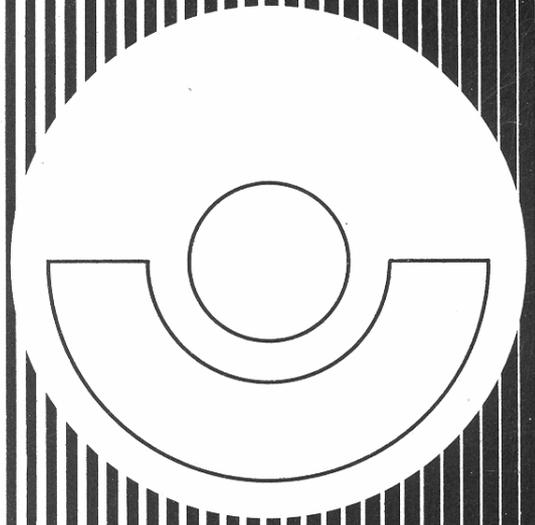


BIA report



Impulslärm an Arbeitsplätzen —

**der energieäquivalente Dauerschallpegel als
Beurteilungskriterium für das Hörschadensrisiko**

BIA-Report 3/88



Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit - BIA

Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e. V.

**Impulslärm an Arbeitsplätzen -
der energieäquivalente Dauerschallpegel als
Beurteilungskriterium für das Hörschadensrisiko**

vom Fachbereich Sicherheitstechnik
der Bergischen Universität Gesamthochschule
Wuppertal

genehmigte

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des
Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften

vorgelegt von

895.100.08 Jürgen H. Maue

24857

Gutachter: Professor Dr.-Ing. R. Skiba
Professor Dr. med. T. Hettinger

Bibliothek BIA
Inv.-Nr. 77071

895.100

D a n k s a g u n g

Für die bei der Anfertigung der Dissertationsarbeit gewährte Unterstützung möchte ich dem Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (Hauptgeschäftsführer Dipl.-Ing. P. Buss) und der Leitung des Berufsgenossenschaftlichen Institutes für Arbeitssicherheit - BIA (Direktor Dr. rer.nat. A.Schütz) danken.

Besonderen Dank schulde ich Herrn Professor Dr.-Ing. R. Skiba für die Betreuung der Arbeit und seine wertvollen Hinweise zu Inhalt und Aufbau der Arbeit. Herrn Professor Dr. med. T. Hettinger danke ich für seine Bereitschaft zur Durchsicht der Arbeit und Stellungnahme als zweiter Gutachter.

Mein besonderer Dank gilt auch Herrn Dr.-Ing. E. Christ, dem Leiter des Fachbereiches "Lärm-Vibration" im BIA, der mich von Anfang an in meinem Vorhaben unterstützt und mir zahlreiche Anregungen für diese Arbeit gegeben hat. Herrn Dr. rer.nat. B. H. Pfeiffer, Referent für "Audiologie und Gehörschutz" im BIA, danke ich besonders für seine Diskussionsbereitschaft und für wertvolle Informationen, die mir bei der Anfertigung der Arbeit sehr geholfen haben.

Auch den Mitgliedern des Arbeitsteams "Lärm" der Bau-Berufsgenossenschaften sei hier gedankt für ihre Unterstützung bei der Vorbereitung und Durchführung der Lärmmessungen auf Baustellen und die Beratung in allen bautechnischen Fragen.

Nicht zuletzt möchte ich allen Mitarbeitern des Fachbereiches "Lärm-Vibration" im BIA, insbesondere Herrn K. H. Gondek und Herrn H. H. Kron, für ihre stete Einsatzbereitschaft und Unterstützung bei der Durchführung der Praxisuntersuchungen danken. Frau G. Miebach danke ich für die sorgfältige Durchführung der Schreibarbeiten.

Jürgen H. Maue

**Impulslärm an Arbeitsplätzen -
der energieäquivalente Dauerschallpegel als Beurteilungskriterium
für das Hörschadensrisiko**

Jürgen H. Maue

BIA-Report 3/88

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

TELEFAX: (02241) 231-333

TELEX: 889 460 BIA D

BTX: *20299#

Inhalt

		Seite
	Zusammenfassung	5
	Summary	6
1	Einleitung	7
2	These zum Prinzip der Energieäquivalenz	10
3	Meß- und Beurteilungsverfahren für Impulslärm	13
3.1	Energieäquivalenter Dauerschallpegel	13
3.2	"Impuls"-bewerteter Mittelungspegel nach DIN 45 645	17
3.3	Dresdener Modell nach Kraak und Mitarbeitern	20
3.4	CHABA-Kriterium	23
3.5	Pfander-Verfahren	26
3.6	Sonstige Meß- und Bewertungsverfahren	29
3.7	Diskussion und Vergleich der bestehenden Meß- und Beurteilungsverfahren	31
4	Kenntnisstand zur Wirkung von Impulslärm	33
4.1	Grundlagen	33
4.1.1	Schädigungsmechanismus	33
4.1.2	Stapediusreflex	35
4.1.3	Frequenzbewertung im Hinblick auf die Gehörschädlichkeit	36
4.1.4	Studientypen zur Untersuchung der Lärmwirkung auf das Gehör	39
4.1.4.1	Tierexperimente	39
4.1.4.2	TTS-Studien	40
4.1.4.3	Retrospektive Studien	41
4.2	Ergebnisse aus Tierexperimenten	42
4.3	Ergebnisse aus TTS-Studien	45
4.4	Ergebnisse aus retrospektiven Studien	50
4.4.1	Anforderungen an retrospektive Studien	50
4.4.2	Ergebniskategorien retrospektiver Studien	58
4.4.2.1	Untersuchungen der Ergebniskategorie a	62
4.4.2.2	Untersuchungen der Ergebniskategorie b	67
4.4.2.3	Untersuchungen der Ergebniskategorie c	78
4.4.2.4	Untersuchungen der Ergebniskategorie d	87
4.5	Zusammenfassung der Literaturlauswertung	90
5	Untersuchung der Gehörschädlichkeit von Impulslärm an Baustellenarbeitsplätzen	95
5.1	Lösungsansatz	95
5.2	Messung und Bewertung der Impulslärmbelastung für ausgewählte Bauberufe	97
5.2.1	Auswahl der zu erfassenden Bauberufe	97
5.2.2	Meßmethodik	99
5.2.2.1	Tätigkeitsprofile	99
5.2.2.2	Meßdurchführung und Auswertung	100
5.2.3	Meßverfahren, Meßgerätetechnik	102
5.2.3.1	Allgemeine Anforderungen	102
5.2.3.2	Konzept für ein Geräuschimmissionsmeßverfahren mit Schalldosimetern	104

	Seite
5.2.3.3 Fehlerbetrachtung	114
5.2.3.3.1 Meßgerätefehler	114
5.2.3.3.2 Körpereinfluß	117
5.2.3.3.3 Einfluß von Erschütterungen und Reibung	122
5.2.3.3.4 Einfluß von Luftströmungen	123
5.2.3.3.5 Vergleichsmessungen an realen Arbeitsplätzen	125
5.2.3.3.6 Zusammenfassung der Fehlerbetrachtung	127
5.2.4 Vorbereitung und Durchführung der Lärmmessungen	128
5.2.5 Auswerteverfahren	130
5.2.5.1 Berechnen der Tagesmittelungspegel	130
5.2.5.2 Beschreibung der Lärmbelastung für ein Berufsbild	130
5.2.6 Ergebnisse der Lärmmessungen	133
5.2.6.1 Lärmbelastung der einzelnen Tätigkeitsprofile	133
5.2.6.2 Lärmbelastung für die unterschiedenen Bauberufe	141
5.3 Prüfen der Ergebnisse im Hinblick auf die Annahmen des Lösungsansatzes	144
5.3.1 Interindividuelle Belastungsunterschiede	145
5.3.1.1 Persönlicher Arbeitsstil und Arbeitsleistung	145
5.3.1.2 Fremdgeräuscheinwirkung und Raumakustik	146
5.3.1.3 Baumaterial und Werkzeug	146
5.3.1.4 Arbeitsaufgabe	147
5.3.1.5 Zusammenfassung der Auswertungen zu interindividuellen Belastungsunterschieden	150
5.3.2 Historische Änderung der Lärmbelastung	151
5.3.3 Gehörschützer	156
5.4 Auswertung der Hörverlustdaten	157
5.4.1 Datenmaterial	157
5.4.2 Hörverlustmodell der ISO 1999	159
5.4.3 Modellrechnungen zur Bestimmung des schädigungs- äquivalenten Dauerschallpegels	161
5.4.4 Ergebnisse der Modellrechnungen	166
5.5 Diskussion der These der Energieäquivalenz auf der Grundlage der für Bauberufe gewonnenen Ergebnisse	174
6	Schlußfolgerungen
	180
7	Schrifttum
	183
Anhang 1	verwendete Kurzzeichen
	203
Anhang 2	Beschreibung der Tätigkeitsprofile
	206

Zusammenfassung

Als Ausgangspunkt für die Erörterung und Untersuchung der Frage der Beurteilung des Hörschadensrisikos bei Impulslärmbelastungen an Arbeitsplätzen geht die Arbeit von der Hypothese aus, daß der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq} die am besten geeignete Meßgröße ist, um das Schädigungsrisiko für langjährige Lärmeinwirkungen am Arbeitsplatz zu beschreiben (Energieprinzip).

Anhand der vorliegenden Literatur läßt sich zeigen, daß das Energieprinzip zumindest für viele industrielle Impulsgeräusche in guter Näherung zutrifft. Oberhalb des durch den Spitzenpegel L_{peak} von 140 dB beschriebenen Grenzwertes ist jedoch mit einem davon abweichenden Wirkungsmechanismus zu rechnen, wobei schon einzelne Schallereignisse durch eine mechanische Überlastung der Innenohrhaarzellen zu bleibenden Hörminderungen führen können.

In der für vier Bauberufe durchgeführten eigenen Studie ließen sich nahezu ideale Bedingungen für eine retrospektive Untersuchung realisieren. Die unter Ansatz des Hörverlustmodells nach ISO/DIS 1999.2 aus den entsprechenden Hörverlustdaten berechneten der Schädigung entsprechenden Lärmpegel stimmen danach näherungsweise mit den jeweils gemessenen energieäquivalenten Pegeln L_{Aeq} überein. Bei Beurteilung der Lärmbelastungen auf der Grundlage der in der DIN-Normung festgelegten "Impuls"-bewerteten Messung würde das Hörschadensrisiko jedoch weit überbewertet.

Unter Einbeziehung aller Ergebnisse aus der Literatur und der eigenen Untersuchung ist festzustellen, daß keine andere Meßgröße angegeben werden kann, die das Hörschadensrisiko für Impulslärm- sowie für Dauerlärmbelastungen besser beschreibt als der energieäquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq} . Die aufgestellte These ist somit als bestätigt anzusehen.

Impulse Noise at Work Place
- The Energy Equivalent Sound Pressure Level
as Hearing Damage Risk Criterion

Summary

The hypothesis that the A-weighted equivalent continuous sound pressure level L_{Aeq} provides the best description of the risk of noise-induced hearing loss resulting from exposure to impulse noise at work places (equal energy concept), is discussed and examined.

By means of the present literature it is shown that the risk of hearing loss caused by impulse noise is in most cases in rather good agreement with the equal energy concept. At very high intensities, where the peak sound pressure level of the impulses exceeds 140 dB, one can presume a different damage mechanism and even single noise impulses may cause hearing loss by mechanical stress.

In the own study, in which the impulse noise exposure and the hearing loss in four construction professions had been analysed, nearly ideal conditions for a retrospective study could be realized. Based on the hearing loss model of ISO/DIS 1999.2 the damage equivalent sound pressure levels L_r^* of the four groups were calculated by their hearing loss data. These damage equivalent sound pressure levels L_r^* nearly conformed with the corresponding results of L_{Aeq} -measurements, whereas the "Impulse"-weighted sound pressure level according to DIN 45 645 yielded much higher values. An impulse correction of the equivalent sound pressure level L_{Aeq} therefore seems to be unjustified.

Based upon the review of the available literature and the data of the own study it can be concluded, that there is no other measured quantity, which can describe the risk of hearing loss from impulse noise and from steady state noise more exactly than the A-weighted equivalent sound pressure level L_{Aeq} . This can be considered as verification of the thesis.

**Impulslärm an Arbeitsplätzen -
der energieäquivalente Dauerschallpegel als
Beurteilungskriterium für das Hörschadensrisiko**

vom Fachbereich Sicherheitstechnik
der Bergischen Universität Gesamthochschule
Wuppertal

genehmigte

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des
Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften

vorgelegt von

895.100.08 Jürgen H. Maue

24857

Gutachter: Professor Dr.-Ing. R. Skiba
Professor Dr. med. T. Hettinger

Bibliothek BIA
Inv.-Nr. 77071

895.100

D a n k s a g u n g

Für die bei der Anfertigung der Dissertationsarbeit gewährte Unterstützung möchte ich dem Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (Hauptgeschäftsführer Dipl.-Ing. P. Buss) und der Leitung des Berufsgenossenschaftlichen Institutes für Arbeitssicherheit - BIA (Direktor Dr. rer.nat. A.Schütz) danken.

Besonderen Dank schulde ich Herrn Professor Dr.-Ing. R. Skiba für die Betreuung der Arbeit und seine wertvollen Hinweise zu Inhalt und Aufbau der Arbeit. Herrn Professor Dr. med. T. Hettinger danke ich für seine Bereitschaft zur Durchsicht der Arbeit und Stellungnahme als zweiter Gutachter.

Mein besonderer Dank gilt auch Herrn Dr.-Ing. E. Christ, dem Leiter des Fachbereiches "Lärm-Vibration" im BIA, der mich von Anfang an in meinem Vorhaben unterstützt und mir zahlreiche Anregungen für diese Arbeit gegeben hat. Herrn Dr. rer.nat. B. H. Pfeiffer, Referent für "Audiologie und Gehörschutz" im BIA, danke ich besonders für seine Diskussionsbereitschaft und für wertvolle Informationen, die mir bei der Anfertigung der Arbeit sehr geholfen haben.

Auch den Mitgliedern des Arbeitsteams "Lärm" der Bau-Berufsgenossenschaften sei hier gedankt für ihre Unterstützung bei der Vorbereitung und Durchführung der Lärmmessungen auf Baustellen und die Beratung in allen bautechnischen Fragen.

Nicht zuletzt möchte ich allen Mitarbeitern des Fachbereiches "Lärm-Vibration" im BIA, insbesondere Herrn K. H. Gondek und Herrn H. H. Kron, für ihre stete Einsatzbereitschaft und Unterstützung bei der Durchführung der Praxisuntersuchungen danken. Frau G. Miebach danke ich für die sorgfältige Durchführung der Schreibarbeiten.

Jürgen H. Maue

**Impulslärm an Arbeitsplätzen -
der energieäquivalente Dauerschallpegel als Beurteilungskriterium
für das Hörschadensrisiko**

Jürgen H. Maue

BIA-Report 3/88

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

TELEFAX: (02241) 231-333

TELEX: 889 460 BIA D

BTX: *20299#

Inhalt

		Seite
	Zusammenfassung	5
	Summary	6
1	Einleitung	7
2	These zum Prinzip der Energieäquivalenz	10
3	Meß- und Beurteilungsverfahren für Impuslärn	13
3.1	Energieäquivalenter Dauerschallpegel	13
3.2	"Impuls"-bewerteter Mittelungspegel nach DIN 45 645	17
3.3	Dresdener Modell nach Kraak und Mitarbeitern	20
3.4	CHABA-Kriterium	23
3.5	Pfander-Verfahren	26
3.6	Sonstige Meß- und Bewertungsverfahren	29
3.7	Diskussion und Vergleich der bestehenden Meß- und Beurteilungsverfahren	31
4	Kenntnisstand zur Wirkung von Impuslärn	33
4.1	Grundlagen	33
4.1.1	Schädigungsmechanismus	33
4.1.2	Stapediusreflex	35
4.1.3	Frequenzbewertung im Hinblick auf die Gehörschädlichkeit	36
4.1.4	Studientypen zur Untersuchung der Lärnwirkung auf das Gehör	39
4.1.4.1	Tierexperimente	39
4.1.4.2	TTS-Studien	40
4.1.4.3	Retrospektive Studien	41
4.2	Ergebnisse aus Tierexperimenten	42
4.3	Ergebnisse aus TTS-Studien	45
4.4	Ergebnisse aus retrospektiven Studien	50
4.4.1	Anforderungen an retrospektive Studien	50
4.4.2	Ergebniskategorien retrospektiver Studien	58
4.4.2.1	Untersuchungen der Ergebniskategorie a	62
4.4.2.2	Untersuchungen der Ergebniskategorie b	67
4.4.2.3	Untersuchungen der Ergebniskategorie c	78
4.4.2.4	Untersuchungen der Ergebniskategorie d	87
4.5	Zusammenfassung der Literaturlauswertung	90
5	Untersuchung der Gehörschädlichkeit von Impuslärn an Baustellenarbeitsplätzen	95
5.1	Lösungsansatz	95
5.2	Messung und Bewertung der Impuslärnbelastung für ausgewählte Bauberufe	97
5.2.1	Auswahl der zu erfassenden Bauberufe	97
5.2.2	Meßmethodik	99
5.2.2.1	Tätigkeitsprofile	99
5.2.2.2	Meßdurchführung und Auswertung	100
5.2.3	Meßverfahren, Meßgerätetechnik	102
5.2.3.1	Allgemeine Anforderungen	102
5.2.3.2	Konzept für ein Geräuschmissionsmeßverfahren mit Schalldosimetern	104

	Seite
5.2.3.3 Fehlerbetrachtung	114
5.2.3.3.1 Meßgerätefehler	114
5.2.3.3.2 Körpereinfluß	117
5.2.3.3.3 Einfluß von Erschütterungen und Reibung	122
5.2.3.3.4 Einfluß von Luftströmungen	123
5.2.3.3.5 Vergleichsmessungen an realen Arbeitsplätzen	125
5.2.3.3.6 Zusammenfassung der Fehlerbetrachtung	127
5.2.4 Vorbereitung und Durchführung der Lärmmessungen	128
5.2.5 Auswerteverfahren	130
5.2.5.1 Berechnen der Tagesmittelungspegel	130
5.2.5.2 Beschreibung der Lärmbelastung für ein Berufsbild	130
5.2.6 Ergebnisse der Lärmmessungen	133
5.2.6.1 Lärmbelastung der einzelnen Tätigkeitsprofile	133
5.2.6.2 Lärmbelastung für die unterschiedenen Bauberufe	141
5.3 Prüfen der Ergebnisse im Hinblick auf die Annahmen des Lösungsansatzes	144
5.3.1 Interindividuelle Belastungsunterschiede	145
5.3.1.1 Persönlicher Arbeitsstil und Arbeitsleistung	145
5.3.1.2 Fremdgeräuscheinwirkung und Raumakustik	146
5.3.1.3 Baumaterial und Werkzeug	146
5.3.1.4 Arbeitsaufgabe	147
5.3.1.5 Zusammenfassung der Auswertungen zu interindividuellen Belastungsunterschieden	150
5.3.2 Historische Änderung der Lärmbelastung	151
5.3.3 Gehörschützer	156
5.4 Auswertung der Hörverlustdaten	157
5.4.1 Datenmaterial	157
5.4.2 Hörverlustmodell der ISO 1999	159
5.4.3 Modellrechnungen zur Bestimmung des schädigungs- äquivalenten Dauerschallpegels	161
5.4.4 Ergebnisse der Modellrechnungen	166
5.5 Diskussion der These der Energieäquivalenz auf der Grundlage der für Bauberufe gewonnenen Ergebnisse	174
6	Schlußfolgerungen
	180
7	Schrifttum
	183
Anhang 1	verwendete Kurzzeichen
	203
Anhang 2	Beschreibung der Tätigkeitsprofile
	206

Zusammenfassung

Als Ausgangspunkt für die Erörterung und Untersuchung der Frage der Beurteilung des Hörschadensrisikos bei Impulslärmbelastungen an Arbeitsplätzen geht die Arbeit von der Hypothese aus, daß der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq} die am besten geeignete Meßgröße ist, um das Schädigungsrisiko für langjährige Lärmeinwirkungen am Arbeitsplatz zu beschreiben (Energieprinzip).

Anhand der vorliegenden Literatur läßt sich zeigen, daß das Energieprinzip zumindest für viele industrielle Impulsgeräusche in guter Näherung zutrifft. Oberhalb des durch den Spitzenpegel L_{peak} von 140 dB beschriebenen Grenzwertes ist jedoch mit einem davon abweichenden Wirkungsmechanismus zu rechnen, wobei schon einzelne Schallereignisse durch eine mechanische Überlastung der Innenohrhaarzellen zu bleibenden Hörminderungen führen können.

In der für vier Bauberufe durchgeführten eigenen Studie ließen sich nahezu ideale Bedingungen für eine retrospektive Untersuchung realisieren. Die unter Ansatz des Hörverlustmodells nach ISO/DIS 1999.2 aus den entsprechenden Hörverlustdaten berechneten der Schädigung entsprechenden Lärmpegel stimmen danach näherungsweise mit den jeweils gemessenen energieäquivalenten Pegeln L_{Aeq} überein. Bei Beurteilung der Lärmbelastungen auf der Grundlage der in der DIN-Normung festgelegten "Impuls"-bewerteten Messung würde das Hörschadensrisiko jedoch weit überbewertet.

Unter Einbeziehung aller Ergebnisse aus der Literatur und der eigenen Untersuchung ist festzustellen, daß keine andere Meßgröße angegeben werden kann, die das Hörschadensrisiko für Impulslärm- sowie für Dauerlärmbelastungen besser beschreibt als der energieäquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq} . Die aufgestellte These ist somit als bestätigt anzusehen.

Impulse Noise at Work Place
- The Energy Equivalent Sound Pressure Level
as Hearing Damage Risk Criterion

Summary

The hypothesis that the A-weighted equivalent continuous sound pressure level L_{Aeq} provides the best description of the risk of noise-induced hearing loss resulting from exposure to impulse noise at work places (equal energy concept), is discussed and examined.

By means of the present literature it is shown that the risk of hearing loss caused by impulse noise is in most cases in rather good agreement with the equal energy concept. At very high intensities, where the peak sound pressure level of the impulses exceeds 140 dB, one can presume a different damage mechanism and even single noise impulses may cause hearing loss by mechanical stress.

In the own study, in which the impulse noise exposure and the hearing loss in four construction professions had been analysed, nearly ideal conditions for a retrospective study could be realized. Based on the hearing loss model of ISO/DIS 1999.2 the damage equivalent sound pressure levels L_r^* of the four groups were calculated by their hearing loss data. These damage equivalent sound pressure levels L_r^* nearly conformed with the corresponding results of L_{Aeq} -measurements, whereas the "Impulse"-weighted sound pressure level according to DIN 45 645 yielded much higher values. An impulse correction of the equivalent sound pressure level L_{Aeq} therefore seems to be unjustified.

Based upon the review of the available literature and the data of the own study it can be concluded, that there is no other measured quantity, which can describe the risk of hearing loss from impulse noise and from steady state noise more exactly than the A-weighted equivalent sound pressure level L_{Aeq} . This can be considered as verification of the thesis.

1 Einleitung

Eine Gehörschädigung durch Impulslärm ist nicht erst seit der industriellen Revolution bekannt. Schon lange zuvor wurden entsprechende Schäden bei Waffenschmiedern und bei Schützen an Gewehren oder Kanonen festgestellt [111,113]. Aus dem Mittelalter wird über die weitverbreitete Taubheit der Glöckner berichtet [6,21,29].

Skrage [106] beschrieb im Jahre 1765 die Schwerhörigkeit der Kupfer- und Eisenschmiede. Nach einem 1890 veröffentlichten Bericht von Habermann [37] wurde diese Erkrankung besonders oft in Berufen mit starker Impulslärmbelastung beobachtet, wie bei den bereits erwähnten Schmiedern, bei Schlossern und Steinmetzen.

Obwohl damit die Gehörschädlichkeit von Impulslärm seit langer Zeit bekannt ist, wurden erst verhältnismäßig spät, vor etwa 20 Jahren, erste Meß- und Bewertungskriterien für Impulslärm entwickelt. Während sich die ersten Untersuchungen auf die Wirkung von Waffenlärm beschränkten [88,120], wurden in späteren Studien auch verschiedene Arten von industriellem Impulslärm hinsichtlich ihrer Gehörschädlichkeit analysiert (siehe z.B. [66]).

Trotz der inzwischen vorliegenden zahlreichen Veröffentlichungen besteht auch heute noch keine Einigkeit in der "gehörrechtlichen" Messung und Bewertung von Impulslärm. Das zeigen entsprechende Diskussionen auf internationalen Fachkongressen. So schließt zum Beispiel die Ergebniszusammenfassung des 1980 in Malmö zu dieser Thematik durchgeführten internationalen Fachsymposiums [145] mit der Feststellung, daß der derzeitige Kenntnisstand nicht ausreicht, um ein allgemeingültiges Beurteilungskriterium für Impulslärm festzulegen. In den bestehenden nationalen und internationalen Richtlinien und Normen zur Lärmmessung wird die Messung und Bewertung von Impulslärm deshalb oft ausgeklammert oder nicht eindeutig geregelt [40,140]. In den meisten europäischen Ländern schließt der für Dauerlärm erprobte

energieäquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq} auch die Beurteilung von Impulslärm an Arbeitsplätzen mit ein [40].

Abweichend davon wird in der Bundesrepublik Deutschland seit den siebziger Jahren ein Impulzzuschlag zum energieäquivalenten Dauerschallpegel angewendet, der sich aus der "Impuls"-bewerteten Pegelmittelung entsprechend DIN 45 645 Teil 2 [135] ergibt. Dieser Impulzzuschlag kann je nach Impulshaltigkeit des Geräusches unterschiedlich hoch sein. In der Regel werden Werte zwischen 3 und 10 dB ermittelt.

Die im Jahre 1986 veröffentlichte Lärmschutzrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft [131] sieht einen derartigen Zuschlag jedoch nicht vor. Impulslärm ist danach ebenso wie kontinuierlicher Dauerlärm auf der Grundlage des energieäquivalenten Dauerschallpegels zu beurteilen. Durch die bis Ende 1989 erforderliche Übernahme der EG-Richtlinie in das nationale Recht würden damit viele Arbeitsplätze in der Bundesrepublik Deutschland mit impulshaltiger Lärmbelastung hinsichtlich des Gehörschadensrisikos weit niedriger eingestuft als bisher, ohne daß sich dies durch entsprechende arbeitsmedizinische Erkenntnisse eindeutig begründen ließe. Eine wegen der noch ungeklärten Sachfragen nicht auszuschließende Fehlbeurteilung des Schädigungsrisikos dieser Beschäftigten könnte möglicherweise langfristig gesehen eine große Zahl von Gehörschadensfällen zur Folge haben, da keine geeigneten Schutzmaßnahmen ergriffen wurden. Andererseits muß es das Ziel der EG-Lärmschutzrichtlinie sein, harmonisierte Lärmschutzvorschriften in allen EG-Mitgliedsländern zu haben, um ungleichgewichtige Belastungen für die nationalen Volkswirtschaften zu vermeiden.

Für das vergleichsweise hoch entwickelte Lärmschutzsystem in der Bundesrepublik Deutschland hat deshalb die Entscheidung über die weitere Verwendung oder den Verzicht auf den Impulzzuschlag (im Hinblick auf die besondere Gehörschädlichkeit von Impulslärm) eine besondere zeitliche Dringlichkeit.

Mit dieser Arbeit soll die angesprochene Problematik mit dem Ziel der Unterstützung der Entscheidungsfindung genauer untersucht werden. Dazu seien folgende Arbeitsschritte festgelegt :

- Erfassung der bisher angewendeten Meß- und Bewertungsverfahren für Impulslärm und Vergleich der entsprechenden Grenzwertkriterien (siehe Abschnitt 3)
- Zusammenstellung und Bewertung des derzeitigen Kenntnisstandes zum Gehörschadensrisiko bei Impulslärmbelastung an Arbeitsplätzen (siehe Abschnitt 4)
- Durchführung einer eigenen retrospektiven Untersuchung zur Dosis-Wirkungs-Beziehung von Impulslärm an Baustellen-Arbeitsplätzen (siehe Abschnitt 5).

Ein Arbeitsschwerpunkt wird dabei die kritische Auseinandersetzung mit den Ergebnissen bisheriger retrospektiver Studien sein, wobei insbesondere auf die angewendete Lärmmeßtechnik einzugehen ist und zu prüfen ist, mit welcher Zuverlässigkeit die gewonnenen Meßergebnisse die Lärmbelastung für ein ganzes Berufsleben beschreiben können. Für die eigene Untersuchung ist eine Meß- und Auswertemethodik zu entwickeln, die die Erfassung der Lärmbelastung in Ohrnähe mit hoher Genauigkeit erlaubt und statistisch abgesicherte Werte der längerfristig typischen Lärmbelastung liefert. Dabei ist ebenfalls zu prüfen, ob der Ansatz dieser Werte als Lärmbelastung für das ganze Berufsleben gerechtfertigt ist.

Anhand der zusammengetragenen Ergebnisse sollte es möglich sein, ein geeignetes Maß zu finden, um das Gehörschadensrisiko für Impulslärmbelastungen in zuverlässiger Näherung zu beschreiben. Damit kann geprüft werden, ob sich nach Übernahme des energieäquivalenten Dauerschallpegels als Beurteilungsmaß für Beschäftigte auch unter Impulslärm noch ein ausreichender Schutz vor Gehörschädlichkeit ergibt.

2 These zum Prinzip der Energieäquivalenz

Bei einem im Jahr 1981 in Southampton durchgeführten internationalen Impulslärm-Kolloquium [33] wurde als Ergebnis festgehalten, daß der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel die wohl am besten geeignete Meßgröße darstellt, um das Gehörschadensrisiko für eine tägliche Belastung mit Dauerlärm adäquat beurteilen zu können. Für die Hörverlustprognose wurde auf die seinerzeit als neuer Entwurf herausgegebene ISO/DIS 1999 [140] verwiesen, die vom energieäquivalenten Pegel als Maß für die Belastung ausgeht. Es wurden keine überzeugenden Argumente gesehen, impulshaltigen Lärm anders zu behandeln als Dauerlärm, sofern der unbewertete Spitzenpegel L_{peak} der Impulse den Wert von 145 dB nicht überschreitet. Als eine Vorsichtsmaßnahme im Rahmen von Gehörvorsorgeprogrammen wollte man jedoch die Möglichkeit der Anwendung eines Impulszuschlages von 5 dB nicht ausschließen.

Aus der in Southampton gemachten Aussage sei hier eine These zum Prinzip der Energieäquivalenz abgeleitet, um damit einen Ausgangspunkt für die Diskussion der zu betrachtenden Untersuchungsergebnisse zu schaffen (siehe explizite Formulierungen auf der folgenden Seite). Mit dem Ansatz des energieäquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} als Meßgröße ist zugleich eine Vergleichsgrundlage festgelegt, die eine Gegenüberstellung mit den verschiedenen bekannten Meß- und Bewertungsverfahren für Impulslärm ermöglicht. Damit bleibt aber auch noch die Möglichkeit offen, je nach Ergebnis der Diskussion eine Korrektur der gewählten Meßgröße L_{Aeq} zur Beurteilung von Impulslärm vorzunehmen und ggf. eine andere Meßgröße vorzuschlagen, die diesem korrigierten Wert entspricht.

Die These der für die Gehörschädigung maßgebenden Schallenergie ist nicht neu. Sie wurde vermutlich erstmalig im Jahre 1955 aufgestellt. Eldred et al. [25] postulierten damals, daß der gleiche Betrag der auf das Ohr auftreffenden Schallenergie auch jeweils den gleichen Betrag an Hörverlust bewirkt.

Diese für Dauerlärmeinwirkung formulierte These wurde von Atherley und Martin [5] im Jahre 1971 auch auf Impulslärm übertragen. Außerdem wurde dabei die A-bewertete Erfassung der Schallenergie vorgesehen. Deshalb handelt es sich hier genaugemommen nicht mehr um ein "reines" Energieprinzip, da tiefe und hohe Frequenzanteile der Schallenergie durch die A-Bewertung unterdrückt werden.

Die o.g. Ansätze gehen als "Gesamtenergie"-Konzepte allerdings über die Aussagen von Southampton hinaus, da sie überhaupt keine zeitliche Verteilung der Schallenergie berücksichtigen, beispielsweise auch nicht die für die Hörerhöhung bedeutsame Lärmpause nach der Arbeit (siehe zum Beispiel [124]). Die dort als "Energieprinzip" bzw. "Prinzip der Energieäquivalenz" aufgestellten Thesen können deshalb in Anpassung an neuere Erkenntnisse und die in Southampton festgehaltenen Ergebnisse in modifizierter Darstellung als neue These formuliert werden:

- Der für den typischen Arbeitstag bestimmte A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq} ist die am besten geeignete Meßgröße, um das Hörschadensrisiko für eine langjährige regelmäßige Lärmeinwirkung an industriellen Arbeitsplätzen zu beschreiben.
- Eine Unterscheidung zwischen Dauerlärm und Impulslärm ist im Hinblick auf die Gehörschädlichkeit nicht erforderlich, sofern die Spitzenpegel L_{peak} der Impulse den Wert von 145 dB nicht überschreiten.

Diese These beinhaltet die Annahme, daß zwischen den einzelnen arbeitstäglichen Lärmbelastungen jeweils die üblichen Erholungsphasen bestehen. Die Lärmbelastung an den einzelnen Arbeitstagen sollte dabei nicht zu sehr differieren. Entsprechend ISO/DIS 1999.2 [140] kann für den lautesten Tag ein Mittelungspegel L_{Aeq} toleriert werden, der um bis zu 10 dB(A) über der für eine längere Zeitspanne bestimmten durchschnittlichen Lärmbelastung liegt.

Der zeitliche Charakter des Geräusches während der Arbeitsschicht, d.h. die zeitliche Pegelverteilung über den Tag und die Impulshaltigkeit, werden als bedeutungslos für die Wirkung auf das Gehör angenommen. Maßgebend ist nur der energieäquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq} .

Als einzige Einschränkung für die Geräuschzusammensetzung ist die Begrenzung auf den Pegelbereich bis zu Spitzenwerten L_{peak} von 145 dB anzusehen. Damit werden extrem hohe Impulslärmbelastungen, wie z.B. Explosionsknalle, die schon als Einzelereignisse Gehörschäden verursachen können, ausgeschlossen. Der übliche industrielle Impulslärm liegt jedoch erfahrungsgemäß innerhalb des festgelegten Geltungsbereiches (siehe z.B. [47]).

Da die aufgestellte These gleichermaßen für Dauerlärm wie für Impulslärm gelten soll, bedarf es genau genommen keiner strengen Abgrenzung dieser beiden Lärmarten. Zum Verständnis dieser hier häufig benutzten Begriffe reicht es aus, wenn man Geräusche mit wiederholten heraushörbaren kurzen Schallereignissen (Impulsen) dem Impulslärm und alle anderen Geräusche dem Dauerlärm zuordnet. Unter Dauerlärm sind also auch Geräusche mit schwankendem Pegel zu verstehen, sofern keine zusätzlichen Lärmimpulse auftreten.

Erfahrungsgemäß kann man die hier unterschiedenen Lärmarten mit Hilfe des Impulzzuschlages K_I nach DIN 45 645 [135] recht gut beschreiben. Alle Geräusche mit Impulzzuschlägen K_I bis zu 2 dB(A) werden der Kategorie Dauerlärm und Geräusche mit Impulzzuschlägen von 3 dB(A) und mehr der Kategorie Impulslärm zugeordnet.

3 Meß- und Beurteilungsverfahren für Impulslärm

Für die Messung und Bewertung von Impulslärm finden sich in der Literatur viele unterschiedliche Verfahren und Grenzkriterien, die sich zum Teil auf umfangreiche arbeitsmedizinische Untersuchungen abstützen.

Vor der Erörterung dieser Untersuchungen seien hier zunächst die entsprechenden Meßverfahren und Grenzwertkriterien vorgestellt und mit dem in der These als Maß für die Gehörschädlichkeit angesetzten energieäquivalenten Dauerschallpegel L_{Aeq} verglichen.

3.1 Energieäquivalenter Dauerschallpegel

Der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq} hat sich allgemein als Maß zur Beurteilung von Dauergeräuschen oder langsam schwankenden Geräuschen eingeführt. Auf dieser Grundlage wurde das in ISO/DIS 1999.2 [140] beschriebene Hörverlustmodell aus entsprechenden audiometrischen Daten von Dauerlärm-belasteten Beschäftigten abgeleitet. Die meisten europäischen Länder haben - ausgehend von einer früheren Fassung der ISO/DIS 1999 (1975) - den energieäquivalenten Dauerschallpegel in ihre nationalen Vorschriften übernommen und die Grenzwerte dafür zwischen 85 dB und 90 dB (Türkei 95 dB) festgelegt [40]. Die Messung von Impulslärm wird dabei meist nicht angesprochen oder ausdrücklich ausgeklammert (z.B. in Belgien). Nach der im Jahre 1986 verkündeten EG-Richtlinie "LÄRM" [131] soll der energieäquivalente Dauerschallpegel sowohl zur Beurteilung von Dauerlärm als auch von Impulslärm dienen.

Zur meßtechnischen Bestimmung des energieäquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} für ein im Pegel schwankendes Geräusch empfiehlt sich die Verwendung eines integrierenden Schallpegelmessers nach DIN/IEC 804 [137].

Je nach Ausführung des Meßgerätes kann der L_{Aeq} -Wert durch eine direkte Integration des quadrierten Schalldruckes entsprechend folgender Gleichung :

$$(1) \quad L_{Aeq} = 10 \lg \left[\int_T \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right] \text{ dB}$$

oder durch Integration des zeitbewerteten Schalldruckpegels L_A in der Zeitbewertung "F" (Fast) oder "S" (Slow) entsprechend folgender Gleichung :

$$(2) \quad L_{Aeq} = 10 \lg \left[\int_T 10^{0,1L_A(t)} dt \right] \text{ dB}$$

erfolgen.

Die Mittelung des zeitbewerteten Schalldruckpegels ergibt unabhängig von der gewählten Zeitbewertung bei ausreichend langer Meßzeit gleiche Meßergebnisse, sofern die Zeitkonstanten für den Pegelanstieg und den Pegelabfall gleich sind (siehe z.B. Maue in [69]). Um auch kurze Schallimpulse im Effektivwertdetektor des Schallpegelmessers genau verarbeiten zu können, empfiehlt sich jedoch die Pegelintegration mit einer möglichst kleinen Zeitkonstanten, z.B. in der Zeitbewertung "F" (geringe Differenz zwischen Spitzenwert und zeitbewertetem Effektivwert).

Entgegen anders lautenden Aussagen verschiedener Autoren [17,101,109,110] läßt sich der energieäquivalente Dauerschallpegel mit den heutigen integrierenden Schallpegelmessern auch für sehr kurze Schallimpulse von wenigen Millisekunden Dauer sehr genau erfassen, wie durch eigene Untersuchungen nachgewiesen werden konnte [69].

Nach der oben gegebenen Definition des energieäquivalenten Dauerschallpegels folgt diese Meßgröße konsequent dem Prinzip der Energieäquivalenz, d.h. zum Beispiel, daß eine Pegelerhöhung um 3 dB einer Energieverdoppelung entspricht und damit eine Halbierung der Belastungszeit erforderlich macht, wenn sich die Gesamtbelastung nicht erhöhen soll (Halbierungsparameter $q = 3$).

Abweichend davon wird der "energieäquivalente" Dauerschallpegel in den USA, Kanada und einigen südamerikanischen Ländern mit einem Halbierungsparameter von $q = 5$ bestimmt [7]. Einem gegebenen Grenzwert von z.B. 90 dB für 8 Stunden entspricht dort eine Belastung von 95 dB für 4 Stunden oder 100 dB für zwei Stunden. Lärmimpulse tragen bei diesem Verfahren also in geringerem Maße zum Beurteilungspegel bei.

In dieser Arbeit wird unter dem energieäquivalenten Dauerschallpegel jeweils die entsprechend der oben genannten Definition mit einem Halbierungsparameter $q = 3$ bestimmte Meßgröße verstanden, wenn nicht ausdrücklich ein anderer Halbierungsparameter genannt wird.

Energiekriterien nach Atherley und Martin :

Da bis vor rund 10 Jahren noch keine geeigneten Meßgeräte für die genaue energiemäßige Erfassung von Impulslärm verfügbar waren [114], konzipierten Atherley und Martin im Jahre 1971 ein Verfahren, um den energieäquivalenten Dauerschallpegel aus der oszillographischen Aufzeichnung von Schallimpulsen bestimmen zu können [5]. Das Verfahren geht von exponentiell abklingenden Schallimpulsen und vernachlässigbar geringen Grundgeräuschpegeln aus. Die A-Bewertung wird dabei durch eine experimentell ermittelte Pegelkorrektur berücksichtigt. Zur Berechnung des A-bewerteten energieäquivalenten Dauerschallpegels sind die Kenngrößen Spitzenpegel L_{peak} , Impulsdauer bzw. Pegelabfall und die Anzahl der Impulse in eine dafür entwickelte Formel einzusetzen. Dieses Konzept wurde mehrfach erprobt und bildet auch die Grundlage neuerer Bewertungsverfahren [17].

Aus heutiger Sicht scheint dieses Verfahren jedoch nicht mehr ganz zeitgemäß. So muß man bei der Anwendung mit größeren Unsicherheiten rechnen, da die Voraussetzungen des Lösungsansatzes, z.B. der Abklingverlauf der Impulse, für realen Impulslärm in Werkstätten meist nicht gelten (siehe z.B. [82]) und die pauschale Pegelkorrektur für die A-Bewertung nur für bestimmte Impulse zutreffen kann. Da die heute verfügbaren leistungsfähigen integrierenden Schallpegelmesser den Energieinhalt von Impulslärm sehr genau erfassen, kann man auch aus diesem Grunde auf die aufwendige Auswertetechnik gut verzichten.

3.2 "Impuls"-bewerteter Mittelungspegel nach DIN 45 645

Nach DIN 45 645 Teil 2 [135] ist als Maß zur Beurteilung von Impusllärm an Arbeitsplätzen der mittlere "Impuls"-bewertete A-Schalldruckpegel zu bestimmen. Dieser Meßwert ergibt sich durch Schallpegelmittelung entsprechend folgender Gleichung :

$$(3) \quad L_{AIm} = 10 \lg \left[\int_T 10^{0,1L_{AI}(t)} dt \right] \text{ dB}$$

mit L_{AI} = A-bewerteter Schalldruckpegel
in der Zeitbewertung "I"

Aus dem verzögerten Rücklauf der Schallpegelmesserazeige in der Zeitbewertung "I" resultiert bei Impulsgeräuschen ein höherer Meßwert als bei energieäquivalenter Integration. Die Differenz zwischen dem "Impuls"-bewerteten Mittelungspegel L_{AIm} und dem energieäquivalenten Dauerschallpegel L_{Aeq} ist als Impulzzuschlag K_I definiert :

$$(4) \quad K_I = L_{AIm} - L_{Aeq}$$

Der Beurteilungspegel nach DIN 45 645 Teil 2 beinhaltet also einen Zuschlag gegenüber dem energieäquivalenten Dauerschallpegel, der einer angenommenen größeren Gehörschädlichkeit von Impusllärm Rechnung tragen soll. Dieser Zuschlag fällt je nach Charakter des Impulsgeräusches unterschiedlich hoch aus, wie auch der nachfolgende Vergleich der Meßwerte L_{AIm} und L_{Aeq} zeigt. Bei orientierenden Messungen kann der Zuschlag je nach Impulshaltigkeit des Geräusches mit 3 dB oder 6 dB abgeschätzt werden.

Vergleich des "Impuls"-bewerteten Mittelungspegels mit dem energieäquivalenten Dauerschallpegel

Zur Veranschaulichung des Unterschiedes des "Impuls"-bewerteten Mittelungspegels L_{AIm} zum energieäquivalenten Dauerschallpegel L_{Aeq} sei hier ein regelmäßiges Impulsgeräusch angenommen. Abbildung 1 zeigt im oberen Teil dieses Geräusch, dargestellt als Effektivwert eines A-bewerteten Impulssignals, das sich aus Impulsen der Dauer T_1 mit zugehörigen Pulspausen der Dauer T_2 zusammensetzt. Für dieses Impulsgeräusch läßt sich die Differenz zwischen den Mittelungspegeln L_{AIm} und L_{Aeq} bestimmen, indem man - unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Zeitkonstanten in der Zeitbewertung "I" - jeweils über den Pegelanstieg (T_1) und den Pegelabfall (T_2) integriert und davon den energetischen Mittelwert des Impulssignals subtrahiert. Die Differenz (Impulzzuschlag) ergibt sich damit als eine Funktion der Impulsdauer T_1 und der Impulspause T_2 zu :

$$(5) \quad K_I = 10 \lg \left(\frac{T_1 + 1,465 \cdot A - 1,5 \cdot A \cdot B}{T_1 - 0,035 \cdot A \cdot C} \right) \quad \text{dB}$$

mit

$$A = 1 - e^{-\frac{T_1}{0,035}}$$

$$B = e^{-\frac{T_2}{1,5}}$$

$$C = e^{-\frac{T_2}{0,035}}$$

Diese Gleichung läßt sich in das in Abbildung 1 gezeigte Diagramm überführen, in dem der Zeitabstand von Impuls zu Impuls (Impulspause T_2) als Parameter gewählt wurde.

Das Bild zeigt, daß sich beide Meßgrößen L_{AIm} und L_{Aeq} bei extrem kurzen Impulsen und großen zeitlichen Abständen der Einzelimpulse um bis zu etwa 16 dB unterscheiden können, was auch eigene Messungen an Bolzensetzwerkzeugen bestätigen [69].

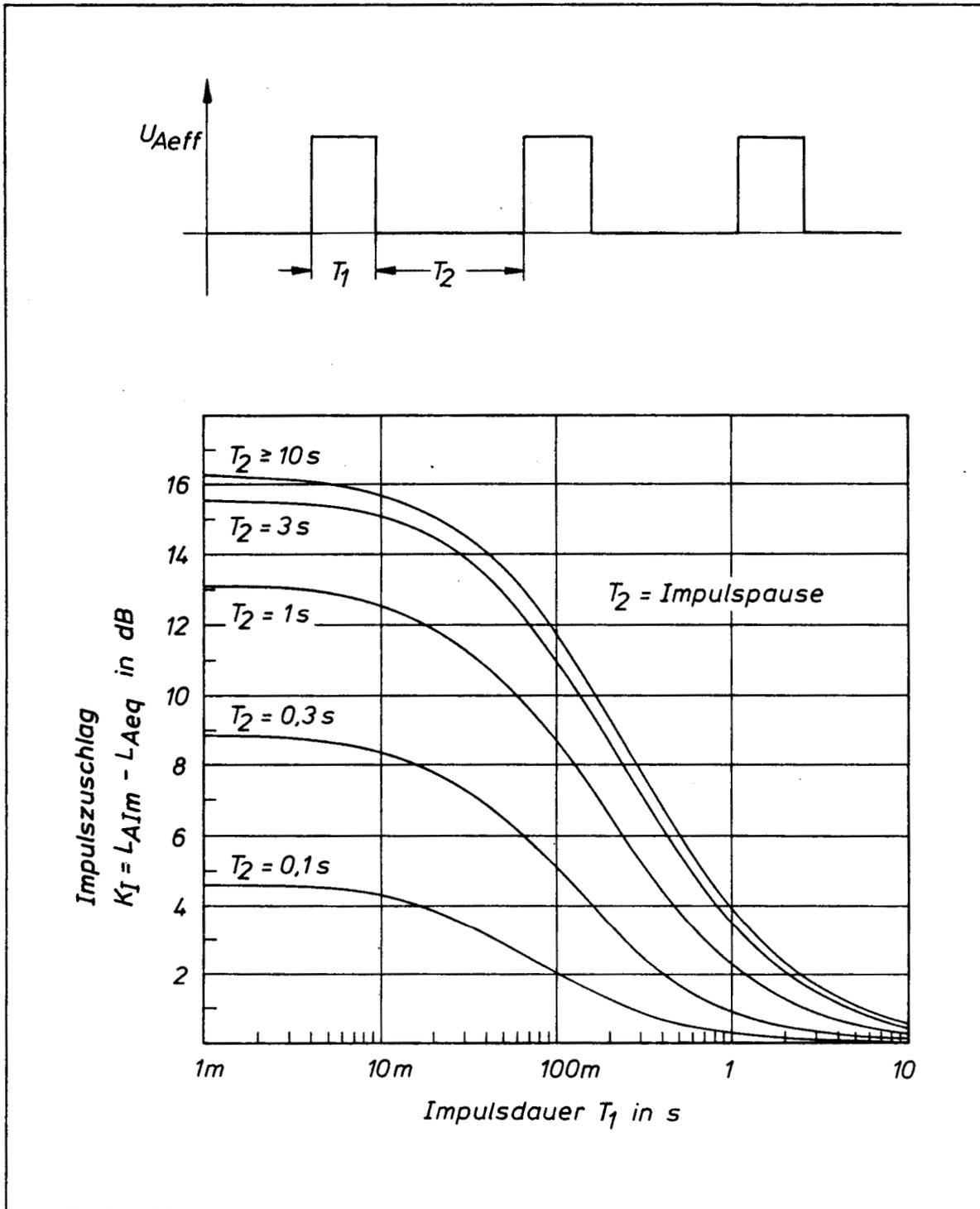


Abbildung 1 :

Impulszuschlag K_I für ein angenommenes regelmäßiges Impulsgeräusch in Abhängigkeit der Impulsdauer T_1 und der Impulspause T_2

Mit zunehmender Impulsdauer und bei geringeren Zeitabständen der Einzelimpulse vermindern sich allerdings die Differenzen bzw. Impulszuschläge. Erfahrungsgemäß liegen die Impulszuschläge bei den meisten industriellen Impulsgeräuschen zwischen etwa 3 und 8 dB.

Für Dauerlärm (T_1 ist groß, bzw. T_2 klein) geht der Impulzzuschlag nach Abbildung 1 gegen Null, d.h. der "Impuls"-bewertete Mittelungspegel L_{AIm} und der energieäquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq} stimmen zahlenmäßig überein.

Die hier rechnerisch abgeleiteten Zusammenhänge wurden auch meßtechnisch mit einem integrierenden Präzisionsschallpegelmessgerät bestätigt. Dazu wurden Tonpulse der Frequenz von 10 kHz mit den entsprechenden Impulsdauern T_1 und Impulspausen T_2 erzeugt und elektrisch in das Schallmeßgerät eingespeist.

3.3 Dresdener Modell nach Kraak und Mitarbeitern

Verschiedene an der Technischen Universität Dresden von Kraak und Mitarbeitern durchgeführte Untersuchungen [6,36,54,91] kommen zu dem Ergebnis, daß die gehörschädigende Wirkung von Lärm am besten durch eine vom Betrag des A-bewerteten Schalldruckes $p_A(t)$ abhängige Dosisgröße D zu beschreiben ist :

$$(6) \quad D = \int_T | p_A(t) | dt$$

Dieser Zusammenhang wird sowohl für kontinuierliche Dauergeräusche [32] als auch für impulshaltige Geräusche [6] nachgewiesen. Der hier als Maß für die Gehörschädlichkeit eingeführte Betragsmittelwert des Schalldruckes bzw. der daraus abgeleitete Pegel kann je nach Geräusch wesentlich von dem bei der üblichen L_{eq} -Meßtechnik gebildeten quadratischen Mittelwert abweichen (siehe Gegenüberstellung im folgenden Abschnitt).

Ausgehend von gemessenen energieäquivalenten Dauerschallpegeln lassen sich nach Kraak unter Berücksichtigung dieser Abweichungen die für eine lärmbelastete Population zu erwartenden Hörverluste auf verhältnismäßig einfache Weise mit Hilfe eines Nomogramms bestimmen [55].

Vergleich des Betragsmittelwertes mit dem energieäquivalenten Dauerschallpegel :

Zur Unterscheidung des Betragsmittelwertes vom Effektivwert (quadratischer Mittelwert) des Schalldruckes und der daraus abgeleiteten Pegel wählt Kraak folgende Kennzeichnung.

Betragsmittelwert:

$$(7) \quad \bar{p} = \frac{1}{T} \int |p(t)| dt$$

$$(8) \quad \text{bzw.} \quad \bar{L} = 20 \lg \frac{\bar{p}}{p_0} \quad \text{dB}$$

Effektivwert:

$$(9) \quad \tilde{p} = \frac{1}{T} \sqrt{\int p^2(t) dt}$$

$$(10) \quad \text{bzw.} \quad \tilde{L} = 20 \lg \frac{\tilde{p}}{p_0} \quad \text{dB}$$

Die Differenz der beiden Mittelungspegel \bar{L} und \tilde{L} hängt vom jeweiligen Geräuschcharakter ab. Bei kontinuierlichen Geräuschen ergibt der durch Betragsmittelung gebildete Pegel \bar{L} nach [55] etwa 2 dB niedrigere Werte als der durch quadratische Mittelung gebildete Pegel \tilde{L} bzw. der damit identische energieäquivalente Dauerschallpegel (ausreichend lange Mittelungsdauer vorausgesetzt). Dagegen muß man bei Impulslärm oder intermittierenden Geräuschen mit sehr viel größeren Differenzen rechnen, da bei quadratischer Mittelung einzelne Pegelspitzen und kurzzeitige hohe Schallpegel in viel stärkerem Maße in das Ergebnis eingehen. Die Abbil-

Abbildung 2 aus [55] zeigt die für Impulsgeräusche zu erwartende Differenz zwischen dem energieäquivalenten Mittelungspegel L_{eq} und dem durch betragsmäßige Mittelung gebildeten Pegel L in Abhängigkeit von der Impulsdauer τ bzw. der B-Dauer t_B nach CHABA (siehe Abschnitt 3.4) und dem Zeitabstand der Impulse T . Als Parameter wurde dabei die Differenz zwischen dem Quasi-Spitzenwert ($L_G \approx L_{peak} - 5 \text{ dB}$) und dem Hintergrundgeräusch L_H gewählt :

$$(11) \quad \Delta \hat{L} \approx L_{peak} - L_H - 5 \text{ dB.}$$

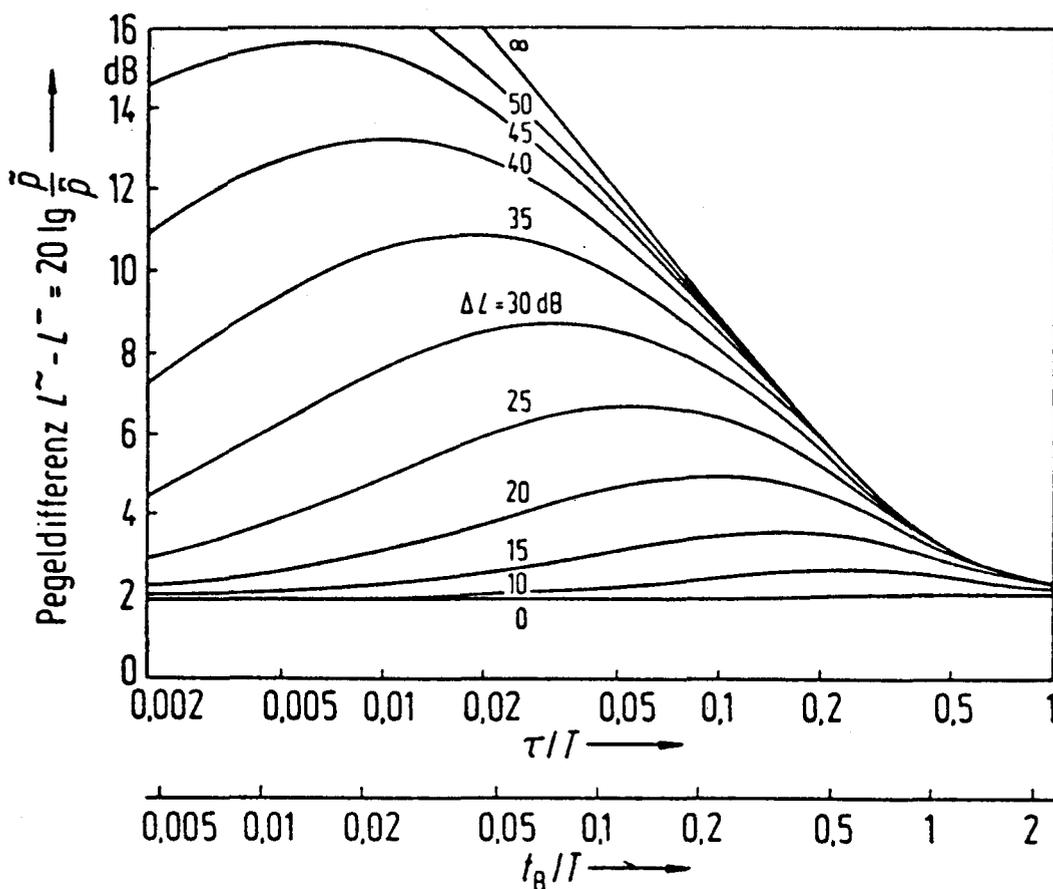


Abbildung 2 :

Schalldruckpegeldifferenz $\tilde{L} - \bar{L}$ als Funktion der Impulsdauer τ bzw. t_B bezogen auf den Zeitabstand T der Impulse; nach [55]

- \tilde{L} - Pegel des Effektivwertes des Schalldruckes
- \bar{L} - Pegel des Beitragsmittelwertes des Schalldruckes
- $\Delta \hat{L}$ - Differenz des Pegels des Quasispitzenwertes und des Pegels des Hintergrundgeräusches

Die für in der Frequenz unbewertete Pegel abgeleiteten Differenzen gelten ebenso für A-bewertete Pegel. Wie diese Graphik erkennen läßt, kann sich das von Kraak empfohlene Beurteilungsmaß \bar{L} - insbesondere bei kurzen Lärmimpulsen und kurzen zeitlichen Abständen der Einzelimpulse in Verbindung mit niedrigen Grundgeräuschpegeln - um mehr als 10 dB von dem energieäquivalenten Dauerschallpegel L_{Aeq} unterscheiden. Die Gehörschädlichkeit von Impuslärme wäre danach geringer einzuschätzen als bei Dauerlärm vom gleichen energieäquivalenten Pegel L_{Aeq} .

Kraak geht davon aus, daß das Hintergrundgeräusch bei den meisten industriellen Impulsgeräuschen nur etwa 25 dB unter den Spitzenwerten L_{peak} liegt und folgert daraus, daß die Fehleinschätzung bei der Beurteilung von Impulsgeräuschen auf der Grundlage des energieäquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} in der Regel nur etwa 3 dB beträgt.

3.4 CHABA-Kriterium

Basierend auf für Schießlärmbelastungen gewonnenen Ergebnissen von Coles, Garinther, Hodge und Rice wurde vom "Committee on Hearing, Bioacoustics and Biomechanics" (CHABA) im Jahre 1968 eine Methode zur Impuslärmebeurteilung vorgeschlagen [120]. Heute findet dieses als CHABA-Kriterium bekannte Verfahren vor allem im britisch-amerikanischen Militärbereich bei der Beurteilung von Schießlärm Anwendung. Es wird aber auch vielfach zur Beurteilung von Arbeitslärm empfohlen [16,44,92].

Die Lärmeurteilung nach CHABA erfordert eine oszillographische Auswertung der Lärmimpulse, bei der der Spitzenpegel L_{peak} und eine definierte Einwirkdauer zu bestimmen sind. Wie Abbildung 3 zeigt, hat man bei der Ermittlung der Einwirkdauer zwei prinzipielle Impulstypen zu unterscheiden, aus denen entweder die A-Dauer oder die B-Dauer auszumessen sind.

