

Gerald Kletzenbauer

Untersuchung des Lärmpegels auf einer Intensivstation

Masterarbeit



Institut für Health Care Engineering
Technische Universität Graz
Kopernikusgasse 24, A - 8010 Graz

Leiter: Univ.-Prof. Dr. Norbert Leitgeb

Betreuer: Assoc.-Prof. Dr. Jörg Schröttner
Univ.-Prof. Dr. Sonja Fruhwald

Begutachter: Assoc.-Prof. Dr. Jörg Schröttner

Graz, August 2013

Deutsche Fassung:
Beschluss der Curricula-Kommission für Bachelor-, Master- und Diplomstudien vom 10.11.2008
Genehmigung des Senates am 1.12.2008

EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am (Unterschrift)

Englische Fassung:

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....
date

.....
(signature)

Danksagung

Bedanken möchte ich mich bei meinen beiden Betreuern vom Institut für Health Care Engineering und der Klinischen Abteilung für Anästhesie, für Herz- und Gefäßchirurgie und Intensivmedizin, die es mir ermöglichten, dieses interessante Thema zu verwirklichen und mir stets mit Rat und Tat zur Seite standen.

Danke auch an das gesamte Team der Intensivstation am Landeskrankenhaus Graz.

Ein besonders herzlicher Dank gilt meiner Familie, die mich während der gesamten Zeit meines Studiums gefördert und unterstützt hat und meinen Freunden, die mich immer wieder motiviert haben.

Zusammenfassung

Untersuchung des Lärmpegels auf Intensivstationen

Um den Geräuschpegel auf einer Intensivstation zu untersuchen wurden für mehrere Wochen sowohl in Patientenbereichen als auch in Arbeits- und Überwachungsbereichen Schallpegelmessungen durchgeführt. Dafür wurden insgesamt sechs Messorte ausgewählt, wobei drei Messungen am Arbeitsplatz je 144 Stunden und drei Messungen beim Patientenbereich je 96 Stunden andauerten. Der zeitliche Verlauf des Schalldruckpegels wurde untersucht und daraus die Minimum-, Maximum-, Dauerschall- und gegebenenfalls die Beurteilungspegel ermittelt und bewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass der Lärmpegel für die Patienten zu jedem Zeitpunkt sehr hoch ist. Außerdem wurden die rechtlichen Lärmgrenzwerte für überwiegend geistige Tätigkeiten (50 dB) am Arbeitsplatz jederzeit überschritten. Die Grenze für einfache Büroarbeiten (70 dB) wurde dagegen eingehalten.

Schlüsselwörter: Lärm, Intensivstation, Krankenhaus, Schallpegel, Dezibel (dB)

Abstract

Investigation of noise levels in intensive care units

To investigate noise levels in an intensive care unit sound level measurements were carried out for several weeks. Three measurements took place in patient's areas, each with a duration of 96 hours. Another three measurements were performed with the focus on staff working and monitoring areas, each lasting 144 hours. The time course of the sound pressure level was investigated and the characteristics in terms of minimum, maximum, permanent sound and rating levels were determined and evaluated. The results show that the noise level is very high for patients at any given time. Furthermore, the legal noise limit for intellectual activities (50 dB) at the workplace was exceeded at all times, although the limit for simple office work (70 dB) was not exceeded.

Key Words: noise, ICU, hospital, sound level, decibel (dB)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Gliederung der Arbeit	2
2	Aufgabenstellung.....	4
3	Theoretischer Hintergrund.....	6
3.1	Grundbegriffe	6
3.1.1	Schalldruckpegel.....	6
3.1.2	Frequenzbewerteter Schalldruckpegel.....	7
3.1.3	Zeitbewerteter Schalldruckpegel.....	9
3.1.4	Energieäquivalenter Dauerschallpegel	10
3.1.5	Beurteilungspegel	11
3.2	Auswirkungen von Lärm	12
3.3	Aurale Wirkung.....	14
3.4	Extraaurale Wirkung	14
3.4.1	Primäre Lärmwirkung.....	15
3.4.2	Sekundäre Lärmwirkung.....	17
3.4.3	Lärmbedingte Gesundheitsstörungen (tertiäre Lärmwirkungen)	17
3.5	Lärm auf Intensivstationen	18
3.5.1	Gerätebedingter Lärm.....	18
3.5.2	Personalbedingter Lärm.....	19
4	Methoden	20
4.1	Messgerät.....	20
4.2	Normative Situation	21
4.3	Messorte.....	22
4.4	Messkonzept	27
4.5	Auswertung	31

4.6	Unsicherheitsquellen	34
5	Ergebnisse	38
5.1	Ergebnisse der Plausibilitätsprüfung	39
5.2	Messpunkt 1: Visitenbereich.....	40
5.3	Messpunkt 2: Schwesternpult.....	42
5.4	Messpunkt 3: Pult Kojen-Bereich	44
5.5	Messpunkt 4: Ein-Bett Patientenzimmer.....	46
5.6	Messpunkt 5: Drei-Bett-Patientenzimmer (Patientenplatz Bett 5).....	48
5.7	Messpunkt 6: Vier-Bett-Patientenzimmer	50
5.8	Pareto Analysen	52
5.9	Gerätemessungen.....	59
5.10	Zusammenfassung.....	61
6	Diskussion	63
6.1	Arbeitsplatzmessungen	63
6.2	Patientenbereichsmessungen	65
7	Schlussfolgerung.....	69
8	Literaturverzeichnis	70
9	Anhang.....	72
9.1	Messprotokoll	72
9.2	Detaillierte Messergebnisse	75
9.3	Quellcode Matlab.....	77

Symbole

c_1	Empfindlichkeitskoeffizient verbunden mit der Schallpegelerfassung	-
c_2	Empfindlichkeitskoeffizient verbunden mit der Messgerätetechnik	-
k	Erweiterungsfaktor bezogen auf den Vertrauensbereich	-
K	Zuschlag für Impuls- oder Tonhaltigkeit	dB
$L_A(t)$	zeit- und frequenzbewerteter Schallpegel zur Zeit t	dB
$L_{Aeq,8h}$	A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel mit einer Mittelungszeit von 8 Stunden	dB
$\bar{L}_{Aeq,T}$	der arithmetische Mittelwert aus N Messwerten des A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegels	dB
$L_{Aeq,T,n}$	der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel für die Messung n	dB
$L_{Aeq,Te}$	A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel mit einer Mittelungszeit von Te	dB
L_{AF}	Schallpegel mit Frequenzbewertung „A“ und Zeitbewertung „F“	dB
$L_{AF,1}$	Schallpegel mit Frequenzbewertung „A“, der in 1% der Messzeit überschritten wurde	dB
$L_{AF,95}$	Schallpegel mit Frequenzbewertung „A“, der in 95% der Messzeit überschritten wurde	dB
L_{AFeq}, L_{Aeq}	A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel mit Zeitbewertung „F“	dB
L_{AFmax}	maximale Schallpegel mit Frequenzbewertung „A“ und Zeitbewertung „F“	dB
L_{AFmin}	minimale Schallpegel mit Frequenzbewertung „A“ und Zeitbewertung „F“	dB
L_{Ar}	Beurteilungspegel	dB
L_P	Schallpegel unbewertet	dB
n	Stichprobennummer (Schallpegelmessung)	-
N	die Gesamtzahl der Messwiederholungen	-
p	gemessener Schalldruck	Pa
p_0	Bezugsschalldruck; $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$	Pa
$p_A(t)$	zeit- und frequenzbewerteter Schalldruck zur Zeit t	Pa
T	Mittelungszeit	s
U	erweiterte Unsicherheit	dB
u_1	Standardabweichung des energetischen Mittelwertes einer Anzahl von ermittelten A-bewerteten Dauerschallpegeln	dB
u_2	die Standardunsicherheit aufgrund des Messgerätes	dB
$u^2(L_{Aeq})$	die kombinierte Standardunsicherheit des Lärmexpositionspegels L_{Aeq}	dB
u_3	die Standardunsicherheit aufgrund der Mikrofonposition	dB

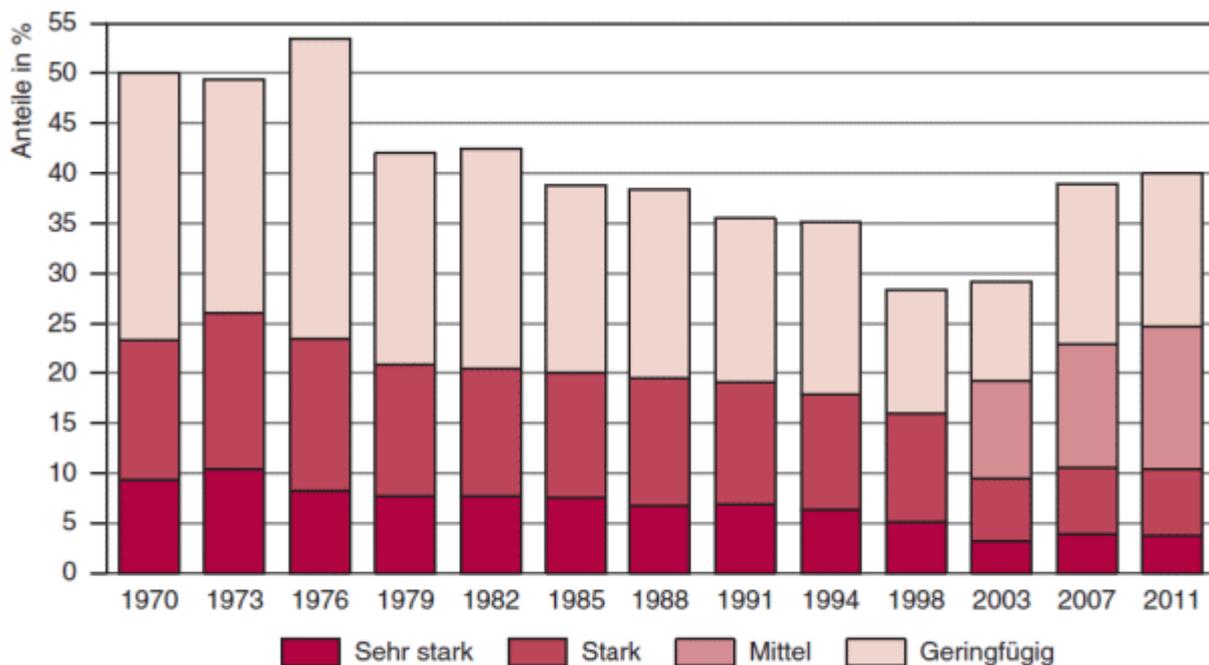
Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lärmstörung im Wohnbereich: tagsüber und/oder nachts, Entwicklung 1970 bis 2011 [1]	1
Abbildung 2: Gegenüberstellung von Schalldruckwerten in Pascal und Dezibel [9]	7
Abbildung 3: Frequenzbewertungskurven A, B, C und Z [11]	8
Abbildung 4: Aufzeichnung des Schalldruckpegels L_p für das gleiche Lärmereignis bei unterschiedlichen Zeitbewertungen [11]	10
Abbildung 5: Gegenüberstellung von gesunden Zilien (links) und zerstörten Zilien (rechts) [20]	14
Abbildung 6: Mittlerer Verlauf der kardiovaskulären Reaktionen (75 Frauen, 74 Männer, 30-60 Jahre) auf Einwirkung von Lärm [19]	16
Abbildung 7: Dimensionale Zeichnung des Schallpegelmessgerätes NL-32 – Längenangaben in mm [23]	21
Abbildung 8: Messpunkt 1 – Visitenbereich	23
Abbildung 9: Messpunkt 2 – Schwesternpult	23
Abbildung 10: Messpunkt 3 – Pult Kojen-Bereich	23
Abbildung 11: Messpunkt 4 – Ein-Bett-Zimmer	24
Abbildung 12: Messpunkt 5 – Drei-Bett-Zimmer	24
Abbildung 13: Messpunkt 6 – Vier-Bett-Zimmer	24
Abbildung 14: Grundrissplan der Intensivstation für Messpunkt 6	25
Abbildung 15: Grundrissplan der Intensivstation für Messpunkt 1 bis 5	26
Abbildung 16: Messablauf pro Messpunkt bei Arbeitsplatzmessungen	27
Abbildung 17: Messablauf pro Messpunkt bei Patientenbereichsmessungen	28
Abbildung 18: Ablaufdiagramm der Messungen pro Messort	29
Abbildung 19: Prinzip der Peakdetection zu einem bestimmten Zeitpunkt i	32
Abbildung 20: Ablaufdiagramm der Peakdetection pro Messpunkt	33
Abbildung 21: Trendanalyse vom Messpunkt 1 mit einer Mittelungszeit von jeweils 2 Stunden	34
Abbildung 22: Repräsentativer Verlauf des Schalldruckpegels für Messpunkt 1: Visitenbereich	40
Abbildung 23: Lärmimpulse im Visitenbereich über 70 dB(A), bezogen auf jeweils eine Stunde, Vgl. [6]	41
Abbildung 24: Stündlicher Mittelwert des Beurteilungspegels beim Visitenbereich inkl. Messwerte der einzelnen Messtage	41
Abbildung 25: Repräsentativer Verlauf des Schalldruckpegels für Messpunkt 2: Schwesternpult	42
Abbildung 26: Lärmimpulse beim Schwesternpult über 70 dB(A), bezogen auf jeweils eine Stunde, Vgl. [6]	43
Abbildung 27: Stündlicher Mittelwert des Beurteilungspegels im Bereich Schwesternpult inkl. Messwerte der einzelnen Messtage	43
Abbildung 28: Repräsentativer Verlauf des Schalldruckpegels für Messpunkt 3: Pult Kojen-Bereich	44
Abbildung 29: Lärmimpulse im Bereich der Kojen über 70 dB(A), bezogen auf jeweils eine Stunde, Vgl. [6]	45

