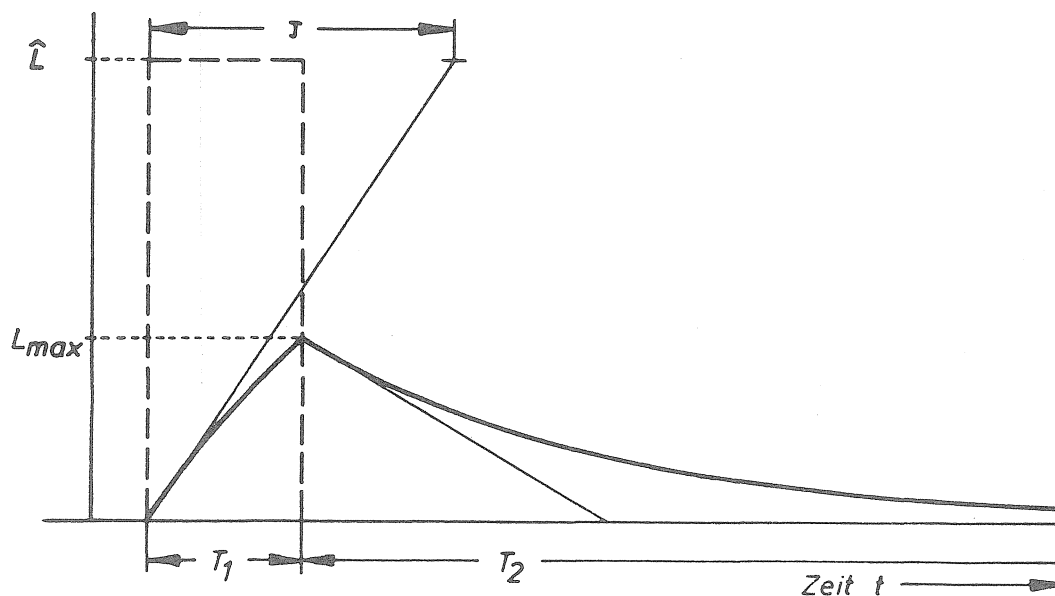


Abbildung B 1: Impulsverarbeitung durch das RC-Glied des Schallpegelmessers

Die Integration des Schallpegels über die Zeit des Pegelanstiegs ergibt nach Gleichung (A 4) :

$$\int_0^{T_1} 10^{0,1L(t)} dt = \int_0^{T_1} 10^{0,1\hat{L}} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) dt \quad (B 1)$$

$$= 10^{0,1\hat{L}} \cdot t + \tau \cdot 10^{0,1\hat{L}} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \Big|_0^{T_1} \quad (B 2)$$

$$= 10^{0,1\hat{L}} \cdot T_1 + \tau \cdot 10^{0,1\hat{L}} (e^{-\frac{T_1}{\tau}} - 1) \quad (B 3)$$

Die Integration des Schallpegels für den Pegelabfall über die Zeit  $T_2$  ergibt nach Gleichung (A 7) :

$$\int_{t=0}^{T_2} 10^{0,1L(t)} dt = \int_{t=0}^{T_2} 10^{0,1L_{\max}} (e^{-\frac{t}{\tau}}) dt \quad (B 4)$$

$$= - (10^{0,1L_{\max}}) (e^{-\frac{t}{\tau}}) \tau \Big|_0^{T_2} \quad (B 5)$$

Für den Fall, daß die Integrationszeit  $T_2$  nach dem Impuls ausreichend lang gewählt wird, d.h.  $T_2 \gg \tau$ , gilt :

$$\int_{t=0}^{T_2} 10^{0,1L(t)} dt = 10^{0,1L_{\max}} \cdot \tau \quad (B 6)$$

(für  $T_2 \gg \tau$ )

Aus Gleichung (B 6) und Gleichung (A 4) ergibt sich damit :

$$\int_{t=0}^{T_2} 10^{0,1L(t)} = 10^{0,1\hat{L}} (1 - e^{-\frac{T_1}{\tau}}) \tau \quad (\text{B 7})$$

(für  $T_1 \gg \tau$ )