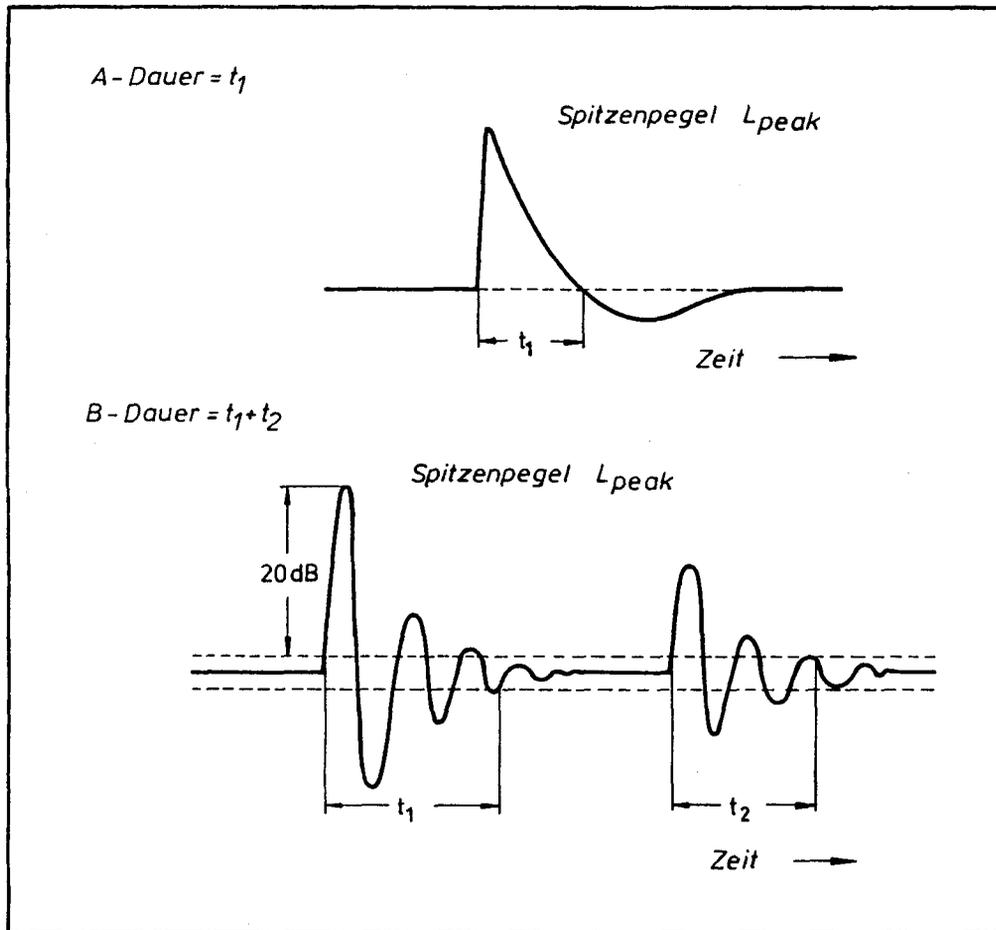


Abbildung 3 :

Unterscheidung zweier Impulsformen nach CHABA [120]
und Bestimmung der entsprechenden Einwirkdauern

Mit der Einwirkdauer und dem Spitzenpegel lässt sich nach zwei Diagrammen die je Tag maximal zulässige Impulszahl bestimmen, deren Einhaltung bleibende Hörverluste vermeiden soll (Grenzwertkriterium). Den Diagrammen liegt ein Halbierungsparameter von $q = 2$ für die Dauer der Impulse und von $q = 1,5$ für die Anzahl der Impulse zugrunde.

Vergleich des CHABA-Kriteriums mit dem Energie-Kriterium

Ein von Martin [66] im Jahre 1975 durchgeführter Vergleich des CHABA-Verfahrens mit dem Energieprinzip zeigt, daß sich bei Ansatz eines L_{Aeq} -Wertes von 90 dB(A) im Pegelbereich um 150 dB (peak) eine gute Übereinstimmung beider Kriterien ergibt (siehe Abbildung 4). Bei dem für Schießlärm üblichen Spitzenpegeln von 160 dB entspräche das CHABA-Kriterium jedoch eher einem L_{Aeq} -Wert von rund 85 dB.

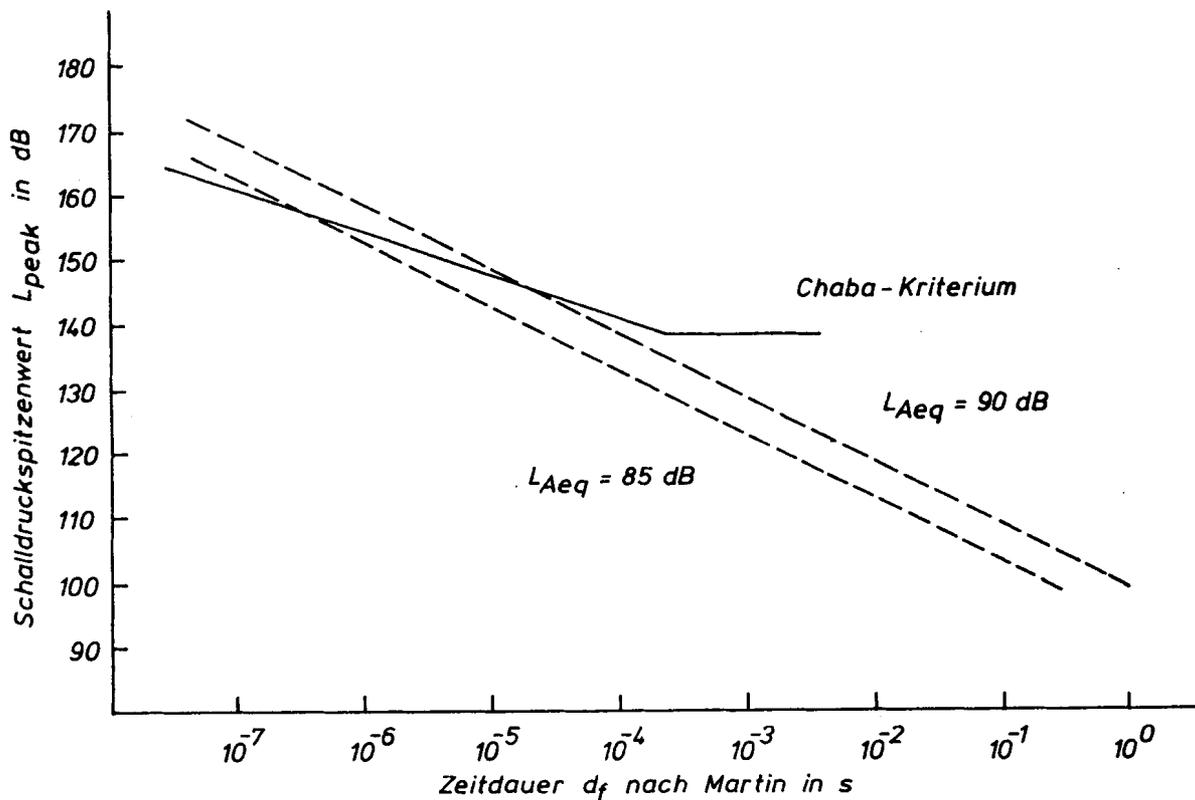


Abbildung 4 :

Vergleich des CHABA-Kriteriums mit dem Energie-Kriterium
(nach Martin [66])

Da dem CHABA-Verfahren vom Energieprinzip abweichende Hal-
bierungsparameter von $q = 2$ für die Dauer und $q = 1,5$ für
die Anzahl der Impulse zugrunde liegen, kann das Beurtei-
lungsergebnis nach diesem Verfahren nur jeweils in einem
begrenzten Pegelbereich mit einem Energiekriterium überein-

stimmen. Wie in einer eigenen Untersuchung erläutert und meßtechnisch nachgewiesen [67], ergeben sich nach CHABA bei niedrigeren Spitzenpegeln L_{peak} unverhältnismäßig hohe zulässige Impulszahlen, entsprechend einem energieäquivalenten Dauerschallpegel L_{Aeq} von weit über 90 dB. Da für Geräusche in diesem Pegelbereich mit hoher Wahrscheinlichkeit eine gehörschädigende Wirkung anzunehmen ist, ist das CHABA-Verfahren zur Beurteilung von Impulslärm an üblichen industriellen Arbeitsplätzen mit Sicherheit ungeeignet. Obwohl dies auch von Coles und Rice erkannt und bereits 1970 veröffentlicht wurde [19] fand ein vorgeschlagenes korrigiertes Verfahren zur Anpassung des CHABA-Kriteriums an den niedrigeren Pegelbereich und an Dauerlärm offenbar keine allgemeine Anwendung.

3.5 Pfander-Verfahren

Zur Beurteilung von hohen Lärmimpulsen wird in der Literatur häufig ein von Bürck entworfenes und von Pfander angepaßtes Verfahren vorgeschlagen [30,110,117], das im deutsch-französischen Militärbereich Anwendung findet. Dieses Verfahren geht wie das CHABA-Verfahren von der oszillographischen Aufzeichnung des unbewerteten Schalldruckimpulses aus, um daraus den Spitzenpegel L_{peak} und eine willkürlich definierte Wirkzeit t_w zu bestimmen [84] (siehe Abbildung 5). Aus den beiden Kenngrößen Spitzenpegel L_{peak} und Wirkzeit t_w läßt sich mit Hilfe eines Diagrammes die pro Tag maximal zulässige Impulszahl N_{pf} ermitteln (Grenzkriterium). Da diese graphische Auswertung verhältnismäßig umständlich und fehlerbehaftet ist, sei hier die aus der Grenzkurve entwickelte Rechenformel zur Bestimmung der zulässigen Impulszahl N_{pf} angegeben:

$$(12) \quad N_{Pf} = \frac{10^{16,5}}{10^{0,1 L_{peak}} \cdot t_w}$$

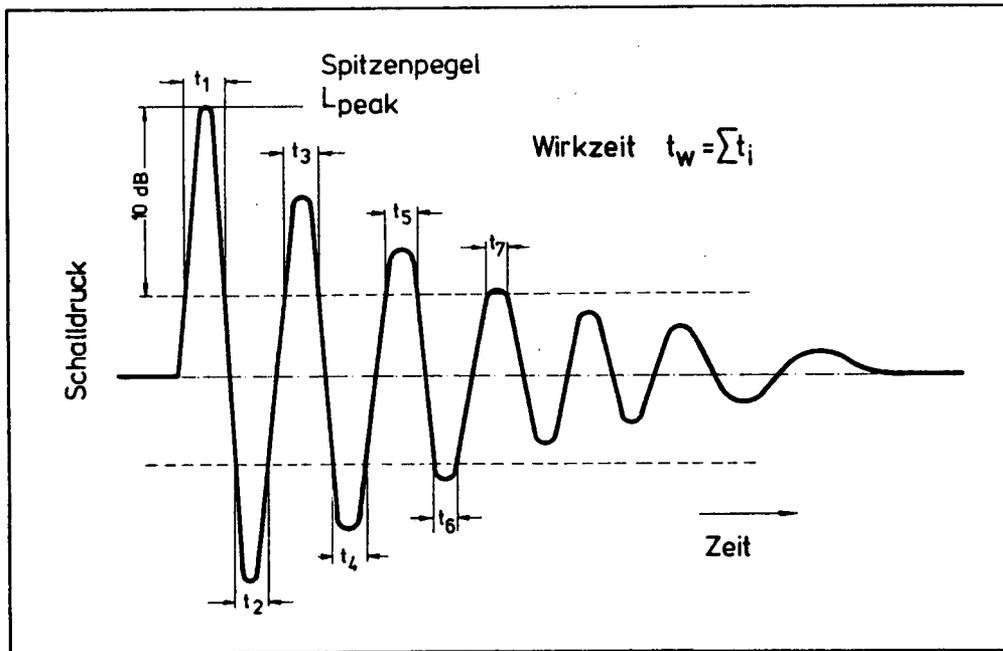


Abbildung 5 :

Bestimmen der Wirkzeit nach Pfander [84] für einen angenommenen oszillographisch aufgezeichneten Schallimpuls

Näherungsverfahren nach Frick/Geinoz :

Zur Annäherung des Beurteilungsergebnisses nach Pfander wurde von Frick und Geinoz ein vereinfachtes Meß- und Beurteilungsverfahren konzipiert [30]. Dieses Verfahren basiert auf der Erkenntnis, daß sich der Energieinhalt eines kurzen Einzelimpulses (Impulsdauer $t \leq 7\text{ ms}$) näherungsweise durch den in der Zeitbewertung "I" gemessenen Maximalpegel erfassen läßt.

Aus dem maximalen Impulspegel $L_{AI_{max}}$ des einzelnen Impulses kann nach Frick/Geinoz mit Hilfe einer empirisch bestimmten Gleichung unmittelbar die zulässige Impulszahl (entsprechend dem Pfander-Kriterium) berechnet werden.

Bei A-bewerteter Messung gilt folgender Ansatz :

$$(13) \quad N = \frac{10^{14,31}}{10^{0,1L_{A\text{Imax}}}}$$

Die von Frick und Geinoz für unterschiedliche Impulse nachgewiesene gute Übereinstimmung der Ergebnisse mit der Auswertung nach Pfander konnte auch durch eigene Messungen an Bolzensetzwerkzeugen bestätigt werden [69].

Vergleich des Pfander-Verfahrens mit dem Energie-
Kriterium :

Das Pfander-Verfahren geht von der Annahme aus, "daß bei Knallbelastungen die im Schallvorgang enthaltene Schallenergie für die physiologische Beurteilung maßgeblich ist" [84]. Da jedoch seinerzeit vermutlich keine geeigneten integrierenden Meßgeräte zur Erfassung der Schallenergie von Kurzzeitimpulsen zur Verfügung standen, hat man beim Entwurf dieses Verfahrens auf die sekundären Kenngrößen "Spitzenschalldruckpegel" und "Wirkdauer" zurückgegriffen. Bei der Entwicklung der auf diesen Größen aufbauenden Grenzkurve wurde der Grundgedanke der Energieäquivalenz beibehalten, d.h. der Halbierungsparameter für die Impulshöhe und die Impulsdauer wurde mit $q = 3$ festgelegt.

Deshalb ist es plausibel, daß sich das Pfander-Verfahren in seiner mehrfach angepaßten Form auch wieder auf ein äquivalentes Schallenergiekriterium zurückführen läßt. Mit dem von Frick und Geinoz [30] vorgeschlagenen Verfahren ist eine gute Annäherung an das Pfander-Kriterium möglich. Geringe Abweichungen sind jedoch aufgrund des unterschiedlichen Abklingverhaltens verschiedener Schallimpulse - beschrieben durch die willkürlich definierte Wirkdauer - und aufgrund unterschiedlicher Frequenzzusammensetzung der Impulse nicht auszuschließen.

Wie in einer eigenen Untersuchung [69] meßtechnisch und rechnerisch nachgewiesen wurde, entspricht die Bewertung nach Pfander bzw. die Auswertung nach Frick/Geinoz in guter Näherung einem A-bewerteten energieäquivalenten Dauerschallpegel von :

$$L_{Aeq,8h} = 86 \text{ dB.}$$

Damit ist das Pfander-Verfahren etwa in Einklang mit dem formulierten Energieprinzip und läßt sich durchaus durch eine direkte Schallenergiemessung mit einem integrierenden Schallpegelmesser und Ansatz des üblichen Grenzwertes von 85 dB(A) ersetzen.

3.6 Sonstige Meß- und Bewertungsverfahren

Neben den in den vorigen Abschnitten behandelten Meß- und Bewertungsverfahren gibt es in einigen Ländern zusätzliche Kriterien für die Beurteilung von Impuslärm. Vielfach wird der Spitzenpegel L_{peak} auf Werte von 140 bis 150 dB begrenzt (z.B. in Belgien und Großbritannien). In den USA ist dieser Wert durch die "Occupational Safety and Health Administration" (OSHA) auf 140 dB bei einer maximalen Impulszahl von 100 festgelegt [78,114]. Für jede Minderung des Spitzenpegels um 10 dB wird eine Verzehnfachung der Impulszahl zugelassen, d.h. bei einem Spitzenpegel von z.B. 130 dB sind 1000 Impulse möglich.

In der Literatur finden sich außerdem Empfehlungen, neben dem Spitzenwert andere Impulsparameter, wie Anstiegszeiten und Impulspausen, bei der Beurteilung zu berücksichtigen [11,12,85,108]. Dabei fehlen jedoch in der Regel Angaben, wie diese Parameter bei der Lärmbeurteilung zu bewerten sind, da keine entsprechenden medizinischen Untersuchungsergebnisse als Grundlage dazu herangezogen werden.

Vielfach werden auch von der A-Bewertung abweichende Frequenzbewertungen zur Beurteilung von Impulslärm diskutiert [10,47,86,94,95], z.B. um damit die für die Gehörschädlichkeit besonders bedeutend angenommenen Frequenzen zwischen 1 und 8 kHz in stärkerem Maße zu berücksichtigen (Frequenzüberhöhung des Außen- und Mittelohres).

Aufgrund von Studien bei Schießlärmbelastungen schlägt Price die in Abbildung 6 dargestellten Frequenzbewertungskurve zur Beurteilung von Lärmimpulsen vor [93,94,95].

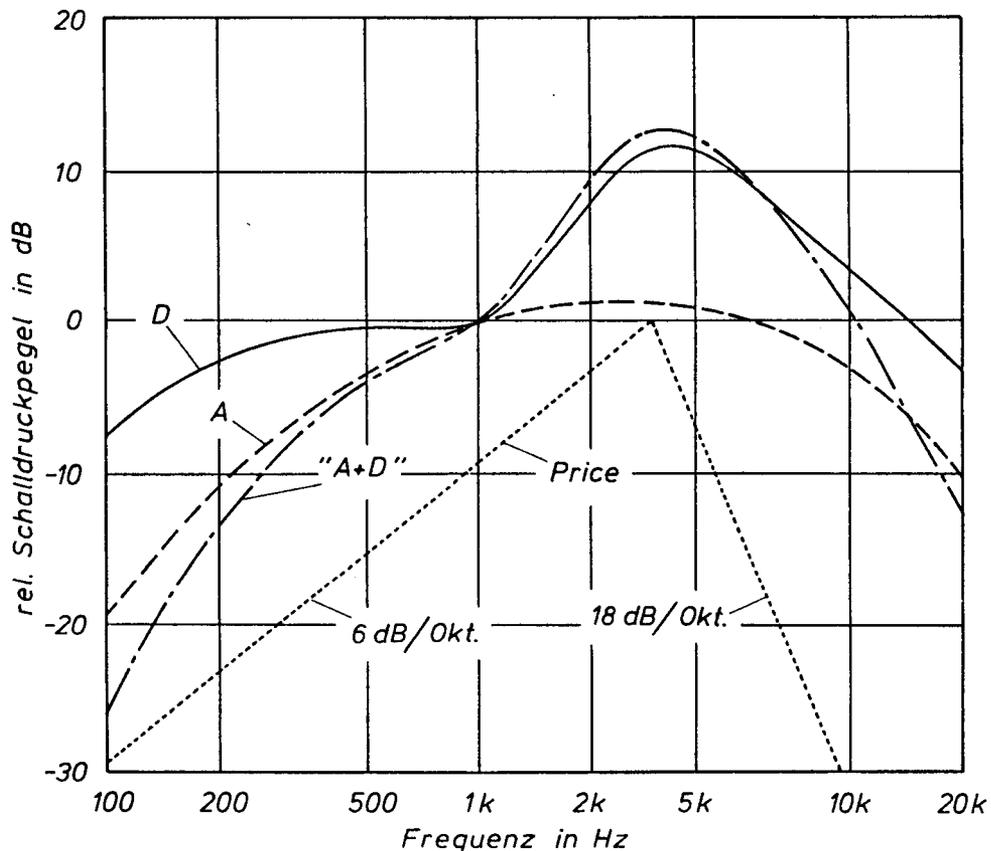


Abbildung 6 :

Gegenüberstellung verschiedener Frequenzbewertungskurven :

A-Bewertung, D-Bewertung, "A+D"-Bewertung [47],

Bewertung nach Price [93]

Der Abfall der Kurve zu tiefen und hohen Frequenzen hin entspricht etwa dem Frequenzgang des Außen- und Mittelohres.

Um eine vergleichbare Flankensteilheit zu realisieren wurden von Hohmann [47] Schallmessungen mit einem aus der A- und D-Bewertung kombinierten Filter (Serienschaltung) durchgeführt, dessen Charakteristik ebenfalls in Abbildung 6 dargestellt ist (siehe auch Abschnitt 4.4.2.2). Aus der "A+D"-bewerteten Messung ergeben sich je nach Geräusch um ca. 4 bis 11 dB höhere Meßwerte als bei A-Bewertung. Da damit das Gesamtniveau der Meßergebnisse angehoben wird, resultiert aus dieser speziellen Frequenzbewertung eine um maximal etwa 7 dB von der A-Bewertung abweichende Beurteilung.

3.7 Diskussion und Vergleich der bestehenden Meß- und Beurteilungsverfahren

Mit den hier behandelten Meß- und Beurteilungsverfahren ergeben sich bei Impulslärmbelastungen zum Teil größere Abweichungen vom Energieprinzip. Die "Impuls"-bewertete Messung nach Abschnitt 3.2 entspricht einer schärferen Beurteilung von Impulslärm um bis zu 16 dB. Im Gegensatz dazu führt die von Kraak vertretene Beurteilung auf der Grundlage des Betragsmittelwertes des Schalldruckes (Abschnitt 3.3) bei Impulslärm ggf. zu mehr als 10 dB niedrigeren Werten als die energieäquivalente Mittelung. Eine geringere Berücksichtigung von hohen Lärmimpulsen ergibt sich auch mit dem in einigen Ländern gebräuchlichen Halbierungsparameter von $q = 5$ (Abschnitt 3.1).

Die speziell für die Beurteilung von Schießlärmimpulsen entwickelten Verfahren nach CHABA (Abschnitt 3.4) und Pfander (Abschnitt 3.5) zeigen in ihrem Anwendungsbereich eine verhältnismäßig gute Übereinstimmung mit dem Ansatz eines energieäquivalenten Dauerschallpegels von $L_{Aeq} = 85$ dB.

Diese Feststellung ist besonders erstaunlich für das CHABA-Kriterium, da es völlig unabhängig von der Idee des Energieprinzips konzipiert wurde. Die Übereinstimmung kann jedoch nicht als eine Bestätigung der aufgestellten These gewertet werden, ohne die diesem Verfahren zugrunde liegenden Untersuchungen kritisch zu analysieren (siehe Abschnitt 4.3). Außerdem wurde der für Schießlärm übliche Pegelbereich in der These ausdrücklich ausgeklammert.

Nach den dargestellten Ergebnissen wäre es jedoch naheliegend, die beiden meß- und auswertetechnisch aufwendigen Verfahren nach CHABA und Pfander in ihrem Anwendungsbereich durch ein äquivalentes Schallenergiekriterium zu ersetzen. Mit modernen integrierenden Schallpegelmessern lassen sich die Lärmimpulse sehr viel einfacher und genauer erfassen als durch eine oszillographische Auswertung. Auch andere auf oszillographischer Auswertung der Impulse basierende Verfahren [5,16,17,19] sind bei den heute gegebenen meßtechnischen Möglichkeiten als nicht mehr zeitgemäß anzusehen. Diese Verfahren beinhalten durch aufwendige Meß- und Auswertetechniken sowie durch vereinfachende Annahmen, z.B. gleicher Lärmimpulse für den ganzen Tag, und eines festen Zeitmusters eine Reihe von Fehlermöglichkeiten. Die damit verbundenen Meßunsicherheiten sind möglicherweise größer als die Abweichungen der entsprechenden Kriterien von dem Schallenergie-Kriterium $L_{Aeq} = 85$ dB. Ein Meßverfahren, das möglicherweise die Gehörschädlichkeit der Lärmbelastung sehr gut beschreibt, ist von geringem Nutzen, wenn es in der Praxis nicht anwendbar ist oder das reale Geräusch nicht dem vorgegebenen Muster entspricht.

Zur zuverlässigen Erfassung der an vielen Arbeitsplätzen gegebenen zeitlich zufällig schwankenden Geräuschbelastung mit überlagerten Lärmimpulsen unterschiedlicher Höhe und unterschiedlichen Abklingverhaltens kommt deshalb nur ein integrierendes Meßverfahren in Betracht. Zur Bestätigung der aufgestellten These sollte sich bei Erfassung des energieäquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} als Meßgröße die beste Korrelation zwischen der Lärmbelastung und den lärmbedingten Hörverlusten ergeben.

4. Kenntnisstand zur Wirkung von Impulslärm

4.1 Grundlagen

4.1.1 Schädigungsmechanismus

Für die lärmbedingte Schädigung des Innenohres werden im allgemeinen zwei unterschiedliche Entstehungsmechanismen angenommen [8,18,102,104] :

- Überlastung des Stoffwechsel der Haarzellen
- mechanische Überlastung

Bei Lärmbelastung unterhalb eines kritischen Wertes kann man als Zeichen der Überlastung des Stoffwechsel zunächst eine zeitweilige Verschiebung der Hörschwelle (TTS - temporary threshold shift) feststellen, die sich innerhalb einer ausreichenden Ruhepause zurückbildet. Reicht aber die Zeit bis zur nächsten Lärmbelastung am folgenden Tag für die vollkommene Wiederherstellung der Hörfähigkeit nicht aus, bleibt ein Stoffwechseldefizit (metabolische Erschöpfung), das über längere Zeit allmählich (chronisch) zu einem Absterben der für die Umwandlung der physikalischen in "Sinnesenergie" verantwortlichen Haarzellen im Corti'schen Organ und damit zu einer bleibenden Hörschwellenverschiebung (PTS - permanent threshold shift) führt. Bei dem hier beschriebenen ersten Schädigungsmodell handelt es sich also um einen bio-chemischen Vorgang.

Oberhalb einer bestimmten Grenzbelastung kann man zusätzlich eine direkte strukturelle Schädigung der Haarzellen durch mechanische Überbeanspruchung annehmen (siehe z.B. [102]). Nach Beobachtungen von Henderson et al. an Chinchillas kann sich das Gehör nach einer entsprechenden Überlastung durch Lärmimpulse trotz Verlust von der Haarzellen fast vollkommen erholen [42,44]. Möglicherweise übernehmen dabei benachbarte Haarzellen die notwendige Aufgabe der Signalaufbereitung. Bei wiederholter Belastung und

Schädigung weiterer Zellen ist jedoch ein bleibender Hörverlust zu erwarten.

Diese Ergebnisse lassen die besondere Problematik bei der Beurteilung des Ausmaßes von Hörschäden erkennen, da die bleibenden Hörschwellenverschiebungen (PTS) und die Innenohrschäden nicht immer gut korrelieren.

Die Grenze zwischen den hier beschriebenen unterschiedlichen Schädigungsmechanismen läßt sich nach dem heutigen Kenntnisstand nicht genau festlegen, da sich die vorwiegend im Tierexperiment gewonnenen Ergebnisse nicht quantitativ auf den Menschen übertragen lassen. Es ist auch nicht geklärt, ob der Grenzwert durch eine bestimmte kritische Energie oder durch einen kritischen Spitzenwert zu beschreiben ist [124].

In Ermangelung ausreichend gesicherten Datenmaterials schlägt Price [93] einen Spitzenpegel L_{peak} von 140 dB vor, der noch einen gewissen Sicherheitsabstand zu dem aus Tierexperimenten, unter Berücksichtigung der im Vergleich zum Menschen unterschiedlichen Empfindlichkeit, abgeleiteten Wert einhält. Dieser Pegel L_{peak} von 140 dB wurde auch in der EG-Richtlinie "Lärm" als zusätzlicher Grenzwert neben dem energieäquivalenten Dauerschallpegel eingeführt und macht entsprechende Schutzmaßnahmen erforderlich.

Anmerkung :

Die hier erläuterten Begriffe der Hörschwellenverschiebungen TTS und PTS werden in dem neuen Entwurf der VDI-Richtlinie 2058 Blatt 2 [142] als Hörminderungen, d.h. als vorübergehende (TTS) bzw. bleibende Hörminderung (PTS), bezeichnet. Bei der bleibenden Hörminderung bzw. Hörschwellenverschiebung werden vielfach ein lärmbedingter Anteil NIPTS (noise induced permanent threshold shift) und ein altersbegleitender Anteil unterschieden. Darauf basiert z.B. auch das Hörverlustmodell ISO/DIS 1999.2 [140] (siehe Abschnitt 5.4.2).

Von einem Gehörschaden ist nach VDI 2058 Blatt 2 (Entwurf) erst dann zu sprechen, wenn die Hörminderung (PTS) bei 3 kHz den Wert von 40 dB überschreitet. Entsprechend den oben beschriebenen Schädigungsmechanismen werden die chronischen und die akuten Gehörschäden unterschieden.

4.1.2 Stapediusreflex

Die Beurteilung der Wirkung von Lärm auf das Innenohr wird durch den sogenannten Stapediusreflex zusätzlich verkompliziert. Dabei handelt es sich um einen akustischen Reflex des Stapediusmuskels im Mittelohr, der die Steigbügel-Fußplatte verkantet und dadurch die Schallübertragung auf das Innenohr verringern kann.

In der Literatur finden sich jedoch sehr unterschiedliche Angaben zur Ansprechschwelle, zur Ansprechverzögerung, zur Abklingzeit und zur Wirkung des Stapediusreflexes [9,66,93]. Nach einer von Hohmann [47] durchgeführten Sichtung der verschiedenen Untersuchungsergebnisse lassen sich folgende Mittelwerte angeben :

- Schwellwert ca. 80 bis 90 dB(A)
- Ansprechverzögerung ca. 70 ms
(pegelabhängig ca. 10 bis 300 ms)
- Abklingzeit ca. 0,2 bis 5 s (Dauerlärm)
nach Impulsen ca. 1 Sekunde
- Dämpfungswirkung:
abhängig von der Frequenz und vom Pegel ca. 0 - 30 dB.

Wegen der gegebenen Ansprechverzögerung beeinflusst der akustische Reflex bei Einzelimpulsen die Übertragung des Schalls zum Innenohr offensichtlich nicht. Wiederholte Impulse im zeitlichen Abstand von weniger als einer Sekunde werden jedoch aufgrund der Abklingzeit nach dem jeweils vorangegangenen Impuls abgeschwächt.

Nach Untersuchungen von Zakrisson et al. [128] an Arbeitsplätzen einer Schiffswerft macht sich der akustische Reflex deshalb auch bei Impulslärm durch eine Verringerung der zeitlichen Hörschwellenverschiebung (TTS) bemerkbar.

In welchem Maße sich der Schutzeffekt des Mittelohres auf die Belastung des Innenohres auswirkt, läßt sich nicht genau angeben. Eine nennenswerte Schutzwirkung kann allerdings nur bei tiefen Frequenzen unter 1 kHz erwartet werden.

Bei realen Industriegeräuschen rechnet Martin [66] deshalb mit einer vernachlässigbar geringen Wirkung von etwa 1 dB. Bei langzeitigen Lärmbelastungen über eine ganze Arbeitsschicht ist aber auch wegen der festgestellten Adaption des Reflexes mit einer Minderung seiner Wirkung zu rechnen, d.h. der Reflex wird nach einer gewissen Zeit trotz unverändert bestehender Belastung nicht mehr ausgelöst.

4.1.3 Frequenzbewertung im Hinblick auf die Gehörschädlichkeit

In allen heutigen Richtlinien und Normen zur Lärmmessung an Arbeitsplätzen [129,130,131,140,142] ist zur Beurteilung der Geräusche hinsichtlich Gehörschädlichkeit eine Frequenzbewertung entsprechend der Bewertungskurve A vorgesehen. Diese A-Bewertung ist aus den Kurven gleicher Lautstärkepegel [133] hervorgegangen und wurde ursprünglich zur Beschreibung der Hörempfindung bei niedrigen Schalldruckpegeln konzipiert.

In älteren Veröffentlichungen bis Ende der 60er Jahre werden aber auch andere Frequenzbewertungskurven diskutiert, die größtenteils aus Vertäubungsmessungen abgeleitet wurden. Abbildung 7 zeigt eine von Weißing veröffentlichte Gegenüberstellung verschiedener Grenzkurven [127], in die nachträglich die A-Bewertungskurve eingetragen wurde. Daraus läßt sich entnehmen, daß die verschiedenen Vorschläge zur Frequenzbewertung zu keinen von der A-Bewertung nennenswert abweichenden Ergebnissen führen dürften.

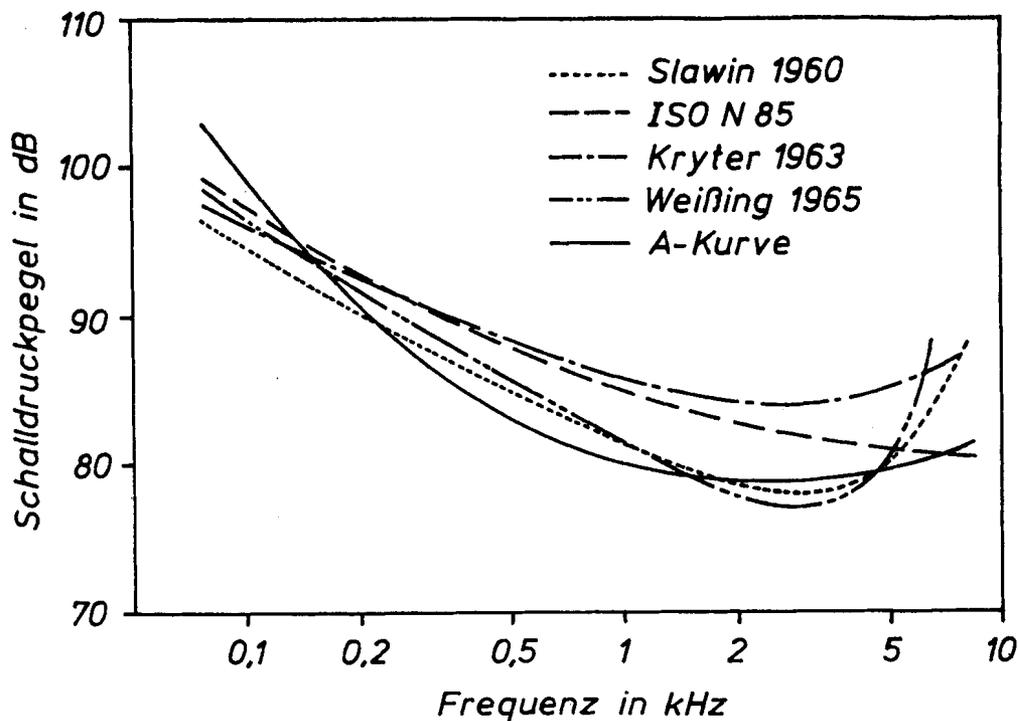


Abbildung 7:

Verschiedene Vorschläge von Grenzkurven zur Beurteilung der Gehörschädlichkeit (nach [127]) ergänzt durch die Eintragung der A-Bewertungskurve (ausgehend von 80 dB bei 1 kHz)

Nach einer von Robinson [98] durchgeführten retrospektiven Studie lassen sich die festgestellten Hörminderungen (PTS) für die von ihm erfaßten Arbeitsplätze bei Anwendung der Frequenzbewertung B etwas besser beschreiben als bei Anwendung der A-Bewertung. Da der Unterschied zwischen diesen beiden Frequenzbewertungen A und B im Endergebnis nicht mehr als 2 dB ausmacht und sich die A-Bewertung in der Meßtechnik zum Zeitpunkt dieser Untersuchung bereits allgemein eingeführt hatte, plädiert Robinson für die Anwendung der A-Bewertung bei der Beurteilung des Hörschadensrisikos.

Von Price [93] wurde im Jahre 1979 speziell für hohe Impulslärmbelastungen eine Frequenzbewertungskurve vorgeschlagen, die sich vor allem durch eine stärkere Gewichtung der Frequenzen zwischen 1 und 8 kHz von der A-Bewertung unterscheidet (siehe Abschnitt 3.6, Abb. 6). Diese näherungsweise der Übertragungsfunktion des menschlichen Außen- und Mittelohres entsprechende Bewertung hat Hohmann [47] durch eine Kombination der A-Bewertung mit der D-Bewertung nachgebildet (siehe Abbildung 6), um damit die Lärmbelastungen an zahlreichen Arbeitsplätzen zu erfassen. Die gewonnenen Meßwerte zeigen jedoch keine bessere Korrelation mit den festgestellten Hörverlusten als die entsprechenden A-bewerteten Meßwerte.

Obwohl die A-Bewertungskurve selbst nicht als das Ergebnis entsprechender Untersuchungen zur Lärmwirkung entstanden ist und sich dadurch auch nicht eindeutig bestätigen läßt, ergeben die verschiedenen durchgeführten Studien doch ähnlich verlaufende Frequenzbewertungskurven zur Berücksichtigung des Hörschadensrisikos. Da sich nach dem heutigen Kenntnisstand keine der diskutierten Alternativen mit ausreichender Sicherheit begründen läßt und die entsprechenden Beurteilungsergebnisse ohnehin nicht wesentlich von den A-bewerteten Ergebnissen abweichen, kann die A-Bewertung als ein brauchbarer Kompromiß angesehen werden. Dabei gibt es auch keinen plausiblen Grund, Impulslärm in seiner Frequenzzusammensetzung anders zu bewerten als Dauerlärm (siehe auch [33]). Nach Hohmann [47] ist davon auszugehen, daß sich Impulslärm in seiner spektralen Verteilung im Mittel nicht nennenswert von Dauerlärm unterscheidet.

4.1.4 Studientypen zur Untersuchung der Lärmwirkung auf das Gehör

Bei den Untersuchungen zur Schädigung des Gehörs durch Lärm lassen sich folgende drei Gruppen von Studientypen unterscheiden, die jeweils ihre eigenen Vor- und Nachteile aufweisen :

- Tierexperimente
- Studien der zeitlichen Hörschwellenverschiebung (TTS) beim Menschen
- retrospektive Studien ausgehend von den bleibenden Hörschwellenverschiebungen (PTS) beim Menschen.

4.1.4.1 Tierexperimente

Die aus Tierexperimenten gewonnenen Ergebnisse basieren auf der Annahme, daß sich die Ohren von Versuchstieren ähnlich wie das menschliche Ohr verhalten. Diese Methodik hat den Vorteil, daß sich die Lärmbelastungen im Labor beliebig einstellen und genau erfassen läßt und die Wirkung durch Hörschwellen-Messungen (TTS und PTS) sowie durch Sezieren des Innenohres und Untersuchung der Haarzellenschädigung festzustellen ist.

Wie in keiner anderen der oben genannten Studientypgruppen kann damit die Wirkung verschiedener Geräuschparameter durch eine entsprechende Variation der Belastung genau analysiert werden.

Es ist jedoch fraglich, ob und wie weit die gewonnenen Erkenntnisse auf den Menschen übertragen werden dürfen. Möglicherweise ist eine qualitative Übertragung der Zusammenhänge zulässig. Für eine genaue quantitative Festlegung von Grenzwerten sind entsprechende Tierexperimente aber sicher

ungeeignet (siehe z.B. Diskussionszusammenfassung des internationalen Symposiums zur Wirkung von Impulslärm in Malmö/Schweden [145]).

4.1.4.2 TTS-Studien

In Versuchen mit Menschen ist man im Vergleich zu den Tierversuchen auf deutlich geringere Schallintensitäten und relativ kurze Belastungszeiten angewiesen, um keine bleibenden Gehörschäden zu verursachen. Als Maß für die Gehörfähigung wird in solchen Versuchen in der Regel die zeitweilige Hörschwellenverschiebung (TTS) nach einer entsprechenden Belastung gewählt [84,120]. Von Kraak wird dagegen die integrierte Hörschwellenverschiebung als Risikoindikator vorgeschlagen [53], wodurch auch die Geschwindigkeit der Rückwanderung in das Ergebnis eingeht. Rückschlüsse aus den TTS-Messungen auf die nach langjähriger Belastung zu erwartenden lärmbedingten bleibenden Hörverluste (NIPTS - noise induced permanent threshold shift) sind jedoch aus verschiedenen Gründen umstritten.

Diese Studien werden in der Regel für verhältnismäßig kurze Belastungszeiten im Labor oder nach nur gelegentlicher Einwirkung in der Praxis durchgeführt. Da sich diese Belastungen wesentlich von den an realen Arbeitsplätzen bestehenden Langzeitbelastungen unterscheiden, ist es fraglich, ob die in TTS-Studien beobachteten Lärmwirkungen zur Prognose von Langzeitschäden des Gehörs geeignet sind.

Außerdem werden diese Studien durch die bei vielen Geräuschen verursachten verhältnismäßig geringen TTS-Werte erschwert, die sich mit der üblichen audiometrischen Meßtechnik nicht genau genug erfassen lassen.

4.1.4.3 Retrospektive Studien

Durch retrospektive Studien, die die audiometrisch erfaßten bleibenden Hörverluste (PTS) mit den für die zurückliegenden Jahre anzunehmenden Lärmbelastungen vergleichen und daraus entsprechende Zusammenhänge zur Dosis-Wirkungs-Beziehung ableiten, lassen sich die bei den vorgenannten Verfahren beschriebenen Nachteile vermeiden. Dabei wird kein indirektes Maß für die Schädigung wie bei den TTS-Studien benötigt und es sind auch keine beim Tier festgestellten Lärmeffekte auf den Menschen zu übertragen.

Da bei dieser Studientypgruppe das menschliche Ohr als eine Art "Black Box" aufgefaßt wird und nur die Schalleinwirkung auf das Gehör und die resultierenden PTS-Werte interessieren, sind damit natürlich keine Rückschlüsse auf die im Ohr anzunehmenden "inneren" Vorgänge oder Erklärungen zum Schädigungsmechanismus möglich.

Als besonderes Problem der retrospektiven Studie ist die genaue Erfassung der Lärmbelastung für die zurückliegende Zeit anzusehen, insbesondere falls der Beruf gewechselt wurde oder technologische Änderungen erfolgten. Außerdem macht der heute an Lärm Arbeitsplätzen in der Regel benutzte Gehörschutz eine genaue Bestimmung der realen Lärmbelastung für die Beschäftigten unmöglich. Eine weitere Schwierigkeit ergibt sich aus der erforderlichen Trennung der durch das Lebensalter und ggf. nebenberufliche Lärmexposition sowie der durch Lärm am Arbeitsplatz verursachten Hörminderung. Dazu bedarf es der Auswahl eines geeigneten Vergleichskollektivs ohne berufliche Lärmbelastung.

Wegen der hier geschilderten Probleme ist die Zahl der Arbeitsplätze, die sich für eine retrospektive PTS-Studie eignen, eingeschränkt. Bei entsprechender Auswahl der Arbeitsplätze und sorgfältiger Ermittlung der Belastungs- und Schädigungssituation versprechen diese Studien aber die zuverlässigsten Aussagen zur Wirkung von Arbeitslärm.

4.2 Ergebnisse aus Tierexperimenten

Bei einer täglichen Lärmbelastung mit Dauerlärm und einer gegebenen Erholungszeit über Nacht läßt sich nach Untersuchungen von Ward [125] für Chinchillas das Energieprinzip mit einem Halbierungsparameter von $q = 3$ nachweisen. Die Abbildung 8 zeigt die bei unterschiedlichen Schalldruckpegeln und Belastungszeiten festgestellten Haarzellenverluste in Abhängigkeit von der Gesamtenergie der Belastung. Die durchgezogene Linie entspricht dabei dem Prinzip der Energieäquivalenz.

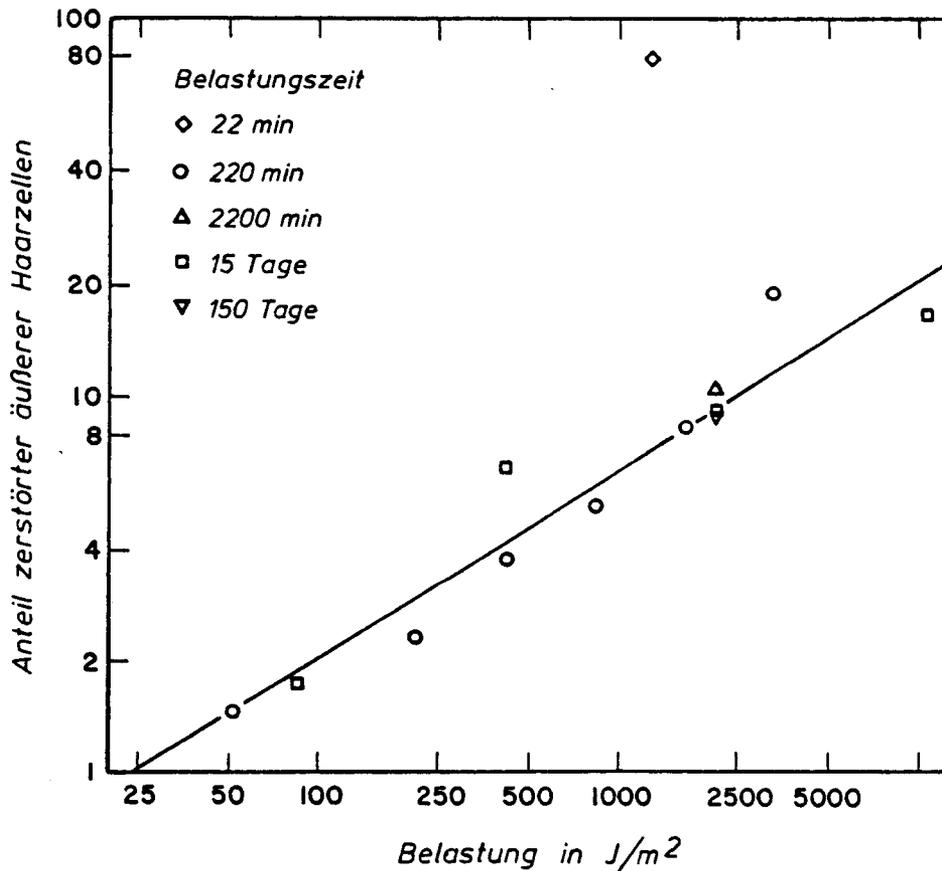


Abbildung 8 :

Anteil zerstörter äußerer Haarzellen in Abhängigkeit der Gesamtenergie der Belastung durch Dauerlärm; nach Ward [125]

Dieser von Ward beobachtete Zusammenhang der Schädigung mit der Gesamtenergie der Belastung wird näherungsweise auch durch Untersuchungen von Nilsson et al. [73] und von Herhold [45] für Meerschweinchen bestätigt.

Ward und Nilsson et al. stellen jedoch oberhalb einer bestimmten kritischen Belastung eine starke Zunahme der Schädigung und damit eine Abweichung vom Prinzip der Energieäquivalenz fest. In Abbildung 8 zeigt sich diese Zunahme für die 22-minütige Belastung mit einem Pegel von 114 dB. Nilsson et al. beobachten diese starke Zunahme der Schädigung für Meerschweinchen oberhalb eines kritischen Bereiches von 114 bis 117 dB.

Als Erklärung für diese festgestellte größere Gehörschädlichkeit von hohen Schalldruckpegeln wird im allgemeinen ein besonderer Wirkungsmechanismus in diesem Pegelbereich angenommen. Ward vermutet, daß es dabei zu einer direkten mechanischen Zerstörung der Haarzellen kommt [122].

Für Impulslärmbelastungen ergeben sich in den meisten Tierversuchen deutliche Abweichungen vom Prinzip der Energieäquivalenz. Viele Untersuchungen lassen eine größere Gehörschädlichkeit von Impulslärm im Vergleich zu Dauerlärm der gleichen Schallenergie erkennen [45,73]. Dagegen zeigen von Hamernik et al. [39] an Chinchillas durchgeführte Untersuchungen, daß sich durch ein einem Dauersignal überlagertes Impulssignal keine zusätzliche Gehörschädigung ergibt.

Möglicherweise läßt sich die in vielen Berichten dargestellte große Gehörschädlichkeit von Impulslärm durch die Überschreitung eines für diese Tiere verhältnismäßig niedrig anzunehmenden kritischen Spitzenpegels erklären. In den meisten Tierversuchen wurden hohe Schallimpulse erzeugt, um in verhältnismäßig kurzen Belastungszeiten deutlich meßbare Gehörschäden zu verursachen. So wurden die Tiere beispielsweise von Nilsson et al. [73] mit Spitzenpegeln von 131,5 dB und von Herhold [45] mit Spitzenpegeln von 122 bis 146 dB belastet. Hamernik wählte dagegen eine Impulslärmbelastung mit Spitzenwerten von 103 dB.

Der oberhalb der kritischen Grenze anzunehmende Wirkungsmechanismus ist vermutlich nicht im Einklang mit dem Energieprinzip. Das zeigt sich z.B. in einer von Henderson durchgeführten Untersuchung [43], bei der die Tiere verschiedenen Schallimpulsen mit Spitzenpegeln von 155 bis 158 dB ausgesetzt wurden. Obwohl die Impulse nahezu gleiche Schallenergien aufwiesen, ergaben sich bei beiden Impulsen signifikant unterschiedliche Hörschwellenverschiebungen. Offenbar sind in diesem Pegelbereich andere Geräuschparameter als die Schallenergie für die Schädigungswirkung von Bedeutung.

Von verschiedenen Autoren wird deshalb eine stärkere Berücksichtigung des Schalldruckverlaufs der Impulse (Anstiegszeit, Abklingverhalten) bei der Beurteilung der Gehörschädlichkeit vorgeschlagen [38,44,61].

Aufgrund dieser Tierexperimente kann man auch für das menschliche Ohr eine bestimmte kritische Pegelgrenze und entsprechend unterschiedliche Wirkungsmechanismen unterhalb und oberhalb dieser Grenze annehmen (siehe auch Abschnitt 4.1.1). Price schlägt ausgehend von der für Katzenohren festgestellten Grenzbelastung unter Berücksichtigung der im Vergleich zum menschlichen Ohr unterschiedlichen Gehörempfindlichkeit für den Menschen einen Grenzwert L_{peak} von 140 dB vor [90], oberhalb dessen mit Nichtlinearitäten zu rechnen sei. In Kenntnis der Problematik der Übertragbarkeit von quantitativen Ergebnissen aus Tierversuchen auf den Menschen ist dieser Wert bewußt niedrig angesetzt. Price verbindet diesen Grenzwert mit der bereits in Abschnitt 3.6 dargestellten Frequenzbewertungskurve, die sich aus Untersuchungen an Katzenohren ergibt und die auch näherungsweise der Übertragungsfunktion des menschlichen Außen- und Mittelohres entspricht (siehe auch Untersuchung von Hohmann [47] in Abschnitt 4.4.2.2).

Die danach anzunehmende kritische Pegelgrenze stimmt damit in etwa mit dem in der These genannten Grenzwert von 145 dB überein. Die Frage, ob das in der These erläuterte Prinzip

der Energieäquivalenz für den damit gegebenen unteren Pegelbereich zutrifft, läßt sich jedoch auf der Grundlage der aus Tierexperimenten gewonnenen Ergebnisse weder eindeutig bestätigen noch widerlegen.

4.3 Ergebnisse aus TTS-Studien

Die meisten Untersuchungen zur Frage der Bewertung von Impulslärm und Festlegung von Grenzwerten basieren vermutlich auf Messungen der temporären Hörschwellenverschiebung (TTS). Als bekannte davon abgeleitete Meß- und Bewertungsverfahren wurden in den Abschnitten 3.4 und 3.5 bereits das CHABA- und das Pfander-Verfahren erläutert.

Das CHABA-Verfahren stützt sich auf entsprechende Untersuchungen von Coles, Garinther, Hodge und Rice [120], die für Schießlärmbelastungen durchgeführt wurden. Zur Festlegung des Grenzwertkriteriums wurden in den betrachteten audiologischen Meßfrequenzen relativ willkürlich festgelegte TTS_2 -Werte zugelassen (TTS_2 - TTS gemessen 2 Minuten nach Beendigung der Belastung), in der Annahme, daß sie eine ausreichende Gehörerholung ermöglichen und damit bleibende lärmbedingte Hörverluste (NIPTS) vermieden werden.

Auch das Pfander-Verfahren wurde auf der Grundlage von TTS-Messungen nach der Einwirkung von Waffenknallen entwickelt und in umfangreichen Untersuchungen bei der Deutschen Bundeswehr erprobt [84]. Als Risikoindikator diente dabei die Rückwanderungszeit der TTS. In einzelnen Untersuchungsreihen wurden aber bei Einhaltung des Grenzkriteriums für einen nicht unerheblichen Teil der betroffenen (bis zu 15 %) auch nach 24 Stunden noch signifikante Hörschwellenverschiebungen festgestellt, so daß damit möglicherweise kein ausreichender Schutz vor bleibenden Gehörschäden gegeben ist. Dies dürfte insbesondere für

tägliche Lärmbelastungen mit hohen Lärmimpulsen entsprechend der vorgegebenen Grenzlinie gelten.

Nach den Erläuterungen in den Abschnitten 3.4 und 3.5 weisen beide hier behandelten Schießlärmbewertungskriterien in ihrem Anwendungsbereich eine verhältnismäßig gute Übereinstimmung mit den Ansatz eines energieäquivalenten Dauerschallpegels von $L_{Aeq} = 85$ dB auf.

Die aus TTS-Messungen abgeleiteten Verfahren lassen sich also näherungsweise mit dem Energieprinzip vereinbaren. Im Gegensatz dazu ergibt sich nach den meisten anderen TTS-Studien, die in der Regel mit geringeren Schalldruckpegeln durchgeführt wurden, kein so eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Energieinhalt der Belastung und den gemessenen TTS-Werten [23,28,58,66,118,119,121]. Das Energiekonzept ist danach ungeeignet, um TTS-Werte nach Dauerlärmbelastungen und insbesondere nach Impulslärmbelastungen zu prognostizieren.

Ward stellt demgegenüber für Dauerlärmbelastungen eine zufriedenstellende Korrelation der zeitweiligen Hörschwellenverschiebung mit dem energieäquivalenten Mittelungspegel bei einem Halbierungsparameter von $q = 5$ fest [121]. Für Impulslärmbelastungen ergeben sich danach jedoch deutlich geringere TTS_2 -Werte als bei Dauerlärm vom gleichen Energieinhalt. Diese Feststellung wird auch durch andere Untersuchungen unterstützt [3,64]. Allerdings bildet sich die Hörschwelle nach Impulslärmbelastungen offenbar langsamer zurück. Luz und Hodge [64] erklären diesen Effekt durch ein Zusammenwirken der beiden in Abschnitt 4.1.1 beschriebenen Wirkungsmechanismen. Entsprechend der in Abbildung 9 gezeigten Darstellung nehmen sie für Impulslärmbelastungen eine strukturelle Schädigung an, die sich um mehrere Stunden verzögert auswirkt und ggf. zu einer Zunahme der Hörschwellenverschiebung einige Zeit nach der Belastung führen kann. Die Grenze zwischen beiden Wirkungsmechanismen läßt sich aus verschiedenen TTS-Studien [57,72,119] zu etwa 140 dB (peak) bestimmen und entspricht damit dem auch aus Tierexperimenten abgeleiteten Wert.

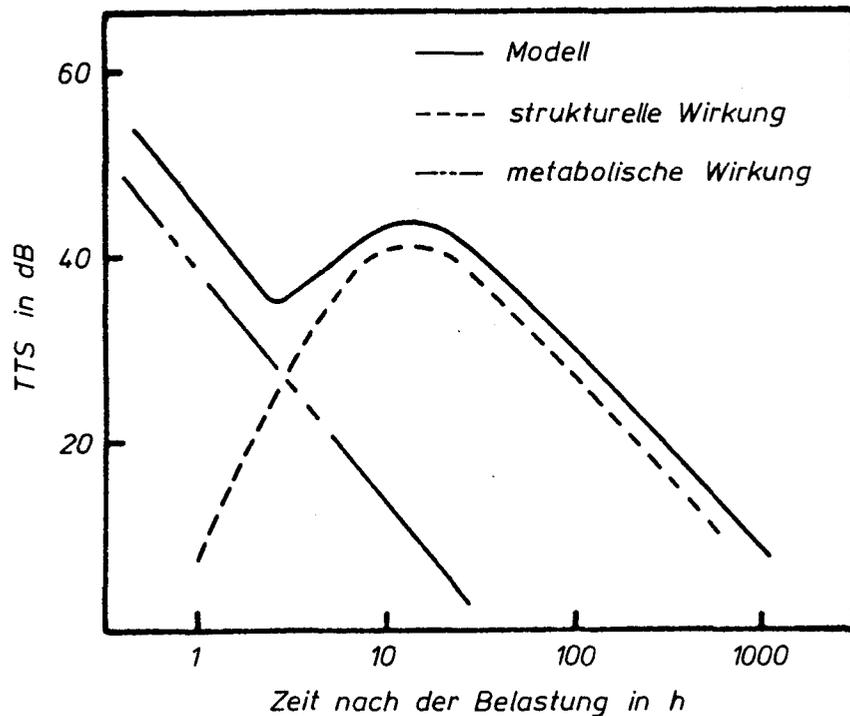
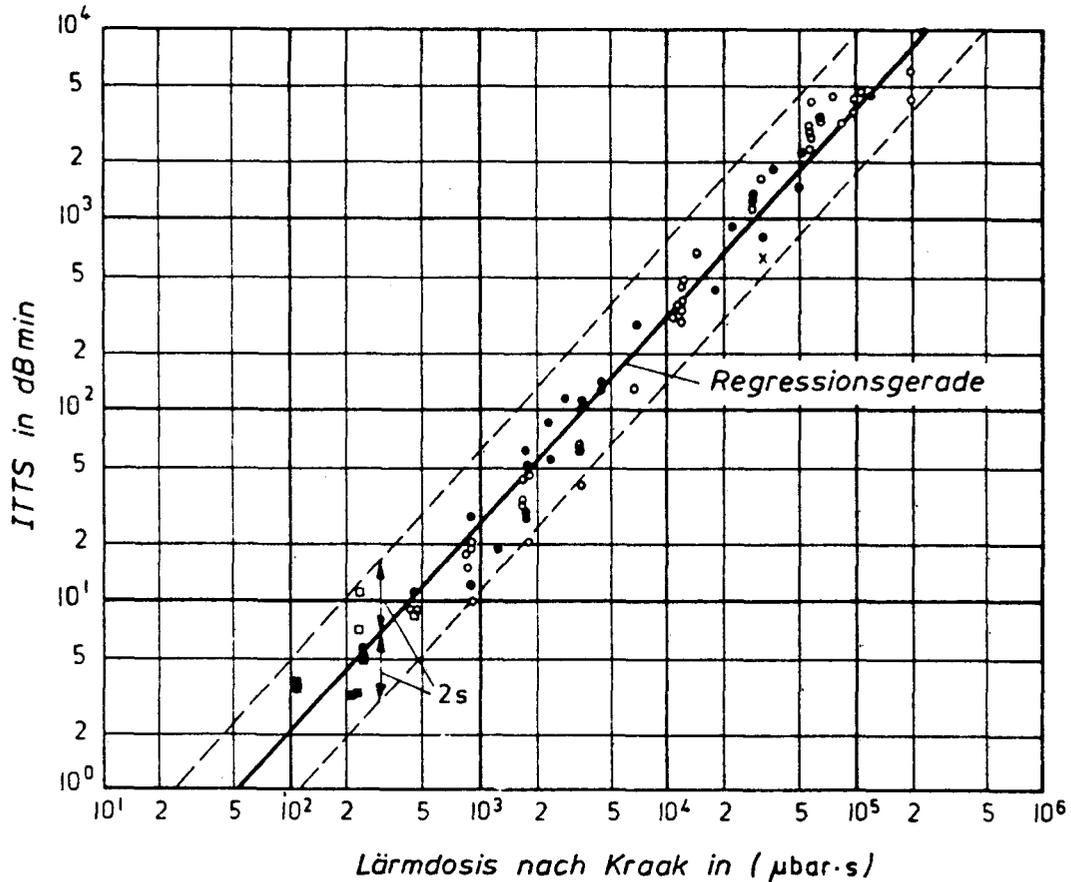


Abbildung 9 :

Modell von Luz und Hodge [64] zur Hörschwellenrückbildung nach Impulslärmbelastung unter Berücksichtigung unterschiedlicher Wirkungsmechanismen

Aufgrund der oben beschriebenen Beobachtung der unterschiedlichen Gehörerholung je nach Geräuschcharakter ist es naheliegend, bei der Beurteilung der Gehörschädlichkeit einer Lärmbelastung auch die Zeit für die Hörschwellenrückbildung oder den Verlauf der Rückbildung mit einzubeziehen. Kraak schlägt deshalb 1973 vor, eine integrierte Hörschwellenverschiebung (ITTS - integrated temporary threshold shift) als Maß für die Gehörschädlichkeit zu erproben [52]. Nach verschiedenen von Kraak und Mitarbeitern an der Technischen

Universität in Dresden durchgeführten Untersuchungen [6,53,54] ergibt sich eine erstaunlich gute Korrelation zwischen der ITTS und der Lärmdosis von Dauerlärm wie auch von üblichem industriellen Impulslärm (siehe Abbildung 10). Als Lärmdosis ist dabei allerdings ein aus dem Betragsmittelwert des Schalldruckes und der Belastungszeit gebildeter Wert anzusetzen (siehe Abschnitt 3.3).