Abbildung 30: Stündlicher Mittelwert des Beurteilungspegels im Bereich des Pultes der Kojen inkl. Messwerte der einzelnen Messtage	45
Abbildung 31: Repräsentativer Verlauf des Schalldruckpegels für Messpunkt 4: Ein-Bett Patientenzimmer.....	46
Abbildung 32: Lärmimpulse im Ein-Bett-Patientenzimmer über 70 dB(A),	47
Abbildung 33: Stündlicher Mittelwert des Dauerschallpegels im Ein-Bett-Patientenzimmer inkl. Messwerte der einzelnen Messtage.....	47
Abbildung 34: Repräsentativer Verlauf des Schalldruckpegels für Messpunkt 5: Drei-Bett Patientenzimmer.....	48
Abbildung 35: Lärmimpulse im Drei-Bett-Patientenzimmer über 70 dB(A),.....	49
Abbildung 36: Stündlicher Mittelwert des Dauerschallpegels im Drei-Bett-Patientenzimmer inkl. Messwerte der einzelnen Messtage.....	49
Abbildung 37: Repräsentativer Verlauf des Schalldruckpegels für Messpunkt 6: Vier-Bett Patientenzimmer.....	50
Abbildung 38: Lärmimpulse im Vier-Bett-Patientenzimmer über 70 dB(A),.....	51
Abbildung 39: Stündlicher Mittelwert des Dauerschallpegels im Vier-Bett-Patientenzimmer inkl. Messwerte der einzelnen Messtage.....	51
Abbildung 40: Pareto Analyse von Messpunkt 1, basierend auf den Ergebnissen der Grenzwertkontrollen	53
Abbildung 41: Pareto Analyse von Messpunkt 2, basierend auf den Ergebnissen der Grenzwertkontrollen	54
Abbildung 42: Pareto Analyse von Messpunkt 3, basierend auf den Ergebnissen der Grenzwertkontrollen	55
Abbildung 43: Pareto Analyse von Messpunkt 4, basierend auf den Ergebnissen der Grenzwertkontrollen	56
Abbildung 44: Pareto Analyse von Messpunkt 5, basierend auf den Ergebnissen der Grenzwertkontrollen	57
Abbildung 45: Pareto Analyse von Messpunkt 6, basierend auf den Ergebnissen der Grenzwertkontrollen	58
Abbildung 46: Schallpegelverlauf von zwei Beatmungsmaschinen im Alarmfall	59
Abbildung 47: Schallpegelverlauf von einer Infusionsspritzpumpe und einem Dialysegerät im Alarmfall	60
Abbildung 48: Darstellung der Ergebnisse der Arbeitsplatzmessungen als Beurteilungspegel inkl.	61
Abbildung 49: Darstellung der Ergebnisse der Patientenbereichsmessungen als Dauerschallpegel inkl. Erweiterte Unsicherheit	62
Abbildung 50: Darstellung der Ergebnisse der Arbeitsplatzmessungen als Dauerschallpegel	62

1 Einleitung

Um die subjektiv empfundene Lärmbelastung der österreichischen Bürger zu veranschaulichen, werden in Abbildung 1 die durch Befragungen angegebenen Lärmstörungen im Wohnbereich dargestellt. Im Jahr 2011 fühlten sich dabei 40% der Österreicher (im Alter über 15 Jahren) in ihrer Wohnung durch Lärm belastet. Der Verkehr stellt dabei mit 62% die größte Lärmquelle dar. Seit 1998 ist der fallende Trend der lärmbelasteten Österreicher durch einen relativ starken Anstieg im Jahr 2007 unterbrochen. Die Lärmsituation wurde dabei von allen Umweltbereichen, zu welchen auch Belästigungen durch Gerüche, Staub oder Ruß zählen, am schlechtesten beurteilt. [1]



Q: STATISTIK AUSTRIA, Mikrozensus Umweltbedingungen

Abbildung 1: Lärmstörung im Wohnbereich: tagsüber und/oder nachts, Entwicklung 1970 bis 2011 [1]

Lärmbelastung gibt es aber nicht nur im privaten Bereich oder in der Industrie, sondern auch in Krankenhäusern. Nach Arzt- und Abrechnungsfehlern ist die Lärmbelästigung der am meisten genannte Beschwerdeggrund im Krankenhaus. Zusätzlich ist in den letzten Jahren aufgrund der Zunahme der Patientenzahlen und der für diese Patienten zur Verfügung stehenden Therapieoptionen der Lärmpegel auf Intensivstationen deutlich angestiegen. Neben den auftretenden Hauptlärmfaktoren wie Personal,

Visiten, Vorbereitungen zur Patientenversorgung, etc., spielt der gerätebedingte Lärm eine immer größere Rolle in der bestehenden Lärmproblematik. Der hohe Geräuschpegel belastet dabei nicht nur die Patienten, sondern auch das Personal. Diese sind dadurch krankheitsanfälliger und das Risiko von Fehlhandlungen steigt. [2]

Verschiedene Publikationen und Untersuchungen zeigen deutlich, dass bezüglich der Lärmsituation auf Intensivstationen ein gewisser Handlungsbedarf besteht. Eine vom Klinikum der Universität Innsbruck [3] herausgegebene Studie zeigt Dauerschallpegel auf einer Intensivstation zwischen 60 und 65 dB(A) und Spitzenpegel von bis zu 96 dB(A). Messungen auf einer Intensivstation der Universitätsklinik Düsseldorf [4] zeigten, dass der gemessene Dauerschallpegel immer über 60 dB(A) lag und medizinische Geräte Pegelspitzen von mehr als 100 dB(A) erzeugten. In einer weiteren Studie [5] am Rhode Island Hospital in Providence (USA) wurde in einem Patientenzimmer ein Dauerschallpegel von über 80 dB(A) publiziert. Zwei aktuellere Studien aus den Jahren 2009 und 2007 lieferten dabei ähnliche Ergebnisse: Die Dauerschallpegel am Tag betragen dabei zwischen 52 und 57 dB(A) [6] (Deutschland) bzw. 50 und 68 dB(A) [7] (Taiwan).

Die im Zuge dieser Arbeit gewonnenen Ergebnisse decken sich mit den bisherigen Studien. Stark vereinfacht wurden folgende Dauerschallpegel gemessen: 55 bis 62 dB(A) am Tag und 50 bis 60 dB(A) in der Nacht sowie Pegelspitzen von 91 dB(A).

Ziel dieser Arbeit war es daher, die Lärmsituation für Personal und Patienten aufzuzeigen. In weiterer Folge können dadurch Maßnahmen und Lösungsvorschläge erarbeitet werden, um die gegebene Lärmbelastung zu minimieren.

1.1 Gliederung der Arbeit

Im Kapitel **Theoretischer Hintergrund** werden kurz einige physikalische Grundbegriffe und Definitionen über Lärm und Pegel erläutert, um danach die Auswirkungen von Lärm und die unterschiedlichen Lärmquellen auf einer Intensivstation näher zu betrachten. Danach wird auf die verwendeten **Methoden** der Messungen und Auswertungen eingegangen. Hierbei werden das Messgerät, die Messorte sowie die Messstrategie beschrieben und die Auswertung der Messergebnisse und deren Überprüfung auf Plausibilität erörtert. Des Weiteren werden mögliche Unsicherheiten

bei den Messungen aufgezeigt. Im darauffolgenden Kapitel werden die **Ergebnisse** unterschiedlichen Darstellungsvarianten veranschaulicht. Danach werden die gewonnenen Ergebnisse in der **Diskussion** erörtert sowie kritisch interpretiert und bewertet. Zum Schluss werden die gesammelten Erkenntnisse in der **Schlussfolgerung** zusammengefasst.

Alle personenbezogenen Bezeichnungen werden aus Gründen der Übersichtlichkeit und einfachen Lesbarkeit nur in einer Geschlechtsform gewählt und gelten gleichermaßen für Frauen und Männer.

2 Aufgabenstellung

Im Zuge dieser Arbeit soll der Lärmpegel auf Intensivstationen gemessen werden, um die Quellen bzw. Ursachen, aber auch zeitliche Schwankungen der Lärmentwicklung festzustellen. In weiterer Folge sollen die Ergebnisse diskutiert und die Lärmbe­lästigung für Personal und Patienten aufgezeigt werden. Diese Arbeit wurde in Ko­operation mit der Univ.-Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin der Medizinischen Universität Graz durchgeführt.

Die Aufgabenstellung wurde in vier Schwerpunkte unterteilt:

1) Vorbereitung

- Einarbeitung in bestehende Literatur zur Thematik „Lärmpegel auf In­ten­sivstationen“
- Einarbeitung in gesetzliche Grundlagen und Normen zur Messung des Lärmpegels
- Typische Störquellen auf Intensivstationen erarbeiten
- Einarbeitung in das vorhandene Messgerät zur Messung des Lärmpe­gels
- Durchführung, Auswertung und Interpretation einiger Testmessungen

2) Erarbeitung eines Messkonzeptes

- Aufnahme der Gegebenheiten vor Ort und möglicher „Hot Spots“
- Erhebung der auf der Intensivstation verwendeten Geräte
- Entwicklung einer Messstrategie zur Durchführung der Untersuchung auf der Intensivstation unter Berücksichtigung
 - unterschiedlicher Messorte
 - Festlegung der Messdauer
 - Anzahl der Messwiederholungen
 - Möglichkeit der Zuordnung von Geräuschen bei erhöhtem Pegel
- Erstellung eines Protokolls zur Dokumentation des Messablaufes
- Entwicklung eines Konzeptes zur Ortung der Lärmquelle

3) Durchführung der Messungen

- Messungen sind nach freigegebenem Konzept durchzuführen
- Messungen des Lärmpegels einzelner Störquellen
- Fotodokumentation aller Messaufbauten
- Protokollierung / Dokumentation der Messbedingungen

4) Auswertung der Messungen

- Datenaufbereitung (Artefakt-Kontrolle)
- Geeignete Darstellung und Gegenüberstellung der Messergebnisse
- Diskussion der Ergebnisse und Vergleich mit den Anforderungen

3 Theoretischer Hintergrund

In diesem Kapitel werden einige Grundlagen erörtert, die für das Verständnis für die weitere Betrachtung notwendig sind:

- Das erste Unterkapitel beschäftigt sich mit den **Grundbegriffen** des Schalldrucks, des Schalldruckpegels und den unterschiedlichen Bewertungen dazu.
- Danach wird auf die **Auswirkungen von Lärm** eingegangen.
- In den Abschnitten **Aurale Wirkung** und **Extraaurale Wirkung** wird beschrieben, zu welchen Schäden Lärm bei Menschen führen kann.
- Abschließend werden mögliche Quellen von **Lärm auf Intensivstationen** aufgezeigt.

3.1 Grundbegriffe

Um die Lärmsituation auf Intensivstationen mit den vorhandenen Grenzwerten vergleichen zu können, muss der Beurteilungspegel L_{Ar} ermittelt werden. Damit wird die Lärmeinwirkung auf das Personal bewertet. Die Lärmbelastung für die Patienten kann hingegen nur mit internationalen Richtwerten verglichen werden, die sich auf den energieäquivalenten Dauerschallpegel L_{AFeq} beziehen. [6]

3.1.1 Schalldruckpegel

Der Schalldruckpegel L_p beschreibt entsprechend nach Gleichung 1 das logarithmierte Verhältnis des momentanen Schalldrucks zum minimal hörbaren Schalldruck:

$$L_p = 20 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right) dB \quad (1)$$

Dabei ist

- p der gemessene Schalldruck;
- p_0 der Referenzschalldruck mit 20 μ Pa (Hörschwelle).