Das Gesamtintegral über den Pegelanstieg und den Pegelabfall berechnet sich aus der Summe der Integrale aus den Gleichungen (B 3) und (B 7). Falls die Messung in einer Zeitbewertung mit gleicher Zeitkonstante  $\tau$  für den Pegelanstieg und den Pegelabfall durchgeführt wird (Zeitbewertung "S" oder "F") gilt damit :

$$\int_{t=0}^{T_1 + T_2} 10^{0,1L(t)} dt = 10^{0,1\hat{L}} \cdot T_1 \quad (\text{B 8})$$

(für  $T_2 \gg \tau$ )

Das so bestimmte, zeitbewertet erfaßte Integral entspricht also exakt der energieäquivalenten "Lärmdosis" des impulsförmigen Eingangssignales. Mit idealen Zeitbewertungsgliedern lassen sich damit auch sehr kurze Impulse durch Integration des Schallpegels in der Zeitbewertung "S" oder "F" mit ihrem tatsächlichen Energieinhalt erfassen. (Dabei ist zu beachten, daß vor allem der gesamte Pegelabfall nach dem Impuls mit aufintegriert wird, d.h.  $T_2 \gg \tau$ ).

In der Zeitbewertung "I" sind dagegen für den Pegelanstieg und den Pegelabfall unterschiedliche Zeitkonstanten  $\tau_1$  und  $\tau_2$  zu berücksichtigen. Aufgrund der sehr viel größeren Zeitkonstanten für den Pegelabfall ergibt sich eine "Lärmdosis", die weit über dem energieäquivalenten Wert liegt.

Aus den oben berechneten Integralen bzw. Lärmdosis-Werten läßt sich jeweils der Mittelungspegel für den entsprechenden Zeitabschnitt  $T$  berechnen, indem man das Ergebnis auf die entsprechende Zeit  $T$  bezieht und die Logarithmierung durchführt.

Damit ergibt sich für den Pegelanstieg ein Mittelungspegel  $L_{m1}$  :

$$L_{m1} = 10 \lg \left[ 10^{0,1\hat{L}} + \frac{\tau}{T_1} 10^{0,1\hat{L}} \left( e^{-\frac{T_1}{\tau}} - 1 \right) \right] \text{ dB} \quad (\text{B } 9)$$

bzw.

$$L_{m1} = \hat{L} + 10 \lg \left( 1 + \frac{\tau}{T_1} e^{-\frac{T_1}{\tau}} - \frac{\tau}{T_1} \right) \text{ dB} \quad (\text{B } 10)$$

und für den Pegelabfall ein Mittelungspegel  $L_{m2}$  :

$$L_{m2} = 10 \lg \left[ \frac{\tau}{T_2} 10^{0,1L_{\max}} \right] \text{ dB} \quad (\text{B } 11)$$

bzw.

$$L_{m2} = L_{\max} + 10 \lg \frac{\tau}{T_2} \text{ dB} \quad (\text{B } 12)$$

(für  $T_2 \gg \tau$ )

mit Gleichung (A 5) gilt :

$$L_{m2} = \hat{L} + 10 \lg \left( 1 - e^{-\frac{T_1}{\tau}} \right) + 10 \lg \frac{\tau}{T_2} \text{ dB} \quad (\text{B } 13)$$

(für  $T_2 \gg \tau$ )

Der über den Pegelanstieg integrierte Mittelungspegel fällt umso niedriger aus, je kürzer die Impulsdauer  $T_1$  und je größer die Zeitkonstante  $\tau$  ist. Beispielsweise ergibt sich für Kurzzeitimpulse mit  $T_1 \leq 0,2\tau$  ein Mittelungspegel  $L_{m1}$  für die Zeit  $T_1$  der mehr als 10 dB unter dem tatsächlichen Schallpegel  $\hat{L}$  liegt. Der Energieinhalt derartiger Impulse wird also im wesentlichen durch Integration des Pegelabfalls erfaßt, der beim Pegelanstieg zu erfassende Anteil kann in der Regel vernachlässigt werden.