- — Dauerlärm, $t_e \geq 1 \text{ min}$
- — Dauerlärm, $t_e < 1 \text{ min}$
- — intermittierender Lärm, $t_e \geq 1 \text{ min}$
- — intermittierender Lärm, $t_e < 1 \text{ min}$
- × — rhythmische Musik, $t_e = 1 \text{ h}$

Abbildung 10 :

Integrierte Hörschwellenverschiebung (ITTS) in Abhängigkeit der Lärmdosis nach Kraak [54],
A-Schalldruckpegel 90 bis 126 dB,
Einwirkzeit $t_e = 5,6 \text{ s}$ bis 4 h

Nur zur Vorhersage der ITTS nach Einwirkung von sehr kurzen scharfen Impulsen, wie z.B. Explosionsknallen, wird die durch quadratische Mittelung bestimmte Lärmdosis als das besser geeignete Maß erkannt. Derartige Impulse bewirken also danach eine stärkere ITTS als Dauerlärm oder industrieller Impulslärm derselben Schallenergie.

Die hier für das menschliche Ohr dargestellten Zusammenhänge zwischen Lärmdosis und ITTS werden in einer Arbeit von Herhold [45] in Dresden auch für Meerschweinchen bestätigt. Für reinen Impulslärm ergeben sich danach allerdings etwas höhere integrierte Hörschwellenverschiebungen als für Dauerlärm oder kombinierten Dauer- und Impulslärm.

Die Abweichungen der hier als Lärmdosis eingeführten Größe zu der durch quadratische Mittelung bestimmten Lärmdosis wurden in Abschnitt 3.3 erläutert. Damit lassen die an der Technischen Universität Dresden durchgeführten Studien also zumindest näherungsweise ein Zusammenhang der integrierten Hörschwellenverschiebung ITTS mit dem Energieinhalt der Belastung erkennen.

Alle hier behandelten Studien zur zeitlichen Hörschwellenverschiebung TTS bzw. zur integrierten zeitlichen Hörschwellenverschiebung ITTS sind jedoch in ihren Aussagen sehr kritisch zu sehen. Die dem CHABA- und dem Pfander-Verfahren zugrunde liegenden Untersuchungen lassen sich schon allein deshalb nicht auf übliche Arbeitsplätze übertragen, weil diese TTS-Studien für extrem hohe Schalldruckpegel durchgeführt wurden, die weit über den Schallpegeln an üblichen industriellen Arbeitsplätzen liegen und denen im allgemeinen ein anderer Wirkungsmechanismus zugeordnet wird. Bei diesen hohen Schalldruckpegeln können bereits Einzelimpulse Gehörschäden verursachen (siehe z.B. VDI 2058 Blatt 2 [142]). Aber auch die Ergebnisse der übrigen hier betrachteten Studien dieser Gruppe erlauben keine zuverlässige Aussage zur Wirkung von langjährigen Lärmbelastungen an Arbeitsplätzen auf das Gehör, da jeweils nur die nach gelegentlicher kurzzeitiger Lärmbelastung

festzustellenden Wirkungen (TTS bzw. ITTS) untersucht wurden.

Nach dem heutigen Kenntnisstand ist es äußerst fragwürdig, ob man aus den TTS- bzw. ITTS-Werten auf die nach langjähriger Belastung zu erwartenden bleibenden Hörschwellenverschiebungen (NIPTS) schließen darf. Vor allem entsprechende Tierexperimente lassen erkennen, daß die zeitweilige Hörschwellenverschiebung als Maß zur Beschreibung der Gehörschädlichkeit ungeeignet ist [93,123]. In der Diskussion dieser Frage beim internationalen Impulslärm-Symposium 1980 in Malmö [145] wurde als Ergebnis festgehalten, daß man auf der Grundlage von TTS-Messungen nur eine zuverlässige Aussage machen kann, und zwar, daß ein vernachlässigbares Risiko bei langjähriger Belastung anzunehmen ist, falls keine zeitweiligen Hörschwellenverschiebungen auftreten.

Die hier behandelten Ergebnisse können deshalb nicht zur Bestätigung der These des Energieprinzips für die Beurteilung von Impulslärm herangezogen werden.

4.4. Ergebnisse aus retrospektiven Studien

4.4.1 Anforderungen an retrospektive Studien

Wie bereits in Abschnitt 4.1.4.3 erläutert, versprechen die Ergebnisse aus retrospektiven Studien die zuverlässigsten Aussagen zur Wirkung von Dauerlärm und Impulslärm an Arbeitsplätzen auf das Gehör, da dabei keine indirekten Maße (TTS) für die Schädigung eingeführt werden und auch keine Ergebnisse aus Tierexperimenten auf das menschliche Ohr übertragen werden müssen. Wegen der dadurch gegebenen besonderen Bedeutung dieses Studientyps für die in dieser Arbeit behandelte Fragestellung seien hier zunächst die Probleme und Unsicherheiten retrospektiver Studien diskutiert, um daraus besondere Anforderungen an entsprechende Untersuchungen abzuleiten. Die Zuverlässigkeit der in den

folgenden Abschnitten dargestellten Ergebnisse retrospektiver Studien wird daran zu messen sein, wie weit diese Anforderungen eingehalten wurden.

Zur Beschreibung der Unsicherheiten retrospektiver Studien kann die diesem Studientyp zugrunde liegende Dosis-Wirkungs-Beziehung als ein System betrachtet werden, wobei alle damit zusammenhängenden Einflüsse und Einwirkungen als mögliche Fehlerquellen zu diskutieren sind.

Abbildung 11 zeigt die entsprechenden Beziehungen in einer graphischen Darstellung. Nach Abschnitt 4.1.4.3 wird bei retrospektiven Studien das menschliche Ohr als eine Art "Black Box" aufgefaßt. Dabei interessieren nur der auf das Ohr auftreffende Schall (Pegel, Dauer) und die resultierende Hörminderung (PTS). Dieser Bereich ist in Abbildung 11 durch eine Schraffur besonders hervorgehoben.

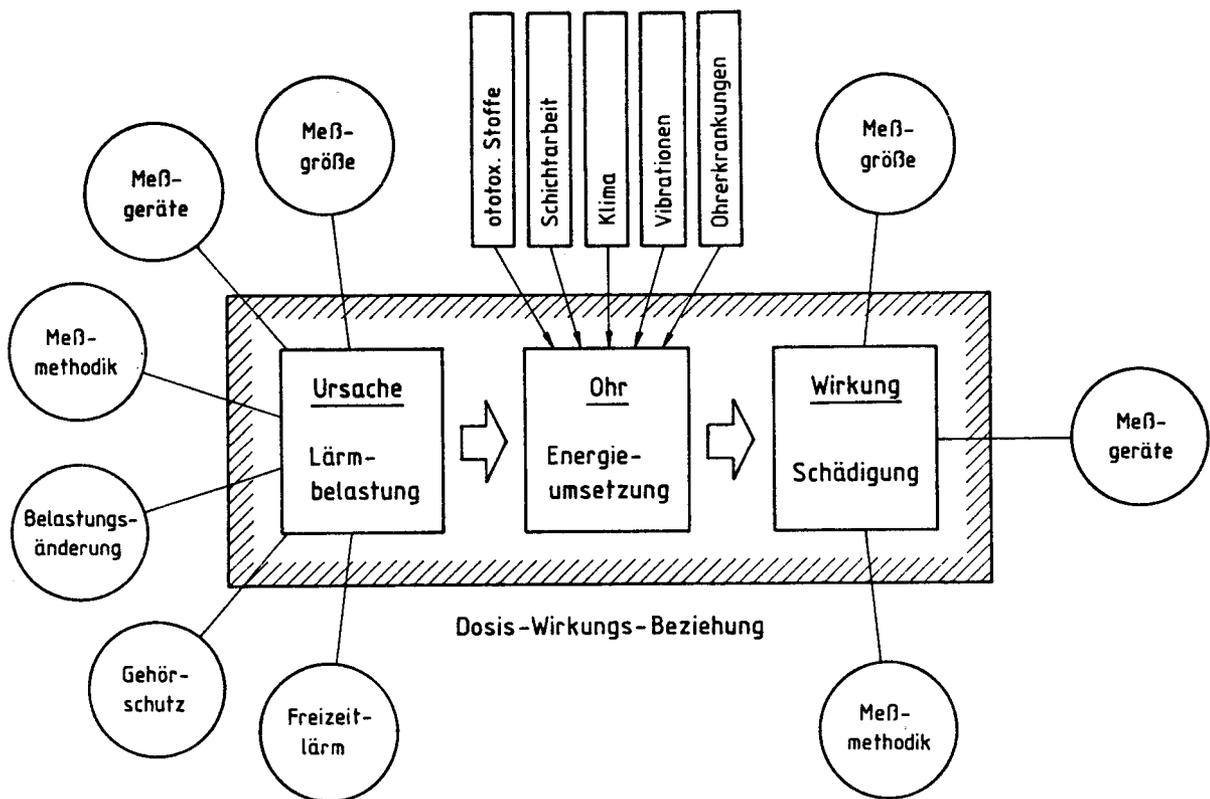


Abbildung 11 :

Bei retrospektiven Studien betrachtete Dosis-Wirkungs-Beziehung von Lärm und damit zusammenhängende Einflußparameter

Bei der Schädigung des Ohres können jedoch auch andere Faktoren, die in Kombination mit Lärm auftreten, von Einfluß sein, wie ototoxische Stoffe, Schichtarbeit, Klima und Vibration (siehe Abbildung 11). Nach einer von Humes [49] im Jahre 1984 veröffentlichten Literaturstudie besteht mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Zusammenhang zwischen der Wirkung von Lärm und verschiedenen ototoxischen Stoffen, wie z.B. bestimmte Antibiotika.

Der Einfluß von Schichtarbeit auf die Wirkung von Lärm zeigt sich z.B. in einer von Irion et al. [51] an Arbeitsplätzen eines Großkraftwerkes durchgeführten Untersuchung. Dagegen scheinen die Ergebnisse über den Einfluß von Klima und Ganzkörper-Vibration in Verbindung mit Lärm weniger gut gesichert [49]. In welcher Weise sich die hier genannten möglichen zusätzlichen Einwirkungen, die bekanntlich am Arbeitsplatz in unterschiedlicher Kombination vorliegen können, in Verbindung mit Lärm auf die Hörminderung auswirken, ist weitgehend ungeklärt.

Neben den hier genannten kombiniert wirkenden Belastungsfaktoren, können natürlich auch Ohrerkrankungen, wie z.B. Mittelohrerkrankungen oder erblich degenerative Erkrankungen zu Hörminderungen führen.

In Abbildung 11 sind außerdem verschiedene weitere Einflüsse dargestellt, die mit der Dosis-Wirkungs-Beziehung zusammenhängen. So besteht bei der Erfassung der Lärmbelastung grundsätzlich die Frage nach der geeigneten Meßgröße zur Beschreibung dieser Belastung. Bei der üblichen Bestimmung des Beurteilungspegels (L_{Aeq} bzw. L_{AIm}) bleiben möglicherweise andere für die Schädigung bedeutsame Geräuschparameter, wie z.B. Spitzenpegel, Lärmpausen und Frequenzzusammensetzung, unberücksichtigt bzw. werden nicht "gehörrechtlich" bewertet (siehe Abschnitt 3.6).

Ebenso sind natürlich auch verschiedene Meßgrößen zur Beschreibung der Schädigung des Innenohres denkbar. Üblicherweise werden dazu die tonaudiometrisch gemessenen bleibenden Hörschwellenverschiebungen (PTS) erfaßt, wobei oft nur

die Ergebnisse für einzelne Frequenzen ausgewertet werden. Alternativ könnte man aber z.B. auch die durch geeignete Tests festgestellten Sprachhörverluste oder - rein theoretisch - die tatsächliche Haarzellenschädigung im Corti'schen Organ als Maß für die Schädigung ansetzen. Je nach gewählter Meßgröße für die Lärmbelastung und die Schädigung ergibt sich möglicherweise eine mehr oder weniger gute Korrelation für die Dosis-Wirkungs-Beziehung.

Als weitere Einflußparameter sind in Abbildung 11 die verwendeten Meßgeräte zur Erfassung der Lärmbelastung und der Hörminderung aufgeführt. So sind z.B. größere Meßfehler nicht auszuschließen, falls keine speziell geprüften Schallpegelmesser bzw. Audiometer eingesetzt werden. Die Schallmeßgeräte sollten auch zur Erfassung der speziellen Geräuschart geeignet sein, also z.B. bei der Messung von Impulslärm über eine ausreichend hohe Meßgerätedynamik verfügen [69,70].

Die Lärmmessungen bzw. audiometrischen Untersuchungen können auch methodische Fehler beinhalten. Ein solcher Fehler ist z.B. bei Bestimmung des energieäquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} aus der oszillographischen Aufzeichnung einzelner Impulse anzunehmen (siehe Abschnitt 3.1). Mit einem methodischen Fehler ist auch bei unzureichender Absicherung der ermittelten Lärmbelastung als der längerfristig typischen Belastung zu rechnen. Bei der audiometrischen Untersuchung können sich methodische Fehler z.B. dadurch ergeben, daß die Probanden mit unterschiedlichen audiometrischen Techniken untersucht werden oder vor der Untersuchung keine ausreichend lange Lärmpause zur vollständigen Gehörerholung eingehalten wird (siehe auch [50]).

Nach Abbildung 11 sind bei der Erfassung der Lärmbelastung im Rahmen retrospektiver Studien noch einige weitere Einflüsse zu berücksichtigen. So kann sich die Lärmbelastung der betrachteten Beschäftigten innerhalb ihrer beruflichen Tätigkeit wesentlich geändert haben, z.B. durch Arbeitsplatz- oder Berufswechsel oder aufgrund von technologischen und/oder

arbeitsorganisatorischen Änderungen. Die gemessenen Lärmbelastungen dürfen also nicht ungeprüft für die gesamte Beschäftigungszeit der erfaßten Personen angesetzt werden. Für nicht mehr existierende frühere Arbeitsplätze lassen sich die Lärmbelastungen nur mit größeren Unsicherheiten bestimmen.

Falls die Beschäftigten an den untersuchten Arbeitsplätzen Gehörschutzmittel getragen haben, ist überhaupt keine zuverlässige Bestimmung der anzunehmenden Gehörbelastung möglich, da zur tatsächlichen Wirkung von Gehörschutzmitteln unter realen Arbeitsbedingungen und bei ggf. nur zeitweiliger Benutzung keine Aussage möglich ist.

Schließlich ist nach Abbildung 11 auch der Freizeitlärm als ein Einflußparameter anzusehen. So könnte eine nicht berücksichtigte hohe Lärmbelastung in der Freizeit, z.B. bei Musikveranstaltungen oder im Schützenverein, das Ergebnis einer entsprechenden Studie verfälschen, insbesondere, falls nur kleine Kollektive betrachtet werden und damit einzelne im Freizeitbereich erworbene Hörminderungen bei der Auswertung zu einem verhältnismäßig großen Anteil eingehen.

Aus den hier erläuterten mit der Dosis-Wirkungs-Beziehung von Arbeitslärm zusammenhängenden Einflußfaktoren ergeben sich bestimmte Unsicherheiten für retrospektive Studien, die sich jedoch durch Berücksichtigung verschiedener nachfolgend beschriebener Anforderungen wesentlich eingrenzen lassen. Diese Anforderungen sind als ein Konzept für eine ideale retrospektive Studie anzusehen und können als Richtschnur für zukünftige Untersuchungen dienen.

In der Regel wird jedoch die Einhaltung aller Anforderungen nicht möglich sein, da die Bedingungen an realen Arbeitsplätzen oft nicht dem Idealzustand im Hinblick auf die Durchführung derartiger Studien entsprechen oder das zur Verfügung stehende Datenmaterial nicht alle erforderlichen Informatio-

nen beinhaltet. Die Anforderungen an retrospektive Studien werden hier getrennt nach folgenden drei Bereichen behandelt :

- Erfassung der Lärmbelastung
- Erfassung der Schädigung
- Datenselektion.

Erfassung der Lärmbelastung

- o Um die Ergebnisse verschiedener Studien miteinander vergleichen zu können, sollte als einheitliche Meßgröße zur Beschreibung der Lärmbelastung stets der auch dem Hörverlust-Modell der ISO/DIS 1999.2 zugrunde liegende energieäquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq} bestimmt werden. Zusätzlich sollten möglichst weitere Geräuschparameter, wie der Impulszuschlag K_I , der Spitzenpegel L_{peak} und das Frequenzspektrum, erfaßt werden. Die Ergebnisse lassen sich damit unter Berücksichtigung dieser Parameter diskutieren.
- o Die eingesetzten Schallpegelmesser sollten auf Einhaltung der entsprechenden Meßgerätenormen geprüft sein [136,137]. Stark schwankende oder impulshaltige Lärmbelastungen lassen sich nur mit integrierenden Schallpegelmessern zuverlässig erfassen, die hinsichtlich Dynamik, Scheitelfaktor und Meßwertverarbeitung für die untersuchten Geräusche geeignet sind.
- o Die Lärmbelastung sollte durch erfahrenes Meßpersonal in Ohrnähe der Beschäftigten erfaßt werden. Die Ergebnisse sind durch zusätzliche Erhebungen oder statistische Auswertungen abzusichern, um daraus auf die längerfristig typische Lärmbelastung schließen zu können.

- o Es ist zu prüfen, ob sich die Lärmbelastung innerhalb des betrachteten Zeitraumes durch technologische oder arbeitsorganisatorische Änderungen nennenswert verändert hat (siehe auch Datenselektion).
- o Da sich die Lärmbelastung in der Regel nicht für jeden einzelnen Beschäftigten gesondert erfassen läßt, bietet es sich an, geeignete Gruppen mit etwa gleichartiger Lärmbelastung zu bilden und durchschnittliche Lärmbelastungen für diese Gruppen zu bestimmen.

Erfassung der Schädigung

- o Als Schädigungsmaß bieten sich der Einfachheit halber die bei verschiedenen Testfrequenzen audiologisch erfaßten PTS-Werte an. Es wäre noch zu untersuchen, ob sich bei Wahl eines anderen Schädigungsmaßes, wie z.B. des Sprachhörverlustes, nennenswert abweichende Zusammenhänge für die Dosis-Wirkungs-Beziehung ergäben. Die Auswertung der PTS-Werte sollte möglichst für verschiedene Frequenzen getrennt durchgeführt werden, da z.B. durch ein Zusammenfassen der Hörminderungen bei verschiedenen Frequenzen zu einem Schädigungsmaß Informationen verloren gehen.
- o Die eingesetzten Audiometer sollten auf Einhaltung der Gerätenorm geprüft sein [132].
- o Die Audiometrie ist durch geschultes Personal und für alle Probanden möglichst mit der selben audiometrischen Technik durchzuführen. Vor der Untersuchung sollte eine ausreichende Lärmpause von mindestens 12 Stunden eingehalten werden.

Datenselektion

Zur Berücksichtigung verschiedener in Abbildung 11 dargestellter Einflüsse ist eine Datenselektion erforderlich. Dabei sind unterschiedlich strenge Ausschlußverfahren denkbar. Beispielsweise müssen Beschäftigte mit Ohrerkrankungen oder starker Lärmbelastung in der Freizeit nicht in jedem Fall ausgeschlossen werden, da man bei ausreichend großen Kollektiven eine dem Bevölkerungsdurchschnitt entsprechende Wirkung durch diese Einflüsse annehmen kann. Eine sehr strenge Datenselektion hat auch den Nachteil, daß ein daraus entwickeltes Hörverlustmodell nur auf eine gleichartig selektierte Gruppe angewendet werden kann und keine allgemeinen Hörverlust-Prognosen, z.B. zur Abschätzung der zu erwartenden Hörschadensfälle in bestimmten Arbeitsbereichen, möglich sind.

- o Bei der Datenselektion sollten möglichst folgende Ausschlußkriterien angewendet werden:
 - Berufsfremde Vorbeschäftigung
 - Beschäftigte haben zeitweilig oder ständig Gehörschutzmittel benutzt
 - offensichtliche Fehler bei der Audiometrie, z.B. keine ausreichende Lärmpause

- o Ggf. können bei der Datenselektion zusätzliche Kriterien berücksichtigt werden, z.B.:
 - regelmäßiger oder häufiger Konsum von Medikamenten (ototoxische Wirkung)
 - Zeichen oder Symptome von Ohrerkrankungen
 - hohe Lärmbelastung im Freizeitbereich.

- o Alle Gruppen sind nach Geschlecht getrennt auszuwerten. Beschäftigte, die in Schichtarbeit, unter extremen klimatischen Bedingungen oder starken Ganzkörper-Vibrationen eingesetzt waren, sollten möglichst als eigene Gruppen gesondert betrachtet werden.
- o Wegen der individuell unterschiedlichen Empfindlichkeit der Beschäftigten gegen Lärmbelastungen müssen nach der Datenselektion ausreichend große Kollektive verbleiben, um zuverlässige Aussagen zur Dosis-Wirkungs-Beziehung machen zu können.
- o Um Hörminderungen verschiedener Gruppen miteinander vergleichen zu können, z.B. beim Vergleich der Wirkung von Impuslärm und Dauerlärm, sollten die Gruppen möglichst nach den gleichen Kriterien selektiert sein.

4.4.2 Ergebniskategorien retrospektiver Studien

Durch die im vorigen Abschnitt formulierten Anforderungen an retrospektive Studien sind die Möglichkeiten zur Durchführung dieser Studien mit ausreichend großen Kollektiven begrenzt. Dennoch wurde die Wirkung von Dauerlärm bereits in ausreichendem Umfang untersucht, um damit das Hörschadensmodell der ISO/DIS 1999.2 [140] entwickeln zu können, das eine Vorhersage der Hörverlustverteilungen für mit Dauerlärm belastete Populationen in Abhängigkeit verschiedener Parameter erlaubt (siehe Abschnitt 5.4.2).

Für Impuslärmbelastungen liegt jedoch noch kein ausreichendes Datenmaterial vor, um daraus ein ähnliches Hörverlustmodell abzuleiten oder das Material in das ISO-Modell zu integrieren. Der Grund dafür mag in der begrenzten Zahl von Arbeitsplätzen liegen, die die oben genannten Anforderungen erfüllen, sowie in der verhältnismäßig aufwendigen Meßtechnik zur Erfassung und Beschreibung von

Impulslärm. So standen bis vor etwa 10 Jahren keine geeigneten integrierenden Schallpegelmesser zur Verfügung, um den Energieinhalt der Impulse genau zu erfassen.

Wegen dieser meßtechnischen Probleme wurden in dieser Literaturauswertung nur die seit Anfang der siebziger Jahre veröffentlichten Ergebnisse berücksichtigt. Die Zuverlässigkeit der Ergebnisse wird daran zu messen sein, wieweit die im Abschnitt 4.4.1 genannten Voraussetzungen dabei eingehalten wurden und insbesondere, wie gut die Meßtechnik zur Erfassung der Lärmimpulse geeignet war.

In der Tabelle 1 sind 13 Veröffentlichungen zu unterschiedlichen retrospektiven Studien mit Angabe der Lärmquellen, der gemessenen energieäquivalenten Pegel L_{Aeq} und der Anzahl der erfaßten Beschäftigten zusammengestellt. Die energieäquivalenten Dauerschallpegel L_{Aeq} wurden für die verschiedenen Arbeitsplätze mit Werten von 85 bis 127 dB angegeben. Die Schalldruckspitzenwerte lagen bei den meisten Geräuschen in dem in der These genannten Bereich unterhalb 145 dB (peak). Nur in einer Untersuchung (Nr. 4 der Liste) wurden Spitzenwerte bis 150 dB genannt.

Da die zusammengetragenen Arbeiten unterschiedliche Aussagen zur Gehörschädlichkeit von Impulslärm im Vergleich zu Dauerlärm vom gleichen energieäquivalenten Pegel machen, wurden sie in vier Ergebniskategorien eingeteilt :

- a - Ergebnisse bestätigen voll und ganz das als These formulierte Prinzip der Energieäquivalenz.
- b - Ergebnisse sind näherungsweise mit dem Energieprinzip in Einklang; für einzelne Impulslärmquellen lassen sich jedoch Abweichungen von diesem Prinzip erkennen.
- c - Ergebnisse sprechen für einen positiven Zuschlag (Impulzzuschlag) zum energieäquivalenten Pegel L_{Aeq} , um die Gehörschädlichkeit von Impulslärm zu beurteilen.

- d - Ergebnisse sprechen für einen negativen Zuschlag zum energieäquivalenten Pegel L_{Aeq} , um die Gehörschädlichkeit von Impuslärm zu beurteilen.

Bei dieser Differenzierung der Ergebnisse fallen vier der betrachteten Studien in die Ergebniskategorie a (Nr. 1, 2, 4 und 5), d.h. die für Impuslärmbelastungen festgestellten Hörverluste stimmen gut mit den für Dauerlärm des gleichen L_{Aeq} -wertes anzunehmenden Hörverlusten überein. Vier andere Arbeiten bestätigen das Energieprinzip zumindest für einen Teil der untersuchten Impuslärmbelastungen, während für einzelne Lärmquellen unerklärliche Abweichungen von diesem Prinzip festgestellt werden (Nr. 6, 8, 12 und 13).

In einer weiteren Gruppe von vier Arbeiten sprechen sich die Autoren für eine Korrektur des energieäquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} durch einen Impulzzuschlag aus, um ein festgestelltes größeres Schädigungsrisiko unter Impuslärmbelastung zu berücksichtigen (Nr. 3, 9, 10 und 11). Dieser Impulzzuschlag kann jedoch nicht quantitativ und nicht für alle Geräuscharten geeignet angegeben werden.

Nur eine Studie kommt zu dem Ergebnis, daß bei Impuslärm ein geringeres Schädigungsrisiko besteht als bei Dauerlärm von gleichen energieäquivalenten Pegel L_{Aeq} , d.h. es wäre eine negative Impuskorrektur erforderlich (Nr. 7). Die zusammengetragenen Untersuchungen seien nachfolgend getrennt nach den vier Ergebniskategorien betrachtet.

Autor(en)/ Jahr der Veröffentlichung	Lärmquellen/ Tätigkeit	LAeq [dB]	Beschäft.-Zahl vor/nach Selekt.		Ergebnis- katego- rie*)
1 Atherley u. Marin 71	Schmiedehämmer	118 110	97	77	a
2 Guberan et al 71	Schmiedehämmer	102-122		70	a
3 Passchier-Vermeer 71	Schweißarbeit. mechan. Metall- bearbeitung	85- 91		29	c
		80- 85		30	
4 Atherley 73	Meißelhämmer	117-127	70	50	a
5 Ceypek 73	Schmiedehämmer	116		213	a
6 Rangelrooy 77	Niethämmer Pressen (+ hoher Grund- geräuschpegel)	98	67	28	b
		96	93	36	
7 Berger 78	verschiedene Ausw. von Daten anderer Autoren (z.B. 3 und 5)	-			d
8 Sulkowski 80	Schmiedehämmer	100		64	b
		114		186	
		118		261	
9 Voigt et al 80	Baulärm (keine genaueren Angaben)	76-100	81000		c
10 Evans u. Ming 82	Webstühle Spinnmaschinen Flaschenabfüllanl. Metallverarbeitung	102		69	c
		95		122	
		93		136	
		94		52	
11 Sulkowski et al 83	Schmiedehämmer Webstühle (Baumw.)	100		64	c
		102		112	
12 Taylor et al 84	Schmiedehämmer Pressen	108	3780	505	b
		99		211	
13 Hohmann 84	verschiedene		290000/261543		b

*) Ergebniskategorie entsprechend Abschnitt 4.4.2

Tabelle 1: Zusammenstellung retrospektiver PTS-Studien und der jeweils erfaßten Lärmquellen

4.4.2.1 Untersuchungen der Ergebniskategorie a

Atherley und Martin (1971):

Die wohl bekannteste retrospektive Studie zur Bestätigung des Energieprinzips wurde von Atherley und Martin im Jahre 1971 publiziert [5]. Es wurden 97 Beschäftigte aus zwei Hammerschmieden hinsichtlich ihrer Lärmexposition und ihrer Hörverluste untersucht und aufgrund otoskopischer Untersuchungsbefunde und der Lärmhistorie selektiert. Die Hörverluste der verbliebenen 77 Schmiede wurden mit den nach Burns und Robinson [14] für Dauerlärmbelastungen ermittelten Hörverlusten verglichen.

Die Abbildung 12 zeigt die alterskorrigierten Hörverluste der Schmiedearbeiter bei 3 und 4 kHz in Abhängigkeit der Lärmbelastung sowie die entsprechenden Median- und Quartilwerte nach Burns und Robinson. Da bei allen betrachteten Frequenzen annähernd 50 % der eingetragenen Hörverluste zwischen den beiden durch die Perzentile 25 und 75 gegebenen Kurven liegen, wird das Ergebnis als Bestätigung des Energieprinzips auch für Impulslärm angesehen.

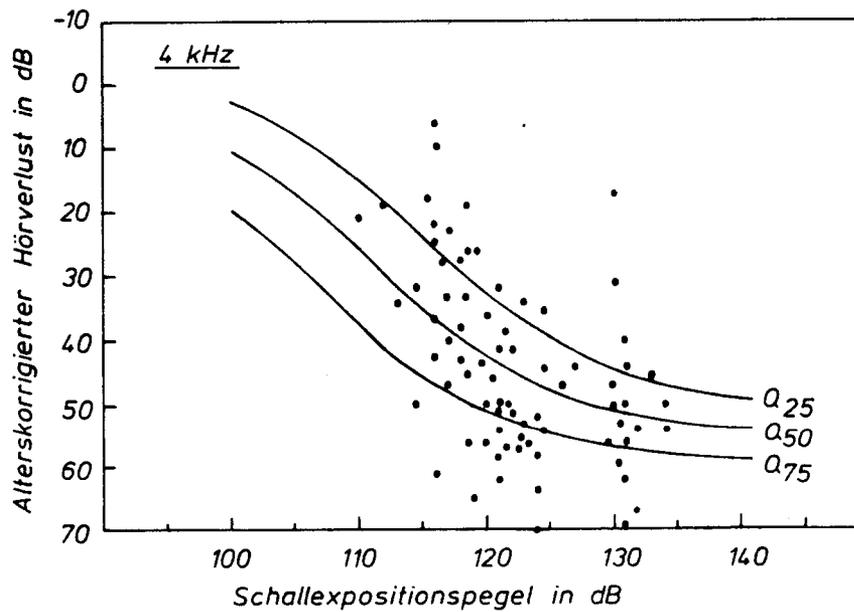
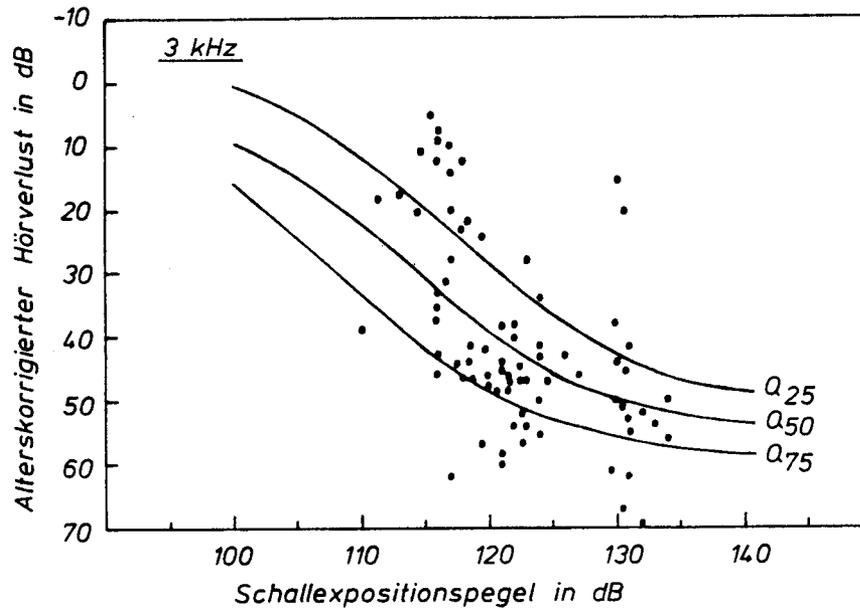


Abbildung 12 :

Alterskorrigierte Hörverluste in Abhängigkeit der Lärmexposition.

Vergleich der Hörbefunde von 77 Schmiedearbeitern und der nach Burns u. Robinson [14] für Dauerlärmeinwirkung prognostizierten Werte (Median- und Quartil-Werte) bei den audiologischen Frequenzen von 3 und 4 kHz [5]

Guberan et al. (1971):

Auch in der Studie von Guberan et al. [35] wurden Beschäftigte aus Schmiedebetrieben untersucht. Nach Datenselektion unter Berücksichtigung von otologischen Anormalitäten und der Lärmhistorie verblieben 70 Beschäftigte für die weitere Auswertung. Die festgestellten lärmbedingten Hörverluste wurden den von Robinson und Cook [99] für Dauerlärmbelastungen ermittelten Hörverlusten in Abhängigkeit der Schallenergiedosis gegenübergestellt. Die in Abbildung 13 gezeigten Ergebnisse lassen erkennen, daß der energieäquivalente Dauerschallpegel das Gehörschadensrisiko dieser Impusllärmbelastungen offenbar ebenso gut beschreibt wie für Dauerlärmbelastungen.

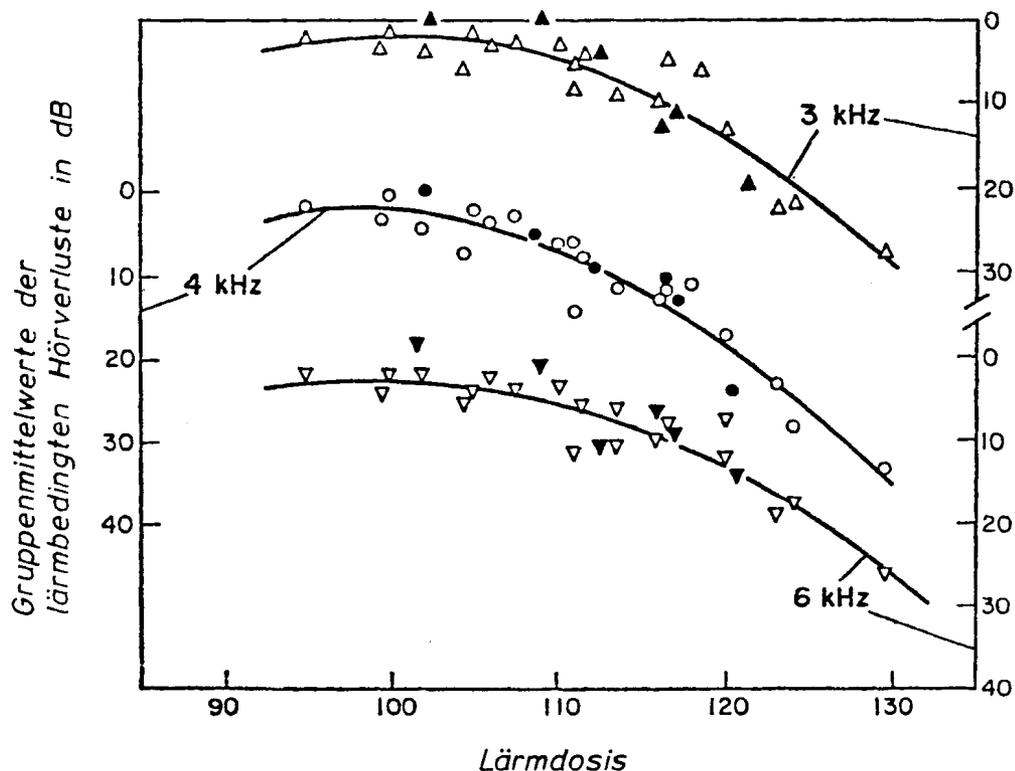


Abbildung 13 :

Gruppenmittelwerte lärmbedingter Hörverluste in Abhängigkeit der Gesamtexposition (Lärmdosis).

Vergleich der von Guberan et al. [35] in Schmiedebetrieben festgestellten Hörverluste (scharze Punkte und Dreiecke) mit den von Robinson und Cook [99] für Dauerlärmbelastungen gewonnenen Ergebnissen.

Atherley (1973):

In der von Atherley im Jahre 1973 veröffentlichten Studie wurden Arbeitsplätze mit pneumatischen Meißelhämmern betrachtet [4]. Für die nach Datenselektion verbliebenen 50 Beschäftigten ließ sich eine gute Übereinstimmung der Hörverluste mit den auf der Grundlage des L_{Aeq} -Wertes nach Burns und Robinson [14] für Dauerlärmbelastung prognostizierten Hörverlusten nachweisen. Die Abbildung 14 zeigt die Gegenüberstellung der entsprechenden Hörverlustverteilungen.

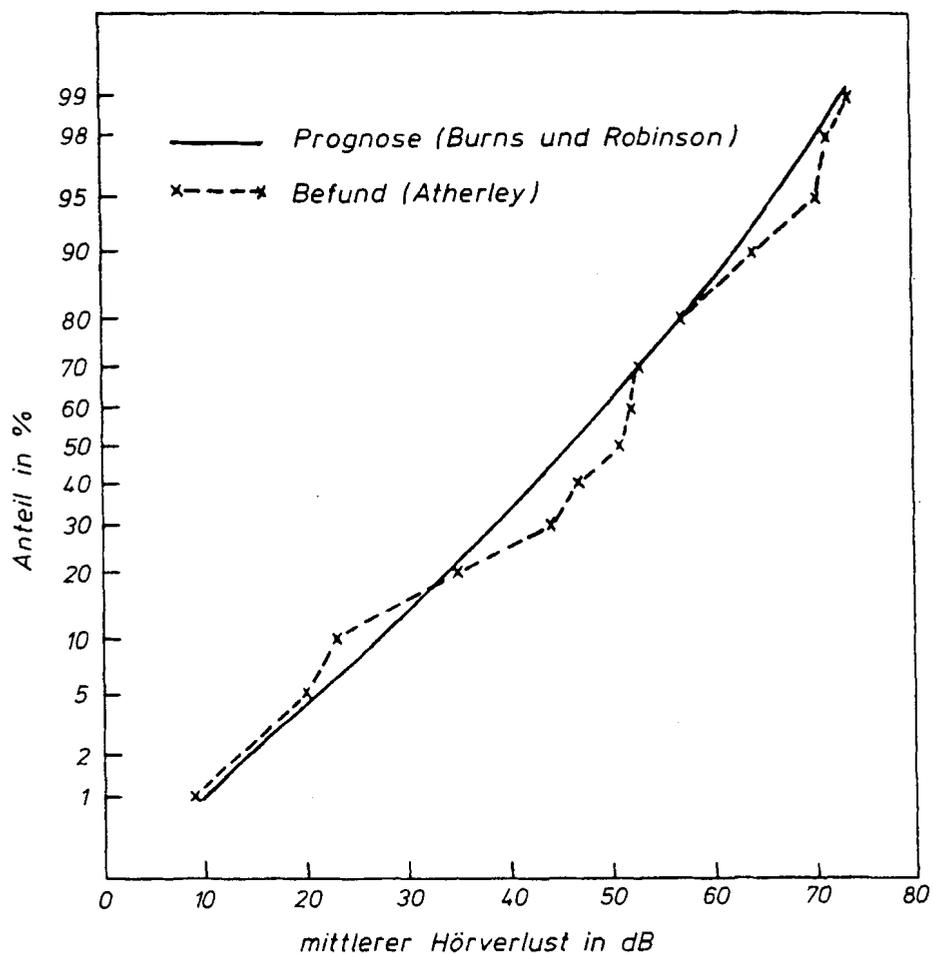


Abbildung 14 :

Kumulative Verteilung der mittleren Hörverluste für Beschäftigte an Meißelhämmern und der entsprechenden Prognose für Dauerlärmwirkung vom selben L_{Aeq} -Wert (Mittelwerte für die audiologischen Frequenzen von 1 bis 6 kHz); nach Atherley [4]

Ceypek et al. (1973):

Die von Ceypek im Jahre 1973 für 213 Schmiedearbeitsplätze publizierten Hörverlustdaten [15] wurden von Martin [66] mit den nach Robinson und Shipton [100] für Dauerlärmbelastung zu erwartenden Hörverlusten verglichen. Auch diese Gegenüberstellung bestätigt die Anwendbarkeit des Energieprinzips für die Beurteilung von Impulslärm.

Da alle in diese Ergebniskategorie eingeordneten Studien bereits Anfang der siebziger Jahre veröffentlicht wurden und seinerzeit keine genauen integrierenden Meßgeräte zur Verfügung standen, basieren diese Untersuchungen vermutlich auf L_{Aeq} -Werten, die durch oszillographische Aufzeichnung und Auswertung der Lärmimpulse gewonnen wurden. In den Studien 1, 4 und 5 wurde das von Atherley und Martin entwickelte Meß- und Auswerteverfahren angewandt [5], in der Studie 2 fehlen jedoch genauere Angaben zur Auswertung der aufgezeichneten Impulse. Wie im Abschnitt 3.1 erläutert, sind diese Meß- und Auswerteverfahren mit größeren Unsicherheiten verbunden.

Eine weitere Unsicherheit besteht durch mögliche historische Änderungen der Lärmbelastungen, z.B. aufgrund von technologischen Änderungen in den Betrieben. Diese Möglichkeit wird von keinem der Autoren erörtert und überprüft. Deshalb kann man leider nicht mit letzter Sicherheit feststellen, ob sich die dargestellten Zusammenhänge zwischen Hörminderungen und den energieäquivalenten Pegeln L_{Aeq} bei entsprechend sorgfältiger Analyse so eindeutig bestätigen würden.

4.4.2.2 Untersuchungen der Ergebniskategorie b

Unter der Ergebniskategorie b werden Veröffentlichungen betrachtet, die das Energieprinzip für bestimmte Impulslärmbelastungen unterstützen, jedoch für einzelne Impulslärmquellen oder einzelnen Frequenzen unerklärliche Abweichungen erkennen lassen. Dazu gehören die in Tabelle 1 mit den Nummern 6, 8, 12 und 13 gekennzeichneten Arbeiten.

Rangelrooij (1977):

Rangelrooij [96] wertete die Hörverlustdaten und Lärmbelastungswerte von zwei Gruppen von Beschäftigten aus. Die erste Gruppe von 28 Beschäftigten (nach Selektion) war Impulslärm durch Niethämmer mit einem energieäquivalenten Dauerschallpegel von $L_{Aeq} = 98$ dB ausgesetzt. Die zweite Gruppe von 36 Beschäftigten (nach Selektion) war durch Schlagimpulse von Abkantpressen und ein überlagertes verhältnismäßig hohes Dauergeräusch mit einem energieäquivalenten Pegel von $L_{Aeq} = 96$ dB belastet.

Die festgestellten Hörverluste wurden jeweils mit den von Passchier-Vermeer [80] für Dauerlärmbelastung vom gleichen Energieinhalt angegebenen Hörverlusten verglichen. Für die Gruppe der Beschäftigten mit dem impulsüberlagerten Dauerlärm bezeichnet Rangelrooij das Energieprinzip als bestätigt, auch wenn die Hörverluste dieser Gruppe bei einzelnen audiologischen Meßfrequenzen deutlich von den Hörverlusten für Dauerlärm abweichen. Dagegen weisen die Beschäftigten mit reiner Impulslärmbelastung durch Niethämmer etwas größere Hörverluste auf als auf der Grundlage des energieäquivalenten Dauerschallpegels prognostiziert werden kann. Die Anwendung eines verhältnismäßig geringen Impulzzuschlages von 3 dB für den Impulslärm würde diesem Ergebnis Rechnung tragen.

Da Rangelrooij zur Erfassung der Impulslärmbelastung das mit größeren Unsicherheiten behaftete Meßverfahren nach Atherley und Martin (siehe Abschnitt 3.1) angewendet hat, ist es jedoch fraglich, ob sich damit diese geringfügige Abweichung vom Energieprinzip überhaupt ausreichend gesichert nachweisen läßt.

Sulkowski (1980) :

In der von Sulkowski im Jahre 1980 veröffentlichten Untersuchung [111] wurden drei Hammerschmieden A, B und C betrachtet. Für diese Betriebe wurden nach dem Auswerteverfahren von Atherley und Martin [5] energieäquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq} von 114 dB, 118 dB und 100 dB ermittelt. Nach Ausschluß aller Beschäftigten mit Ohrkrankheiten oder Anomalien sowie andersartigen akustischen Vorbelastungen verblieben Kollektive von 186, 261 und 64 Personen der drei Betriebe.

Die für diese Gruppen ermittelten Hörverluste wurden mit dem nach Burns und Robinson [14] für Dauerlärm des gleichen energieäquivalenten Pegels anzunehmenden Hörverlusten verglichen. Während sich für die Beschäftigten der ersten beiden Betriebe A und B - insbesondere bei den höheren audiologischen Frequenzen von 3, 4 und 6 kHz - näherungsweise eine Übereinstimmung zwischen den Hörbefunden und den Prognosen ergab, wurden im Betrieb C sehr viel größere Hörverluste festgestellt als sie nach dem Energieprinzip zu erwarten wären. Die Abbildung 15 zeigt die in den drei Betrieben bei 4 kHz festgestellten mittleren lärmbedingten Hörverluste in Abhängigkeit von der Belastungszeit sowie die entsprechenden Hörverlustprognosen für Dauerlärmbelastung des gleichen L_{Aeq} -wertes nach Burns und Robinson [14].

Sulkowski folgert aus diesen Ergebnissen, daß das Energieprinzip möglicherweise einer gewissen Korrektur bedarf und weitere Forschungsarbeiten zur Beurteilung von Impulslärm erforderlich sind.

— Hörbefunde
--- Prognosen

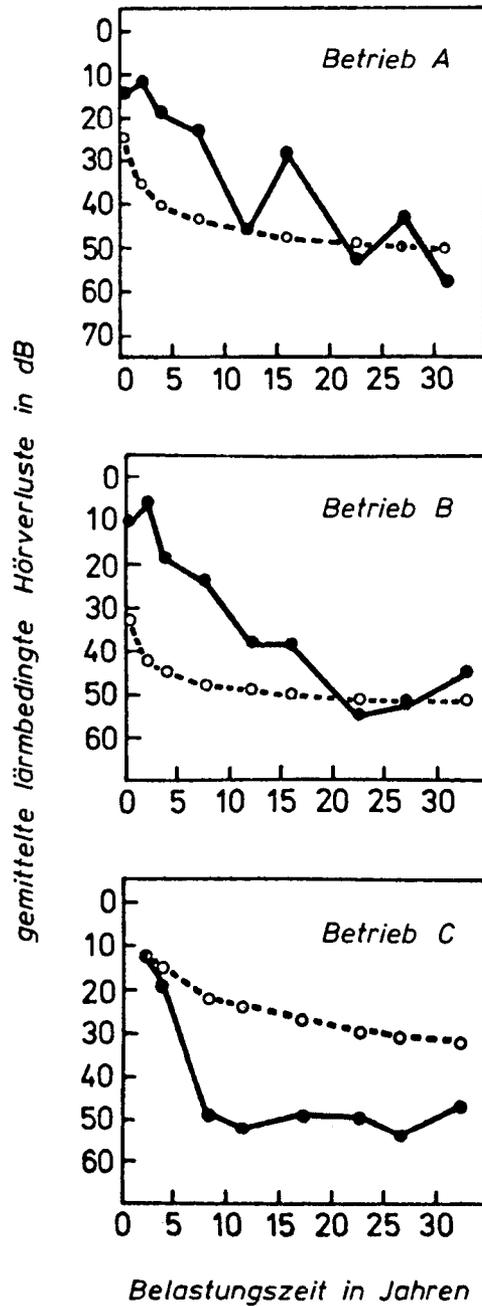


Abbildung 15 :

Mittlere lärmbedingte Hörverluste von Beschäftigten in drei Schmiedebetrieben in Abhängigkeit von der Belastungszeit und Hörverlust-Prognosen für Dauerlärmbelastung mit gleichem L_{Aeq} -Wert bei der audiologischen Frequenz von 4 kHz; nach Sulkowski [111]

Zu den gewonnenen Ergebnissen ist jedoch kritisch anzumerken, daß die angewandte Meß- und Auswertetechnik mit größeren Unsicherheiten behaftet ist (siehe Abschnitt 3.1). Daraus können, insbesondere bei den für den Betrieb C gegebenen verhältnismäßig langen Schlagimpulsen größere Fehleinschätzungen bei der Erfassung der Lärmbelastung resultieren, da die Impulsform stark von der dem Auswerteverfahren zugrunde liegenden exponentiell abklingenden Form abweicht.

Taylor et al. (1984):

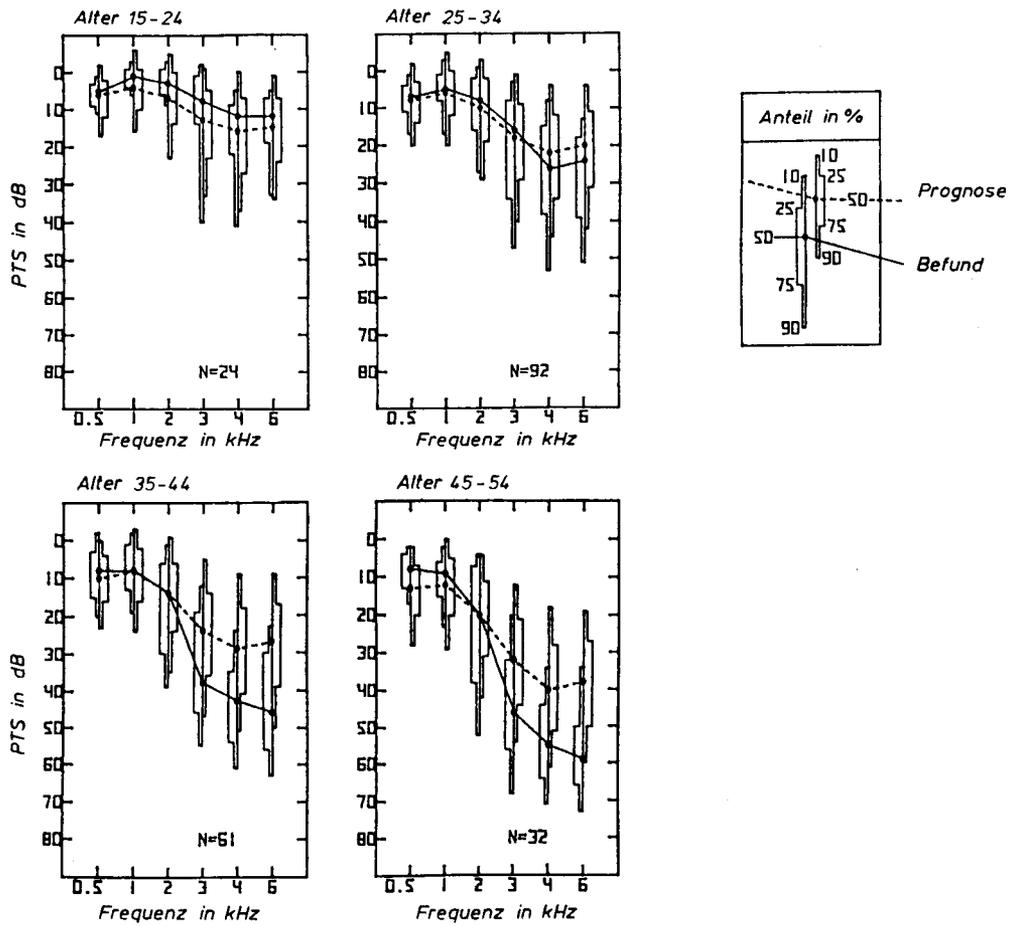
Im Gegensatz zu den beiden zuvor behandelten Studien wurde die Lärmbelastung in der von Taylor et al. [115] durchgeführten Untersuchung durch Schallpegelintegration mit integrierenden Meßgeräten erfaßt. Dabei wurde allerdings ein Magnetbandgerät zur Zwischenwertspeicherung eingesetzt und der Beurteilungspegel unter Annahme bestimmter Arbeits- und Pausenzeiten berechnet.

Zusätzliche Messungen mit Personenschalldosimetern dienten der besseren Absicherung der Ergebnisse und führten mit Abweichungen von nur ± 2 dB zu den selben Beurteilungspegeln. Im Rahmen der Untersuchung wurden sieben Schmiedebetriebe mit 3780 Arbeitsplätzen an Schmiedehämmern und Pressen erfaßt. Unter Berücksichtigung der Lärmhistorien und der otologischen Befunde verblieben davon 716 Beschäftigte für die weitere Auswertung (505 Arbeitsplätze an Schmiedehämmern und 211 Arbeitsplätze an Pressen). Bei der Selektion wurden allerdings Beschäftigte, die Gehörschutzmittel benutzt hatten, nicht ausgeschlossen. Die Zeiten mit Gehörschutz wurden als lärmfrei angenommen, was nach dem heutigen Kenntnisstand sicher nicht berechtigt ist. Da die Tragequote von Gehörschutzmitteln gering war und maximale Zeiten von 4 Jahren angegeben wurden, kann man die daraus resultierende Unsicherheit als gering einschätzen. Zum Vergleich der für die betrachteten Kollektive festgestellten Hörverluste mit den nach dem Prinzip der Energieäquivalenz zu erwartenden Hörverlusten wurde das von Robinson [98] entwickelte Modell

zur Hörverlust-Vorhersage angewandt. Als Lärmbelastungen wurden dabei die über verschiedene Betriebe gemittelten Werte angesetzt, entsprechend $L_{Aeq} = 108$ dB für Hammerarbeitsplätze und $L_{Aeq} = 99$ dB für Pressenarbeitsplätze.

Zur Veranschaulichung der Ergebnisse wurden mehrere Altersgruppen unterschieden und die Perzentile der Hörverlustverteilung für die betrachteten audiologischen Frequenzen berechnet. Wie die Gegenüberstellung der nach dem Modell berechneten und der tatsächlich gemessenen Hörverluste für die Pressenarbeitsplätze in Abbildung 16 zeigt, stimmen die entsprechenden Ergebnisse näherungsweise überein. In den beiden oberen Altersgruppen ergeben sich jedoch für die audiologischen Frequenzen von 3, 4 und 6 kHz größere Differenzen. Deshalb wurde zusätzlich ein Vergleich mit den von Passchier-Vermeer [80] für Dauerlärmbelastung ermittelten Hörverlusten durchgeführt, womit sich auch in diesem Frequenzbereich vergleichbare Hörverluste für Dauerlärm und den betrachteten impulshaltigen Pressenlärm zeigen ließen.

a) Vergleich mit Hörverlust-Prognosen nach Robinson



b) Vergleich mit Hörverlust-Prognosen nach Passchier-Vermeer

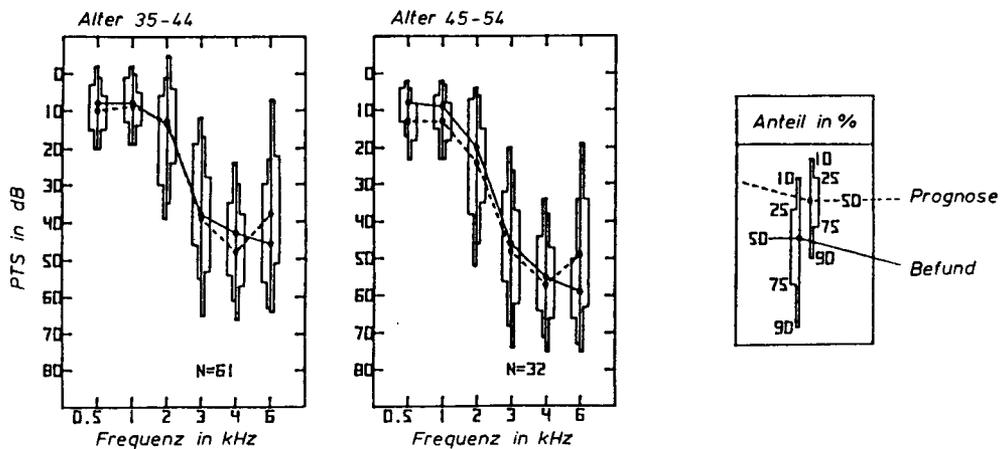


Abbildung 16 :

Hörverlustbefunde von Beschäftigten verschiedener Altersgruppen an Pressenarbeitsplätzen im Vergleich zu entsprechenden Prognosen für Dauerlärm nach

a) Robinson und

b) Passchier-Vermeer;

nach Taylor [115]

Die Auswertung der an Hammerarbeitsplätzen festgestellten Hörverluste ergibt zumindest in den oberen Altersgruppen eine gute Übereinstimmung mit den ausgehend vom energie-äquivalenten Dauerschallpegels nach Robinson [98] prognostizierten Werten. In den jüngeren Altersgruppen (kürzere Belastungszeiten) weisen die untersuchten Beschäftigten jedoch geringere Hörverluste auf als nach dem Modell für Dauerlärm berechnet.

Insgesamt können die Ergebnisse dieser für Hammer- und Pressenarbeitsplätze durchgeführten Untersuchung zumindest näherungsweise als eine Bestätigung des Energieprinzips gewertet werden, auch wenn sich für einzelne Frequenzen oder Altersgruppen Abweichungen erkennen lassen. Durch eine Korrektur des L_{Aeq} -Wertes ließe sich auf jeden Fall keine bessere Übereinstimmung zwischen Hörverlustmodell und Befund erreichen, da sich damit in anderen Bereichen größere Abweichungen ergeben müßten. Außerdem ist festzustellen, daß auch die für Dauerlärmbelastungen gewonnenen Ergebnisse [80,98] zu etwas unterschiedlichen Hörverlustprognosen führen, so daß man je nach gewähltem Hörverlustmodell eine mehr oder weniger gute Übereinstimmung mit den für Impulslärmbelastungen ermittelten Hörverlusten erhält.

Hohmann (1984):

Von Hohmann [47] wurden die Hörverluste von etwa 290.000 Beschäftigten aus verschiedenen Industriezweigen ausgewertet. Dazu standen ihm Hörverlustdaten zur Verfügung, die von der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt (SUVA) im Rahmen von routinemäßig durchgeführten Vorsorgeuntersuchungen erhoben wurden. Zur Erfassung der Lärmbelastungen wurde ein speziell angefertigtes integrierendes Meßgerät eingesetzt. Durch entsprechende Messungen an einer großen Zahl von Arbeitsplätzen ließen sich Durchschnittswerte für bestimmte Maschinenarten bzw. Arbeitsbereiche bestimmen, die den entsprechenden Hörverlusten zugeordnet werden konnten.

Um die Berechtigung von ggf. erforderlichen Korrekturen des energieäquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} als Maß für die Gehörschädlichkeit in Abhängigkeit bestimmter Geräuschparameter, insbesondere der Impulshaltigkeit, zu überprüfen, wurden die Daten folgendermaßen ausgewertet:

- a) Ausschluß von Fällen mit Ohrkrankheiten, Schieß- und Explosionsschäden oder widersprüchlichen Angaben (261.543 Personen nach Selektion); keine Berücksichtigung der Lärmhistorie.
- b) Klassierung nach Geschlecht, Alter, Pegel und Expositionszeit (als Pegel wurden hier vermutlich die aus der stichprobenartigen Erhebung gewonnenen Durchschnittswerte L_{Aeq} angesetzt.)
- c) Berechnung der Hörverlustmittelwerte für jede Klasse - "Referenzhörverlust"
- d) Vergleich bestimmter Personengruppen (Lärmquellen, Industriezweige) mit dem "Referenzhörverlust" unter entsprechender Wichtung des Alters und der Lärmpegel.

Aus dem durchgeführten Vergleich läßt sich die relative Schädlichkeit der betreffenden Lärmquelle bzgl. aller übrigen Lärmquellen mit gleichem energieäquivalenten Mittelungspegel L_{Aeq} ablesen. Zur Kennzeichnung dieser relativen Schädlichkeit wird eine "Lärmpegelkorrektur" definiert, die aus dem mittleren Hörverlust der Gruppe und dem zugehörigen Referenzhörverlust bestimmt wird. Diese Lärmpegelkorrektur gibt an, um welchen Betrag der gemessene Lärmpegel aufgrund der festgestellten Hörschäden korrigiert werden müßte.

Durch Berechnung der entsprechenden Korrekturwerte für die verschiedenen Branchen zeigt Hohmann, daß keine nennenswerten branchenspezifischen Korrekturen des energieäquivalen-

ten Dauerschallpegels erforderlich sind. Die Auswertung der Korrekturwerte für einzelne Lärmquellen zeigt auch, daß sich für Impulsgeräusche keine höheren Lärmpegelkorrekturen ergeben als für Dauergeräusche. Durch Auftragen der für einzelne Lärmquellen festgestellten Lärmpegelkorrekturwerte über dem Impulszuschlag K_I der entsprechenden Quelle läßt sich außerdem nachweisen, daß zwischen diesen beiden Werten nur eine geringe Korrelation besteht (siehe Abbildung 17).