Sowohl der Schalldruck als auch der Schalldruckpegel sind skalare Größen und ortsabhängig. Der Schalldruckpegel dient zur Beurteilung von Immissionen am Arbeitsplatz und in der Nachbarschaft [8]. Die Einheit des Schalldruckpegels ist das

Dezibel (dB). Da das menschliche Gehör in der Lage ist, eine Schalldruckspanne von sieben Zehnerpotenzen zu verarbeiten, wird diese in Form der Dezibel-Skala dargestellt (siehe Abbildung 2). Verdoppelt sich der Schalldruck, kommt es zu einer Pegelsteigerung von 6 dB. Diese wird aber nicht als „doppelt so laut“ wahrgenommen. Erst bei einer Pegelsteigerung von ca. 10 dB entsteht das Gefühl von verdoppelter Lautstärke. Bei einer Verzehnfachung des Schalldrucks kommt es dementsprechend zu einer Pegelsteigerung von 20 dB. [9]

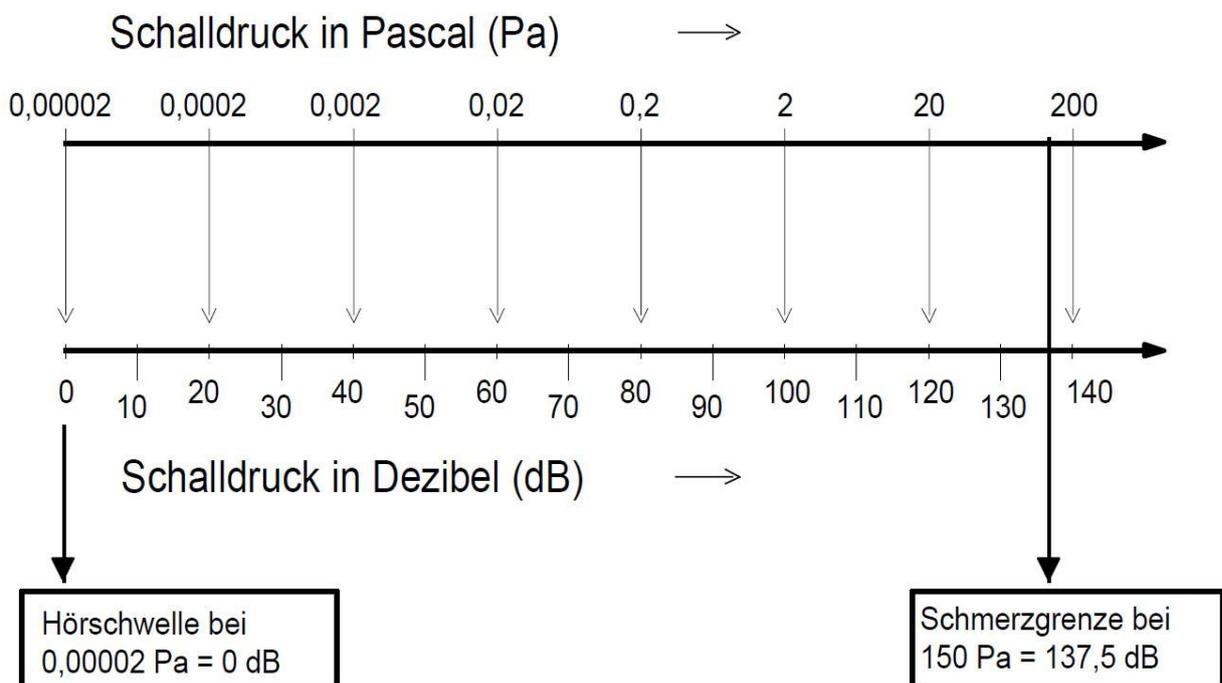


Abbildung 2: Gegenüberstellung von Schalldruckwerten in Pascal und Dezibel [9]

Die Schmerzgrenze definiert, ab welchen Wert ein Schallereignis als schmerzhaft empfunden wird. Dies liegt bei einem Durchschnittsmenschen in etwa bei einem Schalldruck von 150 Pa, das heißt einem Schalldruckpegel von 137,5 dB. [9]

3.1.2 Frequenzbewerteter Schalldruckpegel

Schallereignisse mit demselben Schalldruck aber unterschiedlichen Frequenzen werden meist nicht als gleich laut wahrgenommen. Deshalb ist es notwendig, das frequenzabhängige Schallempfinden des menschlichen Gehörs zu berücksichtigen. [10] Die ungefähre Nachbildung des Frequenzgangs erfolgt durch verschiedene Filter, die bereits im Schallpegelmessgerät integriert sind: A, B, C und Z (siehe Abbildung 3). [8] Durch die Anwendung dieser Frequenzbewertungskurven werden die

nicht so laut empfundenen tieffrequenten und sehr hochfrequenten Geräuschanteile entsprechend gedämpft erfasst. [11]

Besonders bei Messungen in Betrieben wird überwiegend die A-Bewertung angewendet. Der A-bewertete Schalldruckpegel dient zur Beschreibung von Lärm am Arbeitsplatz und in der Nachbarschaft bei schwachen bis mittleren Schallpegeln und beschreibt die Gehörgefährdung von Geräuschen. Dagegen beschreibt die C-Bewertung den Lärm am Arbeitsplatz bei besonders hohen Pegeln und die Frequenzbewertung „Z“ überträgt die Schallsignale ohne Dämpfung bzw. Verstärkung. Die B-Bewertung hat heutzutage kaum Bedeutung mehr und wird zur Beurteilung des Geräuschkomforts, zum Beispiel in Fahrzeugen, verwendet. [8] [11]

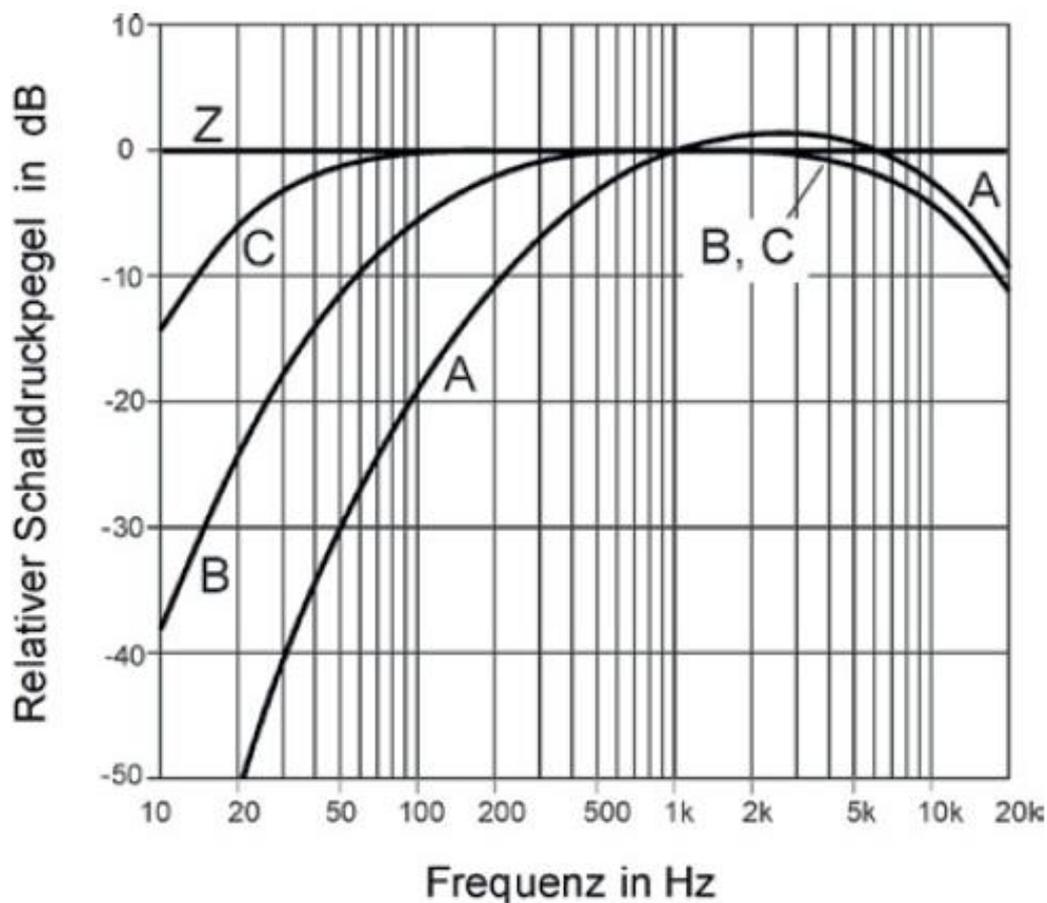


Abbildung 3: Frequenzbewertungskurven A, B, C und Z [11]

3.1.3 Zeitbewerteter Schalldruckpegel

Neben der Frequenzbewertung wird der Schalldruckpegel auch noch zeitlich bewertet. „Prinzipiell wird versucht, die Anzeigegeschwindigkeit des Schallpegelmessers dem zeitlichen Reaktionsvermögens des menschlichen Gehörs anzupassen.“ (Zitat aus [8])

Drei Zeitbewertungen, die sich durch ihre Zeitkonstanten unterscheiden, sind nach ÖVE/ÖNORM EN 61672-1:2003 definiert: S, F und I (siehe Tabelle 1). [12]

Zeitbewertung	Zeitkonstante τ	
	Pegelanstieg	Pegelabfall
S - langsam	1 s	
F - schnell	125 ms	
I - Impuls	35 ms	1,5 s

Tabelle 1: Zeitkonstanten für die Zeitbewertungen S, F und I [11]

In Abbildung 4 sind Schallpegelverläufe mit den drei Zeitbewertungen dargestellt. Dabei handelt es sich bei allen drei Aufzeichnungen um das gleiche impulshaltige Geräusch, und zwar um Arbeiten mit einem Schmiedehammer. So ergibt sich bei der Zeitbewertung „S“ eine stark gedämpfte und träge Anzeige, die Pegelspitzen kaum folgen kann. Der Vorteil liegt hier in der leichten Ablesbarkeit. Die Zeitbewertung „F“ ist die übliche Einstellung zur Beschreibung von Schall mit konstantem bzw. zeitlich langsam veränderlichem Pegel. Hier ist die Anzeige deutlich unruhiger aber Pegelspitzen können besser erkannt werden. Die Zeitbewertung „I“ wird bei der Messung von impulsartig einsetzenden Schallereignissen eingesetzt und dient außerdem zur Überprüfung auf Impulshaltigkeit. [8] [11]

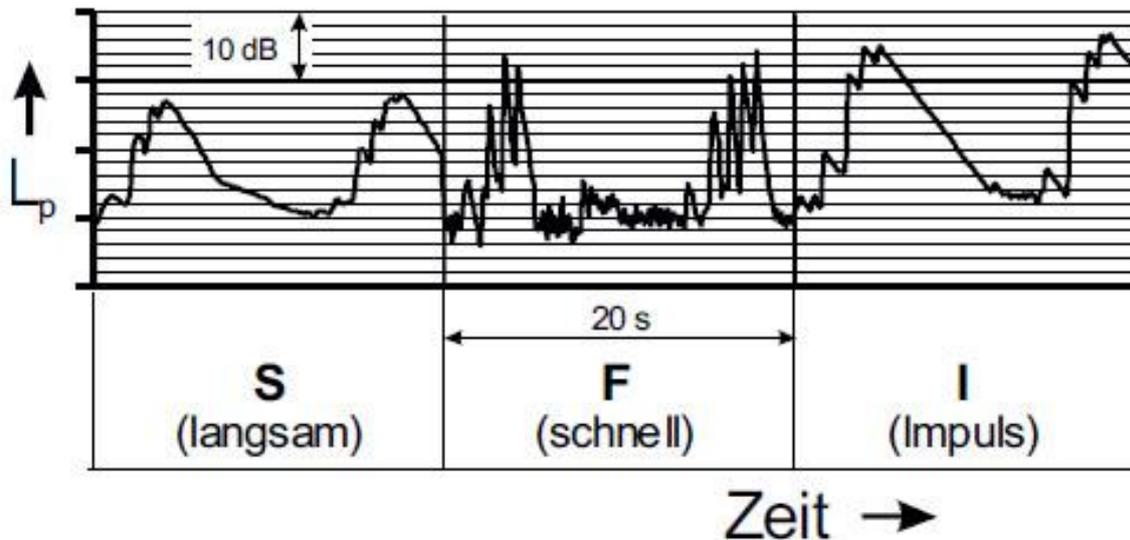


Abbildung 4: Aufzeichnung des Schalldruckpegels L_p für das gleiche Lärmereignis bei unterschiedlichen Zeitbewertungen [11]

3.1.4 Energieäquivalenter Dauerschallpegel

Zur Beurteilung von zeitlich schwankenden Schallpegeln ist die Bildung eines reinen Durchschnittswertes meist nicht aussagekräftig. Die bessere Alternative ist die Bildung des energieäquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} nach Gleichung 2:

$$L_{Aeq} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A(t)^2}{p_0^2} dt \right) = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0,1 * L_A(t)} dt \right) \quad (2)$$

Dabei ist

$p_A(t)$ der zeit- und frequenzbewertete Schalldruck zur Zeit t ;

$L_A(t)$ der zeit- und frequenzbewertete Schallpegel zur Zeit t ;

T die Mittelungszeit.