B 2 "Integrale" Erfassung von Einzelimpulsen mit dem konventionellen Schallpegelmessger

---

Das im Anhang A behandelte RC-Glied verhält sich im Anfangsteil seiner Kennlinie nahezu linear wie ein Integrator bzw. Mittelwertbildner (siehe z.B. Abb. A 3 bzw. Abb. B 1). Für extrem kurze Impulse, die innerhalb einer Zeit von  $t \leq 0,2\tau$  bereits wieder abgeklungen sind, läßt sich dieser Zusammenhang nutzen, um deren Energieinhalt durch eine verhältnismäßig einfache Messung zu erfassen.

Für einen Spannungssprung der Eingangsspannung  $u_1$  von 0 auf  $\hat{u}_1$  zum Zeitpunkt  $t = 0$  erhöht sich die Ausgangsspannung  $u_2$  nach der Funktion :

$$u_2 = \hat{u}_1 \cdot \frac{t}{\tau} \quad (\text{für } t \leq 0,2\tau) \quad (\text{B 14})$$

In der Pegelschreibweise gilt folgende Beziehung :

$$10^{0,1L} = 10^{0,1\hat{L}} \cdot \frac{t}{\tau} \quad (\text{für } t \leq 0,2\tau) \quad (\text{B 15})$$

bzw. 
$$L = \hat{L} + 10 \lg \frac{t}{\tau} \quad (\text{für } t \leq 0,2\tau) \text{ dB} \quad (\text{B 16})$$

mit  $\hat{L}$  - Höhe des Pegelsprungs

Der Fehler dieser Näherungsgleichung liegt für  $t \leq 0,2$  unter 0,4 dB. Für einen Schallimpuls von entsprechend kurzer Dauer ( $T \leq 0,2\tau$ ) gilt deshalb folgender Zusammenhang :

$$L_{\max} = \hat{L} + 10 \lg \frac{T}{\tau} \text{ dB} \quad (\text{für } T \leq 0,2\tau) \quad (\text{B 17})$$

bzw. 
$$10^{0,1L_{\max}} \cdot \tau = 10^{0,1\hat{L}} \cdot T \quad (\text{für } T \leq 0,2\tau) \quad (\text{B 18})$$

mit  $L_{\max}$  - maximaler Schallpegel in der entsprechenden Zeitbewertung ( $\tau$ )

$T$  - Impulsdauer

Da der Impulspegel  $\hat{L}$  und die Zeitdauer  $T$  den Energieinhalt des Impulses beschreiben, ergibt sich daraus die Beziehung :

$$10^{0,1L_{\max}} \cdot \tau = 10^{0,1L_{\text{eq}}} \cdot T_m \quad (\text{B } 19)$$

(für  $T \leq 0,2 \tau$  )

mit  $L_{\text{eq}}$  = energieäquivalenter Mittelungspegel  
 $T_m$  = Mittelungszeit ( $T_m \geq T$ )

Der in einer bestimmten Zeitbewertung aufgenommene Maximalpegel  $L_{\max}$  ist also bei derartigen Impulsen mit  $T \leq 0,2\tau$  ein Maß für den Energieinhalt des Impulses.

#### Berechnung des energieäquivalenten Dauerschallpegels $L_{\text{eq}}$

Für einen Einzelimpuls mit  $T \leq 0,2\tau$  kann danach der energieäquivalente Mittelungspegel  $L_{\text{eq}}$  allein durch Messung des Maximalpegels  $L_{\max}$  nach folgender Gleichung bestimmt werden :

$$L_{\text{eq}} = L_{\max} + 10 \lg \frac{\tau}{T_m} \quad \text{dB} \quad (\text{B } 20)$$

(für  $T \leq 0,2\tau$  )

mit  $L_{\text{eq}}$  = energieäquivalenter Mittelungspegel  
 $T_m$  = Mittelungszeit  
 $\tau$  = Zeitkonstante für den Pegelanstieg

Für eine Folge von N Impulsen mit  $T \leq 0,2\tau$  innerhalb einer Zeit von  $T_{ges}$  ergibt sich der energieäquivalente Mittelungspegel  $L_{eq}$  zu :

$$L_{eq} = 10 \lg \frac{1}{T_{ges}} ( N \cdot 10^{0,1 L_{max}} \cdot \tau ) \quad \text{dB} \quad (\text{B 21})$$

bzw. 
$$L_{eq} = L_{max} + 10 \lg \frac{N \cdot \tau}{T_{ges}} \quad \text{dB} \quad (\text{B 22})$$

Falls sich die Maximalpegel der verschiedenen Impulse unterscheiden, kann ggf. der Mittelwert der Maximalpegel in die Gleichung eingesetzt werden.