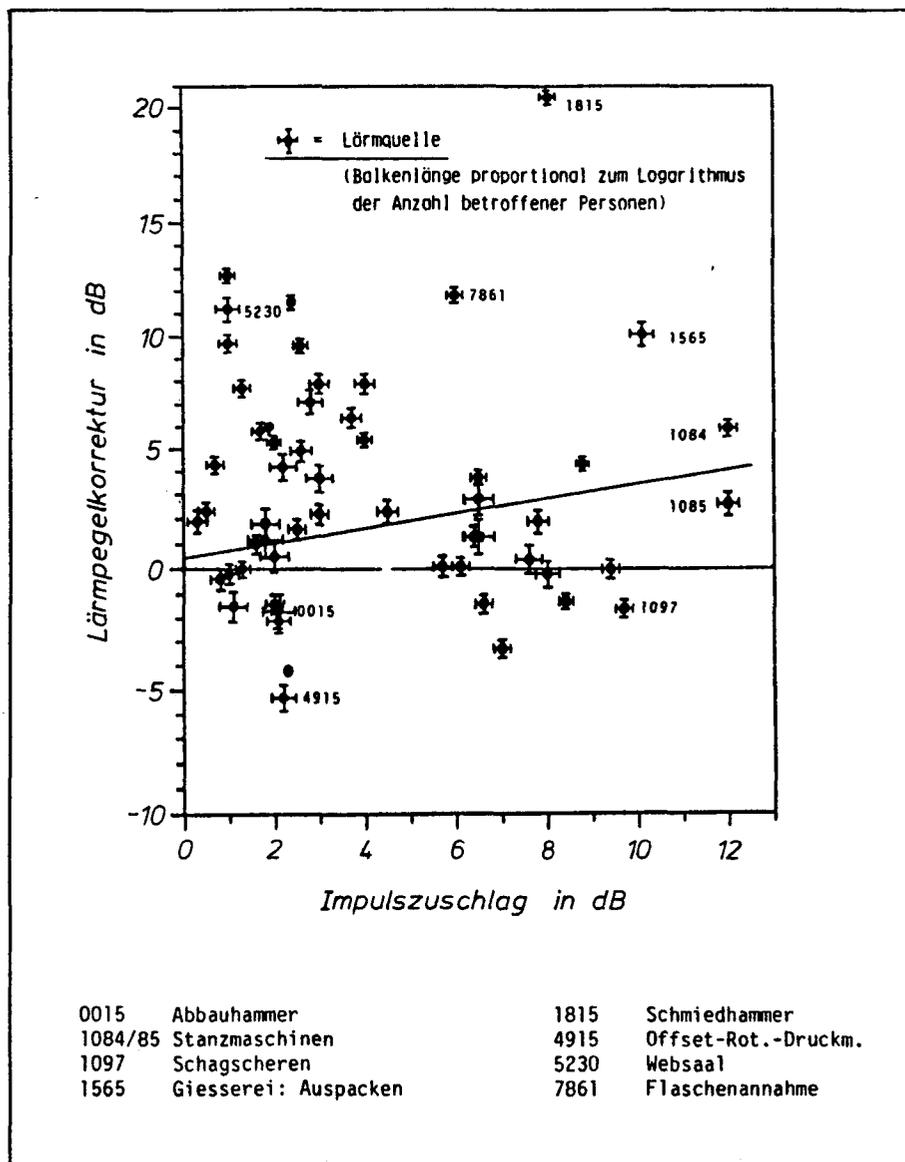


Abbildung 17 :

Aus Hörverlustdaten für bestimmte Lärmquellen berechnete Lärmpegelkorrekturwerte in Abhängigkeit des Impulszuschlages; nach Hohmann [47]

Die in Abbildung 17 eingetragene Regressionsgerade läßt zwar eine Zunahme der Gehörschädlichkeit (Lärmpegelkorrektur) mit dem Impulszuschlag erkennen, jedoch nicht in dem Maße, wie es sich im Wert des Impulszuschlages ausdrückt. Die für viele Quellen festzustellenden großen Abweichungen von dem durch die Regressionsgerade beschriebenen Zusammenhang, insbesondere bei wenig impulshaltigem Lärm (niedrige K_T -Werte), lassen erhebliche Zweifel an der Berechtigung dieses Zuschlages aufkommen. Eine Beurteilung der Geräusche auf der Grundlage des energieäquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} würde die Gehörschädlichkeit etwa ebenso gut beschreiben wie die Beurteilung anhand des "Impuls"-bewerteten Mittelungspegels.

Da Hohmann viele Lärmquellen auch in der Frequenzbewertung "A+D" erfaßt hat (siehe Abschnitt 3.6) kann man prüfen, ob die unerwartet große Gehörschädlichkeit (Lärmpegelkorrektur) einzelner Lärmquellen möglicherweise durch einen hohen Geräuschanteil in dem als besonders stark schädigend angenommenen Frequenzbereich zwischen 1 und 8 kHz zu begründen ist. Diese Vermutung läßt sich jedoch nicht bestätigen. Beispielsweise handelt es sich bei dem als besonders gehörschädigend erkannten Geräusch der Schmiedehämmer (Lärmpegelkorrektur mehr als 20 dB) eher um ein tieffrequentes Geräusch. Nach Hohmann wirkt sich die gegenüber der A-Bewertung geänderte Frequenzbewertung "A+D" gleichermaßen pegelerhöhend auf Dauer- und Impulsgeräusche aus.

Obwohl die Messungen von Hohmann sicher mit hoher Präzision durchgeführt wurden und verhältnismäßig große Kollektive für die Auswertungen zur Verfügung standen, ergibt sich bei der durchgeführten Untersuchung dadurch eine Unsicherheit, daß sich die Lärmbelastung der betrachteten Gruppen für die zurückliegenden Jahre nur ungenau bestimmen läßt. So kann man z.B. in einzelnen Branchen mit größeren historischen Änderungen der Lärmbelastung aufgrund der technologischen Entwicklung rechnen. Auch läßt sich der Einfluß von Gehörschutzmitteln auf die Belastung nicht abschätzen.

Zusammenfassung der Ergebnisse aus Studien der Ergebniskategorie b) :

Die dieser Ergebniskategorie zugeordneten Arbeiten lassen erkennen, daß sich ausgehend von den für Dauerlärmbelastungen bekannten Hörverlusten [14,80,98] unter Anwendung des als These formulierten Energieprinzips die unter Impulslärmbelastungen zu erwartenden Hörverluste einer ausreichend großen Population zumindest näherungsweise prognostizieren lassen. Nach den Untersuchungen von Hohmann [47] wären die Fehler bei der Prognose für Impulslärmbelastungen nicht größer als die bei Dauerlärmbelastungen.

Für alle in dieser Ergebniskategorie betrachteten Studien lassen sich jedoch verschiedene Unsicherheiten nachweisen, z.B. durch

- ungenaue Meß- und Auswertetechnik zur Erfassung des Energieinhaltes (L_{Aeq}) der Impulse (Rangelrooij, Sulkowski)
- historische Veränderung der Lärmbelastung innerhalb der berücksichtigten Beschäftigungszeiten (alle Studien)
- nicht ausreichend berücksichtigter bzw. falsch eingeschätzter Einfluß von Gehörschutzmitteln (Taylor, Hohmann).

Vielleicht lassen sich die festgestellten Abweichungen vom Energieprinzip durch diese Fehler erklären. Vielleicht ist aber auch der energieäquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq} nicht die geeignete Meßgröße, um alle Arten von Lärm hinsichtlich der Gehörschädlichkeit richtig zu beurteilen. Aus den hier dargestellten Ergebnissen läßt sich jedoch keine geeignete Korrektur oder eine besser geeignete Meßgröße erkennen, mit der sich eine bessere Korrelation zwischen Lärmbelastung und der Gehörschädigung ergäbe.

4.4.2.3 Untersuchungen der Ergebniskategorie c)

In die dritte Ergebniskategorie wurden Arbeiten eingeordnet, deren Autoren aus ihren Feststellungen eine größere Gehörschädlichkeit von Impulslärm ableiten als sie sich in der Größe des energieäquivalenten Dauerschallpegels ausdrückt. Dazu zählen die in der Tabelle 1 unter den Nr. 3, 9, 10 und 11 aufgelisteten Arbeiten.

Passchier-Vermeer (1971) :

In der Untersuchung von Passchier-Vermeer [81] wurden die Hörverluste von Beschäftigten eines Holzverarbeitungsbetriebes und eines Metallverarbeitungsbetriebes mit den erfahrungsgemäß für Dauerlärmbelastungen zu erwartenden Hörverlusten verglichen. Als Vergleichsgrundlage dienten dabei die von der Autorin aus verschiedenen Quellen zusammengetragenen Hörverlustdaten von ca. 4500 Lärmexponierten bzw. das daraus abgeleitete Hörverlust-Modell für Dauerlärmwirkung [80].

In den betrachteten beiden Betrieben wurden die Lärmbelastungen an den bestehenden Arbeitsplätzen erfaßt und die Audiogramme der Beschäftigten aufgenommen. Nach Datenselektion aufgrund der Lärmhistorie und der Pathologie wurden aus den festgestellten Hörminderungen der betrachteten Gruppen jeweils die der Schädigung entsprechenden Schallpegel berechnet.

In dem Holzverarbeitungsbetrieb lag eine schwankende, jedoch nicht impulshaltige Lärmbelastung vor, für die L_{Aeq} -Werte von 98,4 bis 100,6 dB ermittelt wurden. Aus den zur Auswertung herangezogenen Audiogrammen von 144 Beschäftigten ließ sich ein der Hörminderung entsprechender Schallpegel L_{Aeq} von 98 bis 99 dB berechnen und damit das Energieprinzip für diese Art der Lärmbelastung bestätigen.

In dem metallverarbeitenden Betrieb wurden zwei Gruppen mit stark impulshaltiger Lärmbelastung erfaßt.

Die erste Gruppe von 30 Beschäftigten war zur mechanischen Schweißnahtvorbereitung, die zweite Gruppe zum Verschweißen dieser Stahlteile eingesetzt. Die von Passchier-Vermeer für diese Arbeiten ermittelten energieäquivalenten Dauerschallpegel L_{Aeq} von 80,3 bis 84,6 dB (mechanische Bearbeitung) bzw. 85,0 bis 90,8 dB (Schweißen) sind allerdings nach eigenen Meßverfahren als viel zu niedrig anzusehen. Aufgrund von an vergleichbaren Arbeitsplätzen selbst durchgeführten Messungen scheint der Ansatz eines Mittelungspegels von rund 100 dB(A) für beide Tätigkeiten durchaus berechtigt. Dieser Wert würde damit auch näherungsweise mit den aus den Audiogrammen beider Gruppen abgeleiteten der Schädigung entsprechenden Schallpegeln L_{Aeq} von 100 bis 102 dB (mechanische Bearbeitung) bzw. 102 bis 104 dB (Schweißen) übereinstimmen.

Die von Passchier-Vermeer angegebene Differenz von ca. 13 dB bis 20 dB zwischen der gemessenen Lärmbelastung und der der Schädigung entsprechenden Belastung ist damit zumindest teilweise auf Fehler in der Meßtechnik zurückzuführen und kann keinesfalls einen Impulszuschlag in dieser Größenordnung begründen.

Da die Messungen mit einem Schallpegelmessgerät von geringer Dynamik in der Zeitbewertung "S" ("langsam") durchgeführt wurden, sind die in dem Metallbetrieb gegebenen hohen Schallimpulse sicher energiemäßig nicht voll erfaßt worden. Außerdem wurde eine zusätzliche Lärmbelastung durch zeitweilig ausgeführte Nietarbeiten nicht berücksichtigt. Auch besteht eine gewisse Unsicherheit dadurch, daß der Frage einer möglichen historischen Änderung der Belastung an diesen Arbeitsplätzen nicht nachgegangen wurde.

Voigt et al (1980) :

Die von Voigt et al. [116] durchgeführte Untersuchung basiert auf Hörverlustdaten, die für 81.000 Beschäftigte der schwedischen Bauindustrie gewonnen wurden. Die Beschäftigten wurden dabei in vier Klassen unterschiedlicher Lärmbelastung eingeteilt. Wie in Abbildung 18 dargestellt ergaben sich für Dauerlärmbelastungen mit zunehmendem

Pegel L_{Aeq} keine größeren Hörverluste, während für Impuls-
lärm eine deutliche Zunahme der Hörverluste mit dem Pegel
festzustellen war. Daraus wird auf eine größere Gehörschäd-
lichkeit von Impuslärm geschlossen.

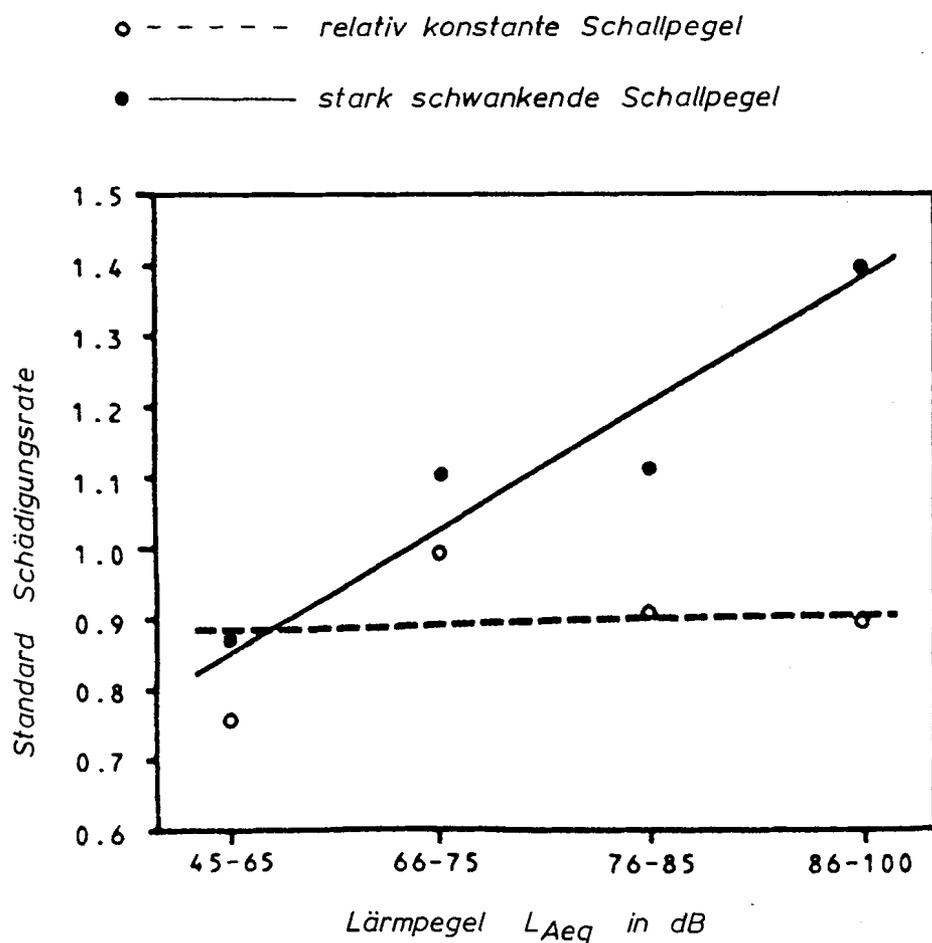


Abbildung 18 :

Hörverluste von Beschäftigten auf Baustellen in Abhängig-
keit des energieäquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} für
relativ konstanten Dauerlärm und stark schwankenden Lärm.
Standard Schädigungsrate - Verhältnis der festgestellten
Hörminderung zur mittleren Hörminderung einer Vergleichs-
gruppe; nach Voigt et al. [116]

Da in dieser Arbeit keine konkreten Informationen zu den Lärmquellen und zur angewandten Meßtechnik gegeben werden, entziehen sich die Schlußfolgerungen einer kritischen Überprüfung. Wegen der besonderen Problematik der Erfassung der Lärmbelastung auf Baustellen (siehe Abschnitt 5.2) sind größere Unsicherheiten nicht auszuschließen. Die dargestellten Ergebnisse sind auch deshalb zweifelhaft, weil sich für Beschäftigte mit Dauerlärmbelastungen von 86 bis 100 dB nach langjähriger Einwirkung keine größeren Hörverluste ergeben sollen als bei einer Belastung von 76 bis 85 dB. Das widerspricht allen bisherigen Erkenntnissen zur Wirkung von Lärm.

Evans und Ming (1982) :

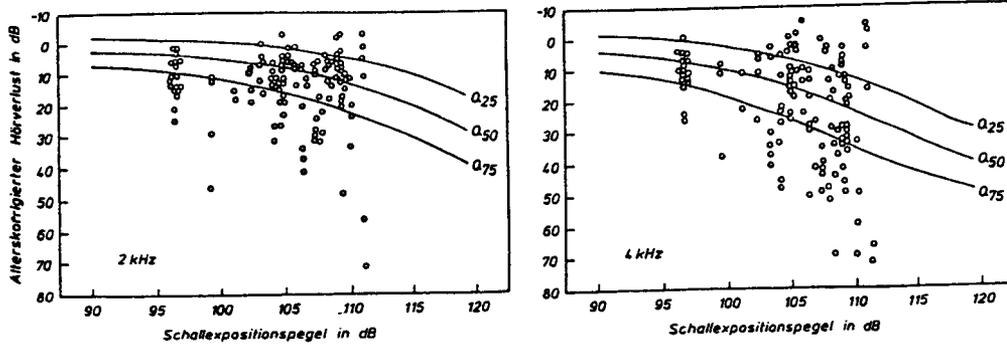
Von Evans und Ming [27] wurden Lärmbelastungen und Hörverluste für die Beschäftigten von vier Betrieben in Hongkong analysiert. Die Daten wurden unter Berücksichtigung andersartiger Vorbeschäftigungen und ggf. angegebener Ohrerkrankungen selektiert (keine vollständige otologische Untersuchung), so daß folgende Gruppen für die Auswertung verblieben:

122 Beschäftigte an Spinnmaschinen	$L_{Aeq} = 95$ dB
69 Beschäftigte an Webstühlen	$L_{Aeq} = 102$ dB
136 Beschäftigte an Flaschenabfüllanlagen	$L_{Aeq} = 93$ dB
52 Beschäftigte in der Metallverarbeitung	$L_{Aeq} = 94$ dB.

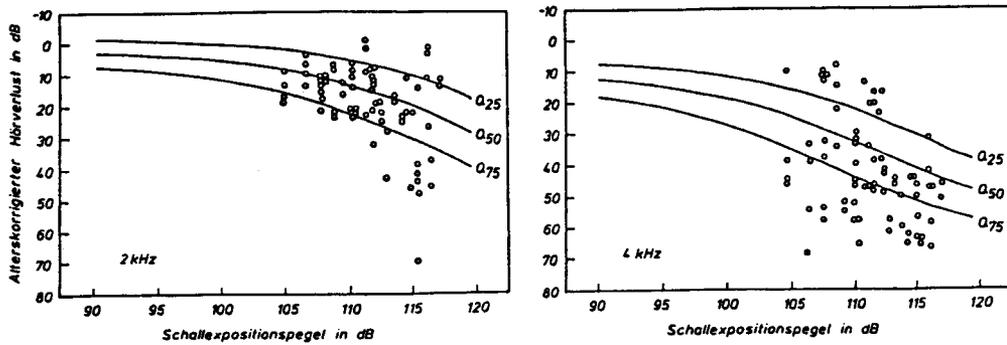
Aus den gemessenen energieäquivalenten Dauerschallpegeln wurden jeweils die für Dauerlärmbelastung nach Robinson und Shipton [100] zu erwartenden Hörverluste berechnet und mit den Befunden in den entsprechenden Betrieben verglichen.

Die Darstellungen in Abbildung 19 a) bis d) zeigen die alterskorrigierten Hörverluste bei 2 und 4 kHz in Abhängigkeit der Lärmdosis ($L_{Aeq} + 10 \lg[T/T_0]$) für die einzelnen Beschäftigten der vier Gruppen. Zum Vergleich sind darin die Hörverlustprognosen nach [100] als Median- und Quartilwerte angegeben.

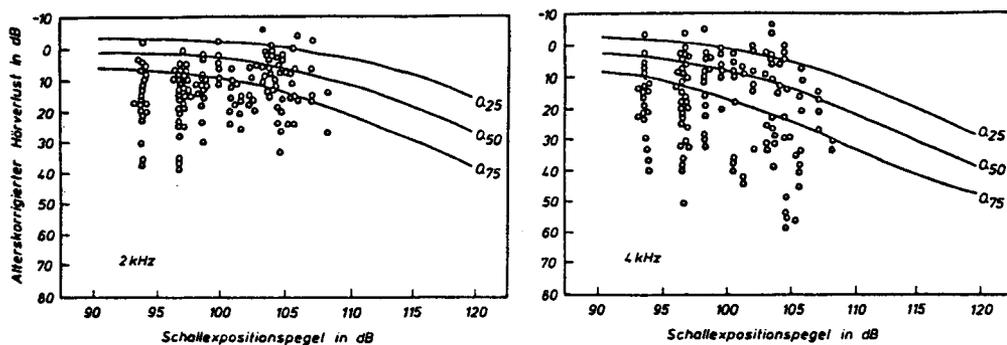
a) Spinnmaschinen



b) Webstühle



c) Flaschenabfüllanlagen



d) Metallverarbeitung

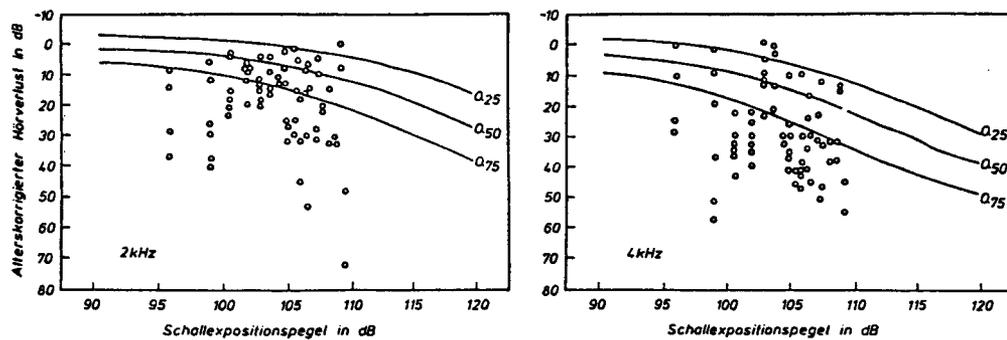


Abbildung 19 :

Alterskorrigierte Hörverluste bei 2 kHz und 4 kHz in Abhängigkeit der Lärmbelastung für Beschäftigte an Spinnmaschinen, Webstühlen, Flaschenabfüllanlagen und in der Metallverarbeitung sowie die entsprechenden Hörverlustprognosen nach Robinson und Shipton [100] als Median- und Quartilwerte; nach Evans und Ming [27]

Für die Gruppe der Beschäftigten an Spinnmaschinen liegen mehr als 50% der erfaßten Hörverluste innerhalb der durch die Quartile gegebenen Grenzen, was als eine Bestätigung des Energieprinzips für diese Dauerlärmbelastung angesehen wird. Für die übrigen Gruppe ist jedoch eine Tendenz zu größeren Hörverlusten erkennbar. Dies wird auf die Impulshaltigkeit dieser Geräusche, insbesondere in dem Metallverarbeitungsbetrieb, erklärt. Zur Beurteilung wäre deshalb ein Impulszuschlag erforderlich.

Die Autoren möchten jedoch einige Fehlermöglichkeiten ihrer Untersuchung nicht ausschließen. So könnten die festgestellten größeren Hörverluste auch auf die geringere Datenselektion zurückgeführt werden, da keine vollständige otologische Untersuchung wie bei der dem Hörverlustmodell zugrunde liegende Population durchgeführt wurde. Außerdem wird eingeräumt, daß die Schallimpulse durch die eingesetzten Meßgeräte nicht voll erfaßt und somit der Energieinhalt der Impulsgeräusche unterschätzt wurde (es standen keine integrierenden Schallpegelmesser zur Verfügung).

Von Impuslärm kann man nach eigener Erfahrung aber wohl nur im Metallbereich sprechen. Die Geräusche in Websälen und Getränkeabfüllbetrieben werden im allgemeinen als typische nicht impulshaltige Dauergeräusche betrachtet, wie zum Beispiel entsprechende Messungen von Hohmann belegen [47]. Die für diese beiden Gruppen festgestellten größeren Hörminderungen können also nicht durch Lärmimpulse begründet werden. Eine mögliche Erklärung wäre eine in den zurückliegenden Jahren in diesen Betrieben erreichte Pegelminderung. Damit ließen sich vielleicht alle in dieser Arbeit dargestellten Ergebnisse mit dem Energieprinzip in Einklang bringen. Die Frage der historischen Änderung der Lärmbelastung wurde jedoch von den Autoren leider nicht überprüft.

Sulkowski et al. (1983) :

In der von Sulkowski et al. [112] durchgeführten Studie wurden die Hörverluste von Webern und Hammerschmieden miteinander verglichen, die alle etwa mit dem gleichen energieäquivalenten Dauerschallpegel belastet waren. Nach Selektion der Daten aufgrund otoskopischer Untersuchung und Befragung zu früheren Ohrerkrankungen und zur Lärmhistorie verblieben folgende Gruppen für die Auswertung:

112 Weber	$L_{Aeq} = 101,8 \text{ dB}$
64 Hammerschmiede	$L_{Aeq} = 100,4 \text{ dB}$

Trotz der etwa gleichen energiemäßigen Lärmbelastung beider Gruppen, zeigt der Vergleich der Hörverluste differenziert nach Altersgruppen und Belastungsjahren jeweils die größeren Hörverluste für Hammerschmiede, insbesondere bei der audiologischen Frequenz von 6 kHz.

Abbildung 20 zeigt die Darstellung der mittleren Hörverluste der Weber und Hammerschmiede in Abhängigkeit der Belastungszeit für 4 audiometrische Frequenzen (etwa gleiches Durchschnittsalter und gleiche durchschnittliche Belastungszeit beider Gruppen).

Aus diesen Ergebnissen wird gefolgert, daß sich durch Impulslärm größere Hörverluste ergeben als durch Dauerlärm vom gleichen energieäquivalenten Pegel und daß das Energiekonzept zur Beurteilung von Impulslärm ungeeignet ist.

Im Gegensatz zu diesem Ergebnis hatte Sulkowski im Jahre 1980 über eine Untersuchung in drei Hammerschmieden berichtet [111], nach der sich für zwei Betriebe das Energieprinzip bestätigte, während im dritten Betrieb deutlich größere Hörverluste festgestellt wurden als nach dem Modell berechnet (siehe Abschnitt 4.4.2.2).

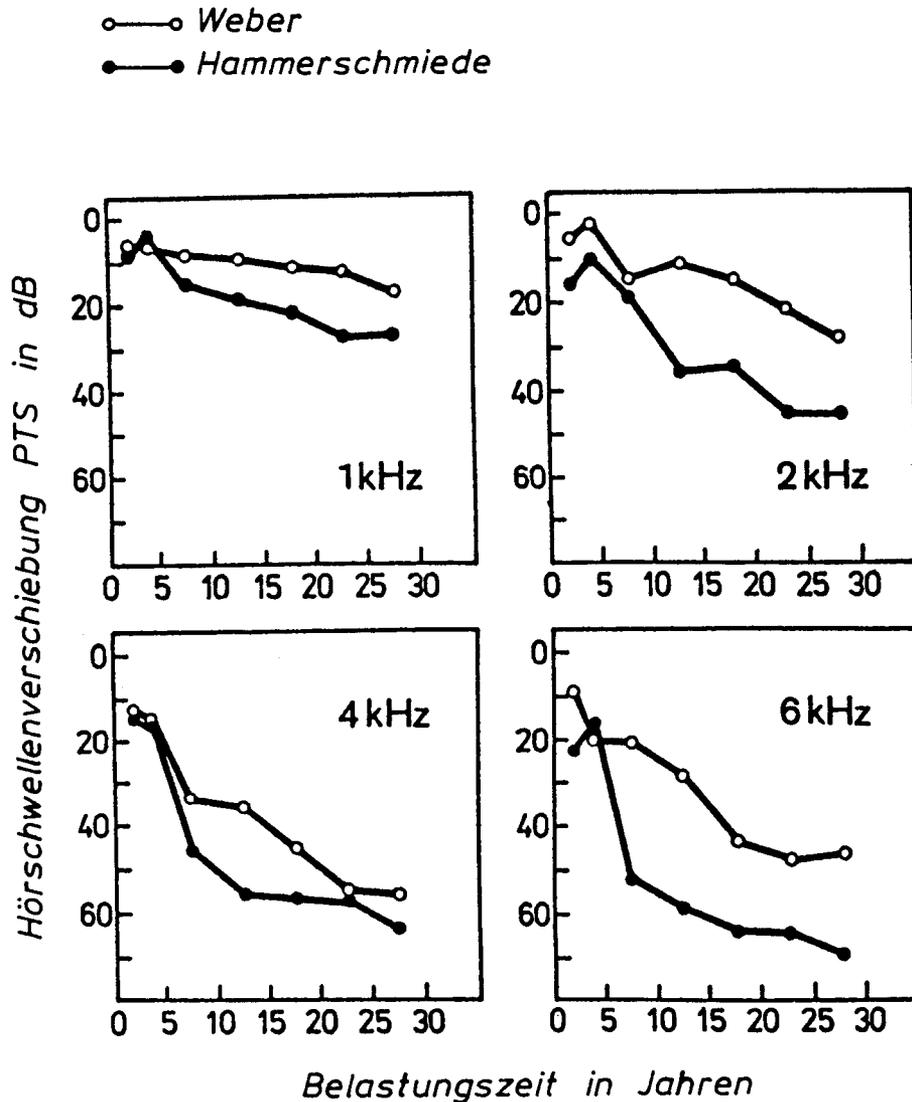


Abbildung 20 :

Hörminderungen (PTS) von Webern ($L_{Aeq} = 101,8$ dB) im Vergleich zu denen von Hammerschmieden ($L_{Aeq} = 100,4$ dB) bei 1, 2, 4 und 6 kHz in Abhängigkeit von der Belastungszeit; nach Sulkowski [112]

Da in dieser neueren Arbeit gerade die als besonders gehörschädigend erkannten Schmiedehämmer des dritten Betriebes zum Vergleich mit den Webstühlen herangezogen wurden, überrascht es nicht, daß sich damit für Impulslärm verhältnismäßig große Hörverluste ergeben.

Ein Vergleich der beiden anderen Schmiedebetriebe mit der Weberei hätte dagegen vermutlich das Energieprinzip für diesen Impulslärm bestätigt. Wie bereits im Abschnitt 4.4.2.2 erläutert, beinhalten die Lärmmeßwerte für den betrachteten dritten Schmiedebetrieb wegen des angewandten Meß- und Auswerteverfahrens und der verhältnismäßig lange nachklingenden Hammerschlagimpulse möglicherweise einen größeren Meßfehler.

Zusammenfassung der Ergebnisse aus Studien der Ergebniskategorie c) :

Bei der Diskussion der in dieser Ergebniskategorie behandelten Arbeiten kann die Untersuchung von Voigt et al. [116] ausgeklammert werden, da wesentliche Aussagen dieser Arbeit allen bisherigen Erkenntnissen zur Wirkung von Lärm widersprechen und nicht ausreichend begründet werden. In den anderen Untersuchungen dieser Ergebniskategorie wird das Energieprinzip für einzelne, wenig impulshaltige Geräuschbelastungen, wie z.B. für Holzverarbeitungsbetriebe [81], Spinnereien [27] und Webereien [112], bestätigt. Bei anderen Lärmbelastungen werden jedoch größere Hörverluste festgestellt als auf der Grundlage des L_{Aeq} -wertes prognostiziert, z.B. für Metallverarbeitungsbetriebe, Webereien, Flaschenabfüllbetriebe und Schmiedebetriebe. Dabei handelt es sich jedoch nicht nur um reine Impulslärmbelastungen. So muß man die von Evans und Ming in Webereien und Abfüllbetrieben erfaßten Lärmbelastungen sicher dem Dauerlärm zuordnen, d.h. die in diesen Studien festgestellte im Vergleich zu den bekannten Hörschadensmodellen größere Gehörschädlichkeit einiger Impulslärmbelastungen gilt offensichtlich ebenso für einige typische Dauerlärmbelastungsfälle.

Die festgestellten Abweichungen vom Energieprinzip sind möglicherweise durch die bereits im Abschnitt 4.4.2 erläuterten Unsicherheiten zu erklären. Bei den in dieser Ergebniskategorie behandelten Studien muß man vor allem mit wesentlichen meßtechnischen Fehlern rechnen, wie die Dis-

kussion der Meßergebnisse im einzelnen belegt. Auch sind größere historische Änderungen der Lärmbelastung in keinem Fall auszuschließen, da diese Frage nicht genauer überprüft wurde. Die Frage, ob sich durch die gegebenen Unsicherheiten allerdings in jedem Fall die von diesen Autoren festgestellte Diskrepanz zwischen dem Befund für Impulslärmbelastungen und dem Hörschadensmodell für Dauerlärm erklären läßt, kann hier nicht beantwortet werden.

Die Anwendung des Impulzzuschlages nach DIN 45 645 würde zudem auch keine nennenswert bessere Übereinstimmung der Hörverluste der in diesen Studien betrachteten Gruppen mit dem Hörschadensmodell für Dauerlärm ergeben. Damit ließen sich beispielsweise die in Webereien und in Flaschenabfüllbetrieben festgestellten großen Hörverluste nicht erklären.

Nach diesen Feststellungen können die hier behandelten Studien keinen überzeugenden Beweis erbringen, daß man bei Impulslärm generell ein größeres Gehörschadensrisiko annehmen muß als für Dauerlärm vom gleichen energieäquivalenten Mittelungspegel L_{Aeq} . Man könnte jedoch vermuten, daß sich für einzelne Lärmquellen vom Energieprinzip abweichende Hörverluste ergeben, ohne daß dies eindeutig der Impulshaltigkeit zugeschrieben werden kann. Diese Feststellung wäre damit auch in Einklang mit den von Hohmann [47] dargestellten Ergebnissen (siehe Abschnitt 4.4.2.2).

4.4.2.4 Untersuchung der Ergebniskategorie d)

Nur eine der hier behandelten retrospektiven Studien kann zur Begründung einer negativen Korrektur des energieäquivalenten Dauerschallpegels bei der Beurteilung von Impulslärm hinsichtlich Gehörschädlichkeit herangezogen werden. Diese von Berger durchgeführte Arbeit [6] hatte die Zielsetzung, das von Kraak et al. [52,54] zur Hörverlustprognose bei Dauerlärmbelastung entwickelte Dresdener Modell (siehe Abschnitt 3.3) zu verallgemeinern und dessen Gültigkeit für Impulslärmbelastungen nachzuweisen.

Dazu wurden von Berger neben eigenen Untersuchungen zur integrierten Hörschwellenverschiebung (ITTS) verschiedene von anderen Autoren veröffentlichte retrospektive Studien ausgewertet. Die nach Kraak durch Betragsmittelung des Schalldruckes zu bestimmende Dosisgröße wurde mit Hilfe empirischer Formeln aus den Spitzenschalldrücken und den Impulsdauern berechnet. Wegen fehlender Angaben in den zusammengetragenen Studien waren in einigen Fällen Abschätzungen erforderlich. Einige Studien, die zum Teil erheblich größere Hörverluste bei Impulslärmbelastungen erkennen ließen, wurden bei den durchgeführten Auswertungen ausgeschlossen, da Berger größere meßtechnische Fehler annahm (keine oszillographischen Analysen). Bei allen Auswertungen wurden nur die Hörschwellenverschiebungen (PTS) bei 4 kHz betrachtet.

Abbildung 21 zeigt für industriellen Impulslärm zusammengetragene Ergebnisse von Hörschwellenverschiebungen (PTS) in Abhängigkeit der Lärmdosis nach Kraak. Wie die eingetragene für Dauerlärmbelastungen berechnete Regressionsgerade [32] und die Pegelstreuung (2 s-Bereich) zeigt, kann man diese Ergebnisse als eine Bestätigung der für Dauerlärmbelastung festgestellten Zusammenhänge ansehen. Danach wäre zur Beurteilung der Gehörschädlichkeit von Impulslärm keine andere Lärmmessung und -bewertung erforderlich als für Dauerlärm.

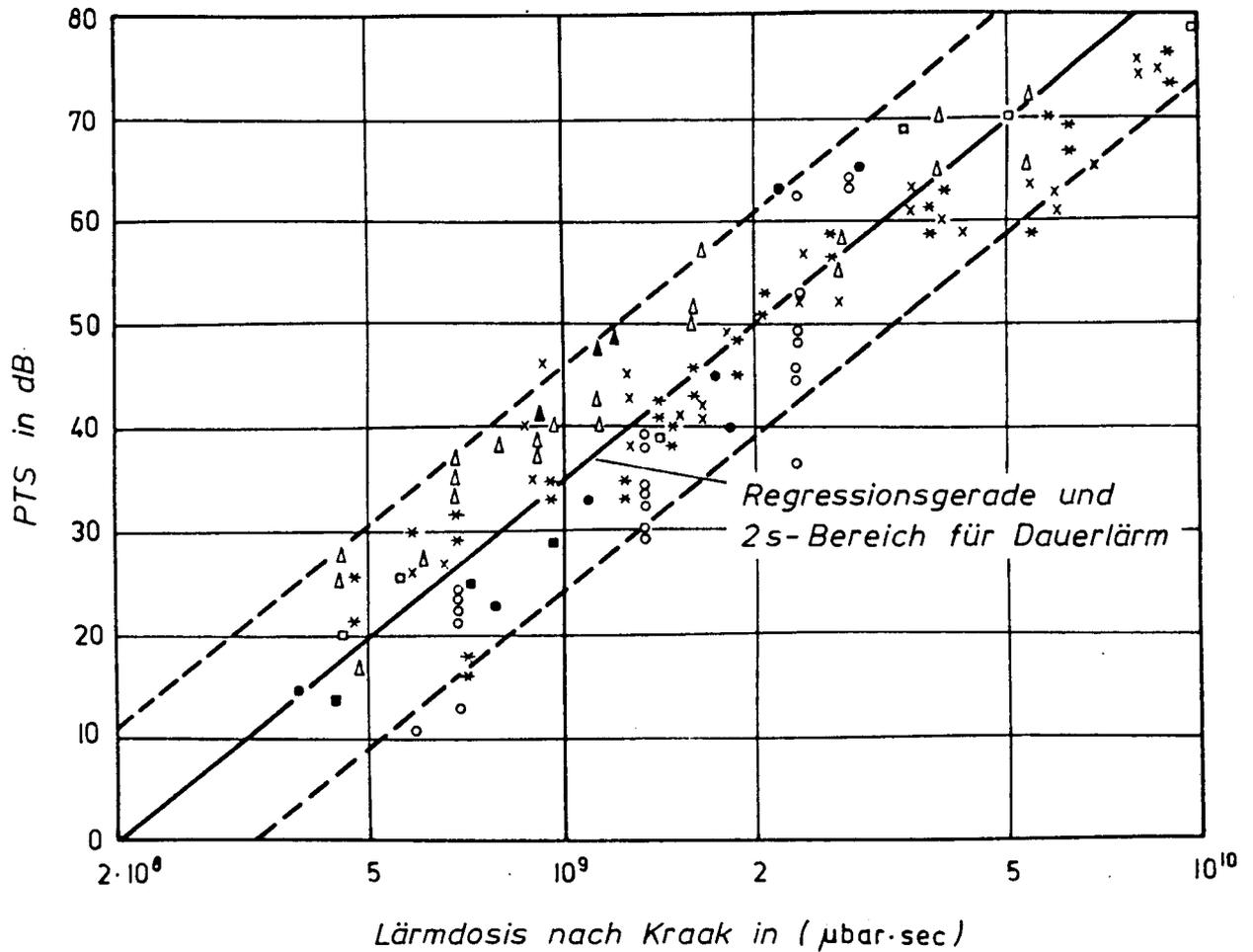


Abbildung 21 :

Hörschwellenverschiebung (PTS) von unter industriellem Impulslärm eingesetzten Beschäftigten in Abhängigkeit von der Lärmdosis nach Kraak et al. [52]; nach Berger [6]

Dem hier zugrunde gelegten Meßverfahren der betragsmäßigen Schalldruckmittelung entspricht nach den in Abschnitt 3.3 gegebenen Erläuterungen eine negative Korrektur des energieäquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} bei Impulslärm.

Leider lassen sich die Auswertungen von Berger nicht überprüfen, da die den einzelnen Punkten in Abbildung 21 zugrundeliegenden Meßwerte bzw. Abschätzungen nicht angegeben werden und eine genaue Zuordnung zu den entsprechenden Veröffentlichungen fehlt. So bleibt es unerklärlich, weshalb sich die Arbeiten einzelner Autoren zwanglos in dieses Modell einordnen lassen, während die Autoren selbst aus ihren Ergebnissen auf die Notwendigkeit einer positiven Korrektur des energieäquivalenten Mittelungspegels durch einen Impulzzuschlag schließen (z. B. [81]). Insbesondere unter Berücksichtigung aller übrigen hier analysierten Studien bleiben doch erhebliche Zweifel an der Schlußfolgerung, daß das Risiko von Impulslärmbelastungen geringer ist als für Dauerlärmbelastungen des gleichen energieäquivalenten Pegels.

4.5 Zusammenfassung der Literaturlauswertung

Bei der Betrachtung der Literatur zur Wirkung von Impulslärm auf das menschliche Gehör wurden folgende drei Studientypen unterschieden:

- Tierexperimente
- TTS-Studien für den Menschen
- retrospektive Studien für den Menschen (PTS-Studien).

Die Ergebnisse wurden dabei jeweils im Hinblick auf die These des Energieprinzips zur Beurteilung von Impulslärm diskutiert.

Bei Tierexperimenten besteht grundsätzlich die Frage nach der Übertragbarkeit der gewonnenen Ergebnisse auf das menschliche Ohr.

Vielfach geht man davon aus, daß zumindest vergleichbare qualitative Zusammenhänge für die Gehörschädigung bei Mensch und Tier bestehen. Die Gültigkeit des Energieprinzips wurde im Tierexperiment bisher nur für täglich einwirkende, nicht unterbrochene Dauerlärmbelastungen nach-

gewiesen. Für Impulslärmbelastungen finden sich dagegen scheinbar widersprüchliche Ergebnisse, wobei möglicherweise das Überschreiten einer anzunehmenden kritischen Grenzbelastung eine Rolle spielt. Oberhalb dieser Grenze (Spitzenpegel oder Energieinhalt) werden in verschiedenen Untersuchungen deutliche Abweichungen vom Energieprinzip (Nichtlinearitäten) nachgewiesen, die einen hierfür geltenden anderen Wirkungsmechanismus der Schädigung vermuten lassen.

Unter Berücksichtigung der im Vergleich zu den eingesetzten Versuchstieren unterschiedlichen Gehörempfindlichkeit für den Menschen wurde von Price [93] ein Spitzenschalldruckpegel L_{peak} von rund 140 dB als Grenzwert abgeleitet. Da auch verschiedene Studien zur zeitweiligen Hörschwellenverschiebung (TTS) beim Menschen eine Grenze bei diesem Wert erkennen lassen, sollte das in der These formulierte Energieprinzip entsprechend eingeschränkt werden. Die bereits getroffene Einschränkung auf den Pegelbereich bis 145 dB (peak) kann sicherheitshalber auf den Wert von 140 dB korrigiert werden. Da die meisten industriellen Impulsgeräusche auch diesen neuen Grenzwert einhalten, hat diese geringfügige Korrektur nur wenig Bedeutung für die Praxis.

Die betrachteten Untersuchungen zur zeitweiligen Hörschwellenverschiebung (TTS) nach Lärmeinwirkung können das Energieprinzip weder für Dauerlärm- noch für Impulslärmbelastungen bestätigen. Insbesondere bei unterbrochenen oder impulsartigen Lärmbelastungen besteht nach diesen Untersuchungen kein fester Zusammenhang zwischen dem Energieinhalt der Belastung und den festzustellenden TTS-Werten.

Zwar wurde hier für die auf TTS-Studien basierenden Schießlärmbewertungsverfahren "CHABA" und "Pfander" in ihrem Anwendungsbereich eine gute Übereinstimmung mit dem Energiekriterium von $L_{\text{Aeq}} = 85$ dB nachgewiesen, doch lassen sich diese Ergebnisse schon allein wegen des sehr hohen Pegelbereiches nicht auf industriellen Impulslärm übertragen. Bei Schießlärm wird in jedem Fall der oben genannte

Grenzwert von 140 dB (peak) überschritten, und diese hohen Lärmpegel können schon bei einer einmaligen Belastung bleibende Gehörminderungen verursachen.

Mit dem von Kraak [52] vorgeschlagenen Maß der integrierten zeitweiligen Hörschwellenverschiebung (ITTS) läßt sich nach einigen an der Dresdener Universität durchgeführten Studien zumindest näherungsweise ein Zusammenhang mit dem Energieinhalt der Belastung feststellen. Für Impulslärm sind danach geringere ITTS-Werte zu erwarten als für Dauerlärm des gleichen energieäquivalenten Pegels L_{Aeq} .

Nach dem heutigen Kenntnisstand ist es jedoch sehr fragwürdig, ob die nach gelegentlicher kurzzeitiger Lärmbelastung festzustellenden Effekte der TTS oder ITTS die geeigneten Maße sind, um daraus auf die nach langjähriger Belastung zu erwartenden bleibenden Hörschwellenverschiebungen (PTS) zu schließen. Deshalb sind diese Ergebnisse weder zur Bestätigung noch zur Widerlegung der These des Energieprinzips geeignet.

Die für die beiden vorgenannten Studientypen beschriebenen Fehler, z.B. durch Übertragung von besonderen Lärmeffekten beim Tier auf den Menschen oder durch Einführung von indirekten Maßen (TTS) für die Gehörschädigung, lassen sich bei Durchführung von retrospektiven Studien vermeiden. Da dieser Studientyp die bleibenden Hörschwellenverschiebungen (PTS) berücksichtigt, versprechen die Ergebnisse eine zuverlässige Aussage zur Wirkung von Arbeitslärm, sofern sich die Lärmbelastung der betrachteten Beschäftigten für das gesamte Berufsleben genau erfassen läßt. Aber gerade bei diesem grundlegenden Ansatz retrospektiver Studien, der exakten Ermittlung der über mehrere Jahre bestehenden Lärmbelastung, hat sich deutlich die entscheidende Schwachstelle gezeigt.

Die hier zusammengetragenen Studien kommen in ihrer Aussage zur Beurteilung der Gehörschädlichkeit von Impulslärm vielleicht vor allem deshalb zu unterschiedlichen Ergebnissen.

Während mehr als die Hälfte der Autoren das Energieprinzip auch für Impulslärm zumindest näherungsweise bestätigen kann oder nur für einzelne Geräuschquellen oder Frequenzen Abweichungen von diesem Prinzip aufzeigt, spricht sich etwa ein Drittel der Autoren für einen Impulszuschlag zur Beurteilung des Schädigungsrisikos von Impulslärm aus. Nur in einer Arbeit wird eine Lärmmessung und -bewertung vorgeschlagen, die einer negativen Korrektur des energieäquivalenten Dauerschallpegels bei Impulslärm gleichkommt.

Die in einigen Studien für Impulslärmbelastungen festgestellten Abweichungen vom Energieprinzip sind möglicherweise weniger dadurch zu erklären, daß der energieäquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq} die Gehörschädlichkeit einiger Geräusche nicht genau genug beschreiben kann, sondern dadurch, daß die entsprechenden Studien zu große Unsicherheiten beinhalten.

Als wesentliche Unsicherheit der meisten zuvor behandelten Untersuchungen wurde die ungenaue Meßgerätetechnik erkannt, da Schallpegelmesser mit geringer Dynamik und ohne geeigneten Integrator eingesetzt wurden oder der Energieinhalt aus der oszillographischen Auswertung der Schallimpulse berechnet wurde (siehe Abschnitt 3.1).

Außerdem wird die Möglichkeit einer Änderung der betrieblichen Lärmsituation innerhalb der Belastungszeiten, z.B. durch technologische Umstellungen, in keiner Studie ausreichend berücksichtigt. Die Frage, ob der einzelnen Untersuchung, die eine größere Abweichung vom Energieprinzip feststellt, eine entsprechende Unsicherheit angelastet werden kann, um die Differenz zum Energieprinzip voll auszugleichen, kann hier nicht geklärt werden.

Anhand der vorliegenden Untersuchungen läßt sich das in der These formulierte Energieprinzip also nicht eindeutig bestätigen. Es kann aber auch kein anderes Meßverfahren angegeben werden, mit dem alle dargestellten Ergebnisse in Einklang wären. Beispielsweise würde die Anwendung des

Impulszuschlages nach DIN 45 645 keine genaueren Hörverlustprognosen mit sich bringen. Wie insbesondere die umfangreiche Studie von Hohmann [47] zeigt, besteht die Problematik der genauen Hörverlustprognose gleichermaßen für Dauerlärm wie für Impulslärm.

Die Diskussion der hier dargestellten Ergebnisse kann zu folgenden Aussagen zusammengefaßt werden:

- Der Ansatz des energieäquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} als Beurteilungsmaß für Impulslärm und der allgemein für Dauerlärmbelastungen angenommenen Dosis-Wirkungs-Beziehung [98,140] ermöglicht eine Hörverlustprognose, die für viele Impulsgeräusche in guter Näherung zutrifft.

- Nach den vorliegenden Ergebnissen kann man dabei Fehleinschätzungen des Hörschadensrisikos bestimmter Geräusche nicht ausschließen.
Diese Unsicherheit der Hörverlustprognose besteht offensichtlich ebenso für Dauerlärmbelastungen wie für Impulslärmbelastungen.

- Oberhalb des durch den Spitzenpegel $L_{peak} \approx 140$ dB beschriebenen Grenzwertes ist mit größeren Abweichungen vom Energieprinzip zu rechnen.

5 Untersuchung der Gehörschädlichkeit von Impulslärm an Baustellenarbeitsplätzen

5.1 Lösungsansatz

Das in der These formulierte Energieprinzip soll auch anhand einer eigenen für verschiedene Bauberufe durchgeführten Lärmbelastungsuntersuchung überprüft werden [71,90], die im Vergleich zu den bisherigen retrospektiven Studien nahezu ideale Voraussetzungen für eine entsprechende Auswertung bietet (siehe Abschnitte 5.3 und 5.5.).

Die untersuchten Berufe aus dem Hochbau waren von vornherein für eine retrospektive Studie prädestiniert, da eine verhältnismäßig starke Impulshaltigkeit der Lärmbelastungen gegeben war, und sich somit die Frage nach der Berechtigung der Impulzzuschlages nach DIN 45 645 besonders zuverlässig beantworten lassen sollte. Außerdem müßte sich die reale Lärmbelastung für diese Bauberufe mit hoher Genauigkeit bestimmen lassen, da die Tragequote von Gehörschutzmitteln in diesem Bereich bisher vernachlässigbar gering war (siehe Abschnitt 5.3.3). Schließlich hat sich diese Untersuchung auch angeboten, da entsprechende Hörverlustdaten von Beschäftigten in der Bauwirtschaft zur Verfügung standen, die im Rahmen einer Pilotstudie [105] durch die arbeitsmedizinischen Dienste der Bau-Berufsgenossenschaften für 34 Berufe erhoben wurde.

Um die Eignung des L_{Aeq} -Wertes als Beurteilungsmaß einschätzen zu können, wurde für die betrachteten Gruppen jeweils der Schallpegel ermittelt, für den sich mit der Modellrechnung nach ISO/DIS 1999.2 die beste Übereinstimmung mit dem Hörverlustbefund ergab (siehe Abschnitt 5.4). Dazu war der Parameter L_r in dem Modell solange zu variieren bis die nach dem Modell berechneten Hörverlustverteilungen mit den tatsächlichen Hörverlustverteilungen die bestmögliche Deckung aufwiesen. Der auf diese Art aus den Hörverlust-Be-

funden ermittelte Schallpegel wird als schädigungsäquivalenter Dauerschallpegel L_r^* bezeichnet [90], da er nach dem zugrundegelegten Modell am besten mit der Schädigung korreliert. Durch Vergleich dieses Schallpegels L_r^* mit den entsprechenden Meßwerten L_{Aeq} und L_{AIm} läßt sich entscheiden, welche der beiden Meßgrößen zur Beurteilung der gegebenen Impulslärmbelastungen besser geeignet ist und ob die in Abschnitt 2 formulierte These bestätigt wird.

Diese hier kurz umrissene Auswertemethodik der durchgeführten Studie ist natürlich für die verschiedenen audiometrischen Frequenzen getrennt anzuwenden. Bei einer guten Übereinstimmung zwischen Hörbefunden und Hörverlustmodell sollte sich bei allen Frequenzen jeweils derselbe schädigungsäquivalente Dauerschallpegel L_r^* ergeben, d.h. die entsprechenden Hörverlustverteilungen kommen bei allen Frequenzen simultan für diesen Pegel L_r^* zur Deckung.

Zur Verarbeitung des umfangreichen audiometrischen Datenmaterials und Berechnung der schädigungsäquivalenten Dauerschallpegel L_r^* für verschiedene Berufe war der Einsatz von EDV erforderlich. Die Einzelheiten der durchzuführenden Rechnungen sind im Abschnitt 5.4 erläutert (siehe auch [90]).

Um mit der hier beschriebenen retrospektiven Studie zuverlässige Ergebnisse zu erhalten, sollten möglichst alle im Abschnitt 4.4.1 genannten Anforderungen berücksichtigt werden. Daraus ergeben sich einige Voraussetzungen, die eine genaue Prüfung im Rahmen dieser Arbeit erfordern:

- Da die Auswertung für bestimmte Berufsgruppen durchzuführen ist, sind jeweils die durchschnittlichen Lärmbelastungen für diese Gruppen zu bestimmen. Die interindividuellen Unterschiede der Lärmbelastung innerhalb der Gruppen sollten möglichst gering ausfallen (siehe Abschnitt 5.3.1).

- Die Lärmbelastungen der betrachteten Gruppen sollten sich innerhalb der gesamten Beschäftigungszeiten, d.h. innerhalb der letzten vier Jahrzehnte, nicht nennenswert verändert haben (siehe Abschnitt 5.3.2).
- Da sich der Einfluß von Gehörschutzmitteln auf die Lärmbelastung bei dem gegebenen Datenmaterial nicht durch Selektion der entsprechenden Daten ausschließen läßt, ist zu fordern, daß die Tragequote von Gehörschutz in den betrachteten Berufen vernachlässigbar gering ist (siehe Abschnitt 5.3.3).

5.2 Messung und Bewertung der Impulslärmbelastung für ausgewählte Bauberufe

5.2.1 Auswahl der zu erfassenden Bauberufe

Entsprechend dem beschriebenen Lösungsansatz der Studie müssen in dem betrachteten Hochbaubereich einzelne Personengruppen mit etwa gleichartiger Lärmbelastung unterschieden werden. Diese Unterscheidung ist durch eine in einer Pilotstudie der Bau-Berufsgenossenschaften [105], in der eine große Zahl arbeitsmedizinischer Vorsorgeuntersuchungen erfaßt wurden, gewählte Differenzierung der Berufe entsprechend einer vom Statistischen Bundesamt in Wiesbaden herausgegebenen Klassifizierung [77] bereits vorgegeben. Es ist jedoch noch zu prüfen, ob man damit für alle Beschäftigten einer Gruppe auch eine gleichartige Lärmbelastung voraussetzen kann.

Da die Auswertung der Hörbefunde eine ausreichend starke Besetzung der Gruppen von lärmexponierten Beschäftigten verlangt, kamen von den in der Studie unterschiedenen 34 Berufsgruppen nur folgende vier für die Auswertung in Betracht :

Maurer	(4.201 Fälle)
Betonbauer	(1.139 Fälle)
Zimmerer	(1.236 Fälle)
Rohrinstallateur	(1.922 Fälle).

Um die Lärmbelastung für die unterschiedenen Berufsgruppen zu erfassen, waren zunächst die diesen Gruppen zuzuordnenden Aufgaben und Tätigkeiten zu spezifizieren.

In der vom Statistischen Bundesamt herausgegebenen "Internationalen Standardklassifikation der Berufe" [76] werden die Aufgabengebiete dieser Berufe folgendermaßen umrissen:

Maurer (Ziegelmaurer)

verlegt Ziegel, Hohlziegel und ähnliche Bausteine, um Mauern, Trennwände, Bögen, Hausfeuerstellen, Schornsteine und andere Gebäudeteile zu errichten.

Betonbauer

errichtet Stahlbetonbauten und -bauteile wie Pfeiler, Träger, Böden und Mauern.

Zimmerer

schneidet zu, setzt zusammen, errichtet und repariert Holzkonstruktionen und andere Holzarbeiten an der Werkbank und auf der Baustelle.

Rohrinstallateur

montiert, installiert und hält instand Röhren, Armaturen und Rohrleitungsbauten von Entwässerungs-, Heizungs-, Wasserversorgungs- und sanitären Anlagen.

Diese Tätigkeitsbeschreibungen und Aufgabenverteilungen stimmen weitgehend mit den im Rahmen der Untersuchung angetroffenen realen Arbeitsplätzen überein. Je nach Baustelle und Baufirma werden die Beschäftigten auch weiter spezialisiert oder mit erweitertem Aufgabenfeld eingesetzt. Beispielsweise führen Maurer, besonders auf kleineren Bau-

stellen, neben den diesem Berufsbild direkt zugeordneten Arbeiten oft auch verschiedene andere Arbeiten aus, wie Nachschachtarbeiten für Fundamente, Isolierarbeiten am Kellergeschoß, Einschalarbeiten, Eisenflechtarbeiten und Betonierarbeiten. Unter den Betonbauern findet man dagegen vielfach Beschäftigte mit einer größeren Spezialisierung. Während dem Betonbauer in der obigen Beschreibung Einschal-, Eisenflecht- und Betonierarbeiten zugeordnet werden, gibt es ebenso Beschäftigte, die nur in einem oder zweien dieser Tätigkeitsbereiche eingesetzt sind, z.B. den "reinen Einschaler" oder den "reinen Eisenflechter".

Daraus ergibt sich, daß bei der vorgegebenen Differenzierung nach vier Berufen zumindest in einzelnen Gruppen Beschäftigte mit unterschiedlichen Tätigkeiten und damit auch unterschiedlichen Lärmbelastungen zusammengefaßt wurden. Die Zusammensetzung der Berufsgruppe wird deshalb jeweils bei der Diskussion der Auswertergebnisse zu berücksichtigen sein.

5.2.2 Meßmethodik

5.2.2.1 Tätigkeitsprofile

Zur Erfassung der Lärmbelastung der Beschäftigten in dem zu betrachtenden Baubereich erwies es sich als zweckmäßig, orientiert an den bestehenden Arbeitsaufgaben mehrere "idealisierte" Berufsbilder jeweils mit begrenztem Aufgabenfeld zu definieren (Tätigkeitsprofile). Dabei wurden in einem ersten Untersuchungsabschnitt folgende Berufsbilder bzw. Tätigkeitsprofile unterschieden :

Maurer, Einschaler, Eisenflechter, Betonierer,
Zimmermann, Heizungs- und Sanitärinstallateur.

Jedes Tätigkeitsprofil beinhaltet alle mit der entsprechenden Aufgabe verbundenen Vorbereitungs- und Nebenarbeiten.

Beispielsweise gehören zu den Arbeiten des Maurers neben dem Mauern selbst auch das Lesen von Bauzeichnungen, der Bau von Bockgerüsten, die Materialbeschaffung sowie alle Aufräum- und Reinigungsarbeiten. Die ausführlichen Beschreibungen dieser Tätigkeitsprofile sind im Anhang 2 zu dieser Arbeit zusammengestellt.

Bei der Auswertung der für einzelne Tätigkeitsprofile gewonnenen Ergebnisse war jeweils zu prüfen, ob eine weitere Spezifizierung oder Untergliederung zweckmäßig wäre, z.B. um verschiedene die Lärmbelastung beeinflussenden Parameter berücksichtigen zu können (siehe Abschnitt 5.2.5). Die für die einzelnen Tätigkeitsprofile bzw. für Teilbereiche gewonnenen Lärmmeßergebnisse erlauben jederzeit die Berechnung der Lärmbelastungen für alle unter den vier zu betrachtenden Bauberufen erfaßten Beschäftigten.