Das Konzept besteht darin, „das Auftreten eines hohen Schallpegels während einer kurzen Zeit für gleich wirksam anzusehen wie das Auftreten eines niedrigen Schallpegels während einer längeren Zeit.“ (Zitat aus [13])

Der große Vorteil des energieäquivalenten Dauerschallpegels besteht darin, dass damit ein zeitlich schwankendes Schallereignis mit nur einer Beurteilungsgröße charakterisiert werden kann. [14]

3.1.5 Beurteilungspegel

Der energieäquivalente Dauerschallpegel berücksichtigt nicht die Störwirkungen von Lärm. Daher ist es sinnvoll und bei Messungen am Arbeitsplatz auch notwendig, den Beurteilungspegel L_{Ar} nach Gleichung 3 zu bestimmen:

$$L_{Ar} = L_{Aeq,8h} + K \quad (3)$$

Dabei ist

$L_{Aeq,8h}$ der energieäquivalente Dauerschallpegel mit einer Mittelungszeit von 8 Stunden;

K der Zuschlag für Impuls- oder Tonhaltigkeit.

Der Zuschlag K kann dabei nur zwei Werte annehmen: 0 (keine Impuls- und Tonhaltigkeit vorhanden) oder 6 (Impuls- und/oder Tonhaltigkeit vorhanden). [15]

3.2 Auswirkungen von Lärm

„Unter Lärm versteht man Schall, welcher belästigend auf den Menschen wirkt oder sogar, bei hohen Pegeln oder langer Einwirkungszeit, gesundheitsschädlich ist.“ (Zitat aus [10])

Allerdings ist nicht jedes laute Geräusch gleichbedeutend mit Lärm. Neben der Lautstärke spielen weitere Einflussfaktoren eine wichtige Rolle: der Informationsgehalt eines Geräusches, die Pegeldifferenz zum Umgebungsgeräusch, die Einstellung des Hörers gegenüber dem Schallereignis und das physische und psychische Befinden der Person. [16]

Das bedeutet also, dass ein sehr „leises“ Geräusch als Lärm bzw. ein eher „lautes“ Geräusch nicht als Lärm empfunden werden kann.

Kriterien, ab wann Schall als Lärm empfunden wird, können grundsätzlich in physikalische und psychologische Komponenten unterteilt werden. Die psychologischen Komponenten der Lärmwirkung lassen sich mit dem Wort *Lästigkeit* beschreiben und beschreiben die störende Wirkung eines Schallereignisses. [6]

Die physikalischen Kriterien sind: [17]

- Lautstärke
- Frequenzbereich und Frequenzbandbreite
- spektrale Zusammensetzung des Frequenzbereiches
- absolute Dauer
- Anstiegsgeschwindigkeit

Die psychologischen Komponenten sind: [17]

- plötzliche Geräusche mit Schreckwirkung (Impulshaltigkeit)
- wechselnde Frequenzen und Lautstärken
- unregelmäßige Impulse sind störender als gleichmäßige Impulse
- langsame Impulse sind störender als schnelle Impulse
- Impulsbehaftete Geräusche sind lästiger als Einzeltöne
- Einzeltöne sind unangenehmer als Bandrauschen
- Geräusche mit hohen Frequenzen wirken lästiger als tieffrequente Geräusche

In Tabelle 2 sind Auswirkungen von Lärm auf den Menschen in Abhängigkeit des Schallpegels und dazugehörige Beispiele für die Geräuschquellen dargestellt.

Schallpegel in dB(A)	mögliche Störungen und Schädigungen	Geräuschquelle (Beispiel)
30	Schlafstörungen bei Pegelspitzen von 35 dB(A)	Blätterrauschen
40	Lern- und Konzentrationsstörungen	Ruhige Straße nachts*
50	Leistungsstörungen bei geistiger Arbeit	Ruhige Straße tagsüber*
60	Kommunikationsstörungen	Hauptverkehrsstraße nachts*
70	Leistungsstörungen bei Büroarbeit	Hauptverkehrsstraße tagsüber*
80	Risikoerhöhung für Herz- und Kreislauferkrankungen	Autobahn*
90	Gehörschädigung bei Langzeiteinwirkung von 85 dB(A)	Kreissäge
100		Autohupe
110		Diskotheek
120		Düsentriebwerk*
130	Gehörschädigung bereits nach kurzer Einwirkung	

*jeweils in 50 Meter Entfernung

Tabelle 2: Lärmwirkungen und Geräuschquellen in Abhängigkeit des Schallpegels [10] [16]

Bei der Wirkung von Lärm auf den Menschen sind zwei Bereiche zu unterscheiden: Die Auswirkungen auf das Hörorgan (aurale Auswirkungen) und die Auswirkungen auf den Gesamtorganismus (extraaurale Auswirkungen). Auf einer Intensivstation im Krankenhaus steht die extraaurale Wirkung im Vordergrund, da diese im Gegensatz zu der auralen Wirkung bereits bei Schalldruckpegeln weit unterhalb der hörschädigenden Grenze von 85 dB(A) auftritt. [18]

3.3 Aurale Wirkung

Die Haarsinneszellen (Zilien) des Innenohres sind für die Transformation von akustischen Reizen verantwortlich. Bei langfristig wiederholter Einwirkung hoher Schallpegel von über 85 dB(A) werden diese Zellen irreversibel beschädigt (siehe Abbildung 5) und es kommt zur sogenannten Lärmschwerhörigkeit. [19] Des Weiteren kann es bereits bei einem einzigen, sehr hohen, kurzzeitigen und impulsartigen Schallereignis von über 130 dB(A) zu akuten Gehörschäden, wie zum Beispiel einem Knalltrauma, kommen. Man spricht hierbei von einem akustischen Unfall. Durch die ankommende Druckwelle können die Hörzellen im Innenohr abgerissen werden. Weitere Möglichkeiten von auralen Auswirkungen sind Hyperakusis (Geräuschempfindlichkeit) oder Tinnitus. [18]

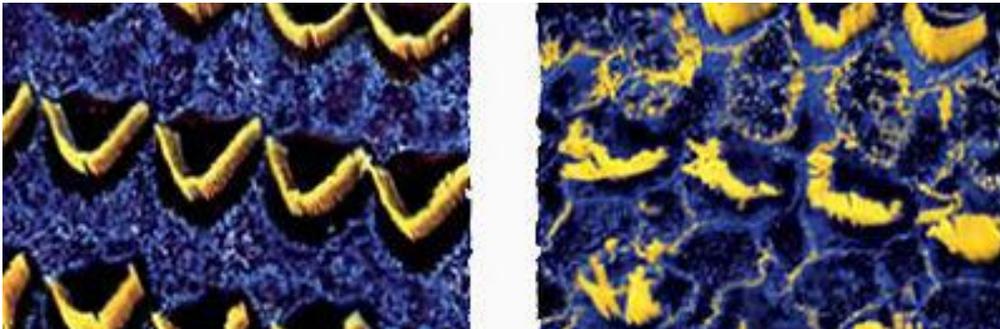


Abbildung 5: Gegenüberstellung von gesunden Zilien (links) und zerstörten Zilien (rechts) [20]

3.4 Extraaurale Wirkung

Die extraauralen Wirkungen können in drei Reaktionen unterteilt werden: Primär-, Sekundär-, - und Tertiärreaktionen.

„Die Primärreaktionen sind Störungen der Kommunikation, des Schlafs und autonomer Funktionen. Sie werden als Akutreaktionen unmittelbar im Anschluss an den Reiz(beginn) oder als globale, über alle Akutreaktionen eines definierten Zeitraums integrierte Änderungen registriert (Globalreaktion). (Zitat aus [19])

Die Sekundärreaktionen setzen sofort oder verzögert noch während oder erst nach (wiederholter) Exposition ein. Hierzu zählen das Gefühl der Belästigung, die subjektiv beeinträchtigte Schlafqualität sowie Störungen kognitiver Leistungen. (Zitat aus [19])

Die Tertiärreaktionen sind klinisch relevante Gesundheitsschäden oder persistierende Verhaltensänderungen, die als Folge chronischer Lärmbelastungen bzw. langfristig wiederholter Primär- und Sekundärreaktionen vermutet werden.“ (Zitat aus [19])

3.4.1 Primäre Lärmwirkung

Störungen der Kommunikation verursachen aufgrund der lärmbedingten erhöhten Anstrengung bei Gesprächen das Gefühl der Belästigung und der Verärgerung. Ab einem Schwellwert von 45 dB(A) kann man von Kommunikationsstörungen ausgehen. Störgeräusche führen dabei unbewusst dazu, dass der Sprachschallpegel unwillkürlich angehoben wird. Ab 65 dB(A) ist eine lautere Sprechweise sogar erforderlich, um sich von den Hintergrundgeräuschen abzuheben. Bei einem Anstieg des Sprachpegels um 10 dB wird die Sprachverständlichkeit aufgrund der damit verbundenen Verzerrung der Sprache um 15 – 40% reduziert. [19] Zusätzlich kommt es durch die lärmbedingte Situation zu gewissen Verhaltensänderungen. Diese sind: Verringerung der räumlichen Distanz, lautes und knappes Sprechen, lautes Rufen über Stationsflure, Sprachverarmung und eine eingeschränkte Hilfsbereitschaft. [16]

Lärmbedingte Schlafstörungen stellen für die Patienten einer Intensivstation ein großes Problem dar, da der Schlaf für Wohlbefinden und Leistung entscheidend ist. Es kommt dadurch zu einer längeren Erholungsdauer und Verweildauer, einer verzögerten Wundheilung und einer verstärkten Schmerzempfindlichkeit des Patienten. [16]

Lärm während des Schlafes führt zur Veränderung der Schlaftiefe und einer subjektiven Veränderung der Schlafqualität, die im Wesentlichen aus der Dauer der Einschlafzeit, der Wachzeiten sowie der erinnerten Schwierigkeiten beim (Wieder-) Einschlafen resultieren. [19]

Ab einem Schallpegel von 60 dB(A) - bei kranken und älteren Menschen ab 50 dB(A) - ist die sogenannte Aufwachschwelle erreicht und es kommt nachweisbar zu einer Reduzierung der Schlaftiefe. Ab diesem Wert besteht je nach Grundgeräuschpegel eine Aufwachwahrscheinlichkeit von 50%. Ab einem Geräuschpegel von 70 dB(A) beträgt die Aufwachwahrscheinlichkeit bereits nahezu 100% und die „sichere Aufwachschwelle“ ist erreicht. Des Weiteren ist neben dem Schallpegel der Informationsgehalt eines Geräusches für das Ausmaß der Störung abhängig. Neben den

akustischen Eigenschaften eines Geräuschs spielen noch andere Faktoren eine Rolle, wie zum Beispiel das Alter und der Gesundheitszustand des Schlafenden. Die Folgen der Schlafstörungen auf einer Intensivstation sind vielfältig und individuell. Grundsätzlich kann man sagen, dass für Patienten, die nur eine kurze Zeit auf der Intensivstation verbringen, die Belästigung im Vordergrund steht. Langzeitpatienten hingegen können aufgrund andauernder Schlafstörungen schwere, gesundheitliche Probleme erfahren. Auch sedierte Patienten nehmen Lärm wahr. Eine Analgosedierung schützt also nicht vor der Lärmwirkung. [16]

Eine weitere primäre extraaurale Wirkung des Lärms sind **autonome Funktionsänderungen**. Durch den Einfluss von Lärm werden Erregungen des autonomen Nervensystems verursacht, die zahlreiche physiologische Reaktionen hervorrufen: Steigerung der Herzschlagfrequenz, des Gefäßwiderstandes und des Blutdrucks, vermehrte Ausschüttung von Stresshormonen, erhöhte Freisetzung von Fettsäuren, u.v.m. Ab einer Auslöseschwelle von 65 bis 70 dB(A) am Tag und 55 bis 60 dB(A) in der Nacht kommt es zu kardiovaskulären Reaktionen (siehe Abbildung 6). Unmittelbar nach dem Schallereignis kommt es zu einem Anstieg der Herzschlagfrequenz und die periphere Durchblutung fällt nach kurzer Verzögerung ab. Diese Reaktionen sind aber neben dem Schallpegel und der Bandbreite des einwirkenden Ereignisses von zahlreichen individuellen und situativen Faktoren abhängig. [19]