Anhand der Gleichung kann auch die je Arbeitstag (8 h) maximal zulässige Anzahl von Lärmimpulsen  $N_{eq}$  berechnet werden, die einem bestimmten Grenzpegel entspricht.

Falls außer den Lärmimpulsen während des achtstündigen Arbeitstages keine zusätzliche Lärmbelastung besteht und ein A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel von  $L_{Aeq} = 85 \text{ dB(A)}$  als Grenzkriterium angesetzt wird, gilt beispielsweise folgender Zusammenhang :

$$\lg N_{eq} = 14,42 - 0,1 L_{AI_{max}} \quad (\text{B 23})$$

(für  $T \leq 0,2 \tau$  )

mit  $L_{AI_{max}}$  = maximaler "AI"-bewerteter Schallpegel

Berechnung des mittleren Impulspegels  $L_{AIm}$  :

Wie im Anhang B 1 erläutert kann bei der meßtechnischen Erfassung von Kurzzeitimpulsen mit  $T \leq 0,2\tau$  der über den Pegelanstieg integrierte Anteil der "Lärmdosis" vernachlässigt werden. Der Mittelungspegel kann allein durch Integration des Pegelabfalls bestimmt werden. Bei Integration in der Zeitbewertung "I" gilt dieser Zusammenhang auch für Impulse von größerer Dauer. Da der Pegel mit der Zeitkonstanten von  $\tau_1 = 35$  ms innerhalb sehr kurzer Zeit ansteigt, während der Pegelabfall mit der Zeitkonstanten von  $\tau_2 = 1,5$  s viel langsamer erfolgt, kann man den über die Anstiegszeit integrierten Anteil bei der Pegelmittelung von üblichen Einzelimpulsen in der Regel vernachlässigen. (Für einen Tonimpuls von 200 ms Dauer ergibt sich beispielsweise ein Fehler von weniger als 0,5 dB, falls der Pegelanstieg über 200 ms nicht berücksichtigt wird.)

Der über den Pegelabfall integrierte mittlere Impulspegel  $L_{AIm}$  läßt sich nach Gleichung (B 12) aus dem in der Zeitbewertung "I" erfaßten Maximalpegel  $L_{AI\max}$  nach folgender Beziehung berechnen :

$$L_{AIm} = L_{AI\max} + 10 \lg \frac{1,5}{T_2} \quad \text{dB} \quad (\text{B 24})$$

(für  $T_2 \gg 1,5$  s)

mit  $L_{AI\max}$  = maximaler "AI"-bewerteter Schallpegel  
 $T_2$  = Integrationszeit in Sekunden

Anmerkung :

Die Bedingung  $T_2 \gg 1,5$  s kann bereits ab einer Integrationszeit von  $T_2 \geq 3$  s als erfüllt angenommen werden, da der Fehler  $\Delta L$  der Näherungsgleichung dann weniger als 0,5 dB beträgt (bei  $T_2 = 5$  s ergibt sich  $\Delta L = 0,2$  dB).

Bei einer Impulsfolge von N gleichen Impulsen innerhalb einer Zeit von  $T_{ges}$  (siehe Abbildung B 2) berechnet sich nach Gleichung (B 24) folgender mittlerer Impulspegel

$L_{AIm}$  :

$$L_{AIm} = L_{AImax} + 10 \lg \frac{N \cdot 1,5}{T_{ges}} \text{ dB} \quad (\text{B 25})$$

mit  $\frac{T_{ges}}{N} = T_i \geq 3 \text{ s}$  durchschnittlicher  
Zeitabstand der Einzelimpulse