5.2.2.2 Meßdurchführung und Auswertung

Um für die definierten "idealisierten" Berufsbilder bzw. Tätigkeitsprofile die längerfristig typische, kennzeichnende Geräuschmission zu erfassen, waren umfangreiche Lärmbelastungsmessungen unter üblichen Arbeitsbedingungen durchzuführen. Für jedes Berufsbild wurde eine Reihe von Arbeitsplätzen auf unterschiedlichen Baustellen stichprobenartig ausgewählt. Die Auswahl des einzelnen Beschäftigten erfolgte dabei nach Zufallgesichtspunkten, wobei allerdings aus organisatorischen Gründen die Baustelle in der Regel schon zuvor festgelegt war.

Für alle ausgewählten Beschäftigten war die Lärmbelastung möglichst über den ganzen Tag zu erfassen, um damit einen Tagesmittelungspegel zu bestimmen. Falls dabei Arbeiten nach unterschiedlichen Tätigkeitsprofilen verrichtet wurden, z.B. vormittags Maurerarbeiten und nachmittags Betonierarbeiten, wurden die entsprechenden Zeitabschnitte getrennt ausgewertet und den jeweiligen Berufsbildern zugeordnet. An einzelnen Arbeitsplätzen ließ sich schon nach

verhältnismäßig kurzer Meßzeit die durchschnittliche Tagesbelastung angeben, z.B. falls den ganzen Tag gleichartige Betonierarbeiten auszuführen waren (erfaßter Zeitabschnitt ist repräsentativ für den gesamten Arbeitstag). In solchen Fällen wurden die Messungen ggf. schon früher abgeschlossen, frühestens jedoch nach zwei Stunden. Kürzere Meßzeiten wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

Bei den für ein Berufsbild bestimmten Tagesmittelungspegeln ergeben sich aufgrund der von Tag zu Tag unterschiedlichen Arbeitsaufgaben und Arbeitsbedingungen gewisse Pegelstreuungen. Außerdem mögen auch individuelle Unterschiede in der Arbeitsweise und im Arbeitseinsatz zu einer Streuung der Ergebnisse beitragen. Bei sehr stark differierenden Tagesmittelungspegeln für ein Berufsbild oder einer Pegelhäufung in verschiedenen Bereichen wäre jedoch zu prüfen, ob hier nicht zu unterschiedliche Arbeitsbereiche in einem Tätigkeitsprofil zusammengefaßt wurden, z.B. Feininstallationsarbeiten und die übrigen untersuchten Installationsarbeiten. Die verschiedenen Bereiche müßten dann ggf. getrennt ausgewertet werden (siehe Abschnitt 5.2.5).

Alle für ein bestimmtes Berufsbild oder einen Teilbereich gewonnenen Tagesmittelungspegel können als voneinander unabhängige Stichproben-Meßwerte zur Bestimmung der durchschnittlichen Lärmbelastung für diesen Tätigkeitsbereich betrachtet und statistisch ausgewertet werden (siehe Abschnitt 5.2.5).

Da die individuellen Belastungsunterschiede für die Beschäftigten eines Berufsbildes verhältnismäßig gering ausfallen, wie die spätere Analyse zeigt (siehe Abschnitt 5.3.1), beschreibt dieses als durchschnittliche Belastung errechnete Ergebnis in guter Näherung auch die mittlere Lärmbelastung des einzelnen diesem Tätigkeitsprofil zugeordneten Beschäftigten über einen längeren Zeitraum.

Die für die in Abschnitt 5.2.1 unterschiedenen vier Bau-berufe anzunehmenden durchschnittlichen Lärmbelastungen lassen sich jeweils durch eine anteilige Berücksichtigung der darin enthaltenen Tätigkeitsprofile bestimmen (siehe Abschnitt 5.2.6.2).

5.2.3 Meßverfahren, Meßgerätetechnik

5.2.3.1 Allgemeine Anforderungen

Die besonderen Gegebenheiten an Baustellenarbeitsplätzen machten die Entwicklung eines speziellen Meßverfahrens zur Ermittlung der personengebundenen Lärmbelastung erforderlich.

Dabei waren folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

- An den Arbeitsplätzen können sowohl Freifeld- als auch Hallfeldbedingungen vorliegen, da die Arbeiten häufig im Freien aber auch in geschlossenen, evtl. engen und halligen Neubauräumen ausgeführt werden.
- Bei vielen Arbeiten wird der Lärm in Armreichweite, also in geringem Abstand zum Ohr erzeugt.
- An den meisten Arbeitsplätzen besteht eine im Schallpegel stark schwankende, vielfach auch impulshaltige Geräuschbelastung.
- Die Arbeiten werden im allgemeinen bei ständig wechselnder Körperhaltung, häufig an wechselnden Arbeitsorten, ausgeführt.

Daraus lassen sich spezifische Anforderungen an die anzuwendende Meßtechnik herleiten :

- Wegen der stark schwankenden Geräusche und der Impulshaltigkeit wird zur Erfassung der Lärmbelastung über einen längeren Zeitraum ein integrierendes Schallmeßgerät benötigt.

- Zur Beschreibung der impulshaltigen Geräusche und zum Vergleich der hier zu beurteilenden Bewertungsverfahren sollten der energieäquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq} und der "Impuls"-bewertete Mittelungspegel L_{AIm} simultan erfaßt werden.
- Da sich die Lärmquelle meist in Ohrnähe befindet und geringe Abstandsabweichungen ggf. verhältnismäßig große Meßfehler zur Folge haben (Freifeldbedingungen), sollte der Mikrofonabstand zur Lärmquelle möglichst genau dem Ohrabstand entsprechen.
- Der Beschäftigte darf durch das Meßgerät bei seiner Arbeit nicht behindert werden, da dadurch die Lärmbelastung beeinflußt werden kann.

Diese Anforderungen lassen sich nur durch eine personengebundene Messung mit einem kleinen Schalldosimeter erfüllen. Durch ein von Hand nachgeführtes Mikrofon wäre der genaue Abstand zur Lärmquelle nicht über eine längere Zeit sicherzustellen (ständige Bewegung des Beschäftigten). Außerdem würde der Beschäftigte dadurch zu sehr behindert. Zur parallelen Erfassung der beiden Meßgrößen L_{Aeq} und L_{AIm} müßten in der Regel zwei nach den entsprechend unterschiedlichen Bewertungsverfahren arbeitende Meßgeräte eingesetzt werden.

Da es bisher noch keine erprobte und allgemein anerkannte Meßvorschrift für Lärmmessungen mit Personendosimetern gibt, die eine Bestimmung der Lärmbelastung mit der hier geforderten hohen Genauigkeit ermöglicht, war zunächst ein geeignetes dosimetrisches Verfahren zu entwickeln, das möglichst die bekannten Fehler dieser Meßtechnik verringert oder ganz vermeidet.

5.2.3.2 Konzept für ein Geräuschmissionsmeßverfahren mit Schalldosimetern

Die bestehenden Meßvorschriften zur Geräuschmissionsmessung machen keine spezifischen Aussagen zur Durchführung dieser Messung mit Schalldosimetern. In der DIN 45 645 Teil 2 [135] werden lediglich verschiedene Meßpunkte zur Anbringung des Mikrofons angegeben. Die derzeit vorbereitete internationale Norm ISO/DP 9612 [141] gibt lediglich einen maximal zulässigen Mikrofonabstand zum Ohr von 0,3 m an und warnt vor Meßfehlern durch die Beeinflussung des Schallfeldes durch den Körper der Versuchsperson.

Auch aus der Literatur läßt sich kein vollständiges, erprobtes Meßverfahren für Schalldosimeter entnehmen. Es finden sich jedoch verschiedene Hinweise, die auf verhältnismäßig große Meßunsicherheiten bei Anwendung der Dosimetermeßtechnik hindeuten [26,36,60,83,97,108].

Da die durchzuführende Untersuchung an Baustellenarbeitsplätzen entsprechend dem im Abschnitt 5.1 beschriebenen Lösungsansatz eine möglichst genaue Bestimmung der Lärmbelastungen erforderte, mußte dafür ein Meßverfahren entwickelt und erprobt werden, das alle der Dosimetermeßtechnik im allgemeinen angelasteten Meßunsicherheiten deutlich verringert. Dabei waren insbesondere folgende Fehlermöglichkeiten zu berücksichtigen:

- a) Meßgerätefehler durch geringe Leistungsfähigkeit der Dosimeter (Geräte sind nur entsprechend den Genauigkeitsklassen 2 und 3 nach DIN 45 644 [134] verfügbar)
- b) Beeinflussung des Schalls durch den Körper des Beschäftigten, z.B. durch Abschattung des Mikrofones
- c) Fehler durch bewußte Manipulation, z.B. Klopfen auf das Mikrofon

d) Fehler durch Störeinflüsse, wie Wind und Erschütterungen.

Zur Entwicklung eines geeigneten Meßverfahrens zur Lärmmessung an Baustellenarbeitsplätzen seien die hier genannten Probleme kurz erläutert, da daraus entsprechende Verbesserungs- oder Abhilfemaßnahmen erkennbar werden, die auch bei künftigen Untersuchungen mit dieser Technik Anwendung finden sollten. Über die Auswirkungen dieser Maßnahmen und die damit in der Praxis erreichte Genauigkeit wird im darauf folgenden Abschnitt 5.2.3.3 berichtet.

Zu a) Meßgerätefehler

Schalldosimeter werden derzeit nur in den Genauigkeitsklassen 2 und 3 nach DIN 45644 angeboten und können nach den Erfahrungen der Schallpegelmesser-Prüfstelle des BIA oft schon als Neugeräte erhebliche Mängel aufweisen. Insbesondere die Erfassung des energieäquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} für Impulsgeräusche stellt hohe Anforderungen an diese Meßgeräte (siehe z.B. [69,70]).

Um mögliche Meßgerätefehler zu erkennen und gegebenenfalls korrigieren zu können, sollten die Schalldosimeter vor dem Einsatz auf Einhaltung der entsprechenden Meßgerätenormen [134,136] überprüft werden, soweit diese Prüfung bei dem verhältnismäßig einfachen Aufbau der meisten Geräte überhaupt möglich ist (z.B. keine direkte Pegelanzeige, keine elektrischen Ausgänge). Zusätzlich sollten die Meßgeräte bei allen im Rahmen der Untersuchung erfaßten unterschiedlichen Geräuscharten (Frequenzspektrum, Impulshaltigkeit) mit geprüften integrierenden Schallpegelmessern der Genauigkeitsklasse 1 [137] verglichen werden. Da ein genauer Vergleich der Meßgeräte nur unter definierten Bedingungen an ein und demselben Meßpunkt möglich ist, empfiehlt es sich, diese Messungen in einem schallabsorbierenden Meßraum durchzuführen und dabei gleiche, typische Geräuschabschnitte über einen geeigneten Lautsprecher abzuspielen. Dazu müssen allerdings die entsprechenden Geräusche mit Hil-

fe eines Magnetbandgerätes direkt an den Arbeitsplätzen aufgenommen werden.

Mit Hilfe dieser Voruntersuchungen sollten sich Schalldosimeter auswählen lassen, mit denen bei den gegebenen Arbeitsgeräuschen verhältnismäßig geringe meßgerätebedingte Fehler zu erwarten sind. Notfalls könnten für einzelne Dosimeter auch feste Korrekturwerte für bestimmte Geräusche vorgesehen werden.

Zu b) Körpereinfluß

Der bei der personengebundenen Messung durch den Körper des Beschäftigten verursachte Meßfehler wurde bereits in verschiedenen Arbeiten untersucht [26,74,97]. Als Ursache dafür sind Schallreflexionen und Abschattungseffekte des Körpers sowie Interferenzen zwischen Mikrofon und Körper anzusehen. Die Höhe der Pegelabweichung hängt im wesentlichen von folgenden Einflußparametern ab:

- Mikrofonposition am Körper
- Schalleinfallwinkel
- Bündelung der Schallstrahlung
- Frequenzzusammensetzung des Geräusches
- Schallfeldbedingungen der Meßumgebung.

Mit den größten Meßfehlern ist zu rechnen, wenn unter Freifeldbedingungen ein gebündelter, hochfrequenter Schallstrahl auftritt und das Mikrofon auf der dem Schall abgewandten Körperseite angebracht ist.

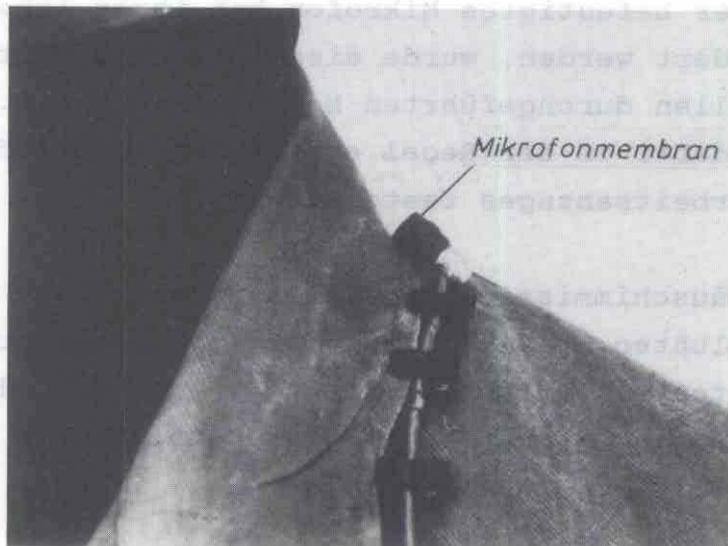
Unter vorgegebenen Arbeitsplatzbedingungen läßt sich von den verschiedenen oben genannten Einflußparametern allein die Mikrofonposition am Körper beeinflussen. Nach Redwood [97] und eigenen Untersuchungen [74] sind die Mikrofonpositionen auf der Schulter und direkt am Ohr unter dem Gesichtspunkt eines möglichst geringen Körpereinflusses am besten geeignet.

Die Ausrichtung des Mikrophones ist bei den üblichen Mikrofonabmessungen ohne Bedeutung, da alle eine sehr gute Ringsumcharakteristik besitzen. Da die Beschäftigten durch ein auf der Schulter befestigtes Mikrofon bei ihrer Arbeit am wenigsten behindert werden, wurde diese Mikrofonposition einheitlich bei allen durchgeführten Messungen gewählt. Das Mikrofon wurde dabei in der Regel einfach am Kragen des Hemdes oder des Arbeitsanzuges festgeklemmt.

Um die Geräuschemission möglichst in einem vom Körper wenig beeinflussten Schallfeldbereich zu messen, wurden spezielle Mikrofonhalterungen angefertigt, die die Mikrofonmembran in einem größeren Abstand zur Schulter von etwa 4 cm fixieren.

Abbildung 22 zeigt ein entsprechend adaptiertes Mikrofon im Vergleich zu dem mit der Originalhalterung unmittelbar auf der Kleidung aufliegenden Mikrofon. Nach den in Abschnitt 5.2.3.3 dargestellten Ergebnissen läßt sich durch die hier gewählte Mikrofonposition der körperbedingte Meßfehler deutlich reduzieren.

a)



b)

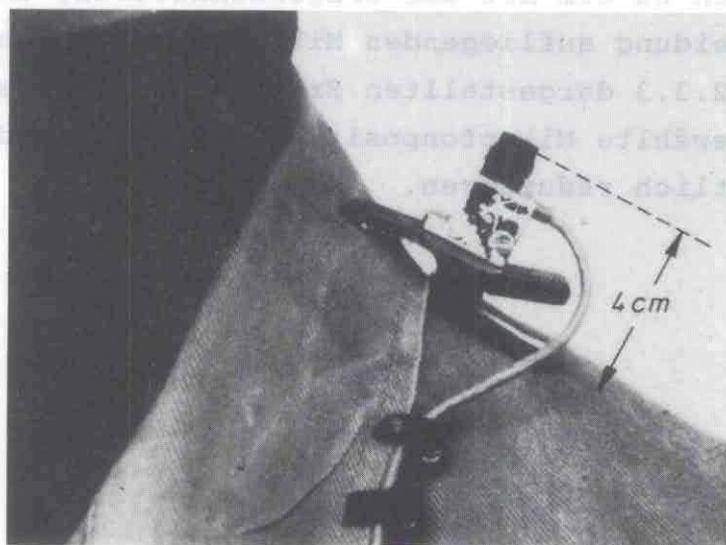


Abbildung 22 :

Befestigung eines Dosimetermikrofones am Kragen eines Arbeitskittels

a) mit Originalhalterung

b) mit spezieller, akustisch günstigerer Halterung

Um möglicherweise vorhandene Seitendifferenzen in der Lärmbelastung auf beiden Schultern eines Beschäftigten auszugleichen wurde außerdem eine wechselseitige Anbringung des Mikrofones vorgesehen. Dieser Wechsel sollte jeweils nach etwa der halben Meßzeit (im allgemeinen Mittagspause) erfolgen. Da zur parallelen Erfassung der beiden Meßwerte L_{Aeq} und L_{AIm} für jeden Beschäftigten in der Regel zwei Schalldosimeter eingesetzt waren, wurden die Mikrofone dabei auf beiden Schultern befestigt und nach etwa der halben Meßzeit vertauscht.

Zur Kontrolle und zusätzlichen Absicherung der Dosimetermeßwerte sollten einzelne Arbeiten auf der Baustelle außerdem mit integrierenden Präzisionsschallpegelmessern über Meßzeiten von ca. 15 Minuten erfaßt werden. Falls die Arbeiten für diese Zeit ein genaues Nachführen eines Mikrofones in Ohrnähe zuließen, waren damit die Dosimetermeßwerte direkt zu überprüfen. In der Praxis zeigte sich, daß das Mikrofon des integrierenden Schallpegelmessers vielfach doch nur in einem größeren Meßstand nachgeführt werden konnte, so daß damit letztlich nur eine überschlägige Kontrolle der Ergebnisse unter Berücksichtigung der Pegelabnahme über die Entfernung möglich war.

Bei allen Zusatzmessungen mußten stets zwei integrierende Schallpegelmesser parallel betrieben werden, um damit die beiden Meßgrößen L_{Aeq} und L_{AIm} zu erfassen. Der mit den integrierenden Schallpegelmessern bestimmte Impulszuschlag sollte auch bei Messung in einem größeren Meßabstand zum Ohr mit dem aus den entsprechenden Dosimetermeßwerten berechneten Zuschlag übereinstimmen, da sich die Differenz zwischen L_{AIm} und L_{Aeq} nur in geringem Maße mit dem Abstand ändert.

Zu c) Manipulation

Als ein Nachteil der Dosimetermeßtechnik wird oft die Manipulationsmöglichkeit durch den Beschäftigten genannt [36]. Beispielsweise kann der Beschäftigte oder einer seiner Arbeitskollegen das Meßergebnis in einem unbeobachteten Au-

genblick durch Anschlagen der Mikrofonmembran oder Hineinblasen verfälschen. Es besteht außerdem die Möglichkeit, das Ergebnis zu beeinflussen, indem alle Arbeiten während der Messung besonders laut oder besonders leise ausgeführt werden. Beide Manipulationsmöglichkeiten sind aber genau genommen keine Besonderheit der Dosimetermeßtechnik sondern bestehen grundsätzlich bei jeder unbeobachteten Schallregistrierung. Dieser Fehler läßt sich jedoch durch folgende Maßnahmen nahezu ausschließen:

- geeignete Vorinformation der Beschäftigten
- ständige Beobachtung der Beschäftigten
- regelmäßige Zwischenablesung der Dosimeter.

Die Information der Beschäftigten war ohnehin erforderlich, um die Zielsetzung der Untersuchung und den Ablauf der Messungen kurz zu erläutern. Dabei mußte ihnen jeweils erklärt werden, daß sie sich durch die Meßgeräte bei ihrer Arbeit nicht beeinflussen lassen und keinesfalls auf übliche Pausen und Gespräche mit Kollegen verzichten sollten. Durch diese Vorgespräche ließ sich in der Regel auch eine gute Kooperationsbereitschaft der Beschäftigten erreichen. Durch die ständige Beobachtung der entsprechenden Beschäftigten sollte eine direkte Manipulation am Mikrofon sofort erkannt werden. Diese Beobachtung mußte jedoch so erfolgen, daß sich der jeweilige Beschäftigte nicht kontrolliert fühlte und wohlmöglich besonderen Einsatz zeigte. Um die gewonnenen Meßergebnisse später nachvollziehen zu können, sollten die beobachteten Arbeiten, insbesondere laute Einzelergebnisse, stets notiert werden.

Durch regelmäßige Zwischenablesungen der Dosimeter in Zeitabständen von 45 bis 60 Minuten ließen sich die Ergebnisse jeweils sofort auf Plausibilität überprüfen. Dabei konnten bei vergleichbaren Tätigkeiten gewonnene Erfahrungswerte sowie gegebenenfalls durchgeführte Zusatzmessungen mit integrierenden Schallpegelmessern hilfreich sein. Bei jeder Zwi-

schenablesung wurden die Mittelungspegel und die Meßzeit notiert, die Gerätespeicher gelöscht und die Messungen neu gestartet.

Zu d) Störeinflüsse durch Wind und Erschütterungen

Als weitere Fehlerquellen bei Dosimetermessungen kann man folgende Einflüsse annehmen:

- Erschütterungen, die beim Tragen des Meßgerätes am Körper auf das Mikrofon und das Gerätegehäuse einwirken
- Reibung des Mikrofones an der Kleidung
- Windeinflüsse, z.B. bei Arbeiten im Freien oder auf Fahrzeugen
- Luftströmungen in der Nähe von Maschinen, z.B. verursacht durch die Kühlluft.

Die Dosimeter sollten deshalb möglichst unempfindlich gegenüber diesen Störeinflüssen sein. Um das Meßergebnis nicht nennenswert zu verfälschen, sollte der durch diese Einflüsse erreichte Störpegel mindestens 10 dB unter dem zu messenden Schallsignal liegen. Aus dieser Forderung ergibt sich eine untere Grenze für die Dosimetermeßtechnik, unterhalb der der Einsatz wegen möglicher Störeinflüsse nicht mehr sinnvoll ist. Da die Meßgerätehersteller in der Regel keine Aussagen zu diesen Störeinflüssen machen, wurden eigene Untersuchungen zur Abgrenzung des Einsatzbereiches der Schalldosimeter durchgeführt (siehe Abschnitt 5.2.3.3).

Um die Auswirkungen der oben genannten Einflüsse auf das Mikrofon möglichst gering zu halten, empfiehlt sich in jedem Fall die Verwendung von Windschirmen aus offenporigem Schaumstoff. Dadurch läßt sich zugleich eine Verschmutzung der Mikrofone im praktischen Einsatz auf der Baustelle vermeiden.

Zusammenfassung des Dosimeter-Meßkonzeptes:

Unter Berücksichtigung der verschiedenen bei Lärmmessungen mit Schalldosimetern zu berücksichtigenden Fehlermöglichkeiten wurde ein Meßkonzept abgeleitet, mit dem sich die Meßunsicherheiten wesentlich reduzieren lassen. Vor der ausführlichen Fehlerbetrachtung im folgenden Abschnitt 5.2.3.3 sei dieses Meßkonzept hier in seinen wesentlichen Punkten stichwortartig zusammengefaßt:

Meßgeräte

- o Schalldosimeter der Genauigkeitsklasse 2
- o unterschiedliche Dosimeter zur L_{Aeq} - und L_{AIm} - Messung
- o Einzelprüfung und Nachjustierung aller eingesetzten Dosimeter
- o regelmäßige Vergleichsmessungen der Schalldosimeter mit geprüften integrierenden Präzisionsschallpegelmessern bei den gegebenen Geräuscharten (Frequenzinhalt, Impulshaltigkeit)
- o Windschirme für die Mikrofone
- o geprüfte integrierende Präzisionsschallpegelmesser für stichprobenartige Zusatzmessungen einzelner Tätigkeiten.

Befestigung des Mikrofones

- o Mikrofonposition auf der Schulter (am Kragen festgeklemmt)
- o Mikrofon nach oben gerichtet mit einem Membranabstand zur Kleidung von ca. 4 cm (Spezialhalterung)
- o L_{Aeq} - und L_{AIm} - Messung auf beiden Schulterseiten
- o Seitenwechsel der Mikrofone nach der halben Meßzeit.

Durchführung der Messungen

- o tägliche Kalibrierung aller Meßgeräte
- o Information der beteiligten Beschäftigten
- o Parallelmessung mit 2 Dosimetern (L_{Aeq} , L_{AIm})
- o Beobachten der Beschäftigten, Notieren der ausgeführten Arbeiten
- o regelmäßige Zwischenablesung, etwa alle 45 bis 60 Minuten, Löschen der Gerätespeicher vor Fortsetzung der Messung
- o stichprobenartige Zusatzmessungen für einzelne Zeitabschnitte (ca. 15 Minuten) mit 2 integrierenden Schallpegelmessern (L_{Aeq} , L_{AIm}); für jeden Beschäftigten mindestens eine Kontrollmessung je Meßtag
- o Funktionskontrolle aller Meßgeräte am Ende der Messung (z.B. Batteriekontrolle)

Auswertung

- o Eliminierung von möglicherweise manipulierten Meßergebnissen oder Zeitabschnitten mit für das Tätigkeitsprofil untypischen Arbeiten
- o Berechnen der Tagesmittelungspegel L_{Aeq} und L_{AIm} unter entsprechender zeitlicher Gewichtung der Zwischenablesungen
- o weitere Auswertung entsprechend Abschnitt 5.2.5

5.2.3.3 Fehlerbetrachtung

Um die bei dem speziell entwickelten Dosimetermeßverfahren für Lärmmessungen auf Baustellenarbeitsplätzen zu erwartenden Meßfehler und Meßunsicherheiten prüfen und die Grenzen dieser Meßtechnik erkennen zu können, wurden verschiedene Untersuchungen in Labor und Praxis durchgeführt.

5.2.3.3.1 Meßgerätefehler:

Als Personenschalldosimeter wurden 2 Gerätetypen der Genauigkeitsklasse 2 ausgewählt:

- o Schalldosimeter der Firma GenRad, Typ 1954 zur Erfassung des "Impuls"-bewerteten Mittelungspegels L_{AIm} (3 Meßbereiche je 50 dB-Dynamik, Keramikmikrofon von 7 mm Durchmesser)
- o Schalldosimeter der Firma Dupont, Typ MK 1, zur Messung des energieäquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} (3 Meßbereiche je 60 dB-Dynamik, 1/2"-Keramikmikrofon)

Für die Zusatzmessungen mit integrierenden Schallpegelmessern wurden von Meßtag zu Meßtag unterschiedliche Gerätetypen eingesetzt, z.B.

- o integrierender Schallpegelmesser, Firma Brüel und Kjaer, Typ 2218
- o integrierender Schallpegelmesser, Firma Brüel und Kjaer, Typ 2233
- o Schallpegelmesser, Firma GenRad, Typ 1981 mit INCA-Mittelungspegelrechner.

Zur Aufzeichnung der Arbeitsgeräusche auf der Baustelle sowie für Geräuschanalysen im Labor standen folgende Geräte zur Verfügung:

- o Präzisions-Meßmagnetbandgerät, Firma Nagra, Typ IV SJ
- o Pegelschreiber, Fa. Brüel und Kjaer, Typ 2306 und 2309
- o Echtzeit-Terz/Oktavanalysator, Firma Brüel und Kjaer, Typ 2131

Alle eingesetzten integrierenden Schallpegelmessers unterlagen der regelmäßigen Kontrolle durch die Schallpegelmessers-Prüfstelle des BIA und erfüllten die Anforderungen an Geräte nach DIN/IEC 651 und DIN 45 655 der Genauigkeitsklasse 1.

Die Schalldosimeter wurden vor ihrem betrieblichen Einsatz jeweils einer Einzelprüfung unterzogen. Wegen fehlender elektrischer Ein- und Ausgänge konnten dabei jedoch nicht alle Teilprüfungen nach DIN/IEC 651 und DIN 45 644 (Entwurf) durchgeführt werden. Die üblicherweise elektrisch eingespeisten Prüfsignale wurden jeweils im schallabsorbierenden Meßraum über Lautsprecher erzeugt. Auf diese Art ließen sich folgende Geräteeigenschaften prüfen:

- Absolutwertanzeige
- Frequenzgang und A-Bewertung
- Gleichrichtung
- Pegellinearität (nur für Dupont-Dosimeter)
- Eigenstörung
- Mittelwertbildung

Alle geprüften Dosimeter ließen sich so justieren, daß damit die Anforderungen nach Genauigkeitsklasse 2 eingehalten wurden. Mit gewissen Einschränkungen hinsichtlich des Frequenzbereiches wären einige Geräte sogar in die Genauigkeitsklasse 1 einzuordnen. Beide Dosimetertypen wiesen oberhalb der Frequenz von etwa 10000 Hz einen steilen Abfall im Mikrofonfrequenzgang auf.

Um abschätzen zu können, mit welcher Genauigkeit sich reale Geräusche auf Baustellen mit diesen Geräten erfassen lassen, wurden verschiedene typische Arbeitsgeräusche auf den Baustellen mit dem Magnetbandgerät aufgezeichnet. Anschließend wurden diese Geräusche im schallabsorbierenden Meßraum des BIA über Lautsprecher abgespielt und die Dosimeter an exakt denselben Meßpunkten nacheinander mit einem Präzisionsgerät verglichen. Als Vergleichsnormale diente dabei ein Schallpegelmessers der Firma Brüel und Kjaer vom Typ 2233, der in allen Teilprüfungen besonders geringe Abweichungen von den in den Meßgerätenormen vorgegebenen Sollwerten aufwies.

Die Abbildung 23 zeigt die für 4 Schalldosimeter bei einigen beispielhaft ausgewählten Geräuschen festgestellten Pegelabweichungen. Um zu prüfen, ob die Fehler bei Impulsgeräuschen größer ausfallen, wurden die Abweichungen in Abhängigkeit vom Impulszuschlag aufgetragen.

Nach den hier dargestellten Ergebnissen unterscheiden sich die Dosimetermeßwerte um nicht mehr als etwa 1 dB(A) von den mit Präzisionsgeräten gewonnenen Werten. Dabei ergeben sich für Dosimeter des gleichen Typs in der Regel nur geringfügig voneinander abweichende Fehler. Für die eingesetzten L_{Aeq} -Dosimeter ist eine leichte Tendenz zur Unterschätzung von Geräuschen mit hohen Impulszuschlägen zu erkennen. Vermutlich werden extrem kurze Einzelimpulse nicht mit ihrem vollen Energieinhalt erfaßt. Insgesamt bleiben die Abweichungen für diese ausgewählten und justierten Dosimeter in dem verhältnismäßig engen Bereich von ± 1 dB(A). Der Meßgerätefehler fällt damit nicht größer aus als bei Verwendung von üblichen Präzisionsschallpegelmessern (siehe z.B. [41]).

$$\Delta L = L_{\text{Dosimeter}} - L_{\text{Soll}}$$

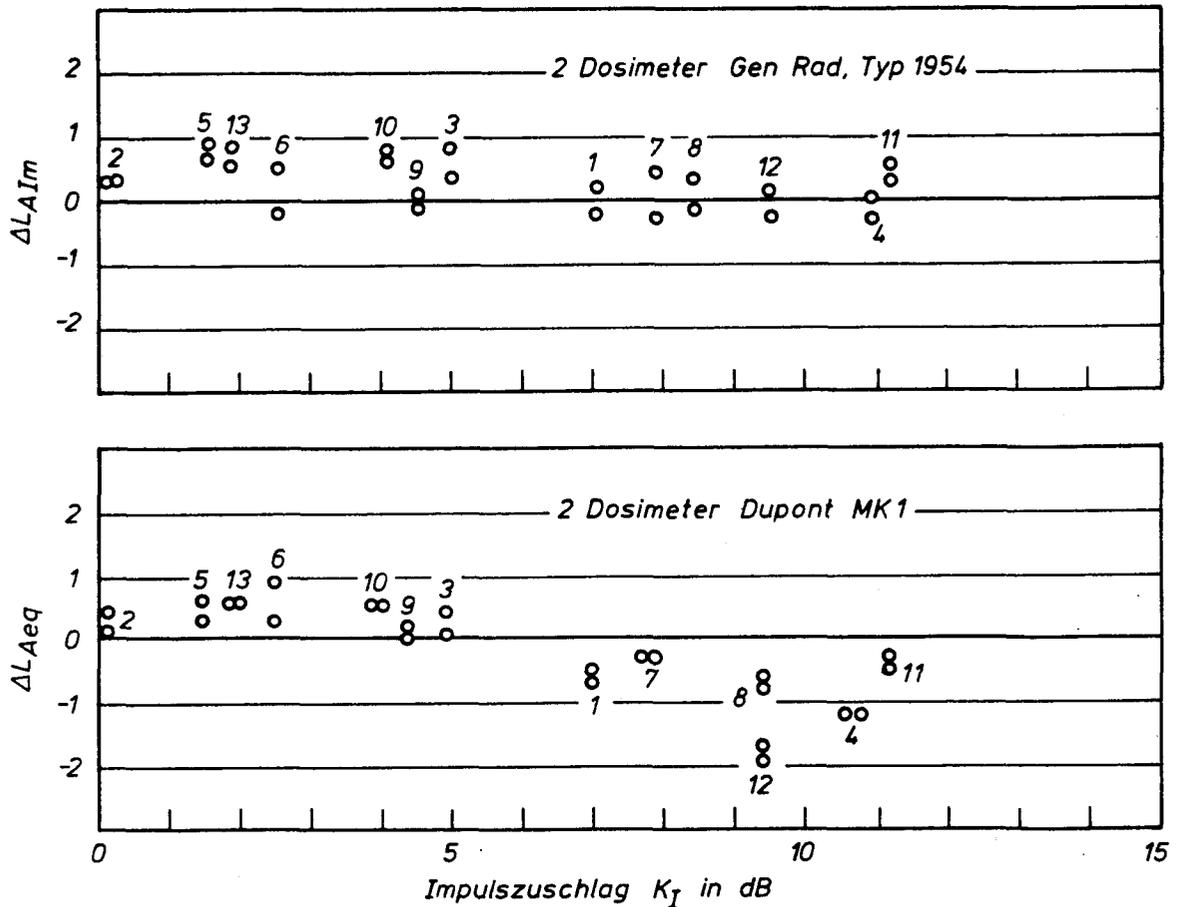


Abbildung 23 :

Meßfehler der ausgewählten Schalldosimeter in Abhängigkeit von der Impulshaltigkeit (K_I) für verschiedene Arbeitsgeräusche (Abweichungen gegenüber Meßwerten eines geprüften integrierenden Schallpegelmessers der Klasse 1)

5.2.3.3.2 Körpereinfluß

Zur Untersuchung des bei der gewählten Mikrofonposition durch den Körper des Beschäftigten möglichen Meßfehlers wurden Labormessungen bei unterschiedlichen Schalleinfallswinkeln durchgeführt.

Um dabei reproduzierbare Meßergebnisse zu erhalten und ggf. Unterschiede verschiedener Mikrofonpositionen besser nachweisen zu können, wurde als "Versuchsperson" eine mit einem Arbeitskittel und einem Helm bekleidete Holzpuppe eingesetzt. Der Körpereinfluß auf den Meßwert wurde in einem schallabsorbierenden Meßraum in 2 Meter Abstand zu einem Lautsprecher (300 mm Durchmesser) untersucht. Dabei wurden jeweils die Pegeldifferenzen gegenüber dem ohne Versuchsperson am Ort der Kopfmittle gemessenen Werten ermittelt.

Abbildung 24 zeigt diesen körperbedingten Meßfehler in einzelnen Oktavbändern bei 3 verschiedenen Schalleinfallswinkeln für den Fall des auf der Schulter aufliegenden Mikrophones und den Fall des ca. 4 cm abstehenden Mikrophones (siehe Abbildung 22 in Abschnitt 5.2.3.2). Darin ist die durch die Spezialhalterung erreichte Verringerung des Fehlers deutlich zu erkennen. Die Auswirkung der geänderten Mikrofonbefestigung zeigt sich auch in der für ein breitbandiges Geräusch (rosa Rauschen) aufgenommenen Ringsumcharakteristik. Nach Abbildung 25 beträgt der Meßfehler bei Fixierung des Mikrophones in 4 cm Abstand zum Körper unter allen Schalleinfallswinkeln weniger als 2 dB(A).

Ausgehend von den hier ermittelten körperbedingten Fehlern in den einzelnen Oktavbereichen (Abbildung 24) lassen sich auch die Abweichungen des A-bewerteten Pegels für jedes beliebige Geräusch mit bekanntem Oktavspektrum bei den untersuchten Einfallswinkeln ermitteln. Mit den größten Abweichungen ist nach Abbildung 24 jeweils für die der Quelle zugewandte und die der Quelle abgewandte Mikrofonposition zu rechnen (stärkste Reflexion bzw. Abschattung).

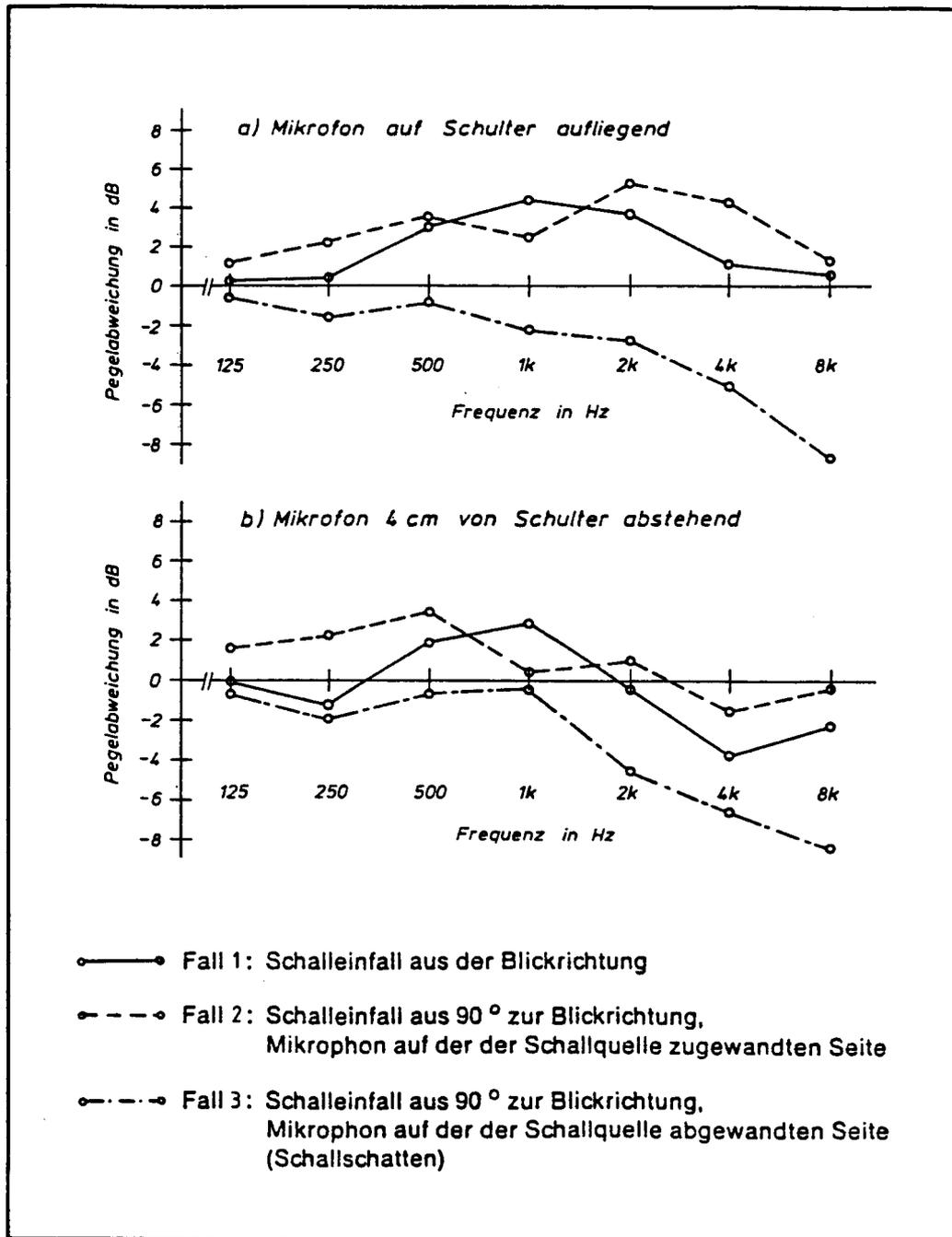


Abbildung 24 :

Körperbedingter Meßfehler bei personengebundener Messung mit einem auf der Schulter aufliegenden Mikrophon (a) und einem 4 cm abstehenden Mikrophon (b) in Abhängigkeit von der Frequenz; Ergebnisse für 3 Schalleinfallrichtungen. Messungen bei Oktavbandrauschen im schallabsorbierenden Meßraum.

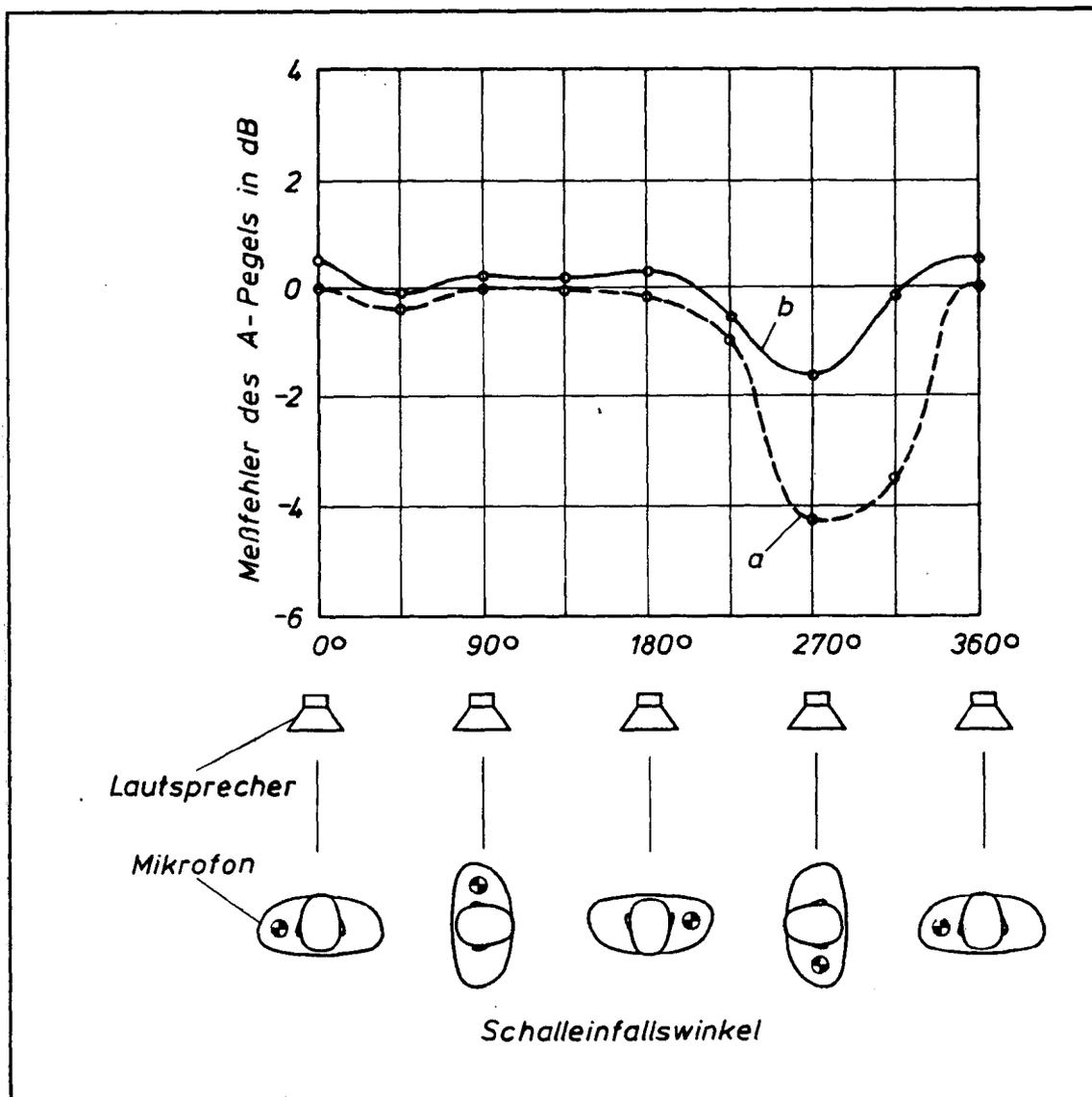


Abbildung 25 :

Abweichung des A-bewerteten Schalldruckpegels unter verschiedenen Schalleinfallswinkeln bei Mikrofonbefestigung auf der Schulter und

a - auf der Kleidung aufliegendes Mikrofon

b - 4 cm abstehendes Mikrofon;

Messung für rosa Rauschen im schallabsorbierenden Meßraum jeweils in 2 m Abstand des Mikrofons zum Lautsprecher

Um diese maximalen Abweichungen für die durchgeführten Lärm-messungen auf Baustellen größenordnungsmäßig abschätzen zu können, wurde für jedes untersuchte Berufsbild das Geräusch einer typischen Arbeit über ca. 30 Minuten spektral analysiert und energetisch gemittelt. In der Tabelle 2 sind die entsprechenden Geräuschspektren und die für die beiden ungünstigen Einfallswinkel berechneten körperbedingten Meßfehler des A-bewerteten Pegels zusammengestellt.

mittlerer Oktavpegel in dB							Meßfehler für A-Pegel in dB	
Mittenfrequenz in Hz							durch Reflexion	durch Abschattung
125	250	500	1000	2000	4000	8000	= Fall 2 in Abb. 23	= Fall 3 in Abb. 23
Maurer:								
78	79	79	78	74	72	63	+ 1,0	- 0,7
Einschaler:								
92	91	91	87	80	72	66	+ 1,8	- 0,5
Eisenflechter:								
72	74	75	76	76	77	75	+ 0,2	- 3,3
Betonierer:								
90	95	85	79	77	76	75	+ 0,8	- 1,2
Zimmermann:								
90	92	90	86	84	76	68	+ 1,7	- 1,0
Installateur:								
67	69	74	76	76	73	68	+ 0,6	- 2,4

Tabelle 2: Maximale körperbedingte Meßfehler für beispielhaft ausgewählte Geräuschspektren der untersuchten Tätigkeitsprofile

Bei den für Maurer, Einschaler, Betonierer und Zimmerleute analysierten vorwiegend tieffrequenten Arbeitsgeräuschen ergeben sich selbst unter diesen ungünstigen Einfallswinkeln verhältnismäßig kleine Meßfehler von weniger als 2 dB(A). Nur bei den höherfrequenten Geräuschen der Installations- und Eisenflechtarbeiten (metallische Lärmimpulse) wirkt sich der Körper des Beschäftigten durch Abschattung und Reflexion etwas stärker aus.

An realen Arbeitsplätzen kann man jedoch mit einem deutlich geringeren Körpereinfluß rechnen. Sofern die Arbeiten in geschlossenen Räumen durchgeführt werden, ergeben sich allein schon durch die vorhandenen Schallreflexionen deutlich geringere Meßfehler. Außerdem werden die in der Tabelle 2 aufgeführten Extremwerte bei dem hier entwickelten Meßverfahren dadurch kompensiert, daß auf jeder Schulter des Beschäftigten ein Mikrofon befestigt ist und eine höhere einseitige Pegelabweichung in der Regel mit einer entgegengesetzten Abweichung auf der anderen Seite verbunden ist. Durch die seitenvertauschte Anbringung der Mikrofone nach etwa der halben Meßzeit und die Mittelung der Pegelabweichungen werden sich körperbedingte Fehler bei ständig einseitiger Lärmbelastung deutlich reduzieren.

Schließlich ist auch die ständige Bewegung der Beschäftigten mit wechselnden Körperhaltungen zu berücksichtigen. Daraus resultieren unterschiedliche Schalleinfallswinkel und entsprechende positive und negative Pegelabweichungen, die wegen der zeitlichen Pegelmittelung bei den hier untersuchten Baustellentätigkeiten keine größeren körperbedingten Fehler erwarten lassen. Eine tendenzielle Abweichung des Meßergebnisses durch den Körpereinfluß kann bei der gewählten Mikrofonposition nicht festgestellt werden.

5.2.3.3.3 Einfluß von Erschütterungen und Reibung

Da durch den Einfluß von Erschütterungen des Meßgerätes und von Reibung des Mikrofones an der Kleidung des Beschäf-

tigten der Einsatzbereich der Schalldosimeter zu tiefen Pegeln hin begrenzt wird, wurde zunächst geprüft, mit welchem maximalen Störeinfluß durch diese Effekte zu rechnen ist. Dazu reichte es aus, die Geräte und Mikrofone durch Schütteln, Klopfen und Reibung einer starken mechanischen Beanspruchung zu unterziehen, wie sie in der Praxis nicht stärker auftreten kann. Die Gehäuse der Meßgeräte erwiesen sich dabei als vollkommen unempfindlich gegenüber diesen Erschütterungen, da sich dadurch keine Pegelanzeige im Meßbereich ergab. Bei der entsprechenden Beanspruchung der Mikrofone und Reibung an der Kleidung ließen sich maximale Störpegel bis etwa 80 dB(A) erzeugen. Mit einem nachgeschalteten Frequenzanalysator wurde dabei ein Oktavspektrum aufgenommen, das von dem Schalldruckpegel von 80 dB bei 125 Hz mit zunehmender Frequenz auf 70 dB bei 4000 Hz abfiel.

Diese extreme Beanspruchung der Geräte kann jedoch für die Praxis ausgeschlossen werden. Außerdem verhindert die Halterung der Mikrofone eine ständige Reibung an der Kleidung. Schließlich ist auch zu berücksichtigen, daß sich durch die verwendeten Schaumstoff-Windschirme ein guter mechanischer Schutz für die Mikrofone ergibt.

Da für die genaue Erfassung von Lärmbelastungen ein Störabstand von 10 dB ausreicht, kann man davon ausgehen, daß die hier betrachteten Störeinflüsse bei dem an Baustellenarbeitsplätzen üblichen Pegelbereich von 80 dB(A) und mehr ohne Einfluß sind.

5.2.3.3.4 Einfluß von Luftströmungen

Um den durch Luftströmungen oder Wind erzeugten Störpegel zu untersuchen, war es erforderlich eine Luftströmung möglichst ohne eigene Strömungsgeräusche zu erzeugen.

Dazu wurde Druckluft über einen großdimensionierten Schalldämpfer in eine vorhandene Schalldämpferstrecke von 1,5 m Länge geleitet und das Mikrophon am Ausgang der Strecke in Richtung der Strömung weisend positioniert. Da man bei dem

Mikrofon des Dupont-Dosimeters wegen des deutlich größeren Durchmessers mit einem stärkeren Windeinfluß rechnen muß als beim GenRad-Mikrofon, beschränkten sich die Untersuchungen auf das Gerät der Firma Dupont.

Die für 2 unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten gewonnenen Meßergebnisse sind in der Tabelle 3 zusammengestellt. Bei den Pegelangaben ist zu berücksichtigen, daß der Störeinfluß je nach Ausrichtung des Mikrofones großen Schwankungen unterliegt. Bei streifendem Schalleinfall ergeben sich auch ohne Windschirm deutlich geringere Windgeräusche.

	Strömungsgeschwindigkeit m/s	Schalldruckpegel in
Mikrofon ungeschützt	3 6	ca. 65 ca. 80
Mikrofon mit Windschirm :		
Durchmesser 40 mm	6	< 65
Durchmesser 60 mm	6	< 60

Tabelle 3 : Störeinfluß durch Luftströmung am Mikrofon mit und ohne Windschirm (Dosimeter der Fa. DUPONT)

Wie die Ergebnisse zeigen, kann eine Luftströmung mit Geschwindigkeit von 6 m/s (22 km/h) beim ungeschützten Mikrofon einen Störpegel von 80 dB(A) erzeugen. Ein Schaumstoff-Windschirm von nur 4 cm Durchmesser mindert diese Störgeräusche bereits auf Werte unter 65 dB(A). Mit dem erprobten größeren Windschirm läßt sich erwartungsgemäß eine noch bessere Wirkung erreichen.

Nach diesen Ergebnissen sollten die Dosimeter beim Einsatz an den vielfach im Freien gelegenen Baustellenarbeitsplätzen in jedem Fall mit Windschirm betrieben werden. Unter Berücksichtigung der üblichen Lärmpegel ist der Windschirm mit 4 cm Durchmesser bereits ausreichend dimensioniert. Die durch den Windschirm gegebene Meßwertverfälschung kann nach den an vergleichbaren Mikrofonen gewonnenen Untersuchungsergebnissen vernachlässigt werden [75]

5.2.3.3.5 Vergleichsmessungen an realen Arbeitsplätzen

Zur Absicherung der Ergebnisse waren nach dem hier entwickelten Dosimetermeßkonzept Zusatzmessungen mit integrierenden Präzisionsschallpegelmessern durchzuführen. Diese Zusatzmessungen ermöglichen einen Vergleich der Dosimetermeßtechnik mit der bisher üblichen Meßtechnik mit integrierenden Handschallpegelmessern. Für diesen Vergleich kommen jedoch nur solche Arbeitsplätze bzw. Tätigkeiten in Betracht, an denen sich die Lärmbelastung in Ohrnähe auch mit dem integrierenden Schallpegelmesser erfassen läßt.

In Abbildung 26 sind die Ergebnisse solcher Vergleichsmessungen für eine Auswahl unterschiedlicher Arbeitsplätze, nicht nur aus dem Baubereich, graphisch aufgetragen. Dabei wurden die Meßwerte der Dosimetermessung auf der Ordinate den entsprechenden Werten des von Hand nachgeführten integrierenden Schallpegelmessers auf der Abszisse zugeordnet und durch Punkte markiert. Bei völliger Übereinstimmung beider Meßverfahren müßten alle Punkte auf der gestrichelt gezeichneten Winkelhalbierenden liegen. Es ergeben sich jedoch Abweichungen bis zu etwa 3 dB(A) zwischen den beiden Verfahren, wobei die mit den Dosimetern gewonnenen Werte in den meisten Fällen etwas höher ausfallen.

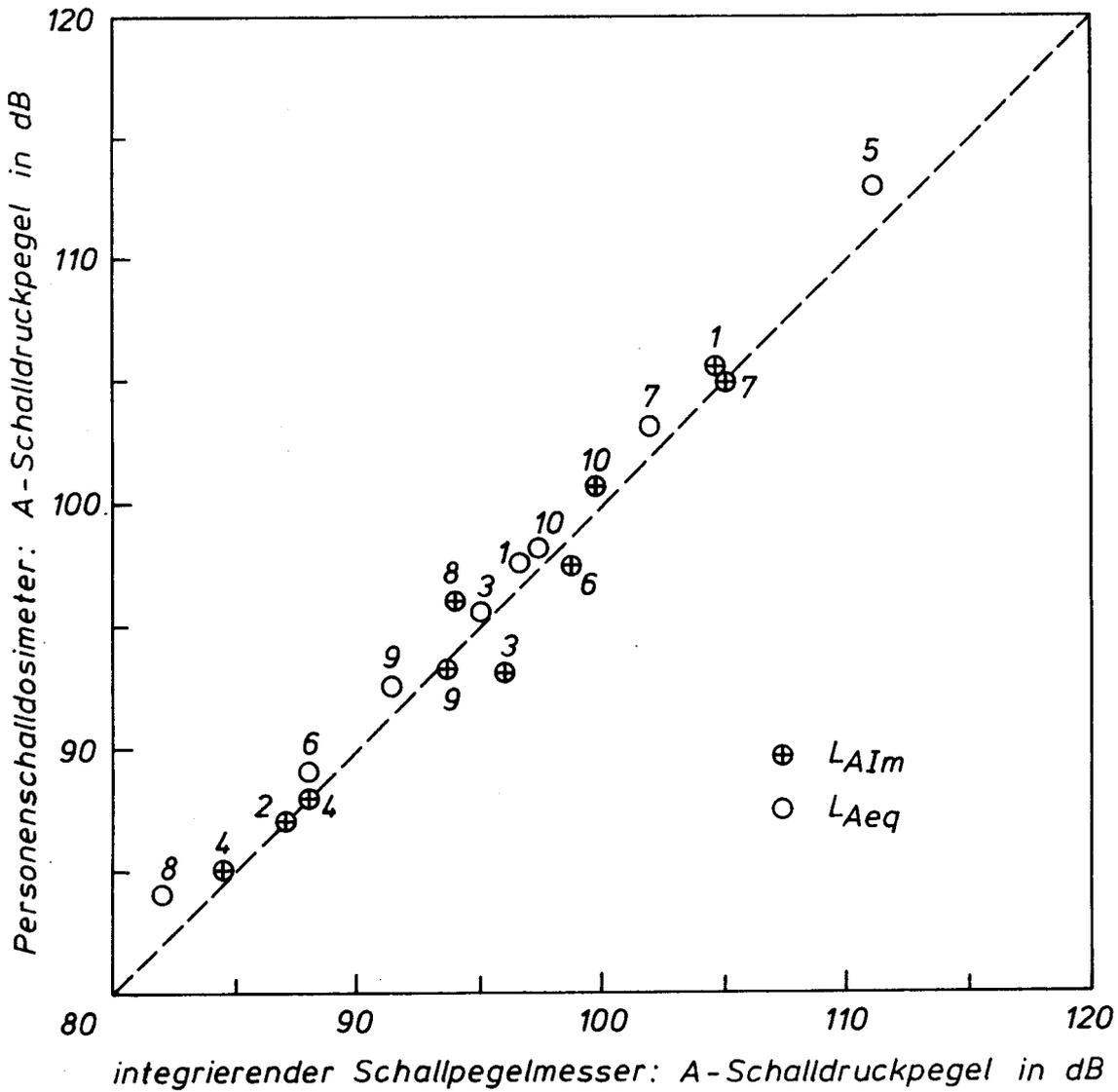


Abbildung 26 :

Gegenüberstellung von mittels Schalldosimetern (personengebunden) und integrierenden Schallpegelmessern (handgeführt) gewonnenen Meßergebnissen für verschiedene Tätigkeiten.

Das läßt sich in der Regel durch ein nicht schnell genug nachgeführtes Mikrofon erklären. Da die Lärmquellen vielfach in unmittelbarer Nähe der Ohren liegen, kann ein kleiner Abstandsfehler bei der Messung bereits zu verhältnismäßig großen Meßfehlern führen. Die festgestellten Abweichungen zwischen beiden Meßverfahren sind also nicht als Fehler der Dosimetermeßtechnik zu interpretieren, sondern lassen eher erkennen, daß die Erfassung der tatsächlichen Lärmbelastung der Beschäftigten mit dem integrierenden Schallpegelmessers an vielen Arbeitsplätzen problematisch ist.

Trotzdem ist jedoch nicht auszuschließen, daß sich im Einzelfall mit dem Dosimeter etwas höhere Meßwerte ergeben können als mit dem integrierenden Schallpegelmessers. Bei sorgfältiger Durchführung der Messungen bleiben diese Abweichungen aber in einem tolerierbaren Bereich.

5.2.3.3.6 Zusammenfassung der Fehlerbetrachtung

Die in den vorangegangenen Abschnitten diskutierten Untersuchungsergebnisse zur Meßgenauigkeit des konzipierten Dosimetermeßverfahrens lassen sich zu folgenden Aussagen zusammenfassen:

Der Meßgerätefehler der ausgewählten Schalldosimeter fällt bei den gegebenen Baulärmgeräuschen nicht größer aus als bei Verwendung von gebräuchlichen integrierenden Schallpegelmessern der Genauigkeitsklasse 1. Auch der durch den Körper des Beschäftigten gegebene Einfluß ist bei der gewählten Mikrofonposition für die betrachteten Lärmbelastungen als gering anzunehmen. Mit der vorgesehenen wechselseitigen Befestigung der Mikrofone auf beiden Schultern kann man den Fehler des gemittelten Pegels auf weniger als 1 dB(A) begrenzen.

Eine bewußte Manipulation des Ergebnisses kann durch die ständige Beobachtung der Beschäftigten und die regelmäßigen Zwischenablesungen nahezu ausgeschlossen werden. Schließlich ließ sich auch nachweisen, daß die angenomme-

nen Störeinflüsse, z.B. durch Erschütterungen, Reibung des Mikrofones an der Kleidung und durch Wind, bei der Ausrüstung der Mikrofone mit Windschirmen zu vernachlässigen sind, sofern die zu erfassenden Lärmbelastungen den Mittelungspegel von 80 dB(A) nicht wesentlich unterschreiten.