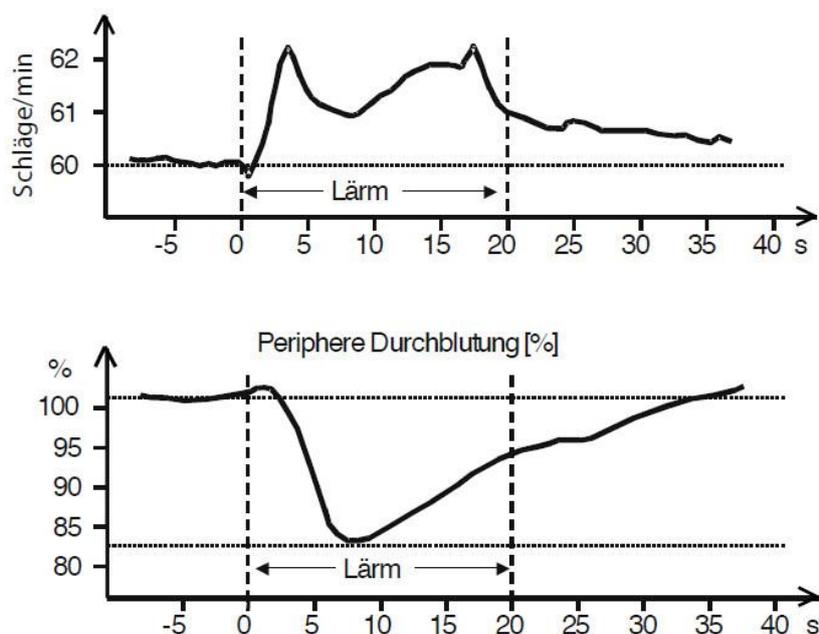


Abbildung 6: Mittlerer Verlauf der kardiovaskulären Reaktionen (75 Frauen, 74 Männer, 30-60 Jahre) auf Einwirkung von Lärm [19]

3.4.2 Sekundäre Lärmwirkung

Lärm kann bereits bei moderaten Pegeln zu **Leistungsbeeinträchtigungen** führen. Dabei kann irrelevanter Schall, d.h. Geräusche, die in keinem Zusammenhang mit der aktuellen Tätigkeit stehen, die Endkodierung, die Wahrnehmung und den Transfer externer Informationen in das Gehirn stören. Akustische Reize können die fokussierte Aufmerksamkeit ablenken und dies führt im Weiteren zu erhöhter Anspannung und beeinträchtigter Konzentration. Weitere mögliche Auswirkungen sind schnellere Ermüdung, Beeinträchtigung von Arbeitsgedächtnisfunktionen, Vernachlässigung des peripheren Geschehens und Überhören oder Übersehen von Informationen. [19]

Bei **Lärmbelästigung** entsteht ein Gefühl der Verärgerung, des Missfallens, des Unbehagens oder der Unzufriedenheit. Die Einflussfaktoren der Lärmbelästigung sind neben den physikalischen Parametern des Schalls die Lärmempfindlichkeit, das Alter sowie die Einstellung und Überzeugung von Personen. Des Weiteren unterliegt die Lärmbelästigung auch tageszeitlichen Schwankungen und ist im Allgemeinen dann am höchsten, wenn viel kommuniziert wird. [19]

3.4.3 Lärmbedingte Gesundheitsstörungen (tertiäre Lärmwirkungen)

Da **Herz-Kreislauferkrankungen** bei der Mortalitätsstatistik auf dem ersten Platz liegen, ist es sinnvoll, die Frage des möglichen kausalen Zusammenhanges zwischen chronischer Lärmbelastung und Bluthochdruck sowie ischämischer Herzerkrankungen zu untersuchen. Wie bereits erwähnt, führt Lärm zu einer erhöhten Ausschüttung von Stresshormonen und ist damit ein möglicher Risikofaktor dieser Erkrankungen. Es wird vermutet, dass das Risiko der Hypertonie ab einem äquivalenten Dauerschallpegel von 70 dB(A) ansteigt und das Risiko von ischämischen Herzerkrankungen ab einem Pegel von 65 bis 70 dB(A) ansteigt. [19]

Untersuchungen zeigen, dass Lärm als unmittelbare Ursache **psychischer Erkrankungen** weitgehend ausgeschlossen werden kann, jedoch nicht die Möglichkeit, dass dieser als einer von vielen weiteren Faktoren zur Entstehung solcher Erkrankungen führen kann. [19]

3.5 Lärm auf Intensivstationen

Grundsätzlich ist der hohe Geräuschpegel auf Intensivstationen auf zwei Hauptursachen zurückzuführen. Die erste Hauptlärmquelle entsteht durch den hohen **medizinischen Geräteaufwand**. Dabei führen Arbeitsgeräusche von Therapie- und Überwachungsgeräten zu kontinuierlichen Dauerpegeln und Alarmsignale zu lauten, impulshaltigen Spitzenpegeln. Neben den medizinischen Apparaten sind aber auch nicht-medizinische Geräte, wie zum Beispiel Reinigungsmaschinen, Telefone, etc. für hohe Pegel verantwortlich. Die zweite Hauptursache für die hohe Lärmbelastung auf Intensivstationen stellt das **Personal** selbst dar, das zum Beispiel durch laute Konversation, Rufen über Stationsflure, etc. für hohe Dauer- und Spitzenpegel verantwortlich ist. [16]

3.5.1 Gerätebedingter Lärm

Aufgrund der technischen Entwicklungen in den letzten Jahrzehnten gibt es eine Fülle neuer Geräte auf modernen Intensivstationen. Somit kommt es auch zu einer Vielzahl möglicher akustischer und optischer Alarme dieser Therapie- und Überwachungsgeräte. Viele dieser Alarme sind nicht situationsspezifisch abgestimmt und besitzen zudem noch eine unnötig hohe Lautstärke. So können laute, nicht lebensbedrohliche Alarme oft von leiseren und womöglich wichtigeren Alarmen ablenken. Die große Anzahl von akustischen Signalen wirkt dabei für das Personal verwirrend, für die Patienten erschreckend und für Besucher abschreckend. [16]

Grundsätzlich können bei medizinischen Geräten drei unterschiedliche Signale unterschieden werden. Ein Alarm steht mit der Bedeutung eines Notfalles zusammen, zum Beispiel bei Atemstillstand, und erfordert sofortiges Handeln des Personals. Eine Warnung beschreibt keine lebensbedrohliche Situation, zum Beispiel bei Blutdruckanstieg, und eine Sofortreaktion ist nicht erforderlich. Ein Fehlalarm hingegen ist ein alarmlösendes Ereignis, das weder Notfall noch Warnung ist. [16]

In einer Studie [21] wurden bei einer Beobachtungszeit von 190 Stunden bei 254 Patienten 2041 Alarme gezählt und aufgeschlüsselt. Dabei fielen 72% auf Beatmungsgeräte, 17% auf Monitore, 10% auf Infusionspumpen und 1% auf sonstige Geräte zurück. Ein Drittel aller erfassten Alarme stellten sich als Fehlalarme heraus. Die anderen zwei Drittel signalisierten echte Alarmsituationen, wobei nur 1% echte Notfälle waren. [16]

Neben der Häufigkeit ist auch die Lautstärke von Alarmen ein großer Stressfaktor. Diese sind auf einer Intensivstation für die hohen Spitzenpegel mitverantwortlich und – wie bereits oben erwähnt – oft unnötig laut. Da sich die Patienten in unmittelbarer Nähe der alarmerzeugenden Geräte befinden, sind diese am stärksten von der Lärmemission betroffen. [16]

3.5.2 Personalbedingter Lärm

Neben den elektrischen Geräten stellt das Personal selbst eine hohe Lärmbelastung dar. Eine Studie [22] von Bunzel aus dem Jahr 1982 über Stressfaktoren in der Intensivmedizin zeigte, dass insbesondere ältere Personen ab einem Alter von 50 Jahren Lärm durch den Stationsbetrieb und das Pflegepersonal als größten Stressfaktor ansehen. Besonders störend wurden dabei lautes Lachen, Rufen, laute Diskussionen, lautstarkes Verrichten der Arbeit und laute Radiomusik genannt [16].

4 Methoden

In diesem Kapitel werden die Messbedingungen und der Messablauf sowie die anschließende Auswertung beschrieben:

- Das erste Unterkapitel beschreibt das verwendete **Messgerät**.
- Anschließend wird die **Normative Situation** näher erläutert.
- Danach wird auf die **Messorte** eingegangen.
- Beim **Messkonzept** wird die angewandte Messtechnik beschrieben.
- Abschließend wird noch auf die **Auswertung** der Messungen und die dafür verwendeten Strategien eingegangen sowie die möglichen **Unsicherheitsquellen** dargelegt.

4.1 Messgerät

Die Lärmpegelmessungen wurden mit dem Schallpegelmessgerät NL-32 (RION Co., Ltd., Japan) durchgeführt (siehe Abbildung 7). Es handelt sich hierbei um eine Messeinrichtung der Klasse 1 gemäß ÖVE/ÖNORM EN 61672-1:2003. Als Mikrofon wurde ein vorpolarisiertes Kondensatormikrofon Typ UC-53A mit Freifeldcharakteristik und einer nominalen Empfindlichkeit von 45 mV/Pa verwendet [23].

Die Spannungsversorgung erfolgte während den Messungen durch ein Netzteil. Zusätzlich dazu waren vier AA-Standardbatterien von jeweils 1,5V in Verwendung, um die Messungen auch bei Störungen, wie zum Beispiel dem unbeabsichtigten Abstecken der Netzverbindung, sicherzustellen. Die Messdaten wurden auf eine Compact-Flash Speicherkarte aufgezeichnet.

Folgende Parameter wurden am Messgerät während aller Messungen eingestellt:

- Zeitbewertung: F(Fast) (vgl. Kapitel 3.1.3)
- Frequenzbewertung: A (vgl. Kapitel 3.1.2)
- Messbereich: 30 – 120 dB

Die Frequenzbewertung „A“ wird dabei von der ÖNORM S 5004 und ÖNORM EN ISO 9612 vorgegeben [12] [24]. Die Zeitbewertung „F“ zeigte sich nach Durchsicht der Literatur als Standardeinstellung.

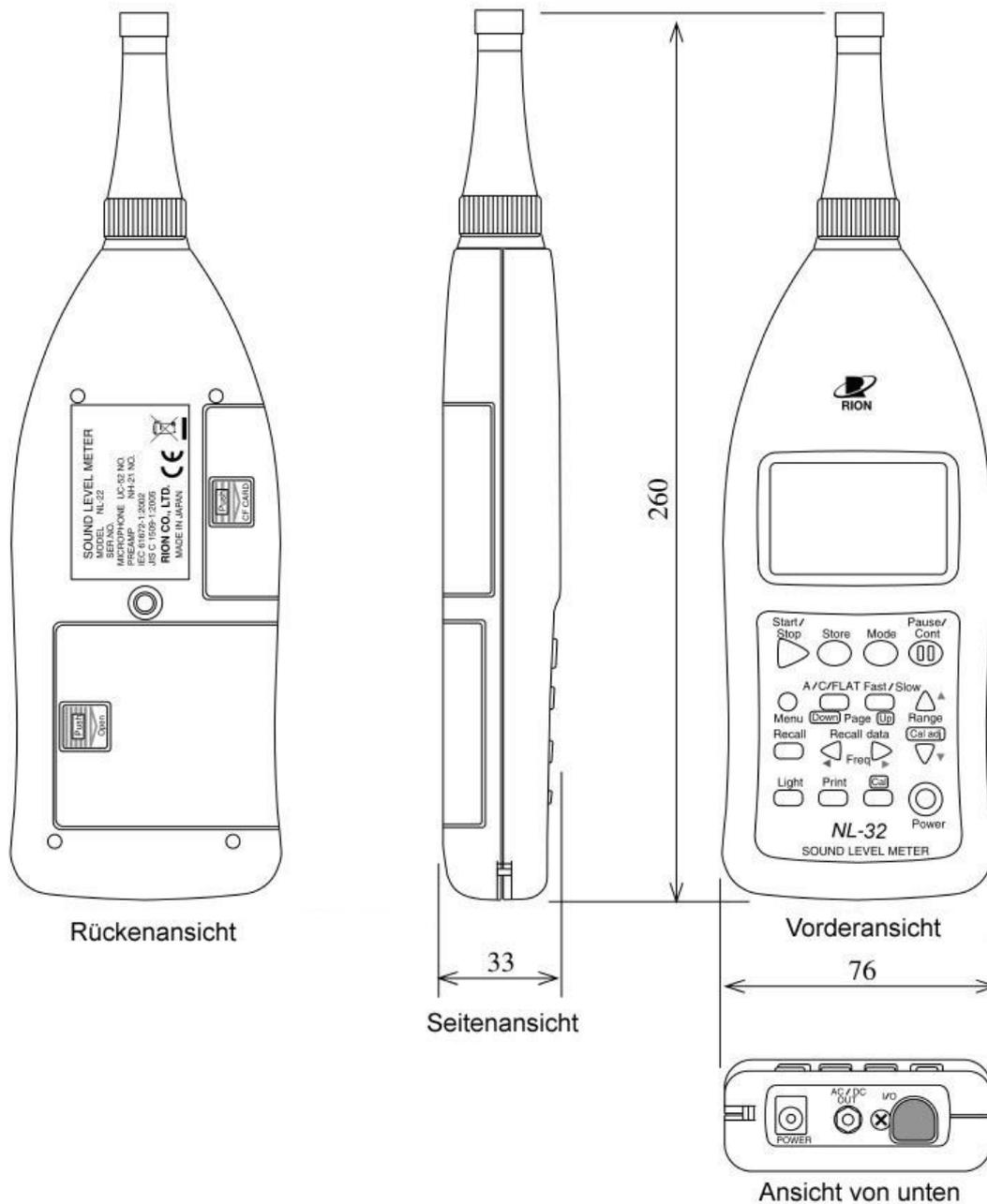


Abbildung 7: Dimensionale Zeichnung des Schallpegelmessgerätes NL-32 – Längenangaben in mm [23]