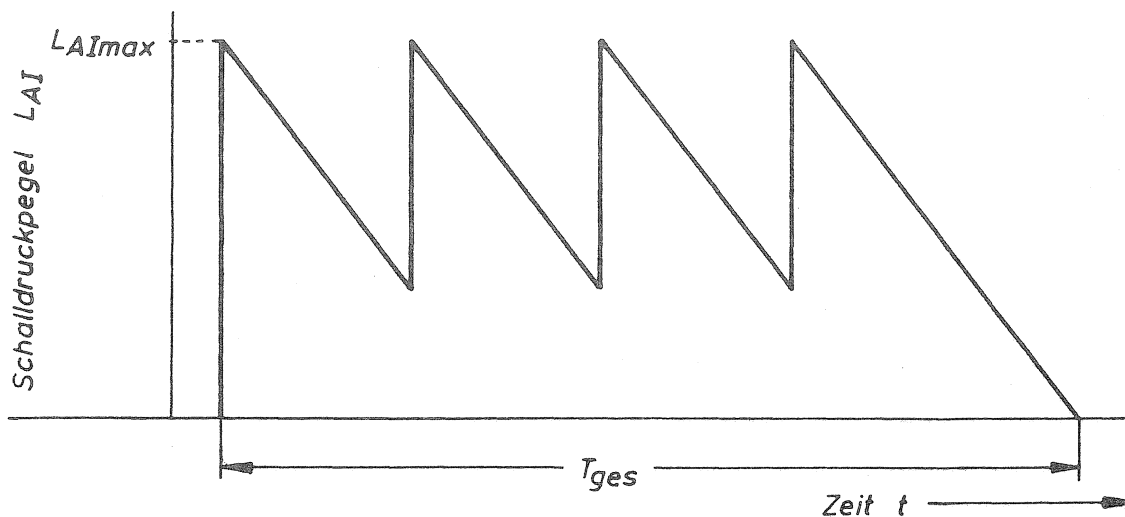


Abbildung B 2: Anzeigeverhalten eines Schallpegelmessers in der Zeitbewertung "I" bei einer Folge von 4 Impulsen

Nach dieser Beziehung läßt sich auch die je Arbeitstag maximal zulässige Anzahl von Impulsen  $N_{AI}$  berechnen, die einem bestimmten Grenzkriterium von zum Beispiel  $L_{AIm} = 85 \text{ dB(A)}$  entspricht.

Unter der Voraussetzung, daß

- die einzelnen Impulse in größeren zeitlichen Abständen von  $T_i > 3 \text{ s}$  aufeinander folgen,
- außer den Lärmimpulsen während der achtstündigen Arbeitsschicht keine zusätzliche Lärmbelastung besteht und
- ein mittlerer Impulspegel von  $L_{AIm} = 85 \text{ dB(A)}$  als Grenzwert angesetzt wird,

läßt sich die je Arbeitstag zulässige Impulszahl  $N_{AI}$  nach folgender Gleichung berechnen :

$$\lg N_{AI} = 12,8 - 0,1 L_{AImax}$$

(B 26)

Impulszuschlag bei Kurzzeitimpulsen :

Wie bereits erläutert ergibt die Schallpegelmittelung von Impuslärn in der Zeitbewertung "I" aufgrund des langsamen Pegelabfalls nach den Impulsen einen höheren Wert als den energieäquivalenten Mittelungspegel.

Je kürzer die Dauer der Impulse und je größer der zeitliche Abstand zwischen den einzelnen Impulsen ausfällt, umso größere Werte nimmt der Impulszuschlag  $K_I$  als die Differenz zwischen dem mittleren Impulspegel  $L_{AIm}$  und dem energieäquivalenten Mittelungspegel  $L_{Aeq}$  an.

Für ein Impulsgeräusch mit extrem kurzen Einzelimpulsen ( $T \leq 0,2 \cdot 35 \text{ ms}$ ), die im zeitlichen Abstand von 5 s oder mehr aufeinander folgen, ergibt sich nach den Gleichungen (B 20) und (B 24) in der Zeitbewertung "I" etwa die 43fache "Lärmdosis" wie bei energieäquivalenter Mittelung. Dieses Verhältnis entspricht dem maximal möglichen Impulszuschlag von :

$$K_I = L_{AIm} - L_{Aeq} = 10 \lg \frac{1,5}{0,035} = 16,3 \text{ dB}$$

(B 27)

ISSN 0173-0487