Wie auch die mit integrierenden Schallpegelmessern bei verschiedenen Tätigkeiten durchgeführten Parallelmessungen belegen, lassen sich mit dieser speziell entwickelten Dosimetermeßtechnik die Lärmbelastungen an den zu untersuchenden Baustellenarbeitsplätzen mit hoher Genauigkeit erfassen. Nach DIN 45 645 Teil 2 können die mit Meßgeräten der Klasse 2 gewonnenen Meßwerte in die Genauigkeitsklasse 1 eingeordnet werden, sofern "durch Vergleichsmessungen im Labor mit Meßgeräten, die der geforderten Genauigkeitsklasse entsprechen" (hier Klasse 1), "die Richtigkeit und Zuverlässigkeit der Anzeige für die zu messenden Geräuschtypen (Spektrum, Impulshaltigkeit) gewährleistet ist".

Da die gewonnenen Dosimetermeßwerte durch zahlreiche Vergleichsmessungen und Prüfungen in Labor und Praxis entsprechend abgesichert werden konnten, ist hier eine Einordnung der Ergebnisse in die Genauigkeitsklasse 1 gerechtfertigt.

5.2.4 Vorbereitung und Durchführung der Lärmessungen

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchung wurde auf insgesamt 29 Hochbaustellen unterschiedlicher Art in verschiedenen Bauphasen gemessen, um damit alle vorkommenden, möglicherweise die Lärmbelastung beeinflussenden Arbeitsbedingungen zu erfassen.

Entsprechend der in Abschnitt 5.2.2.2 beschriebenen Meßmethodik mußte die Auswahl der Beschäftigten für die Dosimetermessungen nach Zufallsgesichtspunkten erfolgen, wobei natürlich die jeweils auf der Baustelle auszuführenden Arbeitsaufgaben zu berücksichtigen waren. Die Messung sollte sich dabei möglichst über den ganzen Arbeitstag erstrecken, um damit die jeweiligen Tagesmittelungspegel zu erfassen.

Vielfach konnten die Messungen jedoch schon nach wenigen Stunden abgebrochen werden, da den ganzen Tag über gleichartige Arbeiten ausgeführt wurden und keine nennenswerte Pegeländerung mehr zu erwarten war. Das Ergebnis konnte dann als repräsentativ für den Arbeitstag angenommen werden. Falls ein Beschäftigter an einem Tag nach unterschiedlichen Tätigkeitsprofilen eingesetzt war, mußten die entsprechenden Zeitabschnitte getrennt erfaßt und ausgewertet werden. In jedem Fall mußte die Meßzeit für ein Tätigkeitsprofil mindestens 2 Stunden betragen, um bei der Auswertung berücksichtigt werden zu können.

Zur Erfassung der Lärmbelastung der einzelnen Beschäftigten wurde die in Abschnitt 5.2.3.2 beschriebene Dosimetermessung angewandt.

Die wesentlichen Schritte zur praktischen Durchführung dieser Messungen seien hier nochmals angegeben:

- Information der überwachten Beschäftigten
- Parallelmessung mit zwei Dosimetern (L_{Aeq} , L_{AIm})
- Beobachten der Beschäftigten und Protokollierung der ausgeführten Arbeiten
- regelmäßige Zwischenablesung etwa alle 45 bis 60 Minuten, Rücksetzen der Dosimeter vor Fortsetzung der Messung
- stichprobenartige Kontroll-Zusatzmessungen mit integrierenden Präzisionsschallpegelmessern (Meßzeit ca. 15 bis 20 Minuten); für jeden untersuchten Beschäftigten mindestens eine derartige Zusatzmessung je Meßtag.

5.2.5 Auswerteverfahren

5.2.5.1 Berechnen der Tagesmittelungspegel

Aus den für einen Beschäftigten eines bestimmten Berufsbildes an einem Tag abgelesenen Dosimetermeßwerten läßt sich unter entsprechender zeitlicher Gewichtung der Mittelungspegel für die gesamte Meßzeit des Tages berechnen [68,71]. Da der damit erfaßte mehrstündige Anteil der Tagesarbeitszeit als repräsentativ für den ganzen Arbeitstag angenommen werden kann, wird dieser Mittelungspegel hier als Tagesmittelungspegel L_m bezeichnet. Bei einer täglichen Arbeitszeit von 8 Stunden entspricht dieser Wert dem Tagesbeurteilungspegel $L_{r,8h}$ nach DIN 45 645 Teil 2 oder dem Lärmexpositionspegel $L_{EP,d}$ nach der EG-Lärmschutzlinie, je nachdem ob man von den "Impuls"-bewerteten oder den energieäquivalenten Mittelungspegeln der einzelnen Zeitabschnitte ausgeht.

5.2.5.2 Beschreibung der Lärmbelastung für ein Berufsbild

Pegelhäufigkeitsverteilung:

Zur Veranschaulichung der für die Beschäftigten eines bestimmten Tätigkeitsprofils gewonnenen Tagesmittelungspegel lassen sich diese in Form einer Pegelhäufigkeitsverteilung darstellen, wie sie Abbildung 27 für die untersuchten Einschalerarbeitsplätze zeigt. Damit kann man übersichtlich die gemessenen Lärmbelastungen sowie die Streuung der Ergebnisse für verschiedene Tage und verschiedene Beschäftigte erfassen. Für geeignet festgelegte Tätigkeitsprofile ergeben sich jeweils angenäherte Normalverteilungen für die energieäquivalenten und die "Impuls"-bewerteten Tagesmittelungspegel. Bei einzelnen Tätigkeitsprofilen entstehen jedoch auch mehrgipfelige Verteilungsformen, die darauf hindeuten, daß innerhalb dieses Berufsbildes ggf. verschiedene lärmrelevante Arbeitsplatzmerkmale, wie z.B. bestimmte Baumaterialien oder Arbeitsbereiche, unterschieden werden müssen (siehe [71]).

Falls die erfaßten Anteile der Arbeitsplätze mit unterschiedlichen Merkmalen nicht repräsentativ für das entsprechende Berufsbild sind, müßte eine mehrgipfelige Verteilung nach den verschiedenen Arbeitsplatzmerkmalen getrennt ausgewertet werden. Anschließend kann die Lärmbelastung für das betrachtete Berufsbild unter Berücksichtigung der für die einzelnen Teilbereiche gewonnenen Ergebnisse und der anzunehmenden Zeitanteile rechnerisch bestimmt werden.

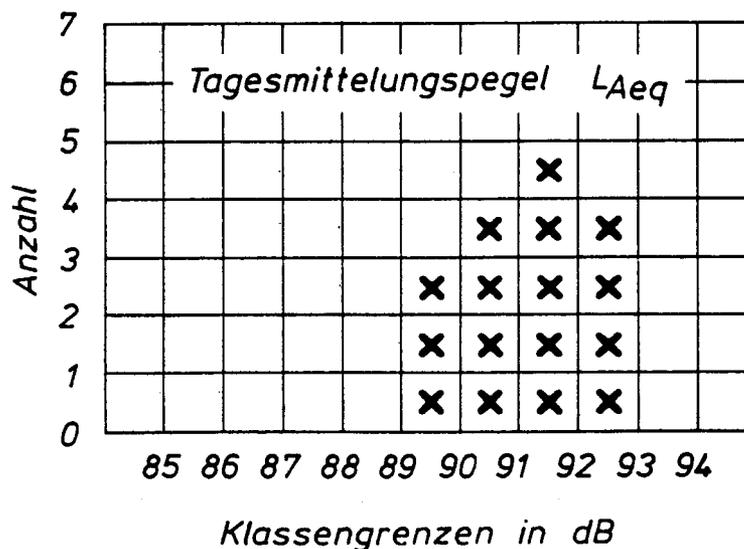
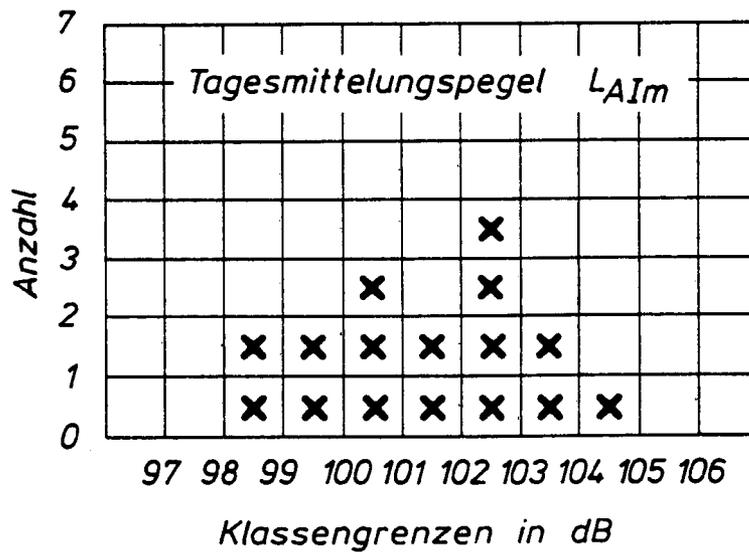


Abbildung 27 :

Pegelhäufigkeitsverteilungen der an Einschaler-Arbeitsplätzen erfaßten Tagesmittelungspegel L_{Aeq} und L_{AIm} (Pegelklassen jeweils von ...,0 bis ...,9 dB)

Statistische Auswertung:

Die für ein bestimmtes Berufsbild bzw. für ein eingegrenztes Tätigkeitsprofil gewonnenen Tagesmittelungspegel können nach Abschnitt 5.2.2.2 als voneinander unabhängige Stichprobenmeßwerte zur Bestimmung der für diesen Bereich kennzeichnenden Geräuschmissionen betrachtet und nach DIN 45 645 Teil 2 Anhang C ausgewertet werden. Bei Vernachlässigung etwaiger individueller, durch die Arbeitsweise des Einzelnen bedingter Belastungsunterschiede kann die damit bestimmte durchschnittliche Lärmbelastung des definierten Berufsbildes als die längerfristig typische Lärmbelastung des einzelnen Beschäftigten angenommen werden. Der berechnete Mittelwert entspricht der für einen entsprechend tätigen Beschäftigten über einen längeren Zeitraum, von z.B. einer Woche, gemittelten Lärmbelastung (Wochenbeurteilungspegel).

Das Stichprobenverfahren nach DIN 45 645 Teil 2 ließe sich auch auf innerhalb relativ kurzer Meßzeiten von z.B. 10 Minuten gewonnene Einzelmeßwerte anwenden. Die hier als Stichprobenmeßwerte eingesetzten Tagesmittelungspegel haben jedoch den Vorteil, daß sich durch die mehrstündige Pegelmitteilung eine geringe Pegelstreuung der Einzelwerte ergibt und sich die Lärmbelastung aus verhältnismäßig wenigen Einzelwerten mit hoher Aussagesicherheit bestimmen läßt. Außerdem erhält man damit eine Information über die von Tag zu Tag möglichen Belastungsunterschiede bei der Arbeit nach dem entsprechenden Tätigkeitsprofil.

Auf der Grundlage der statistischen Auswertung konnte jeweils der erforderliche Untersuchungsumfang für ein bestimmtes Berufsbild festgelegt werden. Die Anzahl der Stichprobenmessungen wurde so gewählt, daß das Auswertergebnis bei der festgestellten Pegelstreuung in die Genauigkeitsklasse 1 eingeordnet werden konnte. Bei einzelnen, nur Teilbereiche eines Berufsbildes betreffenden Auswertungen sollten zumindest die energieäquivalenten Meßwerte oder die "Impuls"-bewerteten Meßwerte dieser höchsten Genauigkeitsklasse entsprechen.

Neben den nach DIN 45 645 Teil 2 für die Stichprobe zu berechnenden Kennwerten, wie Mittelwert und Standardabweichung, wurde für die einzelnen Berufsbilder auch jeweils der Pegelbereich ermittelt, in dem 90 % aller Tagesmittelungspegel zu erwarten sind (Annahme einer Normalverteilung). Damit läßt sich der für die tägliche Lärmbelastung anzunehmende Streubereich eingrenzen.

5.2.6 Ergebnisse der Lärmmessungen

5.2.6.1 Lärmbelastungen der einzelnen Tätigkeitsprofile

Die für die verschiedenen "idealisierten" Berufsbilder bzw. Tätigkeitsprofile gewonnenen Meßwerte und Auswerteergebnisse einschließlich aller Arbeitsplatz- und Baustellenbeschreibungen sind im BIA-Report Nr.1/87 [71] zusammengestellt. Danach lassen sich für die einzelnen Tätigkeitsprofile die in Tabelle 4 aufgelisteten durchschnittlichen Lärmbelastungen und 90 %-Streubereiche bestimmen.

Tätigkeitsprofil	durchschnittliche Lärmbelastung in dB		Pegelbereich mit 90% aller Tagesmittelungspegel in dB	
	L Aeq	L Aim	L Aeq	L Aim
Maurer	83	93	81 - 85,5	90 - 95
Einschaler	92	101,5	89,5 - 93	98 - 104,5
Eisenflechter (Baustelle)	86	94,5	81,5 - 89	90 - 98
Betonierer	88,5	95,5	84 - 91,5	90,5 - 99
Zimmermann	91	99	85 - 95	91,5 - 104
Installateur im Heizungs- und Sanitärbereich	88	93	81,5 - 94,5	86 - 97

Tabelle 4: Durchschnittliche Lärmbelastungen der erfaßten Tätigkeitsprofile (Werte auf 0,5 dB gerundet)

Um die Lärmbelastungen dieser Berufsbilder etwas genauer zu beschreiben, seien hier einzelne für die jeweiligen Tätigkeitsprofile typische Zeitabschnitte ausgewählt und in Form von Pegelschrieben und Oktavbandspektren dargestellt. Außerdem werden einzelne auffällige Lärmimpulse analysiert und durch ihre Spitzenpegel L_{peak} und ihre Dauer t_B (B-Dauer nach CHABA, siehe Abschnitt 3.4.) beschrieben.

Alle Auswertungen basieren auf entsprechenden Magnetbandaufzeichnungen an untersuchten Arbeitsplätzen. Die angegebenen Mittelungspegel sowie die Geräuschspektren sind jeweils durch Mittelung über eine Zeit von ca. 30 Minuten gewonnen worden. Damit repräsentieren die analysierten Geräusche selbstverständlich nur einen kleinen Ausschnitt der für die entsprechenden Berufsbilder anzunehmenden vielfältigen Lärmbelastungen. Da hier jedoch bewußt solche Tätigkeiten ausgewählt worden sind, die einen hohen zeitlichen Anteil an den in dem jeweiligen Berufsbild anfallenden Arbeiten haben und auch einen wesentlichen quantitativen Beitrag zur Gesamtbelastung leisten, ist davon auszugehen, daß die Lärmbelastungen der einzelnen Berufsbilder durch diese Analysen zumindest näherungsweise beschrieben werden.

Maurer:

Die Abbildung 28 zeigt den Pegelschrieb und das Geräuschspektrum für das Vermauern von Kalksandsteinen ($L_{\text{Aeq}} = 83$ dB, $L_{\text{AIm}} = 92$ dB). Es handelt sich dabei um ein tief- bis mittelfrequentes Geräusch mit Lärmimpulsen in größeren zeitlichen Abständen (ca. 0,5 bis 10 s). Die Impulse entstehen z.B. beim Anschlagen der Steine zum Ausrichten oder Teilen sowie beim Stapeln der Steine. Andere Lärmimpulse, z.B. beim Reinigen von Betonkübeln und beim Bau von Bockgerüsten wurden in dieser Aufzeichnung nicht erfaßt. Die Impulse sind im allgemeinen verhältnismäßig kurz (B-Dauer 20 bis 100 ms) und erreichen bei der üblichen Maurerarbeit bereits Spitzenwerte L_{peak} von bis zu 120 dB.

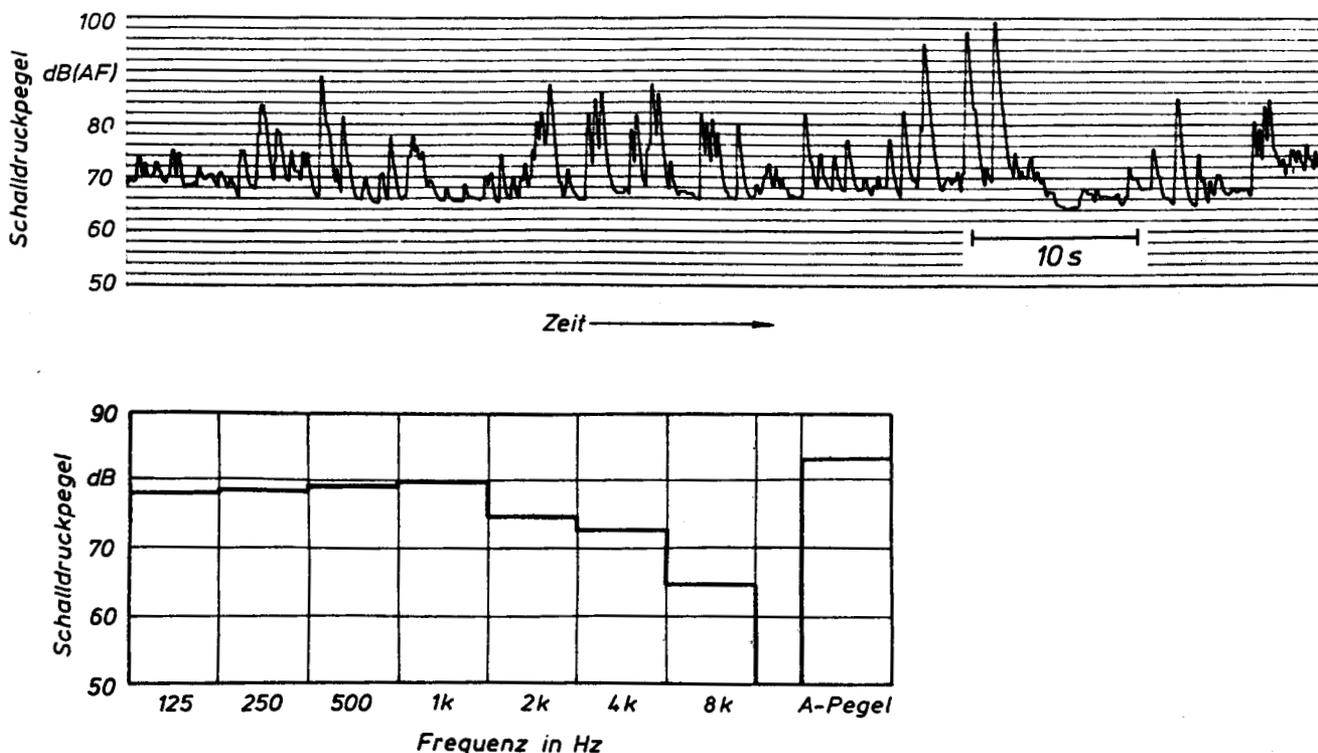


Abbildung 28 :

**Pegelschrieb und Geräuschspektrum für Maurerarbeiten
(Vermauern von Kalksandstein)**

Einschaler:

Abbildung 29 zeigt den Pegelschrieb und das Geräuschspektrum beim Ausschalen einer Treppe, wobei Metallstützen und Schalbretter mit dem Hammer abgeschlagen wurden ($L_{Aeq} = 92$ dB, $L_{AIm} = 105$ dB). Dabei entsteht ein tieffrequentes Geräusch mit Schlagimpulsen in größeren zeitlichen Abständen (ca. 2 bis 5 Sekunden). Je nach angeschlagenem Material und Schlagkraft können die Impulse dabei Spitzenpegel L_{peak} bis zu 130 dB erreichen (Anschlagen einer Metallstütze). Bei den von Einschälern vielfach ausgeführten Nagelarbeiten liegen die Spitzenpegel L_{peak} bei etwa 120 dB. Diese Impulse bei der Holzverarbeitung klingen stets relativ schnell wieder

ab (B-Dauer bis 100 ms), während beim Anschlagen von Metall (Stahlstützen) auch längere Zeit nachklingende Impulse möglich sind (B-Dauer bis 350 ms).

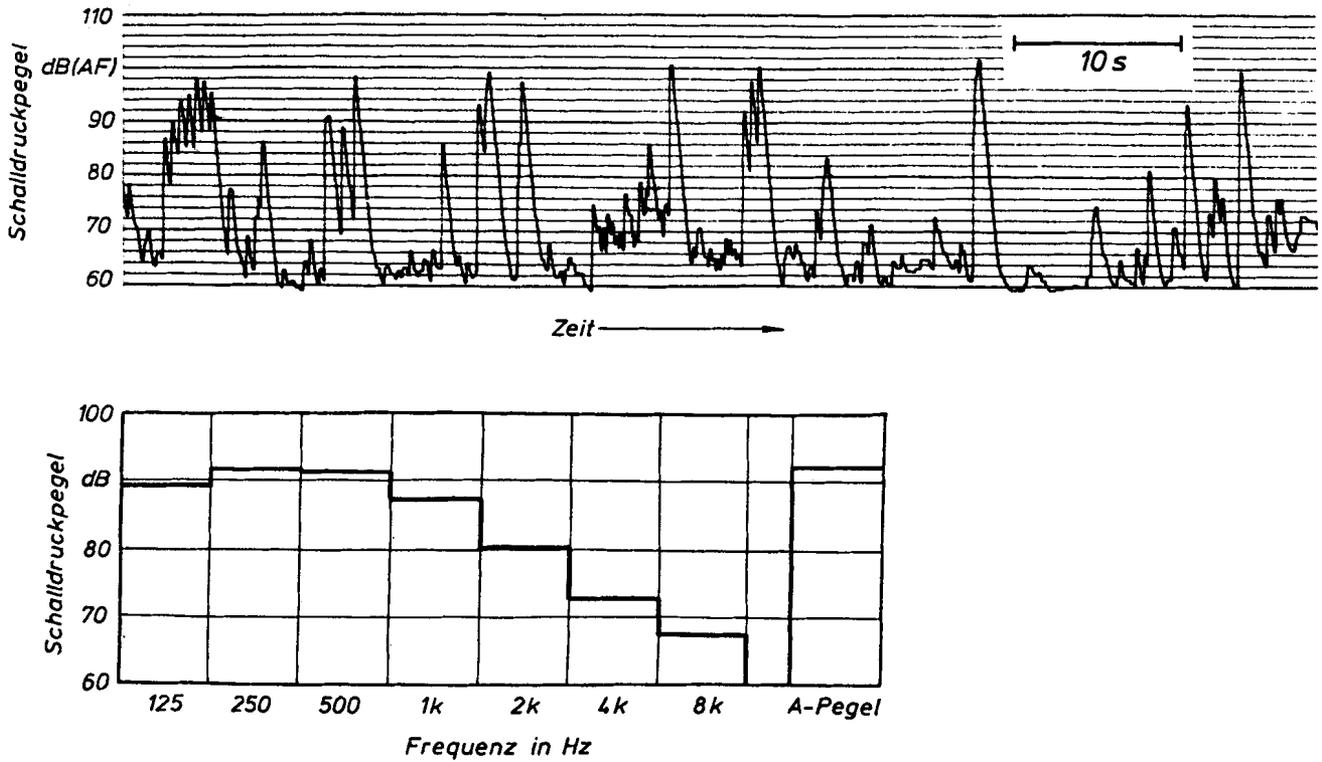


Abbildung 29 :
Pegelschrieb und Geräuschspektren für Einschalerarbeiten
(Ausschalen einer Treppe)

Eisenflechter:

Für den Eisenflechter sind in Abbildung 30 ein Pegelschrieb und ein Geräuschspektrum beim Verlegen einer Sturzbewehrung dargestellt ($L_{Aeq} = 83$ dB, $L_{AIm} = 92$ dB). Im Unterschied zu den für die vorgenannten Tätigkeitsprofile analysierten tieffrequenten Geräusche ergibt sich bei diesen Arbeiten ein sehr breitspektrales Geräusch mit einzelnen höheren Lärmimpulsen im Zeitabstand von rund 5 Sekunden. Die Lärmimpulse entstehen z.B. beim Ablegen oder Umschlagen von Eisen, wobei die Pegelspitzen L_{peak} in der Regel unter 120 dB liegen, jedoch verhältnismäßig lange nachklingen können (B-Dauer 150 bis 300 ms).

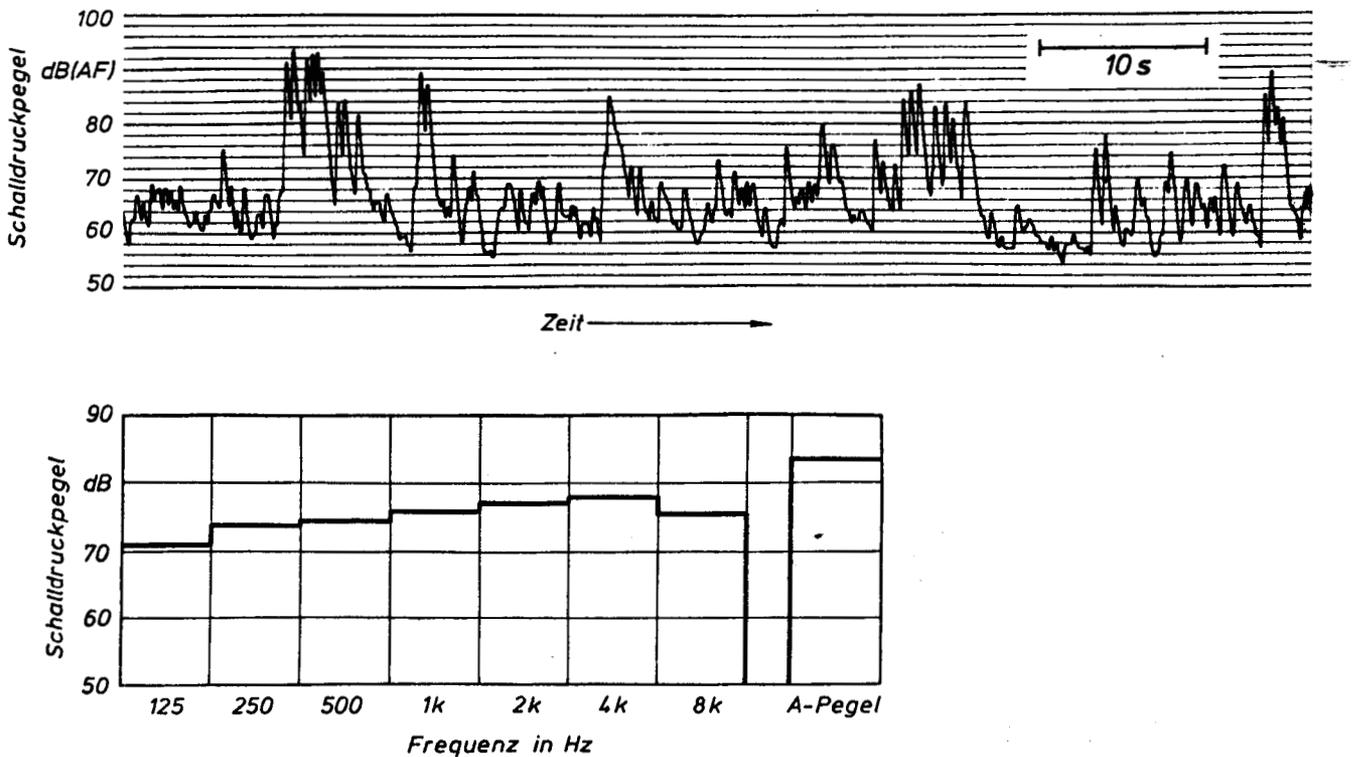


Abbildung 30 :

Pegelschrieb und Geräuschspektrum für Eisenflechterarbeiten (Verlegen einer Sturzbewehrung)

Betonierer:

Abbildung 31 zeigt den Pegelschrieb und das Geräuschspektrum beim Betonieren einer Decke ($L_{Aeq} = 89$ dB, $L_{AIm} = 93$ dB). Es handelt sich hier um ein schwankendes tieffrequentes Geräusch (Betoninnenrüttler) mit nur gelegentlichen Lärmimpulsen, z.B. durch die Klappe des Betonkübels (Spitzenpegel L_{peak} ca. 120 dB, B-Dauer ca. 100 ms).

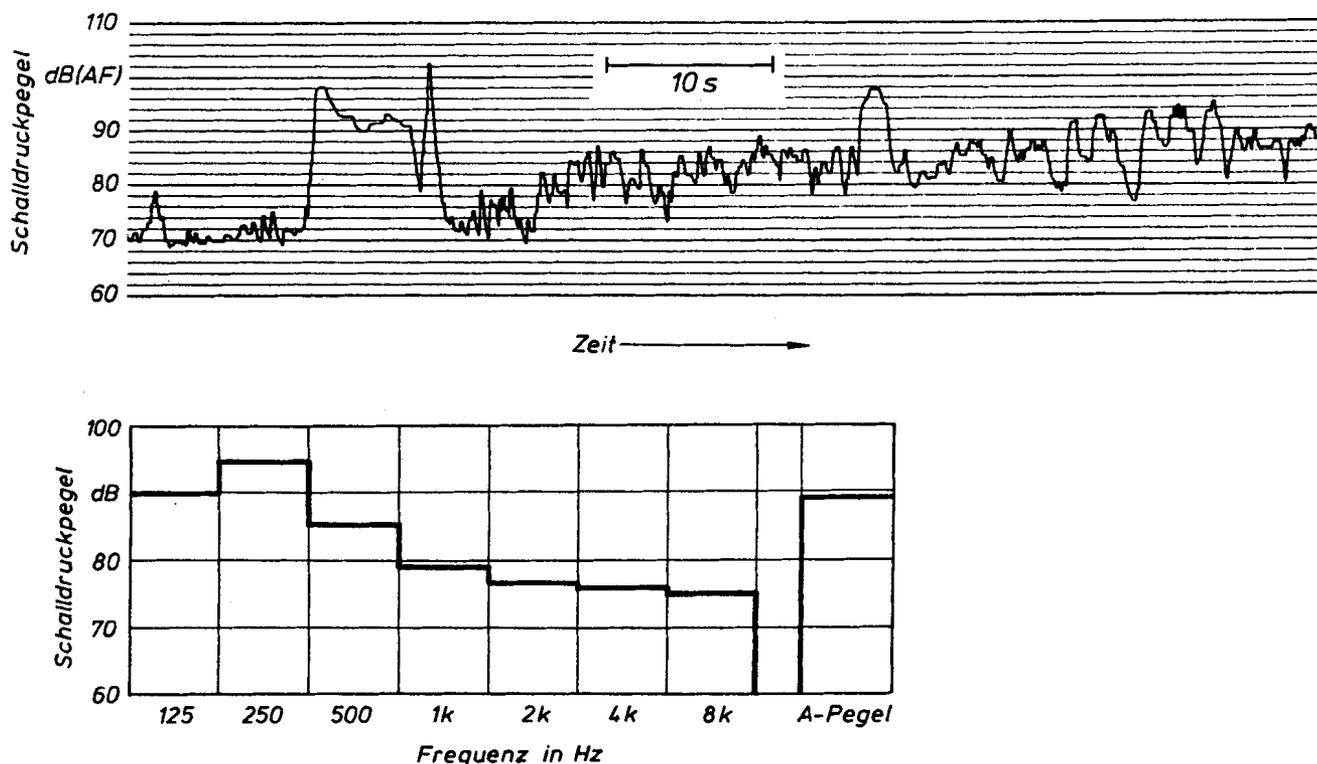


Abbildung 31 :

Pegelschrieb und Geräuschspektrum für Betonierarbeiten

Zimmermann :

Für den Zimmermann wurde in Abbildung 32 der Pegelschrieb und das Geräuschspektrum beim Verschalen einer Dachgaube dargestellt ($L_{Aeq} = 92$ dB, $L_{AIm} = 103$ dB). Ähnlich wie für den Einschaler ergibt sich hier bei der Holzverarbeitung ein verhältnismäßig tieffrequentes Geräusch mit vielen Lärmimpulsen, die meist in sehr kurzer Folge abgegeben werden, worauf dann wieder eine Pause von mehreren Sekunden folgen kann. Die Impulse erreichen Spitzenpegel L_{peak} von rund 120 dB und klingen relativ schnell wieder ab (B-Dauer 30 bis 70 ms).

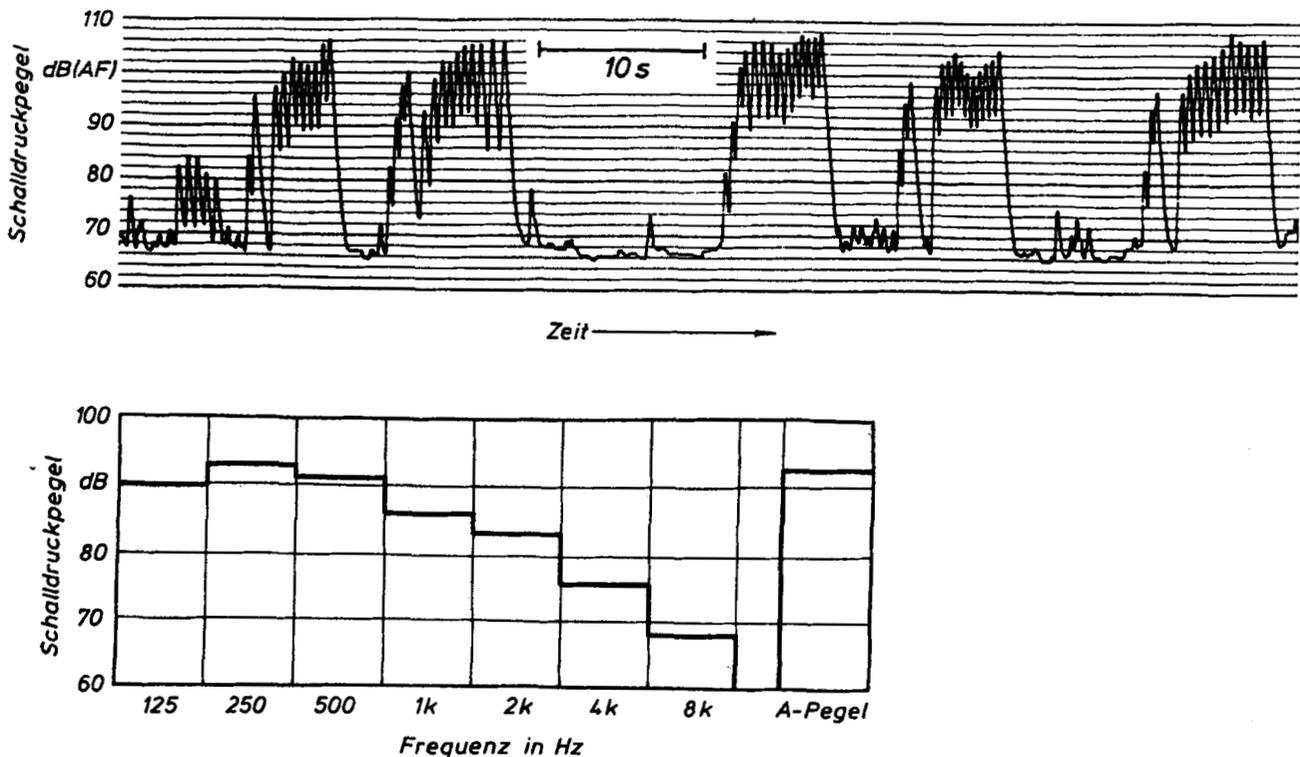


Abbildung 32 :

Pegelschrieb und Geräuschspektrum für Zimmermannsarbeiten
(Verschalen einer Dachgaube)

Installateur :

Abbildung 33 zeigt einen bei Rohrintallationsarbeiten aufgenommenen Pegelschrieb und das entsprechende Geräuschspektrum ($L_{Aeq} = 81$ dB, $L_{AIm} = 88$ dB). Zu dieser Arbeit gehören sehr unterschiedliche Einzeltätigkeiten, wie z.B. Sägen, Schleifen, Schweißen, Heften und Hämmern, die zu einer schwankenden Lärmbelastung mit zeitweiligem Dauerlärm und Impulslärm führen. Über längere Zeit integriert ergibt sich ein mittelfrequentes Geräuschspektrum. Die Lärmimpulse entstehen z.B. durch Hammerschläge oder fallendes Rohrmaterial. Sie erreichen Spitzenpegel L_{peak} von bis zu etwa 115 dB und klingen verhältnismäßig lange nach (B-Dauer bis 500 ms).

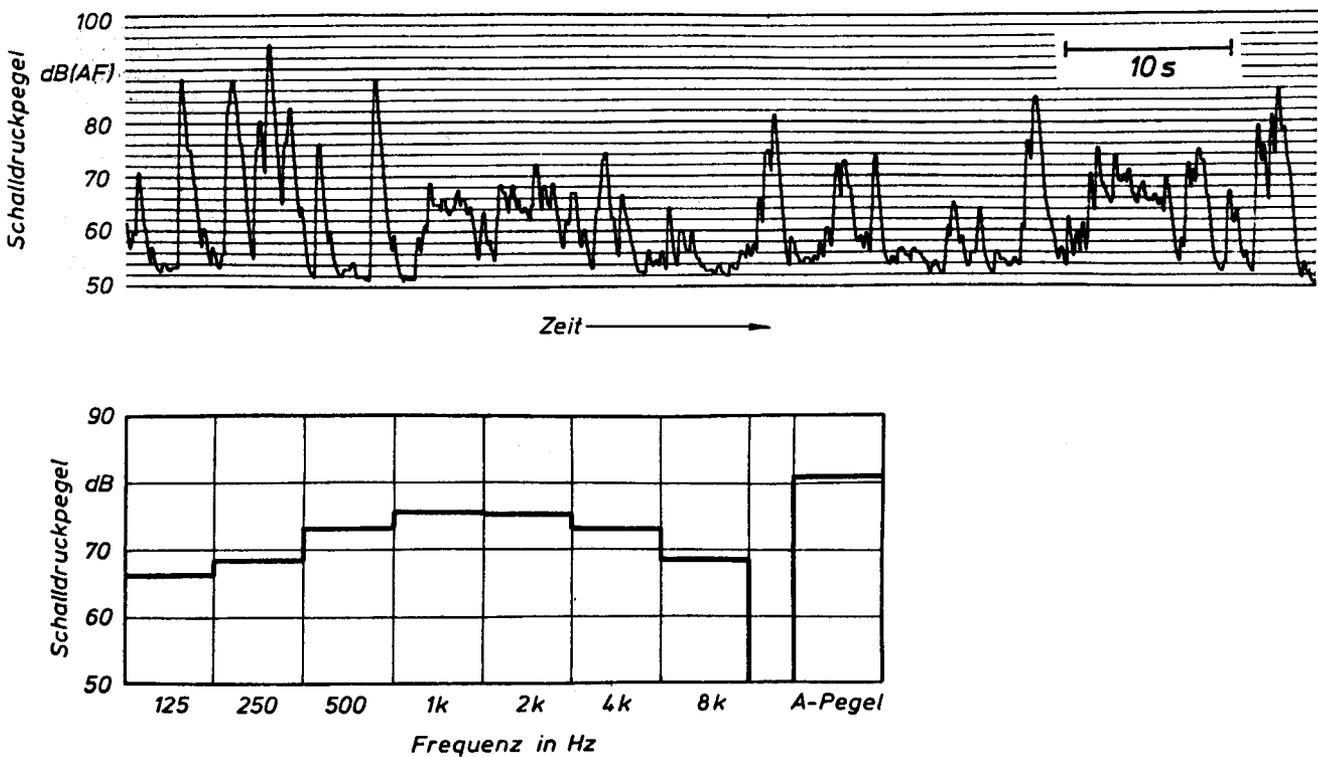


Abbildung 33 :

Pegelschrieb und Geräuschspektrum bei Rohrintallationsarbeiten

5.2.6.2 Lärmbelastung für die unterschiedenen Bauberufe

Die zur meßtechnischen Bestimmung der Lärmbelastung festgelegten Tätigkeitsprofile umfassen jeweils einen verhältnismäßig schmalen Arbeitsausschnitt, der vielfach nur einen Teilbereich der für die unterschiedenen vier Bauberufe anzunehmenden Arbeiten abdeckt (siehe z.B. Abschnitt 5.2.1). Die in den einzelnen Bauberufen anfallenden Arbeiten lassen sich jedoch in jedem Fall durch ein oder mehrere der definierten Tätigkeitsprofile beschreiben. Damit kann die Lärmbelastung der Bauberufe aus den für die einzelnen Tätigkeitsprofile gewonnenen Werten unter Berücksichtigung der jeweiligen Zeitanteile bestimmt werden. Die in den nachfolgenden Rechnungen für die betrachteten vier Berufe angenommenen Zeitanteile beruhen auf den Angaben verschiedener Baufirmen und Ermittlungen des Arbeitskreises "Lärm" der Bauberufsgenossenschaften.

Maurer :

In der "Internationalen Standardklassifikation der Berufe" [76] wird der Maurer als "reiner" Maurer beschrieben, der damit voll und ganz dem hier definierten Tätigkeitsprofil entspricht.

Erfahrungsgemäß führen Maurer jedoch auch einige Nebenarbeiten aus, die anderen Tätigkeitsprofilen zuzuordnen sind, so daß die durchschnittliche Lärmbelastung der in der Pilotstudie II der Bau-Berufsgenossenschaften [105] erfaßten Maurer von der Lärmbelastung des "reinen" Maurer abweichen dürfte. Deshalb läßt sich die Lärmbelastung der hier zu betrachtenden Gruppe der Maurer besser durch die für den vielseitiger eingesetzten Maurer anzunehmende Belastung beschreiben, wie er z.B. auf kleineren Baustellen tätig ist. Dabei fallen z.B. auch folgende Arbeiten an, wie das Nachschachten von Fundamenten und Entwässerungsleitungen, Isolierarbeiten am Kellergeschoß, Einschalarbeiten, Eisenflechtarbeiten und Betonierarbeiten. Der Zeitanteil für das reine Mauern beträgt dabei rund 65 %, der Zeitanteil für Einschalarbeiten

rund 15 %. Da sich die übrigen Arbeiten außer den Einschalarbeiten hinsichtlich Lärmbelastung nicht wesentlich von den reinen Maurerarbeiten unterscheiden und der Einfluß auf die Gesamtbelastung des betreffenden Maurers wegen der geringen Zeitanteile vernachlässigbar ist, kann in dieser Rechnung der Zeitanteil für das Mauern mit 85 % eingesetzt werden. Damit erhöhen sich die Lärmbelastungswerte L_{Aeq} und L_{AIm} für den Maurer durch die bei Einschalarbeiten gegebene höhere Lärmbelastung um rund 3 dB(A) gegenüber der "reinen" Maurerarbeit (siehe Tabelle 5).

Beruf	durchschnittliche Lärmbelastung in dB		Pegelbereich mit 90 % aller Tagesmittelungspegel in dB	
	L_{Aeq}	L_{AIm}	L_{Aeq}	L_{AIm}
Maurer (mit Nebentätigkeiten)	86	96	83,5 - 87,5	92,5 - 98,5
Betonbauer	90	99	87 - 91,5	96 - 102,5
Zimmerer	91	99	85 - 95	91,5 - 104
Rohrinstallateur	88	93	81,5 - 94,5	86 - 97

Tabelle 5 :

Zusammenstellung der für die vier betrachteten Berufsgruppen anzunehmenden durchschnittlichen Lärmbelastungen (Werte auf 0,5 dB gerundet).

Betonbauer :

Nach der in der "Internationalen Standardklassifikation der Berufe" [76] gegebenen Tätigkeitsbeschreibung beinhaltet der Beruf des Betonbauers Arbeiten nach den drei Tätigkeitsprofilen : Einschaler, Eisenflechter und Betonierer.

Zur Berechnung der für diesen Beruf anzunehmenden typischen Lärmbelastung wurden folgende Zeitanteile ermittelt :

Einschalarbeit	50 bis 55 %
Eisenflechtarbeit	30 bis 35 %
Betonierarbeit	15 bis 20 %

Den in der Tabelle 5 angegebenen Werten wurden Prozentsätze von 50/35/15 zugrunde gelegt.

Die damit bestimmten Lärmbelastungswerte können als Durchschnittswerte für die in der Pilotstudie II der Bau-Berufsgenossenschaften erfaßte Gruppe der Betonbauer gelten. Diese Werte entsprechen dem verhältnismäßig vielseitigen Einsatz der Betonbauer, wie er vor allem auf kleineren Baustellen üblich ist. Die im Rahmen der Untersuchung auf den Baustellen angetroffenen Beschäftigten waren dagegen auch häufig auf ein oder zwei der genannten Bereiche spezialisiert, z.B. als reine Eisenflechter oder als Einschaler und Betonierer. Aufgrund der damit gegebenen unterschiedlichen Einsatzbereiche der einzelnen Beschäftigten muß man in der Gruppe der Betonbauer mit entsprechend unterschiedlichen Lärmbelastungen rechnen.

Zimmerer :

Die in der "Internationalen Standardklassifikation der Berufe" [76] für den Zimmerer genannten Tätigkeiten entsprechen dem hier für den Zimmermann festgelegten Tätigkeitsprofil. Dabei waren aufgrund entsprechender betrieblicher Erfahrungen die Bereiche "Zimmerplatz" und "Baustelle" zu jeweils 50 % zu berücksichtigen.

Die in der Pilotstudie II erfaßte Gruppe von Zimmerern kann neben den Beschäftigten nach Tätigkeitsprofil Zimmermann aber auch Einschaler beinhalten, die sich nach eigenen Erfahrungen auch oft als Zimmerleute bezeichnen. Da sich die Lärmbelastungen von Einschhalern und Zimmerleuten nicht nennenswert unterscheiden, ergäbe sich durch diese Zusammensetzung der Gruppe nur eine geringfügige Erhöhung der durchschnittlichen Lärmbelastung der Gruppe und eine etwas größere Streuung der individuellen Lärmbelastungen.

Rohrinstallateur :

Die für den Rohrinstallateur in der "Internationalen Standardklassifikation der Berufe" [76] gegebene Tätigkeitsbeschreibung deckt sich weitgehend mit dem Tätigkeitsprofil des "Heizungs- und Sanitärinstallateurs".

Eine Unterscheidung der beiden Bereiche Heizung und Sanitär hinsichtlich Lärmbelastung ist nach den gewonnenen Ergebnissen nicht gerechtfertigt [71]. Die in Tabelle 5 für den Installateur angegebenen Lärmbelastungswerte gehen von dem für Feinmontagearbeiten bestimmten Zeitanteil von 30 % aus.

5.3 Prüfen der Ergebnisse im Hinblick auf die Annahmen des Lösungsansatzes

Entsprechend dem im Abschnitt 5.1 beschriebenen Lösungsansatz wird für die unterschiedenen Berufsgruppen jeweils eine durchschnittliche Lärmbelastung angenommen, die in guter Näherung auch der Belastung jedes einzelnen Beschäftigten der Gruppe entsprechen sollte, d.h. die interindividuellen Belastungsunterschiede innerhalb der Berufsgruppen sollten möglichst klein sein.

Außerdem sollten sich die Lärmbelastungen der Gruppen im Laufe der letzten vier Jahrzehnte nicht nennenswert verändert haben, um ältere Beschäftigte mit langjähriger Berufstätigkeit ebenso wie jüngere in die Auswertung mit einbeziehen zu können.

Schließlich wurde im Lösungsansatz gefordert, daß die Tragequote von Gehörschutzmitteln vernachlässigbar gering ist, da sich sonst die Lärmbelastung der Beschäftigten nicht genauer bestimmen ließe.

Diese Annahmen des Lösungsansatzes seien hier auf der Grundlage der im Rahmen der Untersuchung gewonnenen Erfahrungen und entsprechender Meßwerte kritisch bewertet.

5.3.1 Interindividuelle Belastungsunterschiede

Zur Erörterung der Frage der interindividuellen Belastungsunterschiede der Beschäftigten innerhalb der betrachteten Berufsgruppen seien alle grundsätzlich für die Lärmbelastung am Arbeitsplatz bedeutsamen Faktoren angesprochen, wie

- persönlicher Arbeitsstil und Arbeitsleistung
- Fremdgeräuscheinwirkung von Nachbararbeitsplätzen
- raumakustische Umgebungsbedingungen
- Baumaterial
- Werkzeug
- Arbeitsaufgabe.

5.3.1.1 Persönlicher Arbeitsstil und Arbeitsleistung

Je nach Arbeitsstil und Arbeitsleistung kann man bei gleicher Tätigkeit unterschiedliche Lärmbelastungen erwarten. So hängt die Lärmbelastung des Maurers beispielsweise davon ab, wie oft er einen Stein beim Mauern anschlagen muß, um ihn auszurichten und wieviele Pausen er einlegt. Zur quantitativen Erfassung dieses Einflusses lassen sich die Lärmbelastungen von Beschäftigten einer Arbeitsgruppe heranziehen. Da dabei häufig gleiche Arbeitsaufgaben unter gleichartigen Arbeits- und Umgebungsbedingungen zu erledigen waren, dürften die gemessenen Belastungsunterschiede vor allem auf persönliche Einflüsse zurückzuführen sein. Wie entsprechende Auswertungen in dem Ergebnisbericht [71] zeigen, ergeben sich für Beschäftigte einer Arbeitsgruppe bei gleichartigen Tätigkeiten verhältnismäßig geringe Belastungsunterschiede von bis zu 3 dB(A), in der Regel jedoch weniger als 2 dB(A). Damit sind durch den persönlichen Einfluß keine nennenswerten interindividuellen Belastungsunterschiede zu begründen.

5.3.1.2 Fremdgeräuscheinwirkung und Raumakustik

Fremdgeräuscheinwirkungen durch benachbarte Arbeitsplätze oder raumakustisch besonders ungünstige Bedingungen können nur dann zu interindividuellen Belastungsunterschiede innerhalb einer Berufsgruppe führen, wenn einzelne Beschäftigte diesen Einwirkungen häufiger ausgesetzt waren als andere. Das ist aber sehr unwahrscheinlich und könnte allenfalls für eine begrenzte Zeit auf einer einzelnen Baustelle gelten. Auf der nächsten Baustelle dürften die Beschäftigten in der Regel wieder ganz andere Bedingungen hinsichtlich Fremdgeräuschbelastung und Raumakustik vorfinden.

Außerdem haben die durchgeführten Untersuchungen ergeben, daß die Lärmbelastung bei allen betrachteten Berufsbildern im wesentlichen durch die eigene Arbeit und von in der selben Kolonne ausgeführten Arbeiten bestimmt wird und sich Veränderungen der raumakustischen Bedingungen nur in geringem Maße auf die Lärmbelastung auswirken. Der Grund dafür liegt in den meist verhältnismäßig kleinen Lärmquellen, wie Hämmer und Bohrmaschinen, die in unmittelbarer Ohrnähe gehalten werden. Dadurch ist die Belastung für die Beschäftigten selbst stets weit höher als für die Nachbararbeitsplätze. Auch der von den Wänden reflektierte Schall fällt im Verhältnis zu dem auf kurzem Wege vom Werkzeug direkt abgestrahlten Schall gering aus. Im übrigen ist die Schallreflexion von Rohbauwänden ohnehin geringer als nach Aufbringen der Putzschichten.

5.3.1.3 Baumaterial und Werkzeug

Nach den gewonnenen Untersuchungsergebnissen kann man je nach verarbeitetem Material und je nach eingesetztem Werkzeug mit unterschiedlichen Lärmbelastungen der Beschäftigten rechnen. Allein durch den Materialeinfluß wurden Pegelunterschiede von bis zu 5 dB(A) gemessen, z.B. bei der Installation von Abflußrohren aus Gußeisen und Kunststoff [71].

Mit diesen Unterschieden können sich jedoch nur dann auch

interindividuelle Belastungsunterschiede der Beschäftigten einer Berufsgruppe ergeben, falls einzelne Beschäftigte überwiegend bestimmte Materialien verarbeitet oder z.B. nur besonders laute Werkzeuge und Maschinen verwendet haben. Da jeder Beschäftigte im Laufe seiner beruflichen Tätigkeit auf einer großen Zahl unterschiedlicher Baustellen eingesetzt wird und dabei unterschiedliche Materialien verarbeitet hat, sind die materialbedingten Belastungsunterschiede der Beschäftigten über einen längeren Zeitraum gesehen als gering anzunehmen. Nennenswerte werkzeugbedingte Belastungsunterschiede können allenfalls in den Berufen mit stärkerer Mechanisierung, wie beim Zimmermann und vielleicht auch beim Installateur, auftreten. Da jeder Beschäftigte einer Reihe unterschiedlicher Lärmquellen ausgesetzt ist, von denen einige lauter, andere aber auch leiser als üblich anzusehen sind, dürften sich insgesamt jedoch keine größeren werkzeugbedingten Belastungsunterschiede für die Beschäftigten dieser Gruppen ergeben.

5.3.1.4 Arbeitsaufgabe

Als wesentlicher Faktor für die Lärmbelastung in einem bestimmten Bauberuf ist nach den gewonnenen Ergebnissen [71] zweifellos die jeweilige Arbeitsaufgabe und Tätigkeit anzusehen. Die Tagesmittelungspegel können in einzelnen Berufsbildern um bis zu 20 dB(A) differieren (Installationsarbeiten). Damit sind natürlich auch größere interindividuelle Belastungsunterschiede innerhalb eines Berufsbildes möglich, falls die Beschäftigten ständig zu ganz speziellen Aufgaben eingesetzt werden.

Anhand des Beispiels des über sechs aufeinander folgende Tage gemessenen Arbeitslärms eines Rohrintallateurs kann gezeigt werden, daß sich trotz großer Unterschiede in der täglichen Lärmbelastung bei Mittelung über mehrere Tage in der Regel eine gute Annäherung an die durch Auswertung sämtlicher entsprechender Arbeitsplätze bestimmte durchschnittliche Lärmbelastung ergibt. In Abbildung 34 sind die einzelnen Tagesmittelungspegel sowie die kumulativen Mittelwerte

für die jeweilige gesamte Meßzeit graphisch aufgetragen. Nach vier Tagen wird bereits ein kumulativer Mittelwert erreicht, der sich nur noch um 0,7 dB von der für dieses Tätigkeitsprofil ermittelten durchschnittlichen Belastung unterscheidet. Nach sechs Tagen beträgt diese Differenz nur noch 0,4 dB.

Da diese Differenz auch den Einfluß aller zuvor diskutierten Parameter beinhaltet, bestätigt sich damit nochmals, daß man bei gleichartigem beruflichen Einsatz der Beschäftigten mit nahezu gleicher Lärmbelastung rechnen kann.

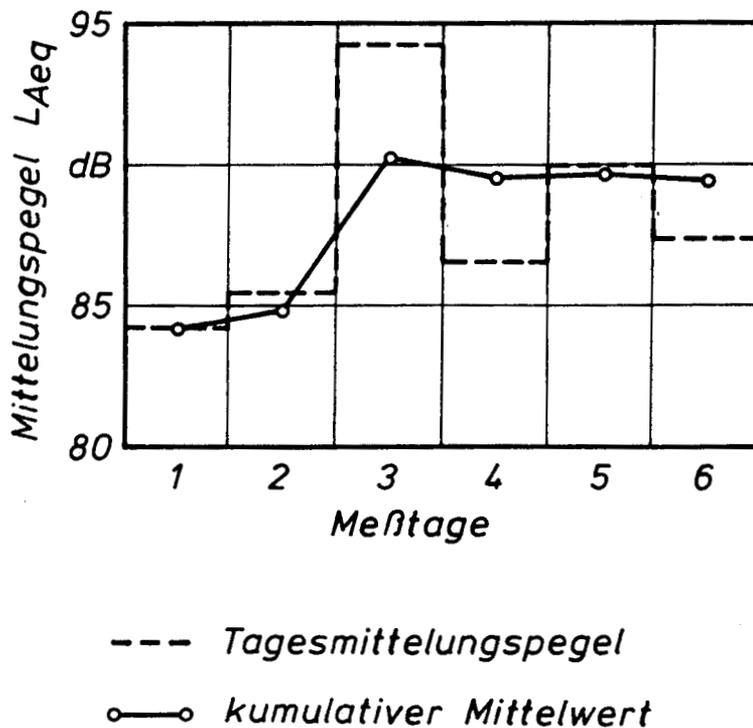


Abbildung 34 :

Tagesmittelungspegel eines Rohrintallateurs an 6 aufeinanderfolgenden Tagen im Vergleich zu den entsprechenden kumulativen Mittelungspegeln

Die Voraussetzung des gleichartigen Einsatzes ist jedoch in den hier unterschiedenen vier Berufsgruppen in unterschiedlichem Maße als gegeben anzunehmen, wie die nachfolgenden Auswertungen zeigen:

Maurer:

Bei der Gruppe der Maurer können sich interindividuelle Belastungsunterschiede dadurch ergeben, daß die Beschäftigten neben der "reinen" Maurerarbeit entsprechend dem definierten Tätigkeitsprofil mehr oder weniger auch mit anderen, lärmintensiven Arbeiten beschäftigt werden. Da die Maurerarbeit selbst sicher den größten Anteil an der Arbeitszeit hat und sehr lärmintensive Arbeiten, wie das Einschalen, auf üblichen Baustellen zu einem deutlich geringeren Zeitanteil anfallen, dürfte die in Abschnitt 5.2.6.2 berechnete Lärmbelastung für die meisten Maurer in guter Näherung zutreffen. Für den denkbaren Fall des "reinen" Maurers würden sich um 3 dB geringere Werte ergeben. Falls jedoch zeitweise auch Abbrucharbeiten z.B. mit Drucklufthämmern ausgeführt würden, wären andererseits auch etwas höhere Schallpegel möglich.

Betonbauer :

Als sehr viel weniger homogen hinsichtlich Lärmbelastung ist dagegen die Gruppe der Betonbauer einzuschätzen, da die Beschäftigten hier mit sehr unterschiedlicher Spezialisierung eingesetzt werden. Im Extremfall könnte das bedeuten, daß im Rahmen der Pilotstudie der Bau-Berufsgenossenschaften [105] in dieser Gruppe sowohl "reine" Eisenflechter als auch "reine" Einschaler erfaßt wurden, die um 6 bis 7 dB unterschiedlich lärmbelastet sind. Die in Abschnitt 5.2.6.2 für den Betonbauer berechnete Lärmbelastung ("Mischwert") kann als durchschnittlicher Schallpegel für diese Gruppe angesetzt werden.

Zimmerer :

In der Berufsgruppe der Zimmerer können sich interindividuelle Belastungsunterschiede dadurch ergeben, daß hier neben den "reinen" Zimmermännern möglicherweise auch "reine" Einschaler erfaßt wurden (siehe Abschnitt 5.2.6.2). Auch die bei Zimmerleuten häufig beobachtete Aufgabenteilung der Beschäftigten könnte sich entsprechend auswirken. Beispielsweise war festzustellen, daß einzelne Maschinen und Geräte oft ausschließlich von ein und derselben Person benutzt wurden.

Rohrinstallateur :

Für Rohrinstallateure kann mit verhältnismäßig geringen individuellen Belastungsunterschieden gerechnet werden, da sich die Installationsarbeiten in den beiden denkbaren Einsatzbereichen Heizung und Sanitär hinsichtlich Lärmbelastung nicht nennenswert unterscheiden und die verschiedenen Beschäftigten eines Betriebes in der Regel zu gleichartigen Arbeiten eingesetzt werden (siehe auch Beispiel in Abbildung 34).

5.3.1.5 Zusammenfassung der Auswertungen zu interindividuellen Belastungsunterschieden

Wie die hier angestellten Überlegungen gezeigt haben, sind größere interindividuelle Lärmbelastungsunterschiede innerhalb der Berufsgruppen nur dann zu erwarten, wenn die einzelnen Beschäftigten zu unterschiedlichen Aufgaben eingesetzt werden. Obwohl sich durch unterschiedliche Baumaterialien oder einzelne Werkzeuge und Maschinen über einige Zeit unterschiedliche Lärmbelastungen für die Beschäftigten ergeben können, dürften sich diese Unterschiede über einen längeren Zeitraum ausgleichen, da die Beschäftigten auf der nächsten Baustelle jeweils wieder ganz andere Arbeitsbedingungen vorfinden und - bei der großen Zahl unterschiedlicher Lärmquellen - der Einfluß einzelner Werkzeuge auf die Gesamtbelastung als gering anzunehmen ist.