4.2 Normative Situation

Folgende Normen wurden bei den durchgeführten Messungen im Besonderen betrachtet:

- ÖNORM EN ISO 9612:2009

Diese Norm mit dem Titel „Akustik – Bestimmung der Lärmexposition am Arbeitsplatz – Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 (Ingenieurverfahren)“ beschreibt eine abgestufte Vorgehensweise zur Bestimmung des Lärmexpositionspegels am Arbeitsplatz durch Messungen. Dabei sind folgende Schritte vorgesehen: Arbeitsanalyse, Auswahl der Messstrategie, Durchführung der Messungen, Behandlung von Fehlern und Unsicherheitsbeiträgen, Berechnung und Darstellung von Ergebnissen. [25]

- ÖNORM S 5004:2008

Diese Norm mit dem Titel „Messung von Schallimmissionen“ dient zur messtechnischen Ermittlung schalltechnischer Kenngrößen von Schallimmissionen in der Nachbarschaft (zum Beispiel aus Betriebsstätten). Dabei beschreibt die Norm Verfahren für Schallmessungen mit reproduzierbaren Ergebnissen zur Erarbeitung von aussagekräftigen Grundlagen für die Lärmschutzplanung und die Beurteilung von Lärmstörungen im Nachbarschaftsbereich. [24]

Die Ergebnisse der Arbeitsplatzmessungen können mit den in der österreichischen Verordnung für Lärm und Vibration festgelegten Grenzwerten verglichen und bewertet werden. Um allerdings die Ergebnisse der Patientenbereichsmessungen bewerten zu können, müssen die gewonnen energieäquivalenten Dauerschallpegel mit internationalen Richtlinien verglichen werden.

4.3 Messorte

Die bestehende Lärmsituation wurde am Landeskrankenhaus in Graz in unterschiedlichen Bereichen einer Intensivstation¹ gemessen und bewertet. Dazu wurden sechs repräsentative Messpunkte für Personal und Patienten durch eine Begehung vor Ort unter Berücksichtigung der örtlichen und organisatorischen Gegebenheiten ausgewählt. Für die Arbeitsplatzmessungen wurden drei Messpunkte in den Stationsfluren in der Nähe der zentralen Überwachungsbereiche bzw. Schwesternarbeitsplätze

¹ Anonymisierung aufgrund von Datenschutz

festgelegt: Der Visitenbereich, das Schwesternpult und das Überwachungspult vor den Kojen (siehe Abbildung 8, Abbildung 9 und Abbildung 10). „Auch wenn sich das Personal notwendigerweise eine gewisse Zeit in den Patientenzimmern aufhält, verbringt es einen Großteil der Arbeitszeit in diesem Bereich.“ (Zitat aus [6])



Abbildung 8: Messpunkt 1 – Visitenbereich



Abbildung 9: Messpunkt 2 – Schwesternpult

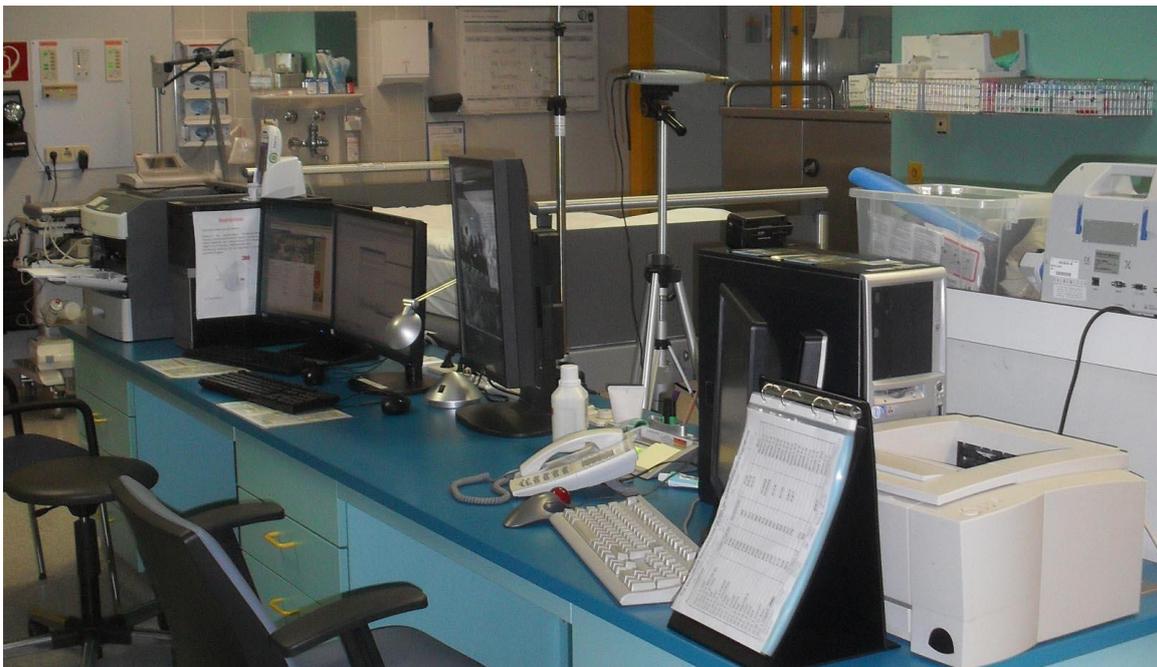


Abbildung 10: Messpunkt 3 – Pult Kojen-Bereich

Für die Ermittlung der Lärmsituation der Patienten wurden wiederum drei Messpunkte bestimmt: Ein Ein-Bett-Patientenzimmer (Koje), ein Drei-Bett-Patientenzimmer (Patientenplatz Bett 5) und ein Vier-Bett-Patientenzimmer (siehe Abbildung 11, Abbildung 12 und Abbildung 13).

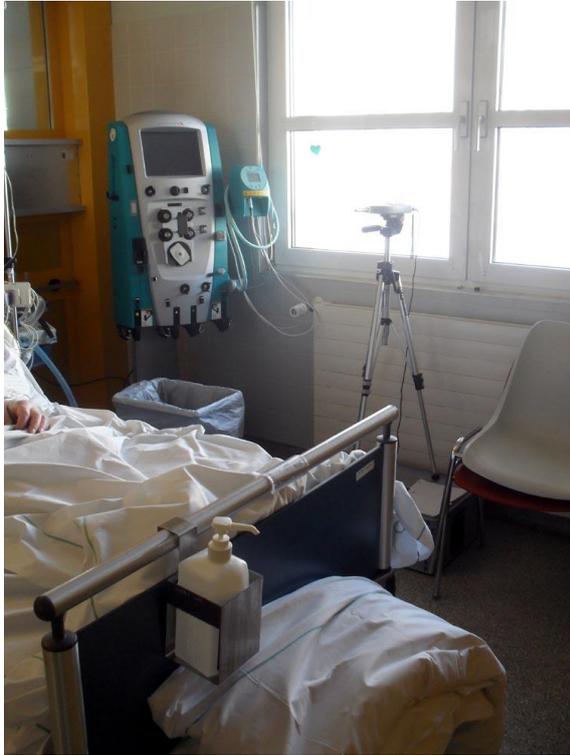


Abbildung 11: Messpunkt 4 – Ein-Bett-Zimmer



Abbildung 12: Messpunkt 5 – Drei-Bett-Zimmer



Abbildung 13: Messpunkt 6 – Vier-Bett-Zimmer

In Tabelle 3 werden alle Messungen zur Übersicht mit den dazugehörigen Messzeiten und Messorten dargestellt.

Messpunkt	Messart	Messort	Messzeit
1	Arbeitsplatz	Visitenbereich	07/01/2013 13 ⁵⁰ – 13/01/2013 14 ⁰⁰
2	Arbeitsplatz	Schwesternpult	13/01/2013 14 ¹⁵ – 19/01/2013 14 ⁰⁰
3	Arbeitsplatz	Pult Kojen-Bereich	19/01/2013 14 ¹⁵ – 25/01/2013 14 ⁰⁰
4	Patientenbereich	Ein-Bett-Zimmer	25/01/2013 14 ¹⁵ – 29/01/2013 14 ⁰⁰
5	Patientenbereich	Drei-Bett-Zimmer	29/01/2013 14 ³⁰ – 02/02/2013 14 ⁰⁰
6	Patientenbereich	Vier-Bett-Zimmer	02/02/2013 14 ³⁰ – 06/02/2ing 14 ⁰⁰

Tabelle 3: Übersicht Messorte und Messzeiten

In Abbildung 14 und Abbildung 15 wird ein Auszug des Grundrissplanes mit den jeweiligen Messorten gezeigt.

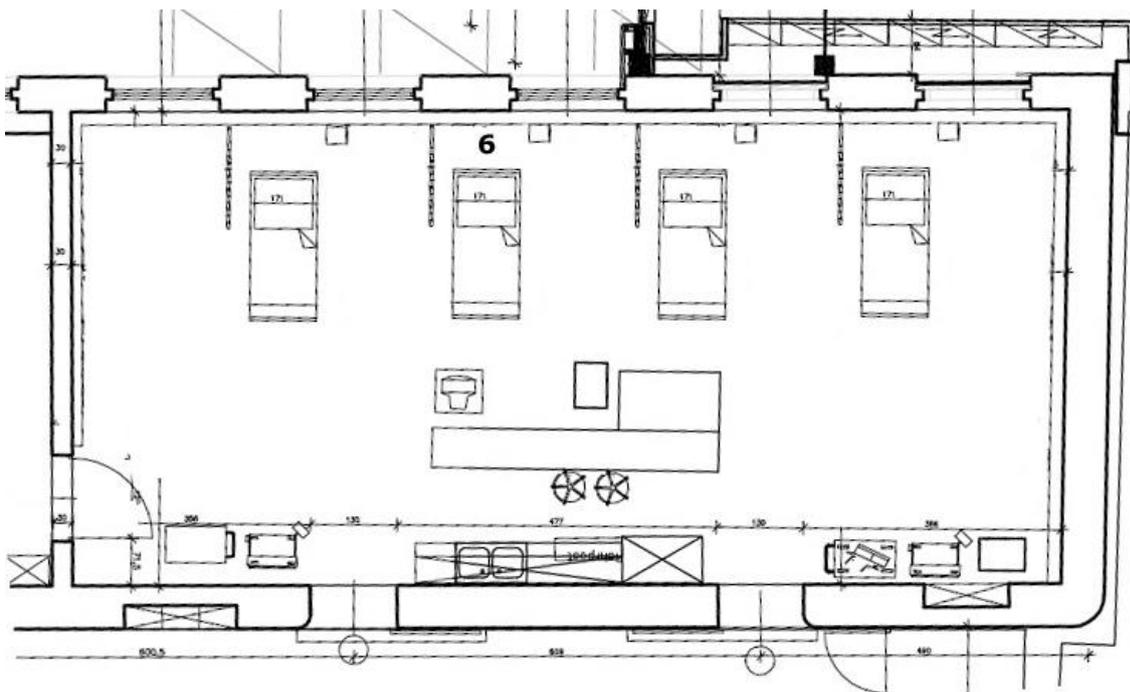


Abbildung 14: Grundrissplan der Intensivstation für Messpunkt 6

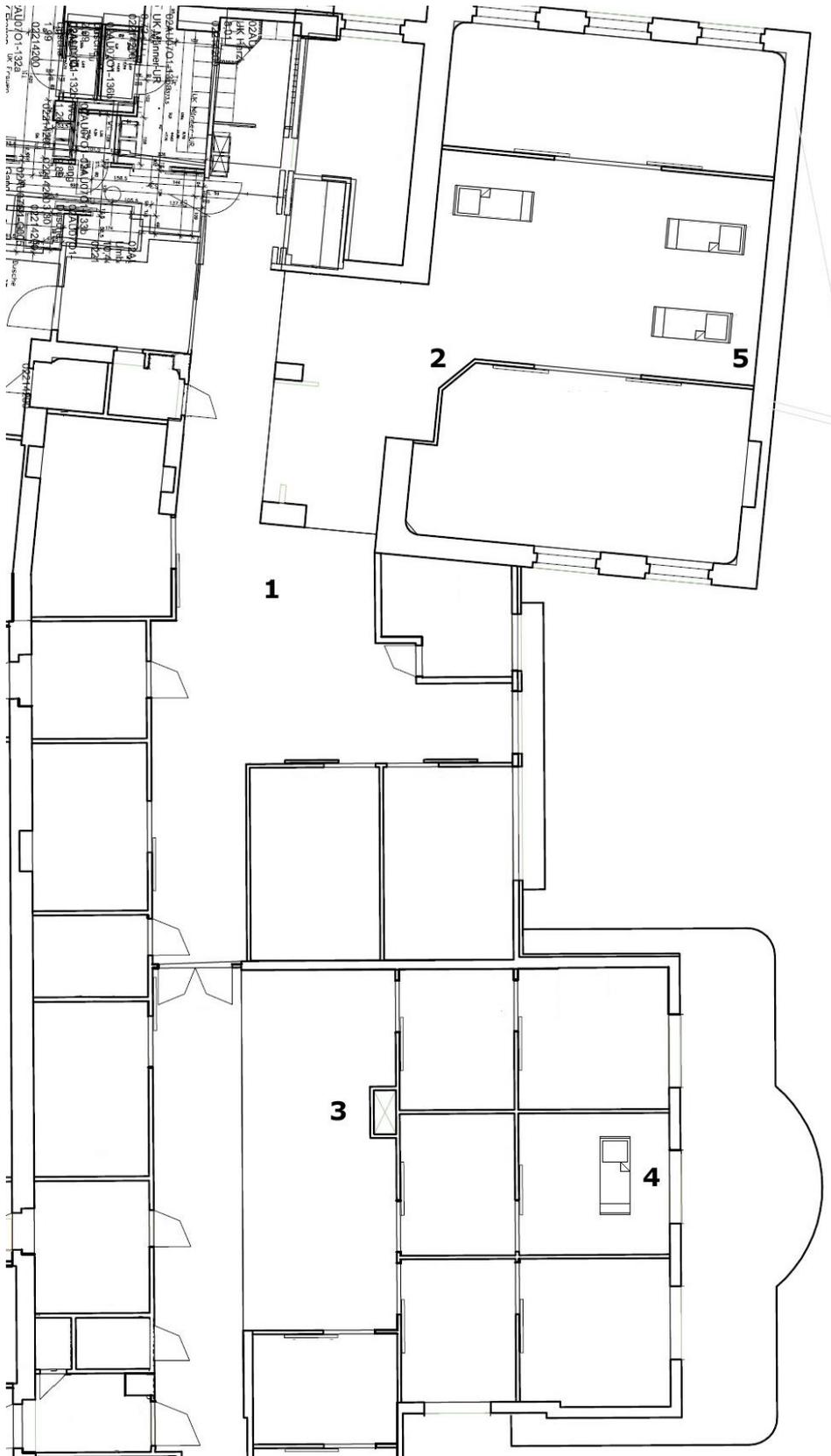


Abbildung 15: Grundrissplan der Intensivstation für Messpunkt 1 bis 5

4.4 Messkonzept

Die Messstrategie beruhte auf ortsfesten, mehrtägigen Ganztagesmessungen, wobei ein Messwert pro Sekunde aufgenommen wurde. Die Messdauer pro Messstelle betrug bei Arbeitsplatzmessungen sechs Tage, d.h. 144 Stunden, und bei Patientenbereichsmessungen vier Tage, d.h. 96 Stunden. In Abbildung 16 und Abbildung 17 wird der Messablauf zur besseren Übersicht graphisch dargestellt. In Abbildung 18 ist der Messablauf noch zusätzlich als Ablaufdiagramm dargestellt.

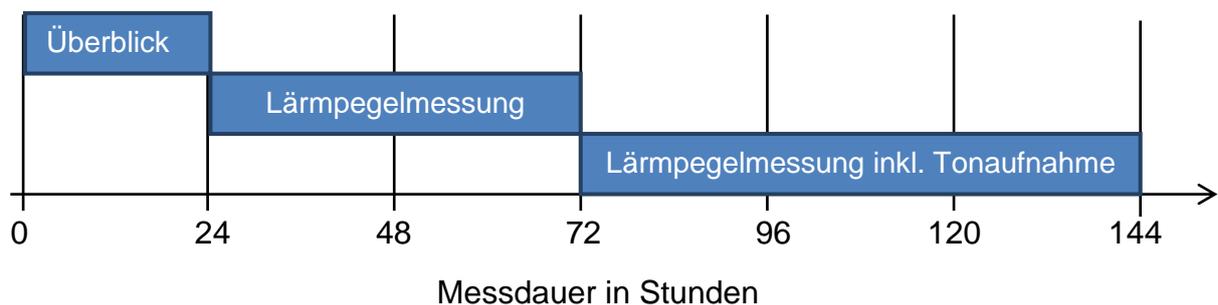


Abbildung 16: Messablauf pro Messpunkt bei Arbeitsplatzmessungen

Die ersten 24 Stunden der Messung pro Messstelle dienen zur Übersicht der Messwerte. Dies ist für die anschließende Auswertung und Berechnung wichtig, da so die Impulshaltigkeit bei der Arbeitsplatzmessung berücksichtigt werden kann und zusätzlich ein grober Überblick über den Messbereich entsteht. Falls sich nun die Abwerteten Maximalpegel bei der Anzeigedynamik „impulse“ um mindestens 2 dB von den Maximalpegeln bei der Anzeigedynamik „fast“ unterscheiden, muss bei der Arbeitsplatzmessung laut gesetzlicher Bestimmungen ein Zuschlag von 6 dB zum energieäquivalenten Dauerschallpegel erfolgen [15]. Dies war bei allen sechs Übersichtsmessungen der Fall. Daher wurde Impulshaltigkeit für alle Messpunkte und die gesamte Messdauer angenommen.

Im Gegensatz zur Arbeitsplatzmessung sind die darauffolgenden 48 Stunden bei der Patientenbereichsmessung nicht durchgeführt worden. Diese zwei zusätzlichen Messtage bei der Arbeitsplatzmessung dienen einerseits dazu, untypische Verhaltensweisen des Personals zu minimieren und die Besonderheit der Messsituation zu

verringern [12], andererseits müssen diese zwei Messstage bei bestimmten Bedingungen für die Auswertung berücksichtigt werden.

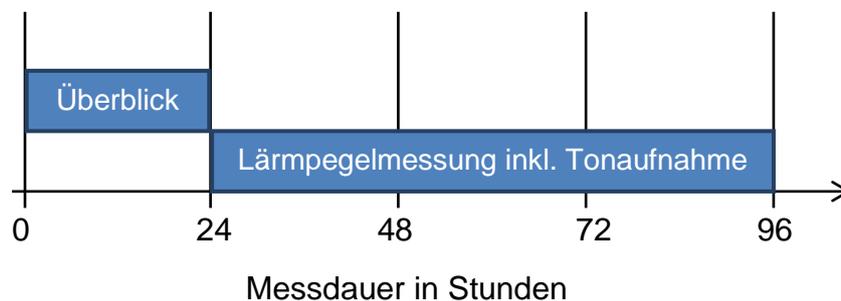


Abbildung 17: Messablauf pro Messpunkt bei Patientenbereichsmessungen

Die letzten 72 Stunden der Messung pro Messstelle sind bei der Arbeitsplatzmessung und Patientenbereichsmessung wieder ident. Diese drei Ganztagesmessungen sind nach EN ISO 9612:2009 für die Arbeitsplatzmessungen vorgegeben und wurden auch für die Patientenbereichsmessungen übernommen. Es handelt sich hierbei grundsätzlich um jene Messtage, die für die Auswertungen herangezogen werden. Falls sich allerdings die gewonnenen Ergebnisse dieser drei Messtage bei der Arbeitsplatzmessung um mehr als 3 dB unterscheiden [12], ist die bereits oben erwähnte Bedingung erfüllt und es müssen die vorherigen zwei Messtage, d.h. insgesamt fünf Messtage, berücksichtigt werden. Dies war nur einmal notwendig, und zwar am Vormittag bei Messpunkt 1.

Die Berechnung des energieäquivalenten Dauerschallpegels für den repräsentativen Arbeitstag als energetischen Mittelwert dieser drei bzw. fünf Messtage ist in Gleichung 4 angegeben:

$$L_{Aeq,Te} = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 * L_{Aeq,T,n}} \right) \quad (4)$$

Dabei ist

- $L_{Aeq,T,n}$ der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel für die Messwiederholung n ;
- n die Messwiederholung (Schallpegelmessung);
- N die Gesamtzahl der Messwiederholungen.

Jeder Messtag wurde zusätzlich in drei Abschnitte eingeteilt: Bereich „Vormittag“ von 6 bis 14 Uhr, Bereich „Nachmittag“ von 14 bis 22 Uhr und Bereich „Nacht“ von 22 bis 6 Uhr. Dies sollte ungefähr die Arbeitszeiten des Personals widerspiegeln und außerdem die Auswertung der Pegel vereinfachen (Mittelungszeit von 8 Stunden) und diese vergleichbarer machen.

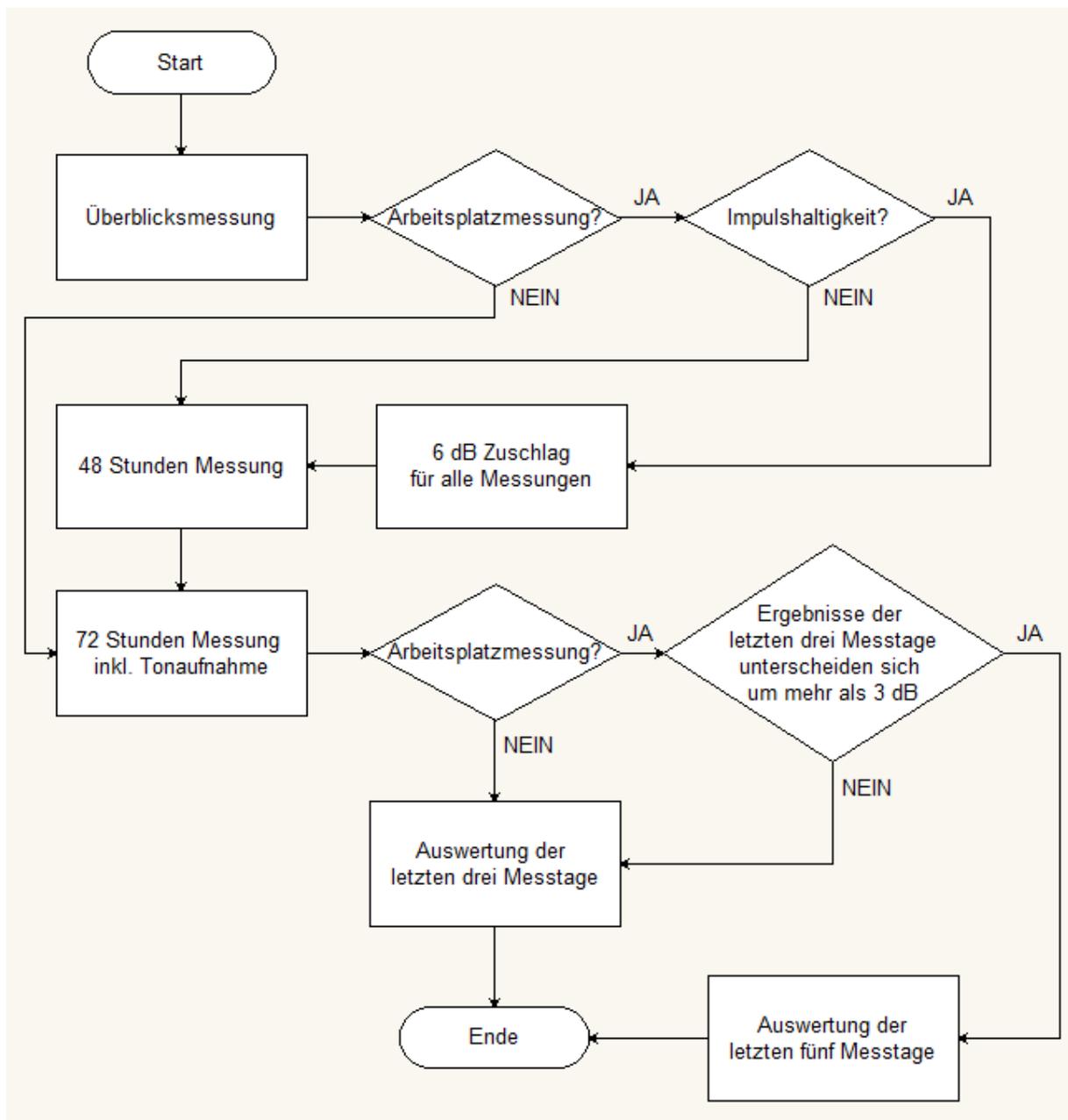


Abbildung 18: Ablaufdiagramm der Messungen pro Messort

Bei den letzten 3 Messtagen pro Messstelle wurde zusätzlich zum Schalldruckpegel auch noch der Raumklang mit Hilfe des USB-Mikrofons „Meteor Mic“ (Samson Tech-

nologies Corp., USA) aufgezeichnet. Dieses wurde zusammen mit einem Laptop in einer eigens dafür umgebauten Euro Box (siehe Abbildung 8) unter dem Schallpegelmessgerät untergebracht. Die Tonaufnahme und die Nachbearbeitung erfolgten dabei durch die Open-Source-Software Audacity (Audacity Team, USA).