Auch persönliche Einflußfaktoren, wie Arbeitsstil und Arbeitsleistung, ergeben verhältnismäßig geringe Belastungsunterschiede von nicht mehr als 3 dB.

Da bei der audiometrischen Untersuchung vier Berufsgruppen unterschieden worden sind, die zum Teil Beschäftigte mit unterschiedlichen Arbeitsaufgaben beinhalten (siehe Abschnitt 5.2.6.2), ist je nach Gruppe mit einer unterschiedlichen Streuung der Lärmbelastung für die Beschäftigten zu rechnen. Dabei können die Gruppen Maurer und Rohrinstallateure als verhältnismäßig homogen hinsichtlich der Lärmbelastung angenommen werden. Größere interindividuelle Belastungsunterschiede sind dagegen für die Betonbauer und wahrscheinlich auch für die Zimmerer zu erwarten.

Obwohl damit die Annahme des Lösungsansatzes, daß innerhalb der unterschiedenen Gruppen möglichst geringe interindividuelle Belastungsunterschiede bestehen, zumindest für diese zwei Berufe nicht voll gewährleistet ist, wird dadurch das Ergebnis dieser Auswertung nicht beeinflusst, sofern sich für die verschiedenen Gruppen jeweils eine durchschnittliche Lärmbelastung bestimmen läßt. Die interindividuellen Unterschiede in der Lärmbelastung bewirken lediglich eine größere Streuung der Hörverlustdaten aus der entsprechenden Gruppe, wodurch möglicherweise der Vergleich zwischen dem Hörverlustmodell und den realen Hörverlusten erschwert wird (siehe Abschnitt 5.4.3).

5.3.2 Historische Änderung der Lärmbelastung

Aufgrund der im Lösungsansatz in Abschnitt 5.1 angenommenen über vier Jahrzehnte unveränderten Lärmbelastung ist zu fordern, daß sich die in dieser Zeit durchgeführten arbeitsorganisatorischen und technologischen Änderungen nicht nennenswert auf die Lärmbelastungen der betrachteten Berufsgruppen ausgewirkt haben.

Als arbeitsorganisatorische Änderungen sind zu nennen :

- Einführung der Akkordarbeit in einigen Bereichen
- Verringerung der wöchentlichen Arbeitszeit
- Zunahme des Jahresurlaubs
- Verlängerung der jährlichen Arbeitszeit durch Arbeit während der Schlechtwetterperioden.

Aufgrund der im Rahmen der Lärmmessungen gewonnenen Ergebnisse ist festzustellen, daß sich an Arbeitsplätzen mit Akkordarbeit keine meßbar höheren Lärmbelastungen für die Beschäftigten ergeben. Die Verringerung der Wochenarbeitszeit von 48 Stunden auf 40 Stunden, sowie die Verlängerung des Jahresurlaubs durch tarifliche Regelungen führten zu geringeren Expositionsdauern pro Jahr. Dem steht eine Zunahme der jährlichen Belastungszeit durch Verkürzung der Winterpause (Schlechtwetterperiode) gegenüber, da die Baustellen heute vielfach beheizt werden. Dadurch ergibt sich wahrscheinlich insgesamt keine wesentliche durch arbeitsorganisatorische Maßnahmen begründete Änderung der jährlichen Lärmbelastung in dem betrachteten Zeitraum.

Dagegen könnten sich in dieser Zeit vorgenommene technologische Änderungen in stärkerem Maße auf die Lärmbelastung in den einzelnen Berufen ausgewirkt haben.

Der Einfluß technologischer Änderungen sei hier getrennt für die einzelnen Berufe betrachtet:

Maurer :

Da die für die Lärmbelastung des Maurer bedeutsamen Werkzeuge, wie die Kelle und der Maurerhammer in dem betrachteten Zeitraum nicht geändert wurden, kann man für das reine Mau-

ern eine gleichgebliebene Lärmbelastung annehmen. Dagegen könnten folgende technologische Änderungen für die Belastung von Einfluß sein :

- verstärkter Einsatz des Baukranes
- Einsatz von Leichtbausteinen neben den konventionellen Materialien
- Ersatz der Mischmaschine durch Verwendung von Fertigbeton.

Während in früheren Zeiten das Arbeitsmaterial in der Regel in kleineren Einheiten, z.B. unter Verwendung von Schubkarren oder Aufzügen transportiert wurde, übernimmt heute meist der Baukran die Transportarbeiten. Dabei werden größere Materialmengen in Paletten bewegt, wodurch die Stapelarbeiten für Steine weitgehend entfallen. Messungen an für den Baukran unzugänglichen Arbeitsplätzen belegen jedoch, daß die "neue" Technologie keine Änderung der Lärmbelastung zur Folge hat.

Auch die Verwendung unterschiedlichen Steinmaterials wirkt sich nach den Meßergebnissen nur in geringem Maße auf die Lärmbelastung des Maurers aus. Für die Verarbeitung von Ziegel- und Kalksandsteinen konnten keine Unterschiede festgestellt werden. Allein durch Verwendung weicherer Steine, wie Bims oder Gasbeton, ergibt sich eine geringe Verschiebung des Beurteilungspegels zu niedrigeren Werten.

Diese ist jedoch vernachlässigbar, solange der Zeitanteil für die Verarbeitung dieser leichteren Steine weniger als 30% der Arbeitszeit ausmacht. Da in den letzten vier Jahrzehnten vorwiegend die härteren Ziegel oder Kalksandsteine verarbeitet wurden, ist ein Materialeinfluß auf die Lärmbelastung des Maurers vernachlässigbar.

Der Einfluß weiterer technologischer Änderungen, wie z.B. der Ersatz der Mischmaschine durch Verwendung von Fertigbe-

ton, läßt sich nicht mit Sicherheit abschätzen. Da sich der gelernte Maurer schon immer vorwiegend auf das eigentliche Mauern konzentriert hat und Transportarbeiten vielfach von Hilfskräften erledigt wurden, dürften sich diese technologischen Änderungen in seinem Arbeitsfeld nicht nennenswert auf die Lärmbelastung ausgewirkt haben.

Betonbauer :

Wie bereits im Abschnitt 5.2.6 erläutert, handelt es sich beim Betonbauer nicht um ein eindeutig zu beschreibendes Berufsbild, da unter dieser Berufsbezeichnung verschiedene Tätigkeitsprofile zusammengefaßt sind, die vom einzelnen Beschäftigten ggf. zu unterschiedlichen Zeitanteilen ausgeführt werden.

Für die dem Betonbauer zugeordneten Tätigkeitsprofile lassen sich verschiedene technologische Änderungen angeben, z.B.

- teilweise Ersatz von Schaltafeln und -brettern durch Großflächenschalungen
- neue leistungsfähigere Biegemaschinen, Bolzenschneider und Schneidwagen
- weitgehender Ersatz der Mischmaschine durch Verwendung von Fertigbeton
- Transport des Betons in größeren Mengen durch Krankübel oder Betonpumpe
- teilweiser Einsatz von Maschinen zum Abziehen von Betonflächen.

Der Einfluß dieser vielfältigen technologischen Änderungen auf die Lärmbelastung des Betonbauers läßt sich nicht ausreichend zuverlässig beurteilen. In Einzelbereichen ließ sich jedoch zeigen, daß die technologische Entwicklung keinen meßbaren Einfluß auf die Lärmbelastung der Beschäftigten hatte. Beispielsweise ergaben sich für Einschalarbeiten mit kleinen Schaltafeln die gleichen Beurteilungspegel wie bei Verwendung

von Großflächenschalungen. Da beim Betonbauer gerade die Einschalarbeit einen wesentlichen Anteil an der Gesamtbelastung hat und die anzunehmenden technologischen Änderungen je nach Tätigkeitsbereich vermutlich sowohl Pegelerhöhungen als auch Pegelminderungen bewirkt haben, dürfte sich die durchschnittliche Belastung des Betonbauers in dem betrachteten Zeitraum nicht wesentlich verändert haben.

Zimmerer :

Bei der Arbeit des Zimmerers ist in dem betrachteten Zeitraum von vier Jahrzehnten eine zunehmende Mechanisierung festzustellen. Dabei könnten z.B. folgende Änderungen von Einfluß auf die Lärmbelastung sein

- Einsatz von Motorkettensägen anstelle von Handsägen
- Einsatz von Druckluftnaglern anstelle von Handhämmern
- Einsatz neuer, leistungsfähigerer Holzbearbeitungsmaschinen.

Es läßt sich nicht abschätzen, wie sich diese Änderungen quantitativ auf die Lärmbelastung des Zimmerers ausgewirkt haben. Möglicherweise hat sich die Lärmbelastung in diesem Beruf durch die stärkere Mechanisierung innerhalb der letzten Jahrzehnte etwas erhöht. Da nach wie vor der Handhammer, insbesondere im Arbeitsbereich "Baustelle", die Hauptlärmquelle darstellt, sind jedoch größere Belastungsänderungen in diesem Beruf unwahrscheinlich.

Rohrinstallateur :

Bei Heizungs- und Sanitärinstallationsarbeiten könnten sich verschiedene technologische Änderungen auf die Lärmbelastung der Beschäftigten ausgewirkt haben, z.B.

- andere Materialien und Verbindungstechniken für die Rohre
- neue Befestigungstechniken
- neue elektrische Werkzeuge (Trennschleifer, Bohrmaschine, ...).

Beispielsweise ergeben sich beim Verlegen von Abwasserrohren aus Kunststoff niedrigere Schallpegel als für Gußrohre. Zur Aufhängung von Rohrleitungen wurden in dem betrachteten Zeitraum mehrfach neue Befestigungstechniken entwickelt, die möglicherweise zu unterschiedlichen Lärmbelastungen geführt haben.

Wegen der in diesem Beruf anzunehmenden großen Zahl unterschiedlicher Lärmquellen läßt sich jedoch nicht abschätzen, in welcher Weise sich einzelne technologische Änderungen auf die Gesamtbelastung der Beschäftigten ausgewirkt haben. Da die für die Gesamtbelastung des Installateurs bestimmenden Lärmquellen, wie z.B. der Handhammer bei Richtarbeiten und Hammer und Meißel bei Nachstemmarbeiten, seit Jahrzehnten unverändert im Einsatz sind, kann man auch in diesem Beruf eine verhältnismäßig geringe historische Änderung der Lärmbelastung annehmen.

5.3.3 Gehörschützer

Als weitere Voraussetzung des Lösungsansatzes war gefordert, daß die Tragequote von Gehörschützern in den betrachteten Bauberufen vernachlässigbar gering ist, da sich sonst keine genaue Aussage zur individuellen Lärmbelastung der Beschäftigten machen ließe. Außerdem würden sich für Beschäftigte einer Berufsgruppe sehr große interindividuelle Belastungsunterschiede ergeben, falls nur einzelne von ihnen Gehörschutzmittel benutzt hätten.

Nach den Erfahrungen der Bau-Berufsgenossenschaften und nach eigenen Beobachtungen auf den Baustellen wurden bisher allenfalls bei einzelnen sehr lauten Arbeiten, z.B. mit Aufbruchhämmern, Gehörschützer getragen. Diese Arbeiten gehören jedoch nicht zu den üblichen Aufgaben der hier betrachteten Berufsbilder und wurden deshalb bei der Messung auch nicht erfaßt.

Der Grund für die geringe Verbreitung von Gehörschutzmitteln auf Baustellen liegt darin, daß bisher die reale persönliche Lärmbelastung der Beschäftigten nicht genau bekannt war. Bei der bisher üblichen ortsfesten Meßtechnik ergaben sich in der Regel größere Meßabstände zu den jeweiligen Lärmquellen, so daß die hohen individuellen Belastungen nicht erkannt wurden. Außerdem lassen sich auf Baustellen wegen der üblicherweise ortsveränderlichen Arbeiten keine Lärmbereiche nach der Unfallverhütungsvorschrift "Lärm" festlegen.

5.4 Auswertung der Hörverlustdaten

Die Auswertung der für die betrachteten vier Bauberufe festgestellten Hörverlustdaten zur Berechnung der entsprechenden schädigungsäquivalenten Dauerschallpegel L_r^* ist in [90] detailliert beschrieben. Deshalb seien hier nur die wesentlichen Schritte der Berechnung und deren Ergebnisse dargestellt.

5.4.1 Datenmaterial

Die bei dieser Auswertung verwendeten medizinischen Befunde stammen aus dem Datenmaterial der Pilotstudie II [105] der Arbeitsmedizinischen Dienste der Bau-Berufsgenossenschaften. Die Daten wurden vom Institut für Arbeits- und Sozialmedizin der Universität Erlangen-Nürnberg anonymisiert und zu einer Auszugsdatei komprimiert, die nur noch die otologisch relevanten Angaben enthielt. Neben den umfassenden medizinischen Befunden standen damit alle für die Auswertung be-

nötigten Angaben zur Verfügung, wie z.B. Lebensalter, Geschlecht, erlernter Beruf, ausgeübter Beruf, Vorbeschäftigung, Beschäftigungszeiten, Vorerkrankungen oder Unfälle.

Von den insgesamt zur Verfügung gestellten 24.306 Fällen entfielen jeweils die in der Tabelle 6 genannten Zahlen auf die hier betrachteten Berufsgruppen. Neben den Hörverlusten der vier lärmbelasteten Berufsgruppen wurden auch die Hörverluste einer als nicht lärmbelastet angenommenen Referenzgruppe der "Maler und Lackierer" ("M & L") einbezogen, um daraus die altersbegleitenden Hörverluste zu berechnen (siehe Abschnitt 5.4.2). Die Gruppe der "M & L." wurde als Vergleichsgruppe ausgewählt, weil diese Berufsgruppe ausreichend häufig im Datenmaterial vertreten war und die Annahme einer lärmfreien Beschäftigung ($L_r < 85 \text{ dB(A)}$) nach Auskunft der Bau-Berufsgenossenschaften und nach eigenen stichprobenartigen Messungen gerechtfertigt ist.

Beruf	Anzahl der Fälle im Datenbestand
Maurer	4201
Betonbauer	1139
Zimmerer	1236
Rohrinstallateur	1922
Maler und Lackierer	2513

Tabelle 6: Fallzahlen der in die Untersuchung einbezogenen Berufsgruppen im Datenmaterial

Die Befunde der Pilotstudie II wurden im Rahmen von allgemeinen arbeitsmedizinischen Untersuchungen nach § 3 des Arbeitssicherheitsgesetzes erhoben, an denen die Teilnahme freiwillig ist und ohne Folgen für den Arbeitsplatz des Untersuchten bleibt. Daher ist anzunehmen, daß keine wesentlichen Motive für Aggravation oder Dissimulation bestanden, daß das Datenmaterial eine zufällige, repräsentative Stichprobe darstellt

und Folgerungen aus dem Untersuchungsgut auf die Grundgesamtheiten der Beschäftigten in den verschiedenen Berufen zulässig sind.

5.4.2 Hörverlustmodell der ISO 1999

Die ISO/DIS 1999.2 [140] enthält ein empirisches Modell zur Vorhersage von Hörverlustverteilungen lärmbelasteter Populationen (siehe hierzu auch Pfeiffer et al. [87]). Für die Fraktilen 0,05 bis 0,95 mit größeren als den angegebenen Hörverlusten können die zu erwartenden Hörschwellenpegel für die audiometrischen Frequenzen 0,5, 1, 2, 3, 4 und 6 kHz berechnet werden. Das Modell ist gültig für Lärmbelastungen von

$$75 \text{ dB} < L_{\text{Aeq}, 8\text{h}} < 100 \text{ dB}$$

durch nicht impulshaltigen, nicht tonalen Lärm.

Anwendungen für impulshaltigen oder tonhaltigen Lärm und für $L_{\text{Aeq}, 8\text{h}} > 100 \text{ dB}$ gelten derzeit als mögliche aber nicht abgesicherte Extrapolationen. Der Hörschwellenpegel H einer lärmbelasteten Population ergibt sich nach ISO/DIS 1999.2 aus den beiden Anteilen :

- o der lärmbedingten bleibenden Hörschwellenverschiebung N (NIPTS) und
- o dem altersbegleitenden Hörverlust A .

Die Berechnung erfolgt nach der Gleichung :

$$(14) \quad H = N + A - \frac{A \cdot N}{120}$$

Dieser additive Zusammenhang stellt nur eine Näherung an die biologischen Gegebenheiten dar, die sich aber für die Zwecke

dieser Norm als ausreichend genau erwiesen hat. Der Korrekturterm $A \cdot N/120$ ist erst bei größeren Hörverlusten $A + N > 40$ dB von Bedeutung.

Lärmbedingte bleibende Hörschwellenverschiebung (NIPTS)

Der Medianwert der lärmbedingten Hörminderung N einer gleichartig belasteten Population läßt sich in Abhängigkeit des A -bewerteten energieäquivalenten Dauerschallpegels $L_{Aeq,8h}$ und der Belastungszeit getrennt für die einzelnen audiometrischen Meßfrequenzen bestimmen. Die statistische Verteilung kann ausgehend von diesem Medianwert durch zwei verschiedene halbe Gauß-Verteilungen approximiert werden.

Altersbegleitender Hörverlust

Die ISO/DIS 1999.2 bietet zur Bestimmung des altersbegleitenden Hörverlustes verschiedene Möglichkeiten:

- Anwendung der Datenbasis A nach DIN/ISO 7029 [138]
- Ansatz der Daten einer Vergleichsgruppe desselben Landes ohne berufliche Lärmbelastung (Datenbasis B).

Datenbasis A:

Die Datenbasis A wurde ausgehend von den Hörverlusten einer besonders gesiebten Population erstellt, in die Personen mit Vor- und Nebenschäden, z.B. durch Mittelohrerkrankungen, ototoxische Pharmaka oder erblich degenerative Erkrankungen des Ohres durch ein geeignetes Ausschlußverfahren nicht aufgenommen wurden.

Datenbasis B :

Die Datenbasis B muß jeweils vom Anwender der ISO/DIS 1999.2 unter Berücksichtigung geeigneter Auswahlkriterien zusammengestellt werden. Im Anhang der Norm wird dazu ein Beispiel angegeben, das ggf. auch Grundlage zur Vorhersage von Altershörverlusten sein kann.

Altersbegleitende Hörverluste für Maler und Lackierer
entsprechend Datenbasis B:

Zur Auswertung der Hörverluste der vier betrachteten Bauberufe wurde eine eigene Datenbasis "M & L" unter weitgehender Berücksichtigung der Anforderungen an Datenbasen vom Typ "B" erstellt. Diese hat gegenüber der Datenbasis "A" den Vorzug, mit derselben audiometrischen Technik (Gerätepark, Methodik, Personal) erhoben worden zu sein, wie die Hörverluste der betrachteten vier lärmbelasteten Berufe. Außerdem ließen sich damit für die Referenzgruppe die gleichen Auswahlkriterien wie für die anderen Berufsgruppen anwenden (siehe Abschnitt 5.4.3, Schritt 2). Die Vorgehensweise zur Bestimmung der Modellparameter für die Datenbasis "M & L" ist in [90] mit allen Einzelschritten beschrieben. Darin wird auch eine gute Übereinstimmung der nach dem Rechenmodell bestimmten Hörverlustverteilung mit den entsprechenden Hörverlustbefunden nachgewiesen.

5.4.3 Modellrechnungen zur Bestimmung des schädigungs- äquivalenten Dauerschallpegels

Zur Umsetzung des in Abschnitt 5.1 skizzierten Lösungsansatzes zur Bestimmung des schädigungsäquivalenten Dauerschallpegels L_r^* waren die in Abbildung 35 dargestellten Bearbeitungsschritte erforderlich, die nachfolgend erläutert seien. Für alle einzelnen Schritte wurden Rechenprogramme in FORTRAN IV geschrieben und die Berechnungen auf der DEC-Rechenanlage des BIA durchgeführt.

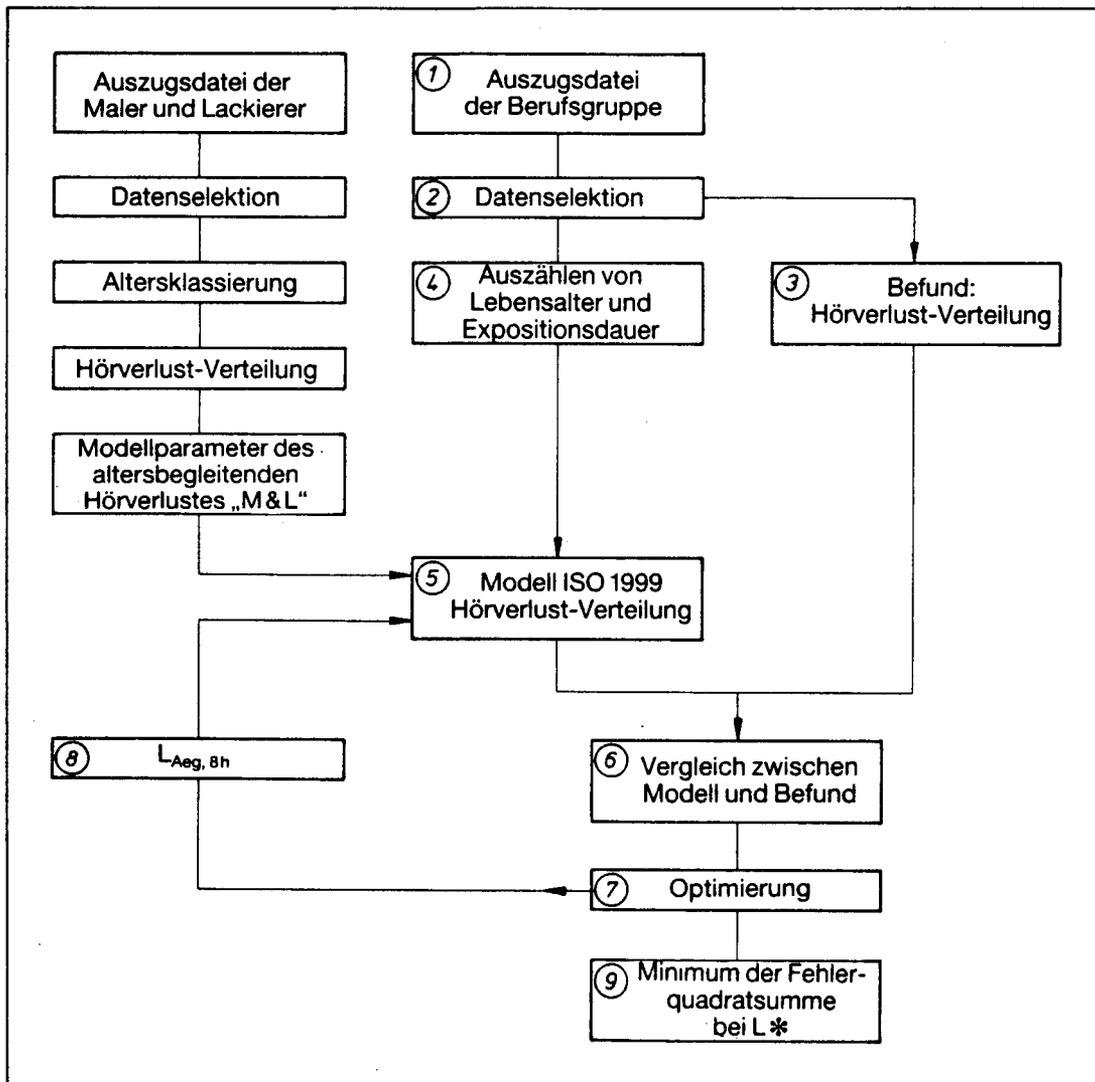


Abbildung 35 :

Flußdiagramm der Modellrechnungen zur Bestimmung eines schädigungsäquivalenten Dauerschallpegels L_r^*

Schritt 1 :

Aus der Gesamtdatenarbeitsmedizinischer Befunde wurde für jede Berufsgruppe eine Auszugsdatei erstellt. Dabei wurden alle für die weiteren Analysen unwesentlichen Angaben ausgeschlossen.

Schritt 2 :

In Anlehnung an die Auswahlkriterien für Datenbasen vom Typ "B" der ISO/DIS 1999.2 wurde für alle vier Berufsgruppen eine Datenselektion vorgenommen. In die Analysedateien wurden dabei nur solche Fälle eingeordnet, die die folgenden Kriterien erfüllen :

- Geschlecht: männlich
- erlernter Beruf wird auch ausgeübt
- keine berufsfremde Vorbeschäftigung;
es muß gelten:
14 Jahre < (Lebensalter minus Expositionsdauer) < 22 Jahre
- Proband zeigt nicht unsicher an
- Audiometrie wurde nicht durch Störgeräusche beeinträchtigt
- Lärmpause vor dem Hörtest beträgt mehr als 12 Stunden

Wie stark sich diese Selektionskriterien auf die für die weitere Auswertung verbleibenden Fallzahlen auswirken, ist der Tabelle 7 zu entnehmen. Insbesondere die Zahl der Betonbauer reduziert sich dadurch erheblich auf nur rund 5 % der vorhandenen Fälle (geringe Berufstreue, andere erlernte Berufe).

Beruf	Anzahl eingangs vorhandener Fälle	Anzahl verbleibender Fälle nach Selektion
Maurer	4201	768
Betonbauer	1139	64
Zimmerer	1236	156
Rohrinstallateur	1922	519

Tabelle 7 : Eingangs vorhandene und nach Selektion verbleibende Fallzahlen in den vier Berufsgruppen

Schritt 3 :

Aus den vier Analysedateien nach Schritt 2 werden für die Testfrequenzen von 500 Hz bis 6 kHz die Summenhäufigkeiten der Hörverlustbefunde berechnet, wobei jedes Ohr unabhängig in die Rechnung einbezogen wird. Dadurch verdoppeln sich die Fallzahlen in Tabelle 7.

Abbildung 36 zeigt ein Beispiel einer für eine Gruppe bei einer Testfrequenz gewonnenen Summenhäufigkeitsverteilung (unterbrochene Linie).

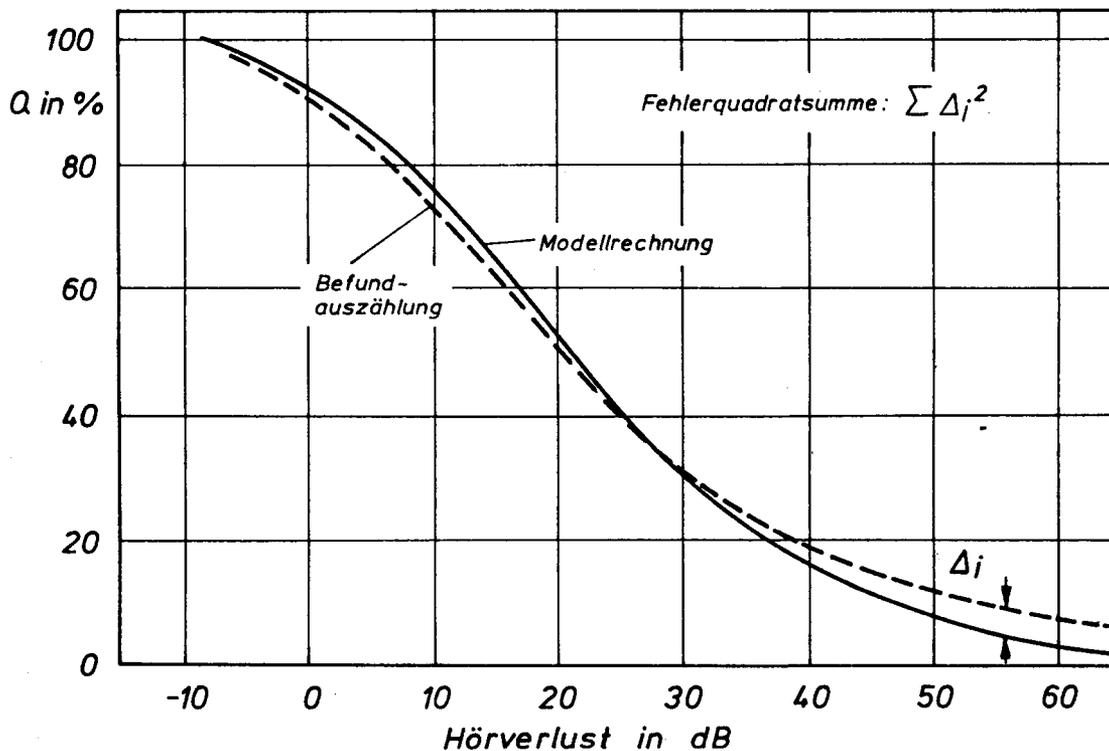


Abbildung 36 :

Summenhäufigkeit Q (Prozentsatz mit größeren Hörverlusten) in Abhängigkeit vom Hörverlust nach Hörverlustmodell (ISO 1999.2) und Befundauszählung

Schritt 4 :

Für jede Analysedatei nach Schritt 2 werden die Häufigkeiten im betrachteten Kollektiv ermittelt, mit denen Männer mit LJ-Lebensjahren und EJ-Expositionsjahren aufgetreten sind (Besetzungsmatrix mit 65 Spalten für Lebensalter und 50 Spalten für Expositionsdauer).

Schritt 5 :

Für jede von Null verschiedene Häufigkeit nach Schritt 4 (belegtes Matrixelement) wird die Modellsummenhäufigkeit des Hörverlustes nach ISO/DIS 1999.2 berechnet, wobei die Datenbasis "M & L" zur Beschreibung der altersbegleitenden Hörverluste angesetzt wird.

Als Anfangswert für den Parameter "A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel $L_{Aeq,8h}$ " wird ein Wert von 80 dB angenommen und im folgenden mit Schritt 8 stufenweise erhöht.

Die einzelnen Summenhäufigkeitsverteilungen werden mit der korrespondierenden Häufigkeit nach Schritt 4 multipliziert und bei den Hörverluststufen -10; - 5; 0; +5; ...; 100 dB entsprechend über alle Fälle aufsummiert (getrennt nach audiometrischen Frequenzen). Die Summen werden jeweils durch die Gesamtfallzahl der Analysedatei geteilt und die Gesamtverteilung damit wieder auf 1 normiert. Das Ergebnis stellt die Modell-Summenhäufigkeitsverteilung des Gesamthörverlustes (NIPTS und altersbegleitende Hörverluste) für die der Analysedatei zugrunde liegende Alters- und Expositionsdauer-Verteilung dar. Als Beispiel ist in Abbildung 36 eine entsprechende Summenhäufigkeitsverteilung nach der Modellrechnung für eine Frequenz dargestellt (ausgezogene Linie).

Schritt 6 :

Die Modell- und Befundsummenhäufigkeiten der Hörverluste werden miteinander verglichen (siehe Abbildung 36). Dazu werden Fehlerquadratsummen bei den einzelnen Frequenzen eingeführt. Als Gesamtmaß für die Übereinstimmung von Modell und Befund wird eine Gesamtfehlerquadratsumme (alle betrachteten Frequenzen) berechnet.

Schritt 7 :

Durch Variation des Parameters $L_{Aeq,8h}$ im Hörverlustmodell wird über Schritt 8 nach Schritt 5 zurückgesprungen und versucht, ein Minimum der Fehlerquadratsummen aus Schritt 6 zu finden. Bei guter Übereinstimmung zwischen Modell und Befund sollte dieses Minimum simultan bei allen Frequenzen für einen Wert von $L_{Aeq,8h}$ erreicht werden.

Schritt 8 :

In Schritten von 1 dB wird der Wert von $L_{Aeq,8h}$ erhöht und werden die Rechnungen nach Schritt 5 ff wiederholt. Jeweils dort, wo das Minimum der Fehlerquadratsumme vermutet wird, wird die Schrittweite auf 0,5 dB reduziert.

Schritt 9 :

Der Wert für $L_{Aeq,8h}$ mit dem ein möglichst eng umschriebenes Minimum für die Gesamtfehlerquadratsumme, aber auch für die Fehlerquadratsummen zu den einzelnen Frequenzen auftritt, ist Definitionsgemäß der gesuchte schädigungsäquivalente Dauerschallpegel L_r^* .

5.4.4 Ergebnisse der Modellrechnungen

Die entsprechend dem im vorigen Abschnitt beschriebenen Ansatz berechneten schädigungsäquivalenten Dauerschallpegel L_r^* der betrachteten vier Berufsgruppen sind in der Tabelle 8 zusammengestellt.

Beruf	schädigungsäquivalenter Dauerschallpegel L_r^* in dB	
	Mittelwert	Bereich
Maurer	83,5	82 - 85
Betonbauer	86,0	85 - 94
Rohrinstallateur	82,0	81 - 84
Zimmerer	84,0	80,5 - 86

Tabelle 8: Schädigungsäquivalente Dauerschallpegel der betrachteten vier Bauberufe

Die darin als Mittelwerte bezeichneten Pegel L_r^* entsprechen jeweils dem Minimum der Gesamtfehlerquadratsumme beim Vergleich der Hörverlustverteilungen von Modell und Befund. Mit diesem schädigungsäquivalenten Dauerschallpegel L_r^* ergibt sich also unter Berücksichtigung der verschiedenen audiologischen Frequenzen die beste Approximation des Hörbefundes durch das Hörverlustmodell der ISO/DIS 1999.2.

Bei einzelnen Testfrequenzen läßt sich der Befund der verschiedenen Berufsgruppen jedoch besser beschreiben, wenn das Modell mit jeweils abweichendem schädigungsäquivalenten Pegel L_r^* gerechnet wird, d.h. die Fehlerquadratminima liegen in einem gewissen Streubereich. Dieser für verschiedene Frequenzen ermittelte Bereich der schädigungsäquivalenten Dauerschallpegel L_r^* ist ebenfalls in der Tabelle 8 angegeben.

Da die einzelnen Fehlerquadratminima für die betrachteten Gruppen, bis auf die Gruppe der Betonbauer, in einem verhältnismäßig engen Bereich von 3 bis 5 dB zusammenliegen, ergibt das angewandte Hörverlustmodell offenbar eine befriedigende Anpassung an die tatsächlichen Hörbefunde bei den verschiedenen Frequenzen.

Beim Betonbauer ist lediglich bei der Frequenz von 1 kHz eine unerklärlich große Abweichung des schädigungsäquivalenten Pegels L_r^* vom entsprechenden Mittelwert festzustellen (siehe auch Abbildung 37).

Die für die einzelnen Berufsgruppen bei den sechs betrachteten Testfrequenzen festgestellten Hörverlustverteilungen seien nachfolgend den Verteilungen nach dem Hörverlustmodell gegenüber gestellt, wobei der Parameter $L_{Aeq,8h}$ der Modellrechnung jeweils entsprechend dem Minimum der Gesamtfehlerquadratsumme gesetzt wurde ($L_{Aeq,8h} = L_r^*$). Wie die folgenden Bilder zeigen, fallen die Befundverteilungen systematisch etwas breiter aus als die Modellverteilungen. Dies läßt sich durch die in allen Gruppen gegebenen interindividuellen Unterschiede in der Lärmbelastung erklären, die zu einer entsprechend größeren Streuung der Hörverluste führen. Der Ansatz der Modellrechnung geht dagegen vereinfachend von einem für alle Beschäftigten der Gruppe gleichen Lärmpegel $L_{Aeq,8h}$ aus. Wie bereits im Abschnitt 5.3.1 erläutert, wirkt sich die anzunehmende Streuung der Lärmbelastung der Beschäftigten einer Gruppe jedoch nicht auf das Endergebnis der Auswertung aus.

Maurer:

Abbildung 37 zeigt die Gegenüberstellung der Hörverlustbefunde für die Maurer und der nach dem Hörverlustmodell berechneten Hörverluste unter Ansatz des schädigungsäquivalenten Dauerschallpegels $L_r^* = 83,5$ dB. Damit ergibt sich bei allen Frequenzen ein verhältnismäßig gute Übereinstimmung zwischen Modell und Befund.

Betonbauer :

Nach Abbildung 38 ergibt sich für die Gruppe der Betonbauer bis auf die Testfrequenz von 1 kHz eine befriedigende Übereinstimmung der Hörverlustverteilungen nach Befund und Modell, sofern in der Modellrechnung der schädigungsäquivalente Pegel von $L_r^* = 86$ dB angesetzt wird. Die im Vergleich zu der entsprechenden Auswertung für den Maurer erkennbar breitere Verteilung der Befunde bestätigt die im Abschnitt 5.3.1 gegebenen Erläuterungen zur Streuung der Lärmbela-

stungen für die in dieser Gruppe zusammengefaßten Beschäftigten.

Zimmerer :

In Abbildung 39 sind die Hörverlustverteilungen der Zimmerer nach Befund und Modellrechnung unter Ansatz des Pegels L_r^* von 84 dB gegenüber gestellt. Bis auf die tiefen Frequenzen von 500 Hz und 1000 Hz ist danach eine befriedigende Approximation der Hörverlustbefunde durch das Modell gegeben. Die verhältnismäßig große Streuung in der Befundverteilung deutet auf größere individuelle Belastungsunterschiede der in dieser Gruppe zusammengefaßten Beschäftigten hin.

Rohrinstallateur :

Nach Abbildung 40 wird die Hörverlustverteilung der Rohrinstallateure durch das Hörverlustmodell bei Ansatz des schädigungsäquivalenten Pegels L_r^* von 82 dB verhältnismäßig gut angenähert. Allein bei 500 Hz ergeben sich nach dem Befund etwas niedrigere Hörverluste.

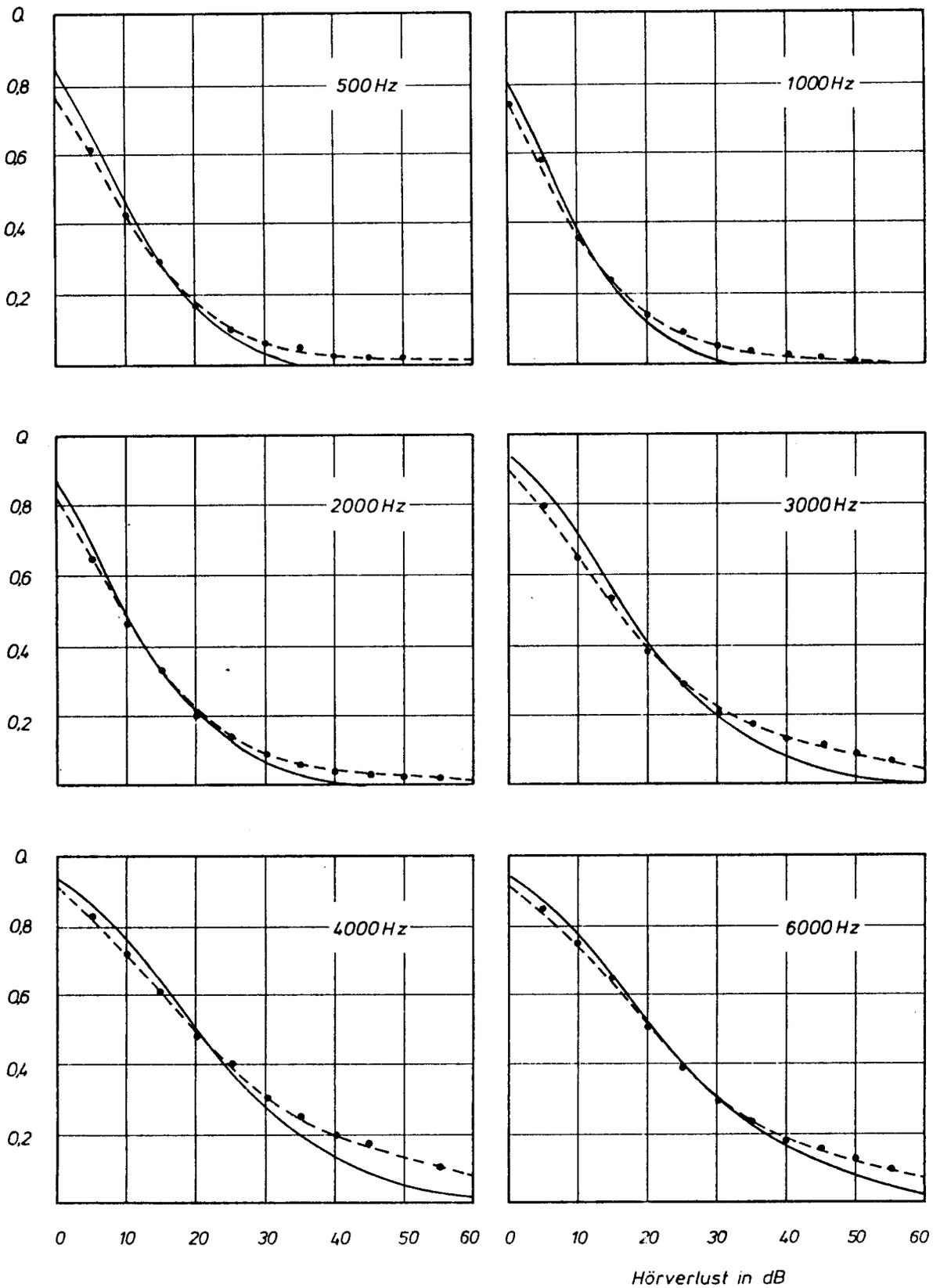


Abbildung 37 :

Vergleich der Summenhäufigkeit des Hörverlustes zwischen Modell (durchgezogene Linie) und Befund (gestrichelt).

Maurer, Datenbasis M & L, $L_{Aeq,8h} = 83,5$ dB.

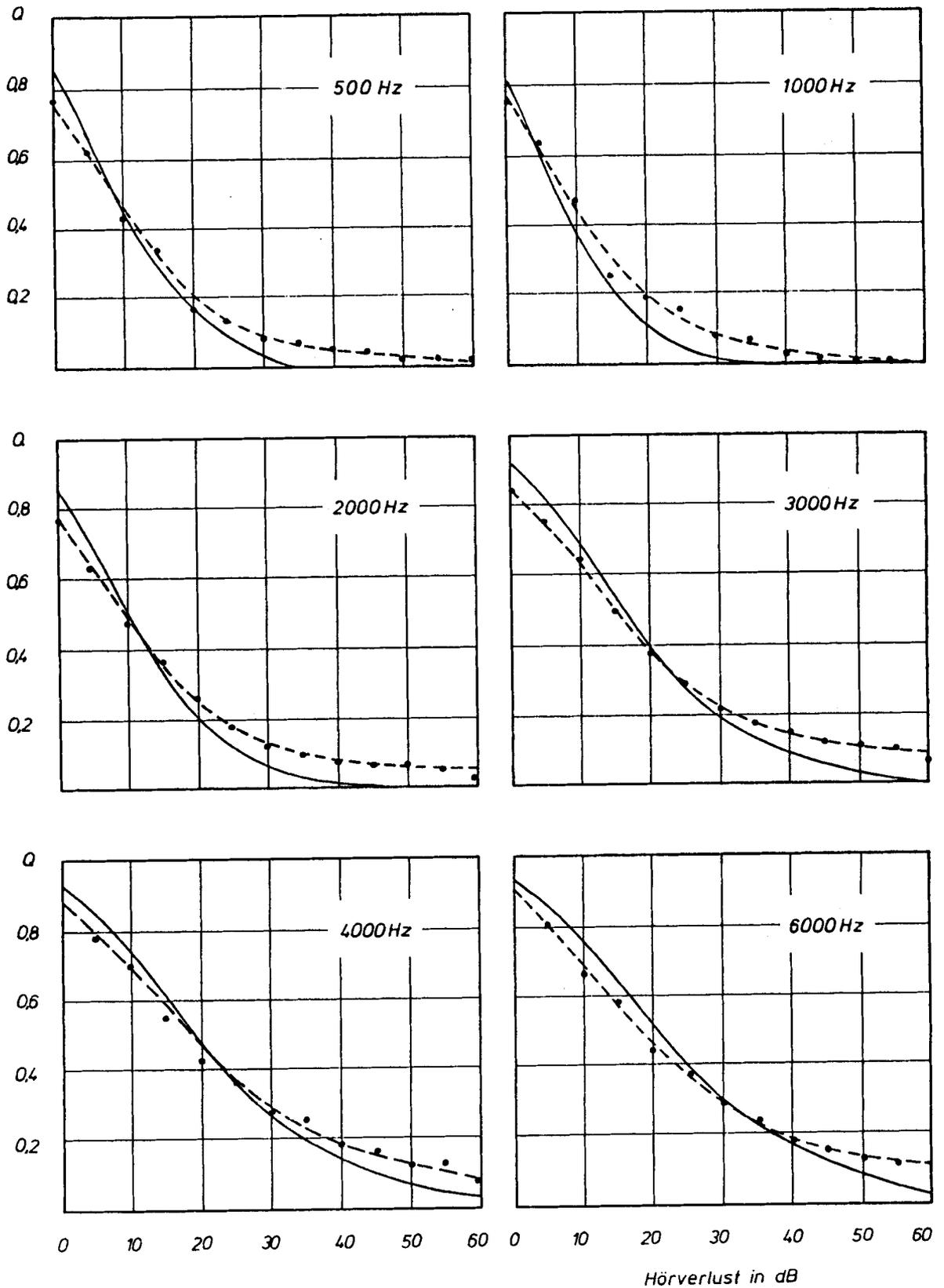


Abbildung 38 :

Vergleich der Summenhäufigkeit des Hörverlustes zwischen Modell (durchgezogene Linie) und Befund (gestrichelt).

Betonbauer, Datenbasis M & L, $L_{Aeq,8h} = 86$ dB.

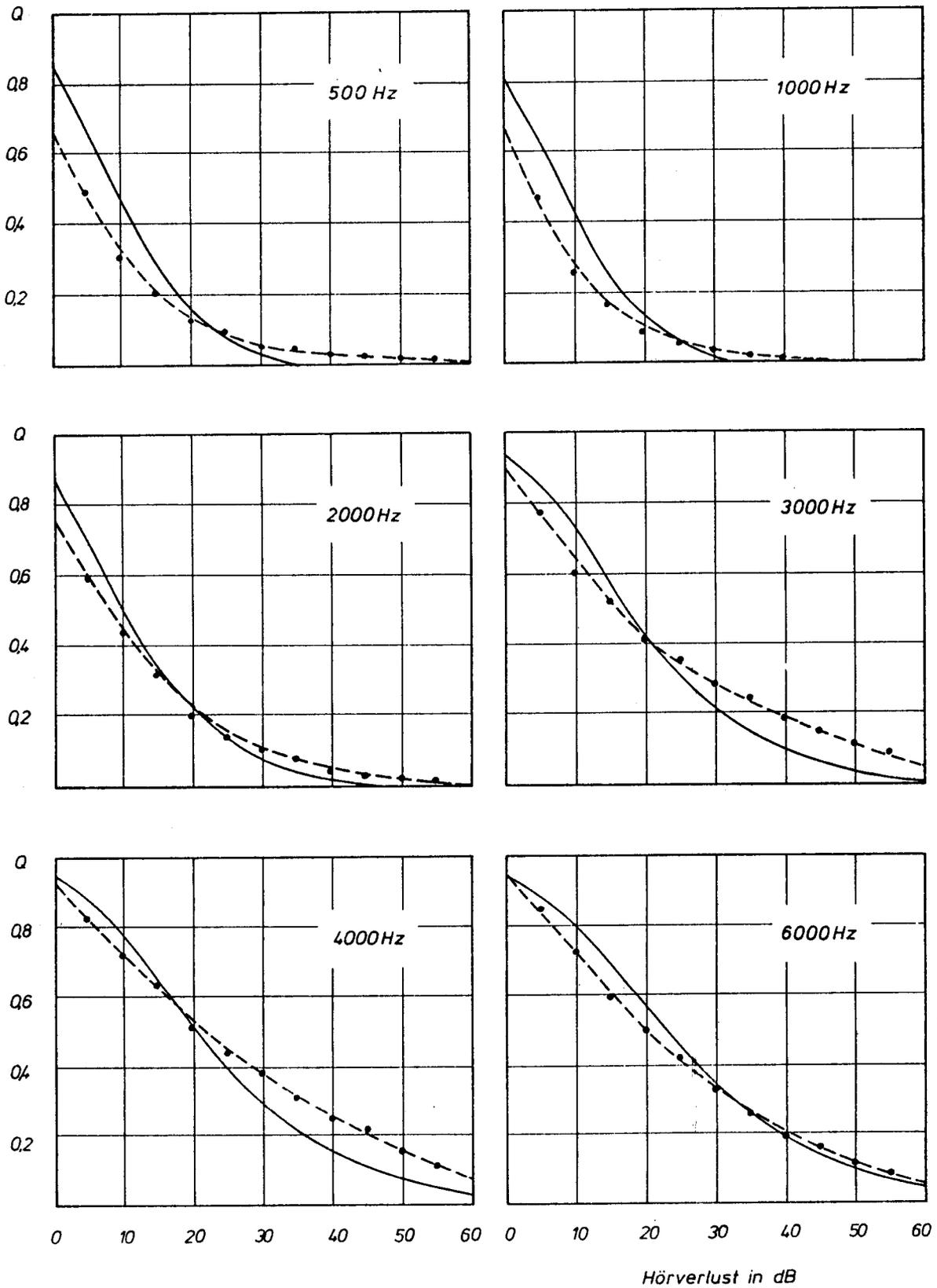


Abbildung 39 :

Vergleich der Summenhäufigkeit des Hörverlustes zwischen Modell (durchgezogene Linie) und Befund (gestrichelt).

Zimmerer, Datenbasis M & L, $L_{Aeq,8h} = 84$ dB.

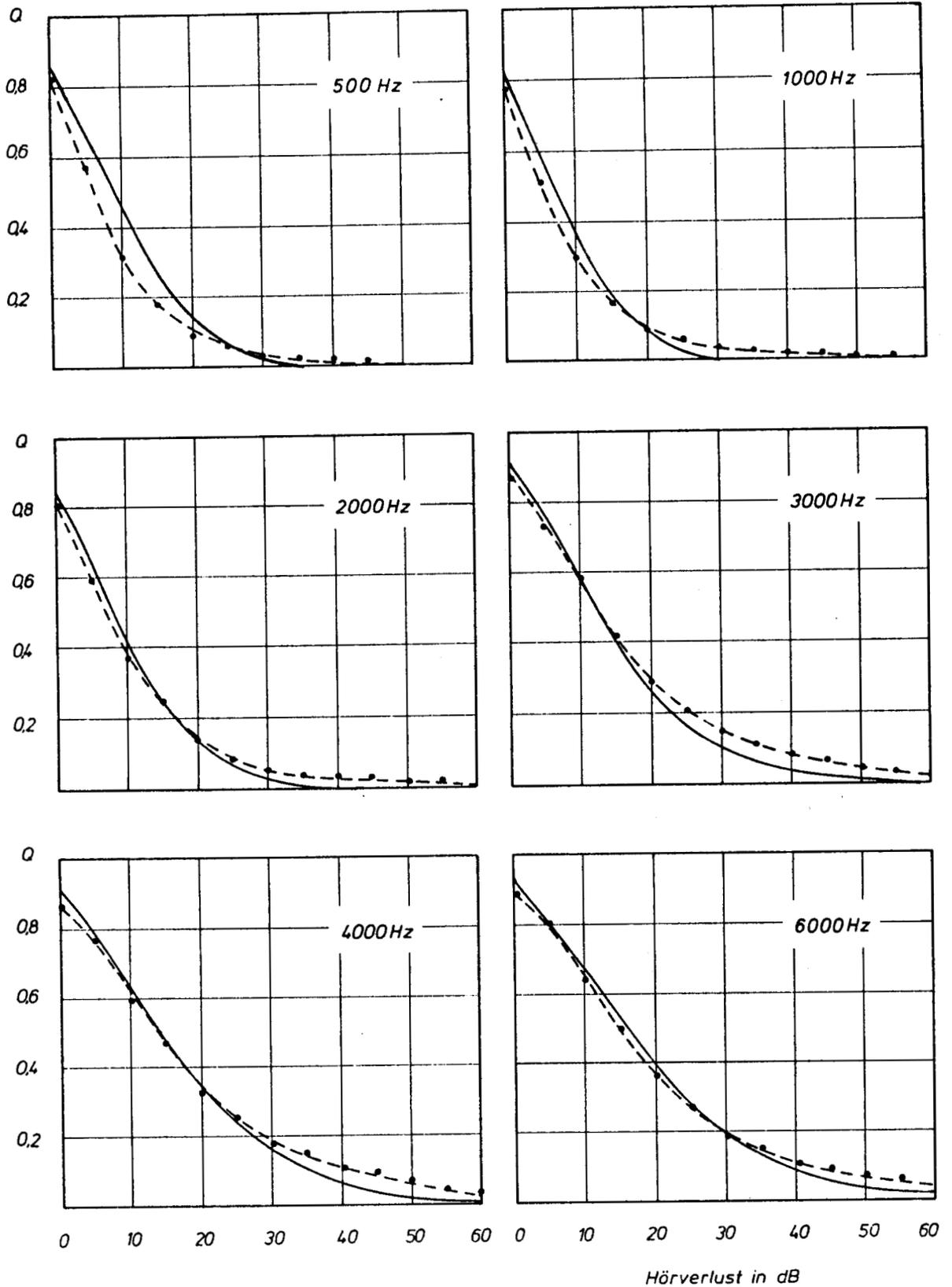


Abbildung 40 :

Vergleich der Summenhäufigkeit des Hörverlustes zwischen Modell (durchgezogene Linie) und Befund (gestrichelt).

Rohrinstallateure, Datenbasis M & L, $L_{Aeq,8h} = 82$ dB.

5.5 Diskussion der These der Energieäquivalenz auf der Grundlage der für Bauberufe gewonnenen Ergebnisse

Im Abschnitt 4.4.1 wurden verschiedene Anforderungen an retrospektive Studien formuliert, die erfüllt sein sollten, um möglichst zuverlässige Ergebnisse zu erhalten. Daraus wurden im Abschnitt 5.1 einige spezielle Annahmen für den Lösungsansatz dieser Studien abgeleitet. Vor der Diskussion der Auswertergebnisse sei deshalb die Einhaltung dieser verschiedenen Voraussetzungen nochmals überprüft:

- Die Lärmbelastungen wurden jeweils als energieäquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq} und zusätzlich als "Impuls"-bewertete Mittelungspegel L_{AIm} erfaßt (verschiedene Bewertungsverfahren).
- Für die untersuchten Bauberufe ließen sich durch Stichprobenmessungen an zahlreichen Baustellenarbeitsplätzen statistisch gesicherte Durchschnittswerte der Lärmbelastungen gewinnen, die damit die längerfristig typischen Belastungen beschreiben.
- Die Annahme geringer interindividueller Belastungsunterschiede für die Beschäftigten innerhalb einer Berufsgruppe trifft nicht für alle untersuchten Berufe zu. Nach Abschnitt 5.3.1 ist die danach mögliche Streuung der Lärmbelastungen innerhalb einer Gruppe jedoch ohne Einfluß auf das Ergebnis der Auswertung zur Berechnung der schädigungsäquivalenten Dauerschallpegel L_r^* .
- Die Lärmbelastungen wurden mit speziell geprüften integrierenden Meßgeräten mit hoher Genauigkeit erfaßt (siehe Abschnitt 5.2.3.2).

- Für die betrachteten Bauberufe sind keine nennenswerten historischen Änderungen der Lärmbelastung anzunehmen (siehe Abschnitt 5.3.2). Beschäftigte mit berufsfremder Vorbeschäftigung wurden durch Selektion bei der Auswertung ausgeschlossen (siehe Abschnitt 5.4.3, Schritt 2).
- Der Einfluß von Gehörschutzmitteln auf die Gehörbelastung der Beschäftigten kann vernachlässigt werden, da in dem untersuchten Tätigkeitsbereich in der Regel keine Gehörschützer getragen werden (siehe Abschnitt 5.3.3).
- Alle in die Auswertung einbezogenen Hörverlustdaten wurden durch ausgebildetes Fachpersonal mit der gleichen audiometrischen Technik und Methodik erhoben.
- Durch Datenselektion wurde sichergestellt, daß die Lärmpause vor dem Hörtest mehr als 12 Stunden betrug und die Audiometrie nicht durch Störgeräusche beeinträchtigt war (siehe Abschnitt 5.4.3, Schritt 2).
- Die erfaßten PTS-Werte wurden entsprechend dem im Abschnitt 5.1 beschriebenen Ansatz für alle audiometrischen Frequenzen getrennt ausgewertet (siehe Abschnitt 5.4.3).
- Die altersbegleitenden Hörverluste wurden durch ein eigenes Vergleichskollektiv der "Maler und Lackierer" erfaßt, für die eine lärmfreie Tätigkeit angenommen werden kann (siehe Abschnitt 5.4.2).
- Die Datenselektion erfolgte bei allen Gruppen nach den selben Auswahlkriterien in Anlehnung an die Datenbasis B in ISO/DIS 1999.2 (siehe Abschnitt 5.4.3, Schritt 2).

Nach diesen Feststellungen liegen also nahezu ideale Bedingungen für eine retrospektive Studie zur Dosis-Wirkungs-Beziehung von Lärm vor. Entsprechend dem in Abschnitt 5.1 beschriebenen Lösungsansatz wurde auf der Grundlage der ISO/DIS 1999.2 für jeden betrachteten Beruf der schädigungsäquivalente Dauerschallpegel L_r^* berechnet, der als direktes Maß zur Beschreibung der Gehörschädlichkeit der entsprechenden Lärmbelastung anzusehen ist.

Zur Bestätigung der aufgestellten These müßte dieser Wert L_r^* jeweils näherungsweise mit dem entsprechenden gemessenen energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{Aeq,8h}$ übereinstimmen. Für andere Meßgrößen, wie z.B. den "Impuls"-bewerteten Mittelungspegel, müßten sich größere Abweichungen von diesem Wert L_r^* ergeben.

Um die entsprechenden Ergebnisse anschaulich miteinander vergleichen zu können, sind sie in Abbildung 41 graphisch aufgetragen. Der schädigungsäquivalente Dauerschallpegel L_r^* wurde dabei jeweils als "Mittelwert" (Minimum der Gesamtfehlerquadratsumme) angegeben, wobei sich die eingetragene Streubreite aus davon abweichenden, besseren Approximationen zwischen Hörverlustmodell und Befund bei einzelnen audiologischen Frequenzen ergibt (siehe Abschnitt 5.4.4, Tabelle 8). Die für die Meßgrößen L_{Aeq} und L_{AIm} angegebenen Streubereiche resultieren dagegen aus den von Tag zu Tag unterschiedlichen Lärmbelastungen in den einzelnen Berufsgruppen (90-%-Bereich), sind also nicht als Zeichen einer gegebenen Unsicherheit bei der Bestimmung der durchschnittlichen Lärmbelastung zu verstehen (siehe Abschnitt 5.2.6.2, Tabelle 5).

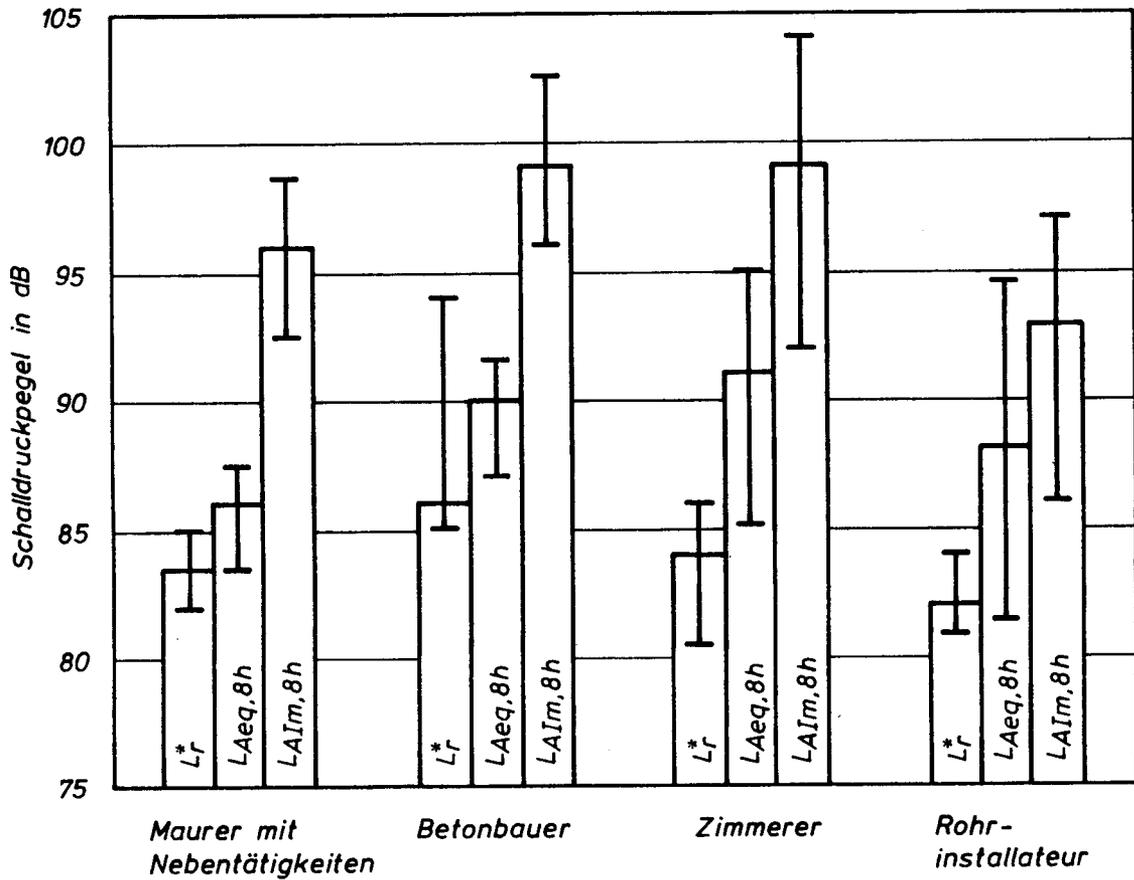


Abbildung 41 :

Gegenüberstellung der aus Hörverlustdaten berechneten schädigungsäquivalenten Dauerschallpegel L_r^* und der Meßgrößen $L_{Aeq,8h}$ und $L_{AIm,8h}$ für vier Bauberufe.

Bei der Diskussion der hier dargestellten Ergebnisse müßte man ggf. auch berücksichtigen, daß zur Auswertung der Hörbefunde in den einzelnen Berufen unterschiedliche Fallzahlen zur Verfügung standen (siehe Abschnitt 5.4.3, Tabelle 7), die entsprechenden schädigungsäquivalenten Dauerschallpegel L_r^* somit unterschiedlich zu gewichten sind. Insbesondere

die Rechnungen für die beiden Berufe Betonbauer und Zimmerer sind wegen der verhältnismäßig wenigen in die Berechnung einbezogenen Fälle von 64 bzw. 156 mit größeren Unsicherheiten behaftet als die Ergebnisse für die Maurer mit 768 Fällen und für die Rohrintallateure mit 519 Fällen.

Trotz dieser unterschiedlichen Absicherung der einzelnen schädigungsäquivalenten Dauerschallpegel L_r^* ergibt der Vergleich mit den beiden Meßgrößen $L_{Aeq,8h}$ und $L_{AIm,8h}$ in allen Berufsgruppen ein nahezu einheitliches Bild. Der energieäquivalente Mittelungspegel $L_{Aeq,8h}$ liegt jeweils mit einer Differenz von 2 bis 7 dB(A) über dem entsprechenden schädigungsäquivalenten Pegel L_r^* . Die "Impuls"-bewerteten Mittelungspegel $L_{AIm,8h}$ fallen dagegen in den einzelnen Berufen mit Differenzen von 11 bis 15 dB(A) deutlich höher aus als die schädigungsäquivalenten Pegel L_r^* .

Damit zeigt sich, daß die schädigungsäquivalenten Dauerschallpegel L_r^* wesentlich besser mit den energieäquivalenten Mittelungspegeln $L_{Aeq,8h}$ übereinstimmen als mit den "Impuls"-bewerteten Mittelungspegeln $L_{AIm,8h}$. Beim Maurer und Betonbauer unterscheiden sich die Werte L_r^* und $L_{Aeq,8h}$ um nicht mehr als 4 dB(A). Für die Gruppen Zimmerer und Rohrintallateure sind etwas größere Differenzen von 7 dB(A) bzw. 6 dB(A) festzustellen, da beide Gruppen trotz verhältnismäßig hoher Lärmbelastung ($L_{Aeq,8h}$) nur geringe Hörverluste aufweisen. Eine Erklärung dafür mag die große Schwankung der Lärmbelastung von Arbeitstag zu Arbeitstag sein, wodurch sich das Gehör möglicherweise an einzelnen Tagen der Woche bei relativ niedrigen Lärmpegeln erholen kann.

Eine weitergehende Diskussion der unterschiedlichen Schädigungswirkung der Lärmbelastungen in den einzelnen Berufen scheint in Anbetracht der unvermeidbaren Unsicherheiten nicht sinnvoll. Als eindeutiges Ergebnis kann jedoch festgestellt werden, daß sich die Gehörschädlichkeit der gegebenen Impulslärmbelastungen mit dem energieäquivalenten Dauerschallpegel L_{Aeq} in guter Näherung beschreiben läßt. Dabei besteht keine Gefahr, daß das Hörschadensrisiko unterschätzt wird, da der

L_{Aeq} -Wert jeweils einen "Sicherheitszuschlag" gegenüber dem schädigungsäquivalenten Pegel L_r^* beinhaltet.

Bei Beurteilung der Lärmbelastung auf der Grundlage des "Impuls"-bewerteten Mittelungspegels L_{AIm} würde die Gehörschädlichkeit der impulshaltigen Arbeitsgeräusche in allen vier Bauberufen wesentlich überbewertet. Die Anwendung des Impulsschlag nach DIN 45 645 Teil 2 ist also bei der Beurteilung dieser Geräusche hinsichtlich Gehörschädlichkeit nicht gerechtfertigt.

Unter Einbeziehung der in Abschnitt 3 gegebenen Erläuterungen lassen sich die berechneten schädigungsäquivalenten Pegel L_r^* auch mit keinem anderen Meß- und Bewertungsverfahren besser annähern als mit dem energieäquivalenten Dauerschallpegel L_{Aeq} .

Beispielsweise würde die Gehörschädlichkeit der Geräusche bei Anwendung des "Dresdener-Modells" nach Abschnitt 3.3 deutlich unterbewertet. Viele andere Verfahren sind auf die untersuchten, an den Arbeitsplätzen gegebenen komplexen Impulsgeräusche überhaupt nicht anwendbar.

Das Ergebnis dieser für Bauberufe durchgeführten Studie bestätigt die aufgestellte These, daß der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq} die am besten geeignete Meßgröße zur Beurteilung des Hörschadensrisikos an Arbeitsplätzen sowohl mit Dauerlärm- als auch mit Impuslärm-Belastung ist.

6 Schlußfolgerungen

Unter Einbeziehung aller hier zusammengetragenen Ergebnisse kann man feststellen, daß sich die Gehörschädlichkeit von impulshaltigem Arbeitslärm im Pegelbereich bis 140 dB (peak) ebenso wie von Dauerlärm auf der Grundlage des A-bewerteten energieäquivalenten Dauerschallpegels in guter Näherung einschätzen läßt.

Damit sind auch Hörschadensprognosen für impulslärmbelastete Populationen unter Ansatz der allgemein für Dauerlärm angenommenen Zusammenhänge der ISO/DIS 1999.2 möglich, ohne dabei mit nennenswert größeren Fehleinschätzungen rechnen zu müssen als bei Dauerlärmbelastungen.

Da nach dem heutigen Kenntnisstand keine andere Meßgröße angegeben werden kann, die eine genauere Hörverlustprognose für berufliche Impulslärmbelastungen erlaubt als der energieäquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq} und die somit eine bessere Korrelation mit festgestellten Hörverlusten ergäbe, ist die in Abschnitt 2 aufgestellte These, unter Berücksichtigung der Einschränkung auf den Pegelbereich bis 140 dB (peak), als bestätigt anzusehen.

Nach diesem Ergebnis ist die zur Umsetzung der EG-Richtlinie "LÄRM" [131] vorgesehene nationale Umstellung des Meßverfahrens für Arbeitslärm auf den energieäquivalenten Dauerschallpegel positiv zu bewerten. Durch die bisherige "Impuls"-bewertete Messung nach DIN 45 645 wurde das Hörschadensrisiko vieler impulshaltiger Arbeitsgeräusche im Vergleich zu Dauerlärmbelastungen zu hoch eingeschätzt und wurden ggf. Maßnahmen ergriffen, denen im Hinblick auf das anzunehmende Gehörschadensrisiko nicht unbedingt Priorität eingeräumt werden mußte. Bei Beurteilung aller Arten von Arbeitslärm auf der Grundlage des energieäquivalenten Dauerschallpegels ist nicht damit zu rechnen, daß nun eine größere Zahl von Arbeitsplätzen mit gehörgefährdender Belastung nicht erkannt würde und die Beschäftigten nicht ausreichend geschützt seien. Durch die ne-

ben dem Beurteilungspegel L_r von 85 dB(A) eingeführte Begrenzung des Spitzenpegels L_{peak} auf 140 dB wird ein zusätzlicher Schutz gegen einzelne hohe Geräuschpegel erreicht, die das Innenohr mechanisch überlasten und direkt schädigen könnten.

Die Gefahr einer Fehlbeurteilung einer gegebenen Lärmbelastung ergibt sich vermutlich eher aus einer nicht ausreichend sorgfältig durchgeführten Lärmmessung als aus einer Meßgröße, die die Gehörschädlichkeit der Belastung einzelner Geräuscharten möglicherweise nicht ganz genau beschreibt. Deshalb sollte man bei der Erfassung der energieäquivalenten Dauerschallpegel an Arbeitsplätzen z.B. darauf achten, daß ein geeignetes Meßgerät benutzt wird, insbesondere bei der Erfassung von Impuslärm, daß die Lärmbelastung in Ohrnähe des Beschäftigten gemessen wird und daß keine kurzzeitigen Belastungen hoher Intensität vernachlässigt werden.

Obwohl entsprechend der These dieser Arbeit der energieäquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq} als das derzeit am besten geeignete Maß zur Beschreibung der Gehörschädlichkeit von Arbeitslärm erkannt wurde, ist es bei der Komplexität des für die Gehörschädigung anzunehmenden Wirkungsmechanismus sicher unwahrscheinlich, daß sich mit dieser verhältnismäßig einfachen Meßgröße L_{Aeq} das Schädigungsrisiko für alle Arten von Geräuschen genau beschreiben ließe. Dies gilt wohl auch deshalb, weil man nicht ausschließen kann, daß auch andere Arbeitsumweltbelastungen, wie z.B. ototoxische Stoffe, Vibrationen und Klima die Gehörschädigung beeinflussen (siehe Abschnitt 4.4.1). In welcher Weise sich derartige zusätzliche Belastungen auswirken, ist jedoch noch weitgehend unerforscht.

Deshalb bedarf es weiterer Untersuchungen zur Dosis-Wirkungs-Beziehung von Dauerlärm und Impuslärm, ggf. unter Berücksichtigung zusätzlicher Einflußfaktoren. Dabei bietet es sich an, zunächst weiterhin vom Prinzip der Energieäquivalenz als Hypothese auszugehen, um damit eine einheitliche Ausgangsba-

sis für alle Untersuchungen zu schaffen. Von diesem Prinzip abweichende Ergebnisse wären dann unter Berücksichtigung aller möglicherweise für die Schädigung bedeutsamen Parameter zu beurteilen.

Mit diesen Erkenntnissen ließen sich ggf. Korrekturwerte, z.B. zur Berücksichtigung des Frequenzinhaltes, der zeitlichen Geräuschverteilung, des Impulscharakters oder von Umgebungsfaktoren einführen, so daß sich eine bessere Korrelation des Beurteilungsmaßes mit den festgestellten Hörverlusten ergäbe.

Die zur Verwirklichung dieser Zielsetzung erforderlichen Studien dürften jedoch nur geringe Unsicherheiten aufweisen, um die Abweichungen vom Energieprinzip und die Auswirkungen verschiedener zusätzlicher Einflußfaktoren überhaupt signifikant nachweisen zu können. Bei den hier als besonders aussagefähig erkannten retrospektiven Studien bestünde z.B. das Problem, daß sich die tatsächliche Lärmbelastung des gesamten Berufslebens nur ungenau rekonstruieren läßt. Zur Vermeidung dieser Unsicherheit ließen sich gegebenenfalls Langzeitstudien durchführen, die eine exakte Erfassung der Einwirkungen auf die Beschäftigten und der Entwicklung der Hörminderungen über viele Jahre hinweg erlauben. Um eine derartige Studie mit der notwendigen Sorgfalt durchzuführen, wäre allerdings ein erheblicher Untersuchungsaufwand erforderlich, nicht zuletzt deshalb, weil sich die Zahl der auswertbaren Fälle durch die üblichen Berufswechsel, durch Umgestaltung der Arbeitsplätze und durch die heute erreichte hohe Tragequote von Gehörschutzmitteln wesentlich reduzieren dürfte.

7. SCHRIFTTUM

- [1] Acton, W. I.:
A REVIEW OF HEARING DAMAGE RISK CRITERIA.
Ann. Occup. Hyg. Vol. 10 (1967), S. 143 - 153
- [2] Ahaus, W.H., Ward, W.D.:
TEMPORARY THRESHOLD SHIFT FROM SHORT-DURATION NOISE BURSTS.
Journal of the American Audiology Society, Vol. 1 (1975),
S. 4 - 10
- [3] Arlinger, S., Mellberg, P.:
A COMPARISON OF TTS CAUSED BY A NOISE BAND AND BY TRAINS OF CLICKS.
INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EFFECTS OF IMPULSE NOISE ON HEARING,
Malmö/Schweden 1980, SCANDINAVIAN AUDIOLOGY, Supplementum 12,
(1980), S. 242 - 248
- [4] Atherley, G.R.C.:
NOISE-INDUCED HEARING LOSS: THE ENERGY PRINCIPLE FOR RECURRENT IMPACT
NOISE AND NOISE EXPOSURE CLOSE TO THE RECOMMENDED LIMITS.
Ann. Occup. Hyg. Vol. 16 (1973), S. 183 - 192
- [5] Atherley, G.R.C., Martin, A.M.:
EQUIVALENT-CONTINUOUS NOISE LEVEL AS A MEASURE OF INJURY FROM IMPACT
AND IMPULSE NOISE.
Ann. Occup. Hyg. Vol. 14, pp. 11 - 28 (1971), S. 11 - 28
- [6] Berger, H.-J.:
Zur Bewertung von Lärm hinsichtlich seiner Gehörschädlichkeit.
Dissertationsarbeit, TU Dresden (1978)
- [7] Bernard, P.:
ENVIRONMENTAL NOISE MEASUREMENTS.
Technical Review, Nr. 1 - 1986, Brüel & Kjaer, Denmark (1986),
S. 3 - 36
- [8] Bohne, B.B.:
MECHANISMS OF NOISE DAMAGE IN THE INNER EAR.
Effects of noise on hearing, Ed. Henderson et al,
Raven Press (1979), S. 41 - 68

- [9] Borg, E., Zakrisson, J.-E.:
THE STAPEDIUS MUSCLE AND SPEECH RECEPTION.
Symp. Zool. Soc., London 37 (1975), S. 51 - 68,
zitiert in [47]
- [10] Brüel, P.V.:
DO WE MEASURE DAMAGING NOISE CORRECTLY ?
Brüel & Kjaer, Technical Review 1/76 (1976), S. 3 - 26
- [11] Brüel, Per V.:
DO WE MEASURE DAMAGING NOISE CORRECTLY ?
Kolloquium: Kurzzeit-Impulslärm - Messung und Bewertung, Bundesanstalt
für Arbeitsschutz, Schriftenreihe Arbeitsschutz, Nr. 12
Dortmund 1976, S. 47 - 54
- [12] Brüel, P.V.:
THE INFLUENCE OF HIGH CREST FACTOR NOISE ON HEARING DAMAGE.
INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EFFECTS OF IMPULSE NOISE ON HEARING,
Malmö/Schweden 1980, SCANDINAVIAN AUDIOLOGY, Supplementum 12,
(1980), S. 25 - 32
- [13] Buck, K., Lombardo, D., Devigne, C.:
EFFECTS OF CONTINUOUS AND IMPULSE NOISE.
INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EFFECTS OF IMPULSE NOISE ON HEARING,
Malmö/Schweden 1980, SCANDINAVIAN AUDIOLOGY, Supplementum 12,
(1980), S. 116 - 120
- [14] Burns, W., Robinson, D.W.:
HEARING AND NOISE IN INDUSTRY.
Her Majesty's Stationary Office, H.M.S.O. London 1970
- [15] Ceypek, T., Kuzniarz, J.J., Lipowczan, A.:
HEARING LOSS DUE TO IMPULSE NOISE: A FIELD STUDY.
Proceedings of the International Congress on Noise as a Public Health
Problem, Dubrovnik/Yugoslavia 1973, US Environmental Protection
Agency (1973), S. 219 - 228
- [16] Cluff, G.L.:
EXPOSURE CONSIDERATIONS FOR IMPULSE AND CONTINUOUS NOISE.
Sound & Vibration, March 1980, S. 26 - 28

- [17] Cluff, G.L.:
NOISE DOSE FROM IMPULSE AND CONTINUOUS NOISE.
Sound and Vibration, March 1982, S. 18 - 21
- [18] Cluff, G.L.:
NOISE INDUCED HEARING LOSS.
Industrial Pollution Control Symp., Houston TX USA (1983),
S. 49 - 55
- [19] Coles, R.R.A., Rice, C.G.:
TOWARDS A CRITERION FOR IMPULSE NOISE IN INDUSTRY.
Ann. Occup. Hyg. Vol. 13, Pergamon Press (1970), S. 43 - 50
- [20] Dieroff, H.G.:
Die Lärmschwerhörigkeit in der Industrie.
Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, J.A. Barth-Verlag, Leipzig 1963
- [21] Dieroff, H.G.:
Lärmschwerhörigkeit.
Joh. Ambr. Barth-Verlag, Leipzig 1978
- [22] Dieroff, H.G.:
THE MECHANISM OF IMPULSE-NOISE-INDUCED HEARING LOSS IN INDUSTRY
AND ITS RESULTING MEASURING PROBLEMS.
INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EFFECTS OF IMPULSE NOISE ON HEARING,
Malmö/Schweden 1980, SCANDINAVIAN AUDIOLOGY, Supplement 12
(1980), S. 249 - 256
- [23] Dieroff, H.G., Brückner C., Bartsch, R.:
Zum Verhalten der TTS bei gleicher Lärmdosis von 90 dB(AI) L_{eq}
bei unterschiedlicher Lärmstruktur.
Laryn. Rhinol. Otol. 63 (1984), S. 244 - 246
- [24] Dolan, T.R., Murphy, R.J., Harlow, W.A.:
A COMPARISON OF PERMANENT DELETERIOUS EFFECTS OF INTENSE NOISE ON
THE CHINCHILLA RESULTING FROM EITHER CONTINUOUS OR INTERMITTENT
EXPOSURE.
Effects of Noise on Hearing, Raven Press, New York 1976, S. 327 - 340

- [25] Eldred, F.E., Gannon, W.J., von Gierke, H.:
CRITERIA FOR SHORT TIME EXPOSURE OF PERSONNEL TO HIGH INTENSITY
JET AIR CRAFT NOISE.
Air Craft Noise, Rept. WADC-TN-355. Aerospace Medical Laboratory,
Wright-Patterson AFB, Ohio 1955, zitiert in [1]
- [26] Erlandsson, B. et al:
COMPARISON BETWEEN STATIONARY AND PERSONAL NOISE DOSE MEASURING
SYSTEMS.
Department of Physics, University of Lund/Schweden
Dok. LUN FD 6/(NFFY-3003)/1 - 14 (1978)
- [27] Evans W.A., Ming, H.Y.:
INDUSTRIAL NOISE-INDUCED HEARING LOSS IN HONG KONG -
A COMPARATIVE STUDY.
Ann. Occup. Hyg. Vol 25, No 1 (1982), S. 63 - 80
- [28] Fletcher, J.L., Loeb, M.:
THE EFFECT OF PULSE DURATION ON TEMPORARY THRESHOLD SHIFT PRODUCED
BY IMPULSES.
J. Audit. Research, 7 (1967), S. 163 - 167, zitiert in [66]
- [29] Fosbroke, J.:
PATHOLOGY AND TREATMENT OF DEAFNES.
Lancet 1, 645 (1831), zitiert in [62]
- [30] Frick, N., Geinoz, D.:
Impulsschallbewertung aufgrund einfach meßbarer Immissionsgrößen.
Z. LARMBEKÄMPFUNG 27 (1980), S. 18 - 26
- [31] Fuder, G., Kraak, W.:
Zur gehörschädigenden Wirkung von impulsivem Lärm
Internat. Sympos. Schutz der Arbeiter vor Lärm.
Dresden, Nov. 1979, Zentralinstitut für Arbeitsschutz,
Dresden (1979), S. 59 - 67
- [32] Fuder, G., Kracht, L.:
Zur gehörschädigenden Wirkung quasistationären Lärms auf
den Menschen.
Dissertation, Technische Universität Dresden 1973,
zitiert in [55]

- [33] von Gierke, H.E., Robinson, D., Karmy, S.J.:
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
- [34] Glorig, A.:
DAMAGE-RISK CRITERIA FOR HEARING.
Noise and Vibration Control, Beranek, L.L., McGraw Hill
(1971), S. 537 - 553
- [35] Guberan, E., Fernandez, J., Gardiner, J., Terrier, G.:
HAZARDOUS EXPOSURE TO INDUSTRIAL IMPACT NOISE:
PERSISTENT EFFECT ON HEARING.
Ann. Occup. Hyg. Vol 14 (1971), S. 345 - 350
- [36] Habermann, D.:
Der Einsatz von Dosimetern in der betrieblichen Lärmbekämpfung.
unveröffentl. HdA-Forschungsbericht, Bundesanstalt für Arbeits-
schutz, Dortmund 1978
- [37] Habermann, J.:
Über die Schwerhörigkeit der Kesselschmiede.
Arch. Ohr.-, Nas.-. Kehlk.-Heilk., 30 (1890), S. 1 - 25
- [38] Hamernik, R.P., Henderson, D. and Salvi, R.J.:
CONTRIBUTION OF ANIMAL STUDIES TO OUR UNDERSTANDING OF IMPULSE
NOISE INDUCED HEARING LOSS.
INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EFFECTS OF IMPULSE NOISE ON HEARING,
Malmö/Schweden 1980, SCANDINAVIAN AUDIOLOGY, Supplementum 12,
S. 128 - 146
- [39] Hamernik, R.P., Henderson, D., Salvi, R. :
POTENTIAL FOR INTERACTION OF LOW-LEVEL IMPULSE AND CONTINUOUS
NOISE.
Technical Report TR-80-68, Air Force Aerospace Medical Research
Laboratory, OH 45 433, 1981
- [40] Hay, B.:
MAXIMUM PERMISSIBLE NOISE LEVELS AT THE WORKPLACE IN THE EEC,
SPAIN, PORTUGAL AND TURKEY (as at 1981).
Applied Acoustics 15 (1982), S. 61 - 69

- [41] Hedegaard, P.:
GENERAL ACCURACY OF SOUND LEVEL METER MEASUREMENTS.
Technical Review No 4 - 1977, Brüel & Kjaer, Denmark (1977),
S. 3 - 17
- [42] Henderson, D., Hamernik, R.P., Sitler, R.W.:
AUDIOMETRIC AND HISTOLOGICAL CORRELATES OF EXPOSURE TO 1ms NOISE
IMPULSES IN THE CHINCHILLA.
J. Acoust. Soc. Am. 56, (1974), S. 1210, zitiert in [38]
- [43] Henderson, D., Hynson, K., Hamernik, R.P.:
IMPORTANCE OF THE WAVE FORM OF THE IMPULSE IN FORMULATING AN IMPULSE
NOISE DAMAGE RISK CRITERIA.
J. Acoust. Soc. Am. 62 (1977), S. 34, zitiert in [102]
- [44] Henderson, D., Hamernik, R.P., Salvi, R.J.:
THE EFFECTS OF IMPULSE NOISE ON THE AUDITORY SYSTEM.
(U.S.) National Inst. for Occupational Safety and Health (NIOSH),
Document PB 85-1013 893, 1981
- [45] Herhold, J.:
Über tierexperimentelle Untersuchungen zur Beurteilung der gehör-
schädigenden Wirkung des Lärms.
Dissertation, Techn. Universität Dresden 1980, zitiert in [55]
- [46] Hétu, R., Belzile, S.:
EXPOSURE LIMITS TO IMPACT NOISE: THE RELATION BETWEEN THE
PEAK-LEVEL AND THE NUMBER OF LONG DURATION IMPACT NOISES.
1984 International Conference on Noise Control Engineering
- inter noise, edited by G.C. Maling; Noise Control Foundation,
New York (1984), S. 859 - 862
- [47] Hohmann, B.W.:
Untersuchungen zur Gehörschädlichkeit von Impulslärm.
Dissertation ETH-Zürich Nr. 7504, Mitteilungen der Sektion
Physik der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt
Nr. 17, 1984

- [48] Hübner, G.:
CORRELATION BETWEEN HEARING IMPAIRMENT RISK AND EXPOSURE
TO NOISE. COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES,
Catalogue No. CD-NQ-82-009-EN-C, Brussels, Luxembourg 1982
- [49] Humes, L.E.:
NOISE-INDUCED HEARING LOSS AS INFLUENCED BY OTHER AGENTS AND
BY PHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE INDIVIDUAL.
J. Acoust. Soc. Am. 76 (5), (1984), S. 1318 - 1329
- [50] Irion, H.:
Fehler bei audiometrischen Untersuchungen.
in: Lärm - Arbeitsmedizinische Gehörvorsorge, bearb. von
B.H. Pfeiffer, Schriftenreihe des Hauptverbandes der gewerb-
lichen Berufsgenossenschaften e.V., Bonn 1983, S. 40 - 46
- [51] Irion, H., Roßner, R., Lazarus, H.:
Entwicklung des Hörverlustes in Abhängigkeit von Lärm, Alter
und anderen Einflüssen.
BAU-Forschungsbericht Nr. 370, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven 1983
- [52] Kraak, W.:
GROWTH OF TTS AND COURSE OF RECOVERY FOR DIFFERENT NOISES:
IMPLICATIONS FOR GROWTH OF PTS.
Proceedings of the Int. Congress on Noise as a Public Health Problem,
Dubrovnik 1973, US Environmental Protection Agency, S. 293 - 299
- [53] Kraak, W.:
INTEGRATION OF TEMPORARY THRESHOLD SHIFT FOR PERMANENT
THRESHOLD SHIFT.
Proceedings of the Third International Congress on Noise
as a Public Health Problem, Freiburg, September 1978,
ASHA-Report 10, Rockville (1980), S. 92 - 96
- [54] Kraak, W.:
INVESTIGATIONS ON CRITERIA FOR THE RISK OF HEARING LOSS
DUE TO NOISE.
Hearing Research and Theory, Vol. 1, Academic Press,
New York 1981, S. 187 - 303

- [55] Kraak, W.:
Die Bewertung des Schalldruckes bei der Messung industriellen impulsiven und intermittierenden Lärms.
ACUSTICA, Vol. 54 (1983), S. 84 - 96
- [56] Kryter, D.:
THE EFFECTS OF NOISE ON MAN.
J. of Speech a. Hearing Disorders, Suppl. 1, Wayne Univers.
Detroit 1950, zitiert in [20]
- [57] Kryter, K.D., Ward, W.D., Miller, J.D., Eldredge, D.H.:
HAZARD EXPOSURE TO INTERMITTENT AND STEADY-STATE NOISE.
J. Acoust. Soc. Am. 39 (1966), S. 451 - 464
- [58] Kylin, B.:
TEMPORARY THRESHOLD AND AUDITORY TRAUMA FOLLOWING EXPOSURE
TO STEADY-STATE NOISE.
Acta Otolaryngol. Suppl. 152, Stockholm 1960
- [59] Lazarus, H.:
Lärminderung und Arbeitsschutz.
Techn. Überwachung 28 (1987) Nr.10, S. 344 - 350
- [60] Lazarus, H., Irion, H., Pfeiffer, I., Albrecht,
Geräuschbelastung in einem Großkraftwerk.
BAU-Forschungsbericht Nr. 467, Wirtschaftsverlag NW,
Bremerhaven 1986
- [61] Legouix, J.-P., Pierson, A.:
ROLE OF THE ACOUSTICAL PRESSURE POLARITY IN THE COCHLEAR
FATIGUE PROVOKED BY IMPULSE NOISE.
INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EFFECTS OF IMPULSE NOISE ON HEARING,
Malmö/Schweden 1980, SCANDINAVIAN AUDIOLOGY, Supplementum 12,
S. 147 - 153
- [62] Lehnhardt, E.:
Die Berufsschäden des Ohres.
Archiv f. Ohren-, Nasen- und Kehlkopf-Heilkunde, Bd. 185,
Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1965, S. 11- 242

- [63] Lempert, B., Taylor, W., Sulkowski, W.:
HEARING LOSS DUE TO IMPACT NOISE IN THE DROP-FORGING INDUSTRY.
PROCEEDINGS OF THE FOURTH INTERNATIONAL CONGRESS ON NOISE AS A
PUBLIC HEALTH PROBLEM, Turin/Italy 1983, CENTRO RICERCHE E
STUDI AMPLIFON, Milano 1983, S. 361 - 364
- [64] Luz, G.A. und Hodge, D.C.:
RECOVERY FROM IMPULSE NOISE-INDUCED TTS IN MONKEYS AND MEN:
A DESCRIPTIVE MODEL.
J. Acoust. Soc. Am. 49 (1970), S. 1770, zitiert in [38]
- [65] Martin, a.M., Atherley, G.R.C.:
A METHOD FOR THE ASSESSMENT OF IMPACT NOISE WITH RESPECT TO
INJURY TO HEARING.
Ann. Occup. Hyg., Vol. 16 (1973), S. 19 - 26
- [66] Martin, A.M.:
THE EQUAL ENERGY CONCEPT APPLIED TO IMPULSE NOISE.
Technical Report 77, University of Southampton 1975
- [67] Maue, J.H.:
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
- [68] Maue, J.H.:
Messungen von Schallimmissionen.
in: Schall und Schwingungen am Arbeitsplatz, Meßtechnisches Taschen-
buch, J.P. Bachem Verlag, Köln 1981, S. 81 - 127
- [69] Maue, J.H.:
Lärmbelastung durch Bolzensetzwerkzeuge - Geräuschemission, Geräusch-
immission, Beurteilung der Gehörschädlichkeit.
BIA-Report 3/85, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeits-
sicherheit, Sankt Augustin 1985

- [70] Maue, J.H.:
Schallmeßgeräte - Anforderungen und Auswahl.
BIA-Handbuch, 2. Auflage I/86, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1986
Kennz. 240220, S. 1 - 6
- [71] Maue, J.H.:
Lärmbelastung an Baustellenarbeitsplätzen - Einwirkung auf Maurer,
Einschaler, Eisenflechter, Betonierer, Zimmerleute und Heizungs- und
Sanitärinstallateure.
BIA-report 1/87 (2 Teile), Berufsgenossenschaftliches Institut für
Arbeitssicherheit, Sankt Augustin 1987
- [72] McRobert, H., Ward W.D.:
DAMAGE RISK CRITERIA: THE TRADING RELATION BETWEEN INTENSITY AND THE
NUMBER OF NONREVERBERANT IMPULSES.
J. Acoust. Soc. Am. 53 (1973), S. 1297 - 1300
- [73] Nilsson, P., Dunn, D.E., Erlandsson, B. et al:
CONCLUSIONS FROM ANIMAL EXPERIMENTS ON THE EFFECT OF STEADY-STATE
AND IMPULSE NOISE.
PROCEEDINGS OF THE FOURTH INTERNATIONAL CONGRESS ON NOISE AS A
PUBLIC HEALTH PROBLEM, Turin/Italy 1983, CENTRO RICERCHE E
STUDI AMPLIFON, Milano 1983, S. 159 - 170
- [74] N.N.
Beurteilungspegelbestimmung mit Schalldosimetern.
BIA-Information Nr. 7/81, Die Berufsgenossenschaft 8/81,
S. 448 - 449
- [75] N.N.
CONDENSER MICROPHONES, DATA HANDBOOK.
BRÜEL & KJAER, DK-2850 Naerum, 1982
- [76] N.N.
Internationale Standardklassifikation der Berufe.
Deutsche Ausgabe 1968,
Statisches Bundesamt Wiesbaden, W. Kohlhammer Verlag,
Stuttgart und Mainz 1968

- [77] N.N.
Klassifizierung der Berufe.
Ausgabe 1975,
Statistisches Bundesamt Wiesbaden, W. Kohlhammer Verlag,
Stuttgart und Mainz 1975, zitiert in [105]
- [78] N.N.
U.S. DEPARTMENT OF LABOR: OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH
ADMINISTRATION, GUIDELINES TO THE DEPARTMENT OF LABOR'S
OCCUPATIONAL NOISE STANDARDS (BULLETIN 334).
Washington DC, 1971
- [79] N.N.
THRESHOLD LIMIT VALUES FOR PHYSICAL AGENTS IN THE WORK
ENVIRONMENT ADOPTED BY ACGI H.
American Conference of Governmental Industrial Hygienists 1985,
S. 85 - 87
- [80] Passchier-Vermeer, W.:
GEHOORVERLIES T.G.V. EXPOSITIE AAN STEADY-STATE BROADBAND LAWAAI.
IG-TNO, Rapport 35, Mei 1968 en supplement van jan. 1969,
zitiert in [96]
- [81] Passchier-Vermeer, W.:
STEADY-STATE AND FLUCTUATING NOISE; ITS EFFECT ON THE HEARING OF
PEOPLE.
Br. Acoust. Soc. Spec. No 1/1971, S. 15 - 33
- [82] Passchier-Vermeer, W.:
MEASUREMENT OF IMPULSE NOISE AT WORKPLACES; RELATION BETWEEN
OSCILLISCOPIIC MEASUREMENTS WITH AN ORDINARY PRECISION SOUND
LEVEL METER.
INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EFFECTS OF IMPULSE NOISE ON HEARING,
Malmö/Schweden 1980, SCANDINAVIAN AUDIOLOGY, Supplementum 12,
S. 85 - 97
- [83] Passchier-Vermeer, W., Berg, R.v.d., Rövekamp, A.J.M.:
Personal Sound Exposure Meters.
inter noise 81, Amsterdam 1981, S. 863 - 868

- [84] Pfander, F.:
Das Knalltrauma.
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1975
- [85] Pfander, F.:
Maß-Stäbe für die Beurteilung gehörgefährdender Knallereignisse
bei einmaliger und mehrfacher Belastung.
Kurzzeit-Impulslärm - Messung und Bewertung, Kolloquium des FANAK
im Deutschen Institut für Normung, Bundesanstalt für Arbeitsschutz,
Schriftenreihe Arbeitsschutz, Nr. 12, Dortmund 1976, S. 29 - 36
- [86] Pfander, F.:
Änderung des Spitzendruckes und der Frequenz des Impulsschalls vom
Freifeld zum Ohr in seiner Bedeutung für das Trauma des Ohres.
Laryng.-Rhinol. 60 (1981), S. 517 - 519
- [87] Pfeiffer, B.H., R. Martin, W. Niemeyer:
Neufassung der ISO 1999 (1984) - Zur Anwendung im System der
Prävention und Begutachtung der Lärmschwerhörigkeit in der Bundes-
republik Deutschland.
Zeitschrift für Lärmbekämpfung 32 (1985), S. 31 - 43
- [88] Pfeiffer, B.H. und Maue, J.H.:
Seitendifferente Lärmbelastung am Arbeitsplatz?
Arbeitsmed. Sozialmed. Präventivmed. 18 (11/1983), S. 268 -276
- [89] Pfeiffer, B.H. und Maue, J.H.:
Abschätzung eines schädigungsäquivalenten Dauerschallpegels
für vier Bauberufe.
Die BG (4/1986), S. 204 - 208
- [90] Pfeiffer, B.H. und Maue, J.H.:
Impuls-Lärmbelastung in Bauberufen - Abschätzung eines schädigungs-
äquivalenten Dauerschallpegels aus Hörverlust-Messungen.
BIA-report 4/85, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeits-
sicherheit, Sankt Augustin 1985
- [91] Plundrich, J.:
Ein Verfahren zur Vorausberechnung des Gehörschadensrisikos infolge
Lärmexposition.
Dissertation, Technische Universität Dresden 1981, zitiert in [55]

- [92] Poulos, A.C., Wassermann, D.E., Doyle, T.E.:
OCCUPATIONAL IMPACT/IMPULSE NOISE - AN OVERVIEW.
Sound and Vibration, Jan. 1980, S. 8 - 12
- [93] Price, G.R.:
LOSS OF AUDITORY SENSIVITY FOLLOWING EXPOSURE TO SPECTRALLY NARROW
IMPULSES.
J. Acoust. Soc. Am. 66/2, Aug. 1979, S. 456 - 465
- [94] Price, G.R.:
IMPLICATIONS OF A CRITICAL LEVEL IN THE EAR FOR ASSESSMENT OF NOISE
HAZARD AT HIGH INTENSITIES.
J. Acoust. Soc. Am. 69/1, Jan. 1981, S. 171 - 177
- [95] Price, G.R.:
RELATIVE HAZARD OF WEAPONS IMPULSES.
J. Acoust. Soc. Am. 73/2, Febr. 1983, S. 556 - 566
- [96] Rangelrooij, P.:
GEHOORVERLIES DOOR IMPULSVORMIG GELUID IN DE INDUSTRIE.
Labor voor Technische Natuurkunde, Delft, Afstudeer-Verlag, 1977
- [97] Redwood, R.A.:
INVESTIGATION OF THE ERRORS IN NOISE DOSE MEASUREMENTS CAUSED BY
WEARING THE MICROPHON.
Dissertation, University of Southampton 1977
- [98] Robinson, D.W.:
in: HEARING AND NOISE IN INDUSTRY.
APPENDIX 10, HSMO, London 1970
- [99] Robinson, D.W., Cook, J.P.:
in: HEARING AND NOISE IN INDUSTRY.
APPENDIX 11, HSMO, London 1970
- [100] Robinson, D.W., Shipton, M.S.:
TABLES FOR THE ESTIMATION OF NOISE INDUCED HEARING LOSS.
N.P.L., Acoustics Report Ac. 61, National Physical Laboratory,
Teddington/England 1977, zitiert in [66]

- [101] Rockwell, T.H.:
REAL AND IMAGINARY OSHA NOISE VIOLATIONS.
Sound and Vibration, March 1981, S. 14 - 16
- [102] Saunder, J., Dear, S., Schneider, M.:
THE ANATOMICAL CONSEQUENCES OF ACOUSTIC INJURY;
A REVIEW AND TUTORIAL.
J. Acoust. Soc. Am. 78/3, Sept. 1985, S. 833 - 860
- [103] Schenk, Th., Kockritz, S., Kummer, W.:
Empfehlungen zum Einsatz von Lärmdosimetern in der arbeits-
hygienischen Praxis.
Zeitschrift f.d. gesamte Hygiene und ihre Grenzgebiete 32,
(1986) 5, S. 316 - 318
- [104] Schmiedt :
ACOUSTIC INJURY AND THE PHYSIOLOGY OF HEARING.
J. Acoust. Soc. Am. 76/5, November 1984, S. 1293 - 1317
- [105] Schnieders, H. et al:
Bau-Berufsgenossenschaft - Pilotstudie 2, Ergebnis einer
arbeitsmedizinischen Untersuchung von 24 892 Beschäftigten
in der Bauwirtschaft.
Arbeitsgemeinschaft der Bau-Berufsgenossenschaften
Frankfurt am Main 1984
- [106] Skragge, N.:
MORBI ARTIFICUM, THESIS.
UPPSALA (1765), zitiert in [58]
- [107] Smoorenburg, G.F.:
DAMAGE RISK CRITERIA FOR IMPULSE NOISE.
New Perspectives on Noise-Induced Hearing Loss,
R.P. Hamernik et al; Raven Press, New York 1982,
S. 471 - 490
- [108] Starck, J., Pekkarinen, J.:
INDUSTRIAL IMPULSE NOISE: CREST FACTOR AS AN ADDITIONAL
PARAMETER IN EXPOSURE MEASUREMENTS.
Applied Acoustics, 20/4 (1987), S. 263 - 274

- [109] Stevin, G.O.:
THE SOUND EXPOSURE LEVEL FOR ANALYSIS OF IMPULSE NOISE
AND CONTINUOUS NOISE.
International Conference on Noise Control Engineering -
Inter-Noise 83, S. 1135 - 1138
- [110] Strasser, H.:
Richtlinien des Gesundheitsschutzes bei Schallbelastungen
aus arbeitsphysiologisch ergonomischer Sicht.
Z.F. Arbeitswissenschaft 41/13 NF, 1987/1, S. 37 - 43
- [111] Sulkowski, W.J.:
HEARING IMPAIRMENT CAUSED BY IMPULSE NOISE: SURVEY IN THE
DROP FORGING INDUSTRY.
INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EFFECTS OF IMPULSE NOISE ON
HEARING, Malmö/Schweden 1980, SCANDINAVIAN AUDIOLOGY,
Supplementum 12, S. 307 - 317
- [112] Sulkowski, W.J., Kowalska, S., Lipowczan, A.:
HEARING LOSS IN WEAVERS AND DROP-FORGE HAMMERMEN:
COMPARATIVE STUDY ON THE EFFECTS OF STEADY-STATE AND
IMPULSE NOISE.
PROCEEDINGS OF THE FOURTH INTERNATIONAL CONGRESS ON NOISE AS A
PUBLIC HEALTH PROBLEM, Turin/Italy 1983, CENTRO RICERCHE E
STUDI AMPLIFON, Milano 1983, S. 171 - 184
- [113] Suter, A.H.:
HEARING CONSERVATION.
Noise & Hearing Conservation Manual,
edited by Berger, E.H. et al: American Industrial Hygiene
Association, Akron, Ohio 1986, S. 1 - 18
- [114] Suter, A.H.
IMPULSE NOISE MADNESS.
Sound and Vibration, Vol. 21, 5/87 (1987), S. 5 - 6
- [115] Taylor, W., Lempert, B., Pelmeur, P., Hemstock, I., Kershaw, J.:
NOISE LEVELS AND HEARING THRESHOLDS IN THE DROP FORGING INDUSTRY.
J. Acoust. Soc. Am. 76/3, September 1984, S. 807 - 819

- [116] Voigt, P., Godenhielm, B., Östlund, E.:
IMPULSE NOISE - MEASUREMENT AND ASSESSMENT OF THE RISK OF NOISE
INDUCED HEARING LOSS.
INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EFFECTS OF IMPULSE NOISE ON
HEARING, Malmö/Schweden 1980, SCANDINAVIAN AUDIOLOGY,
Supplementum 12, S. 319 - 325
- [117] Vreke, J.:
Bestimmen und Bewerten der Lärmimmission von Bolzensetzwerkzeugen.
Maschinenmarkt 88 (1982), Heft 80, S. 1237 - 1240
- [118] Walker, J.G.:
TEMPORARY THRESHOLD SHIFT FROM IMPULSE NOISE.
Ann. Occup. Hyg. 12 (1970), S. 51 - 58,
zitiert in [66]
- [119] Ward, W.D., Selters, W., Glorig, A.:
EXPLORATORY STUDIES IN TEMPORARY THRESHOLD SHIFT FROM IMPULSES.
J. Acoust. Soc. Am. 33 (1961), S. 781 - 793,
zitiert in [66]
- [120] Ward, W.D. et al:
PROPOSED DAMAGE-RISK CRITERION FOR IMPULSE NOISE (GUNFIRE).
Report of Working Group 57, NAS-NRC Committee on Hearing,
Bioacoustics and Biomechanics (1968), Office of Naval Research
Contract No NONR 2300(05)
- [121] Ward, W.D.:
A COMPARISON OF THE EFFECTS OF CONTINUOUS INTERMITTENT AND
IMPULSE NOISE.
Raven Press, New York 1976
- [122] Ward, W.D., Duvall, A.J., Santi, P.A., Turner, C.W.:
TOTAL ENERGY AND CRITICAL INTENSITY CONCEPTS IN NOISE DAMAGE.
Annals of Otology Rhinology and Laryngology, Vol. 90, No 6,
Nov.-Dez. 1981, S. 584 - 590
- [123] Ward, W.D., Turner, C.W.:
THE TOTAL ENERGY CONCEPT AS A UNIFYING APPROACH TO THE PREDICTION
OF NOISE TRAUMA AND ITS APPLICATION TO EXPOSURE CRITERIA.
New Perspective on Noise-Induced Hearing Loss, Hamernick, R.P.
et al, Raven Press, New York 1982, S. 428 - 435

- [124] Ward, W.D.:
NOISE INDUCED HEARING LOSS: RESEARCH SINCE 1978.
PROCEEDINGS OF THE FOURTH INTERNATIONAL CONGRESS ON NOISE AS A
PUBLIC HEALTH PROBLEM, Turin/Italy 1983, CENTRO RICERCHE E
STUDI AMPLIFON, Milano 1983, S. 125 - 141
- [125] Ward, W.D., Turner, C.W., Fabry, D.A.:
THE TOTAL-ENERGY AND EQUAL-ENERGY PRINCIPLES IN THE CHINCHILLA.
PROCEEDINGS OF THE FOURTH INTERNATIONAL CONGRESS ON NOISE AS A
PUBLIC HEALTH PROBLEM, Turin/Italy 1983, CENTRO RICERCHE E
STUDI AMPLIFON, Milano 1983, S. 399 - 405
- [126] Ward, W.D.:
AUDITORY EFFECTS OF NOISE.
Noise & Hearing Conservation Manual,
edited by Berger, E.H. et al; American Industrial Hygiene
Association, Akron Ohio 1986, S. 197 - 216
- [127] Weißing, H.:
Herleitung eines Lärmschädlichkeitskriteriums aus
Vertäubungsmessungen.
Hochfrequenztechnik u. Elektroakustik 74, Heft 5/6
(1965), S. 182 - 190
- [128] Zakrisson, J.E., Borg, E., Lidén, G., Nilsson, R.:
STAPEDIUS REFLEX IN INDUSTRIAL IMPACT NOISE FATIGABILITY AND
ROLE FOR TEMPORARY THRESHOLD SHIFT (TTS).
INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EFFECTS OF IMPULSE NOISE ON
HEARING, Malmö/Schweden 1980, SCANDINAVIAN AUDIOLOGY,
Supplementum 12, S. 326 - 334

RECHTSVORSCHRIFTEN:

- [129] Unfallverhütungsvorschrift "Lärm" (VBG 121) vom Dezember 1974
in der Fassung vom 1. Oktober 1984.
Carl Heymanns Verlag, Köln 1984
- [130] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung),
vom 20. März 1975.
Bundesgesetzblatt I, S. 729
- [131] Richtlinie des Rates vom 12. Mai 1986 über den Schutz der
Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Lärm am Arbeitsplatz
(86/188/EWG).
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 137, 5/1986,
S. 28 - 34

NORMEN UND RICHTLINIEN:

- [132] DIN 45 620
Audiometer; Begriffe, Anforderungen, Prüfung (März 1985).
Beuth Verlag Berlin
- [133] DIN 45 630 Teil 2
Grundlagen der Schallmessung, Normalkurven gleicher
Lautstärkepegel (1967).
Beuth Verlag Berlin
- [134] DIN 45 644
Schalldosimeter für Personen (Entw. April 77).
Beuth Verlag Berlin

- [135] DIN 45 645
Teil 1: Einheitliche Ermittlung des Beurteilungspegels für
Geräuschemissionen (April 1977).
Teil 2: Einheitliche Ermittlung des Beurteilungspegels für
Geräuschemissionen - Geräuschemissionen am Arbeitsplatz
(August 1980).
Beuth Verlag Berlin
- [136] DIN/IEC 651 : Schallpegelmesser (Dezember 1981).
Beuth Verlag Berlin
- [137] DIN/IEC 804 : Integrierende mittelwertbildende Schallpegelmesser
(Jan. 1987).
Beuth Verlag Berlin
- [138] DIN/ISO 7029 (Entwurf): Akustik - Luftleitungshörschwelle in
Abhängigkeit von Alter und Geschlecht otologisch normaler Personen
Beuth Verlag Berlin (1985).
- [139] ISO 1996 : ACOUSTICS - DESCRIPTION AND MEASUREMENT OF ENVIRON-
MENTAL NOISE.
Part 1 : BASIC QUANTITIES AND PROCEDURES
Part 2 : ACQUISITION OF DATA PERTINENT TO LAND USE
Part 3 : APPLICATION TO NOISE LIMITS
Beuth Verlag Berlin
- [140] ISO/DIS 1999.2 : ACOUSTICS - DETERMINATION OF OCCUPATIONAL NOISE
EXPOSURE AND ESTIMATION OF NOISE-INDUCED HEARING IMPAIRMENT.
Beuth Verlag Berlin (1985)

- [141] ISO/DP 9612 : ACOUSTICS - GUIDELINES FOR THE MEASUREMENT AND ASSESSMENT OF EXPOSURE TO NOISE IN THE WORKING ENVIRONMENT.
TSO - Schriftstücke TC 43/Sc 1 N 580 (1987)
- [142] VDI 2058, Blatt 2 (Entwurf): Beurteilung von Arbeits- und Freizeitlärm hinsichtlich Gehörschäden (Oktober 1986).
VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf

KONGRESSBERICHTE:

- [143] Kurzzeit-Impulslärm - Messung und Bewertung.
Kolloquium des FANAK im Deutschen Institut für Normung,
Bundesanstalt für Arbeitsschutz,
Schriftenreihe Arbeitsschutz, Nr. 12, Dortmund 1976
- [144] PROCEEDINGS OF THE THIRD INTERNATIONAL CONGRESS ON NOISE AS A PUBLIC HEALTH PROBLEM.
Freiburg/Deutschland September 1978
ASHA-Report 10, Rockville, April 1980
- [145] INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EFFECTS OF IMPULSE NOISE ON HEARING.
Malmö/Schweden 1980
SCNADINAVIAN AUDIOLOGY, Suppl. 12, 1980
- [146] PROCEEDINGS OF THE FOURTH INTERNATIONAL CONGRESS ON NOISE AS A PUBLIC HEALTH PROBLEM.
Turin/Italy 1983
CENTRO RICERCHE E STUDI AMPLIFON, Milano 1983

Anhang 1 : verwendete Kurzzeichen

- A altersbegleitender Hörverlust
(siehe ISO/DIS 1999.2)
- D Lärmdosis nach Kraak [54]
(siehe Gleichung 6)
- H Hörschwellenpegel einer lärmbelasteten
Population (siehe ISO/DIS 1999.2)
- ITTS integrierte Hörschwellenverschiebung
nach Kraak [53]; (integrated temporary
threshold shift)
- K_I Impulszuschlag nach DIN 45 645;
$$K_I = L_{AIm} - L_{Aeq}$$
- L Schalldruckpegel
$$L = 20 \lg (p/p_0) \quad \text{dB}$$
- \tilde{L} gemittelter Schalldruckpegel bei quadratischer
Berücksichtigung des Schalldruckes;
abgeleitet aus Schalldruck-Effektivwert \tilde{p}
- \bar{L} gemittelter Schalldruckpegel bei betragsmäßiger
Berücksichtigung des Schalldruckes;
abgeleitet aus Betragsmittelwert \bar{p}
- L_A A-(bewerteter) Schalldruckpegel
- L_{Aeq} A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel
(siehe DIN 45 641)
- $L_{Aeq,8h}$ L_{Aeq} einer Arbeitsschicht bezogen auf die
Zeit von 8 h

L_{AIm}	AI-bewerteter Mittelungspegel; A-Schalldruckpegel gemittelt in der Zeitbewertung I ("Impuls") (siehe DIN 45 641)
$L_{AIm,8h}$	L_{AIm} einer Arbeitsschicht bezogen auf die Zeit von 8 h
L_{AImax}	maximaler AI-bewerteter Schalldruckpegel; maximaler "Impuls"-bewerteter A-Schalldruckpegel
$L_{EP,d}$	tägliche persönliche Lärmexposition (siehe EG-Lärmschutzrichtlinie [131])
L_H	Hintergrundgeräuschpegel nach Kraak [55]
L_{peak}	unbewerteter Spitzenschalldruckpegel (siehe z.B. DIN IEC 651)
L_r	Beurteilungspegel nach DIN 45 645
L_r^*	schädigungsäquivalenter Dauerschallpegel nach Pfeiffer/Maue [90]
L_G	Quasispitzenwert nach Kraak [55]
N	lärmbedingter Anteil an PTS; N = NIPTS (siehe ISO/DIS 1999.2) oder: Anzahl der Impulse
N_{Pf}	zulässige Anzahl der Impulse nach Pfander [84]
NIPTS	lärmbedingter Anteil an PTS (noise induced permanent threshold shift)
p	Schalldruck

\tilde{p}	Effektivwert des Schalldruckes (siehe Gleichung 9)
\bar{p}	Betragsmittelwert des Schalldruckes (siehe Gleichung 7)
p_A	A-bewerteter Schalldruck
p_0	Bezugsschalldruck, $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa
PTS	bleibende Hörminderung bzw. Hörschwellenverschiebung (permanent threshold shift)
q	Halbierungsparameter (siehe DIN 45 641)
Q	Summenhäufigkeit; Prozentsatz mit größeren Hörminderungen (siehe ISO/DIS 1999.2)
t	Zeit
t_A	A-Dauer nach CHABA [120]
t_B	B-Dauer nach CHABA [120]
t_e	Einwirkzeit nach Kraak [55]
t_w	Wirkzeit nach Pfander [84]
T	Integrationszeit
T_1	Impulsdauer (siehe Abschnitt 3.2)
T_2	Impulspause (siehe Abschnitt 3.2)
TTS	vorübergehende Hörminderung (VDI 2058 Blatt 2); zeitweilige Hörschwellenverschiebung (temporary threshold shift)

Anhang 2 :

Beschreibung der Tätigkeitsprofile

Nach Abschnitt 5.2.2.1 sind bei der Erfassung der Lärmbelastung folgende "idealisierte" Berufsbilder bzw. die entsprechenden Tätigkeitsprofile zu unterscheiden:

Maurer, Einschaler, Eisenflechter, Betonierer,
Zimmermann, Heizungs- und Sanitärinstallateur.

Diese Tätigkeitsprofile seien hier durch die gegebenen Arbeitsaufgaben und die wesentlichen im Rahmen der durchgeführten Messungen erfaßten Tätigkeiten genauer beschrieben.

A Tätigkeitsprofil des Maurers

Dem Tätigkeitsprofil des Maurers sind alle Arbeiten zuzuordnen, die mit der handwerklichen Erstellung des Mauerwerks zusammenhängen. Dazu gehört beispielsweise

- die Arbeitsvorbereitung, wie das Lesen von Zeichnungen und die Beschaffung des Materials,
- das Aufbauen und Umsetzen von Arbeitsgerüsten,
- das Zusammenfügen der Steine mit Mörtel,
- das Teilen der Steine mit Hammer, Beil oder Steinsäge,
- das Abschlagen von Mörtel oder Steinen mit Hammer und Meißel,
- das Aufräumen und die Reinigung der Werkzeuge und Kübel.

Bei der Arbeit eines Maurers kann gelegentlich auch der Einsatz eines Preßlufthammers oder Elektrohammers erforderlich sein, z.B. um bei Renovierungsarbeiten altes Mauerwerk einzureißen. Da im Rahmen dieser Untersuchung keine derartigen lärmintensiven Arbeiten für den Maurer erfaßt wurden, gehören diese Abbrucharbeiten nicht zu dem Tätigkeitsprofil des hier beschriebenen Maurers. Falls diese Arbeiten zu einem wöchentlichen Anteil von mehr als 15 Minuten anfallen sollten, müßte die dadurch gegebene zusätzliche Belastung gesondert berücksichtigt werden.

Bei der Bestimmung der Lärmbelastung des Maurers ist außerdem eine Korrektur erforderlich, falls überwiegend Leichtbausteine oder Bimssteine verarbeitet werden. Die ermittelte durchschnittliche Lärmbelastung des Maurers gilt für überwiegend gemauerte härtere Steine, wie Ziegel- oder Kalksandsteine, bei einem Anteil von weichen Leichtbausteinen bis zu 30 %.

B Tätigkeitsprofil des Einschalers

Dem Tätigkeitsprofil des Einschalers sind alle Arbeiten zuzuordnen, die mit dem handwerklichen Erstellen und dem Abbauen von Schalungen auf Baustellen zusammenhängen. Dazu gehören beispielsweise

- die Arbeitsvorbereitung, wie das Lesen von Zeichnungen und die Beschaffung des Materials,
- die Vorbereitung von Schalungsmaterialien, wie das Reinigen und Entnageln von Schalungen und das Vormontieren von Großflächenschalungen,
- das Sägen von Kanthölzern, Tafeln und Brettern,

- das Aufstellen und Sichern von Schalungen, wie das Aufstellen von Jochen, das Befestigen von Trägern und Schaltafeln, das Aufstellen von Großflächenschalungen und das Verspannen und Ausrichten von Schalungen,
- das Abbauen von Schalungen (Ausschalen) und
- das Aufräumen und manuelle Reinigen der Materialien.

Im Rahmen der Untersuchung wurden keine Arbeitsplätze mit maschineller Reinigung der Schaltafeln angetroffen. Da dabei verhältnismäßig hohe Pegel anzunehmen sind, kann sich bei regelmäßiger Ausführung derartiger Reinigungsarbeiten möglicherweise eine etwas höhere Lärmbelastung als für das hier beschriebene Berufsbild ergeben.

C Tätigkeitsprofil des Eisenflechters

Dem Tätigkeitsprofil des Eisenflechters sind alle Arbeiten zuzuordnen, die mit dem handwerklichen Erstellen von Bewehrungen auf Baustellen zusammenhängen. Dazu gehört beispielsweise

- die Arbeitsvorbereitung, wie das Lesen von Zeichnungen und das Beschaffen des Materials,
- das Ablängen und Biegen der Bewehrungen und
- das Verlegen und Einbinden des Eisens.

D Tätigkeitsprofil des Betonierers

Dem Tätigkeitsprofil des Betonierers sind alle Arbeiten zuzuordnen, die mit dem Einbringen von Beton in Schalungen und Formen auf Baustellen zusammenhängen. Dazu gehört beispielsweise

- die Arbeitsvorbereitung, wie die Beschaffung der Werkzeuge und der Aufbau von Arbeitsgerüsten,
- das Transportieren, Einbringen und Verdichten des Betons,
- das Nachbehandeln des Betons und
- das Reinigen der Geräte.

E Tätigkeitsprofil des Zimmermanns

Dem Tätigkeitsprofil des Zimmermanns sind alle Arbeiten zuzuordnen, die mit der handwerklichen Verarbeitung von Holz bei Dach-, Decken- und Binderkonstruktionen zusammenhängen. Dazu gehört beispielsweise

- die Arbeitsvorbereitung, wie das Lesen von Zeichnungen und das Beschaffen von Arbeitsmaterial und Werkzeug,
- das Messen und Anreißen nach Schablone oder Zeichnung,
- das Spalten und Zuschneiden des Holzes von Hand oder maschinell,
- das Behandeln des Holzes mit Holzschutzmitteln,
- das Herstellen von Holzverbindungen aller Art, z.B. durch Leimen, Nageln und Schrauben.

- Richtarbeiten auf der Baustelle, z.B. Dachsparren ausrichten und festlegen, Dachlatten annageln,
- Schalarbeiten, z.B. von Dachaufbauten (keine Betonschalungen).

Die Tätigkeit des Zimmermanns umfaßt die beiden Bereiche :

- Vorbereiten des Holzes auf dem Zimmerplatz und
- Fertigstellung der Konstruktion auf der Baustelle.

In der Regel werden dieselben Beschäftigten in diesen beiden Bereichen eingesetzt.

F Tätigkeitsprofil des Heizungs- und Sanitärinstallateurs

Dem Tätigkeitsprofil des Heizungs- und Sanitärinstallateurs sind alle Arbeiten zuzuordnen, die mit der handwerklichen Errichtung von Heizungs- und Sanitärinstallationen auf Baustellen zusammenhängen.

Dazu gehört beispielsweise

- die Arbeitsvorbereitung, wie das Lesen von Zeichnungen, die Zusammenstellung des Werkzeuges und das Beschaffen des Baumaterials,
- die Arbeit mit handgeführten Werkzeugen, wie das Bohren mit Schlagbohrmaschine, Stemmen mit Hammer und Meißel oder Elektrohammer, Trennen mit Winkelschleifer oder Schweißbrenner, Schweißen, Löten und das Richten mit Handhammer,

- die Montagearbeit, wie die Kesselmontage, Heizkörpermontage und Rohrmontage,
- die Feinmontage bei der Sanitärinstallation, wie die Montage von Becken und Spiegeln.

Nach den gewonnenen Meßergebnissen ist zur Beurteilung der Lärmbelastung des Installateurs keine Differenzierung nach den beiden Bereichen Heizungs- und Sanitärinstallation erforderlich.

ISSN 0173-0487