Die ÖNORM EN ISO 9612:2009 empfiehlt, „*dass der Messtechniker die Messung direkt beobachtet oder dass andere vergleichbare effektive Maßnahmen ergriffen werden*“, um Einflüsse, „*die mit der typischen Geräuschexposition des Beschäftigten nichts zu tun haben*“, zu erkennen [12]. Dies sind absichtliche Beeinflussungen, wie zum Beispiel die Arbeit auf besonders laute Art und Weise auszuführen oder das Messgerät durch untypische Geräusche auszutesten [12]. Da es nicht möglich war, die Messungen rund um die Uhr direkt zu beobachten, wurde als Maßnahme die Tonaufnahme unter Absprache mit Vertretern von Pflegepersonal, Ärzten und Führungspersonal gewählt. Zusätzlich wurden regelmäßige Kontrollen durchgeführt und die Messbedingungen in einem Messprotokoll (siehe Kapitel 9.1) dokumentiert.

Aus Datenschutzgründen wurde das Audiosignal softwaretechnisch verzerrt (Absenkung der Tonhöhe um 40%), um Gespräche und Personen nicht mehr identifizieren zu können, aber trotzdem die verschiedenen Geräusche noch zuordnen zu können.

Bei Arbeitsplatzmessungen wurde eine Mikrofonhöhe von 1,5 m gemäß ÖNORM EN ISO 9612:2009 über dem Boden und bei Patientenbereichsmessungen 1,1 m bis 1,2 m über dem Boden gewählt. Die Mikrofonposition bei Patientenbereichsmessung sollte, wo dies auch möglich war, am Kopfende belegter Betten erfolgen.

Nachdem alle 6 Messpunkte abgearbeitet worden sind, wurde zuletzt der Schallpegel von vier medizinischen Geräten (zwei Beatmungsmaschinen, einer Infusionsspritzpumpe und einem Dialysegerät) im Alarmfall („Minutenvolumen hoch“, „CO₂ tief“, „Voralarm und Infusionsende“ und „Filtrationsbeutel voll“) gemessen. Die Beatmungsmaschine 1 und Infusionsspritzpumpe wurden im Lager bei einem Grundgeräuschpegel von 45 dB(A) gemessen und das Dialysegerät und die Beatmungsmaschine 2 wurden im Ein-Bett-Patientenzimmer bei einem Grundgeräuschpegel von 50 dB(A) aufgenommen. Dabei wurde ein Messabstand zu den Geräten von einem Meter gewählt.

4.5 Auswertung

Über 2,3 Millionen Messwerte wurden bei einer Gesamtmesszeit von 31 Tagen aufgenommen und mit Hilfe von Matlab (*The Mathworks Inc., Natick, USA*) ausgewertet. Zunächst wurden die Messdaten auf Plausibilität geprüft, um Verfälschungen bzw. absichtliche Beeinflussungen zu erkennen und diese aus den Daten zu filtern. Als Maßnahmen zur Sicherstellung der Plausibilität wurden Grenzwertkontrollen, Peak-detections und Trendanalysen gewählt.

Bei der ersten Strategie musste zunächst ein Grenzwert (siehe Tabelle 4) festgelegt werden, welcher Ausgangspunkt für die Kontrolle war. Jeder Wert, der über diesem Grenzwert lag, ist kontrolliert worden. Dazu wurden die Tonaufnahmen zu den entsprechenden Zeitpunkten angehört und die Ergebnisse dokumentiert.

Bereich	Uhrzeit	Grenzwerte [dB(A)]
-	-	
Vormittag & Nachmittag	6 bis 22 Uhr	75
Nacht	22 bis 1 Uhr	70
Nacht	1 bis 5 Uhr	65*
Nacht	5 bis 6 Uhr	70

Tabelle 4: Grenzwerte zur Kontrolle der Plausibilität; *falls notwendig, ansonsten 70 dB

Da eine „sichere Aufwachschwelle“ bei 70 dB(A) definiert ist (siehe Kapitel 3.4.1), wurde dieser Wert als Grenzwert in der Nacht (von 22 bis 6 Uhr) angenommen. Der Grenzwert für die restliche Zeit des Tages wurde bei 75 dB(A) festgelegt, da in diesem Bereich der energieäquivalente Dauerschallpegel im Durchschnitt um 5 dB(A) größer war. Während den Auswertungen zeigte sich zusätzlich, dass im Bereich von 1 bis 5 Uhr in der Nacht der Grenzwert von 70 dB(A) zu hoch angesetzt war. Dieser wurde daher in dieser Zeit auf 65 dB(A) reduziert, wobei dies bei Messpunkt 5 (Drei-Bett-Zimmer) aufgrund des erhöhten Grundgeräuschpegels nicht notwendig war.

Bei der zweiten Strategie, der **Peakdetection**, handelt es sich um eine rechenintensive Maßnahme. Es wurde zu jedem Zeitpunkt der energieäquivalente Dauerschallpegel von den vergangenen 5 Minuten mit dem energieäquivalenten Dauerschallpegel der nächsten 10 Sekunden verglichen (siehe Abbildung 16). Lag die Differenz der Pegel $L_{AFeq,5m}$ und $L_{AFeq,10s}$ über einen gewissen Wert (je nach Messort), wurden, wie zuvor, die Zeitpunkte angehört und die Ergebnisse dokumentiert.

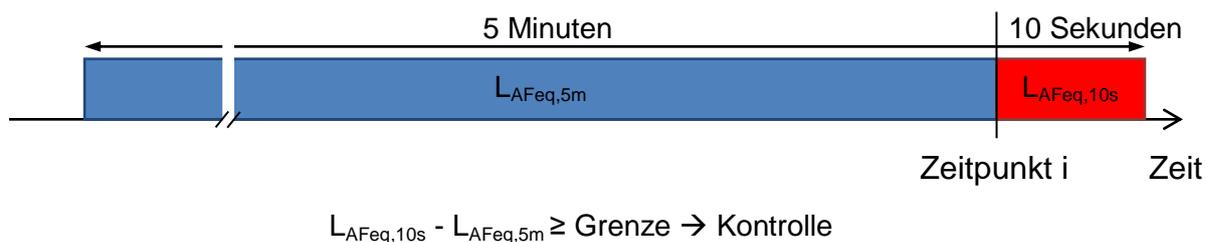


Abbildung 19: Prinzip der Peakdetection zu einem bestimmten Zeitpunkt i

Ausgegangen wurde von einem Grenzwert von 10 dB (siehe Abbildung 20). Falls nun für einen Messpunkt mehr als 750 zu kontrollierende Messwerte gewonnen wurden, wurde der Grenzwert um eins erhöht. Dies wurde solange wiederholt bis die Anzahl der zu kontrollierenden Messwerte unter 750 lag. Die Grenzwerte der Peakdetection lagen somit bei den Messpunkten 5 und 6 bei 10 dB, bei Messpunkt 2 bei 11 dB und bei den Messpunkten 1, 3 und 4 bei 13 dB.

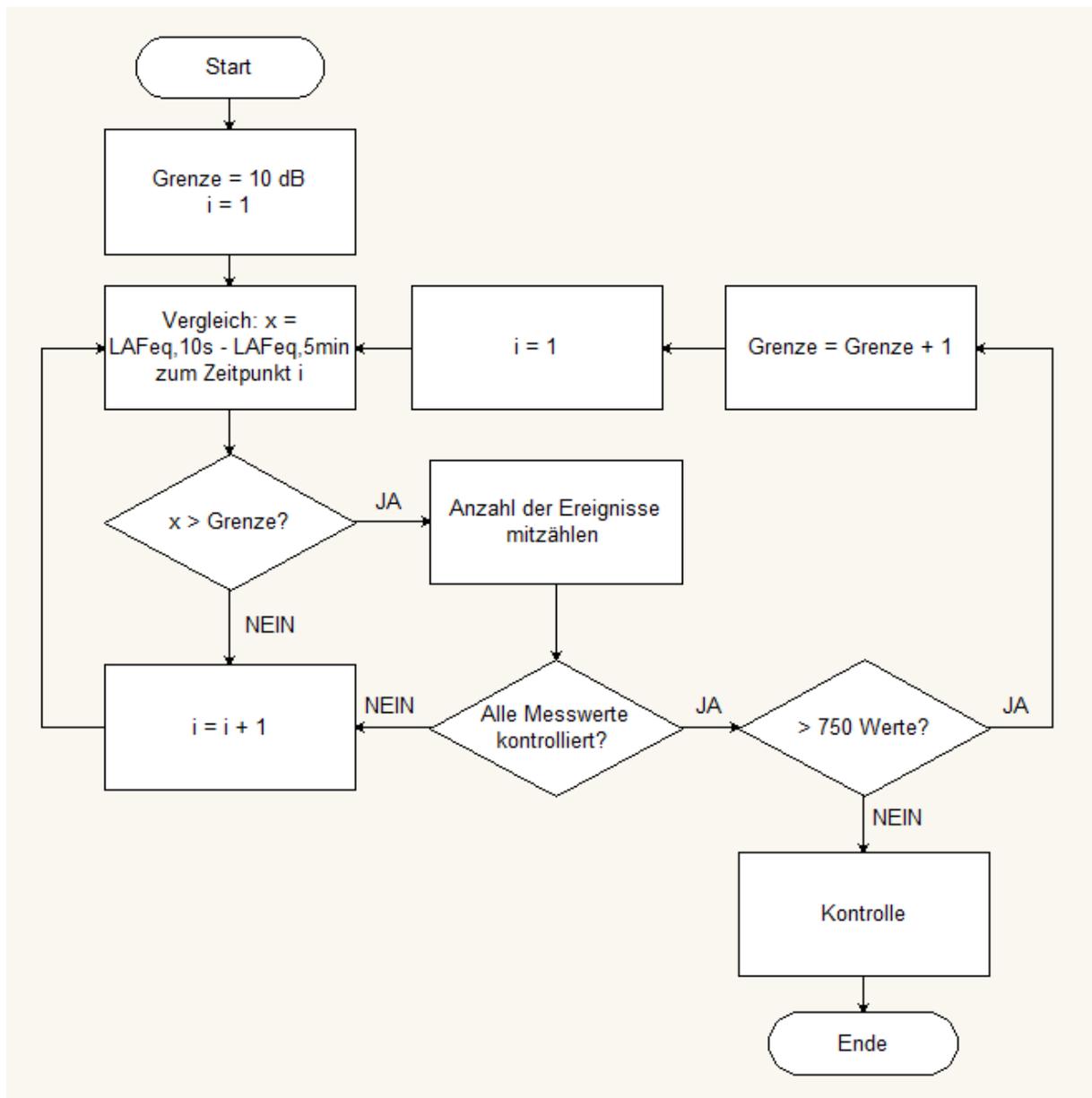


Abbildung 20: Ablaufdiagramm der Peakdetection pro Messpunkt

Danach wurde die Trendanalyse durchgeführt. Hierzu wurde der energieäquivalente Dauerschallpegel mit einer Mittelungszeit von zwei bzw. vier Stunden über die gesamte Messdauer berechnet und dargestellt. Es wurden dafür zwei Darstellungsvarianten gewählt. Die Dauerschallpegel wurden einerseits zeitlich nacheinander (siehe Abbildung 21 oben) und andererseits zeitlich gruppiert (siehe Abbildung 21 unten) dargestellt. Die Trendanalyse dient dazu, untypische Verhaltensweisen des Personals zu erkennen. Außerdem konnten dadurch unterschiedliche Trends, beispielsweise ob sich das Personal speziell am Anfang oder am Ende der Messreihe besonders auffällig verhalten hat, überprüft werden.

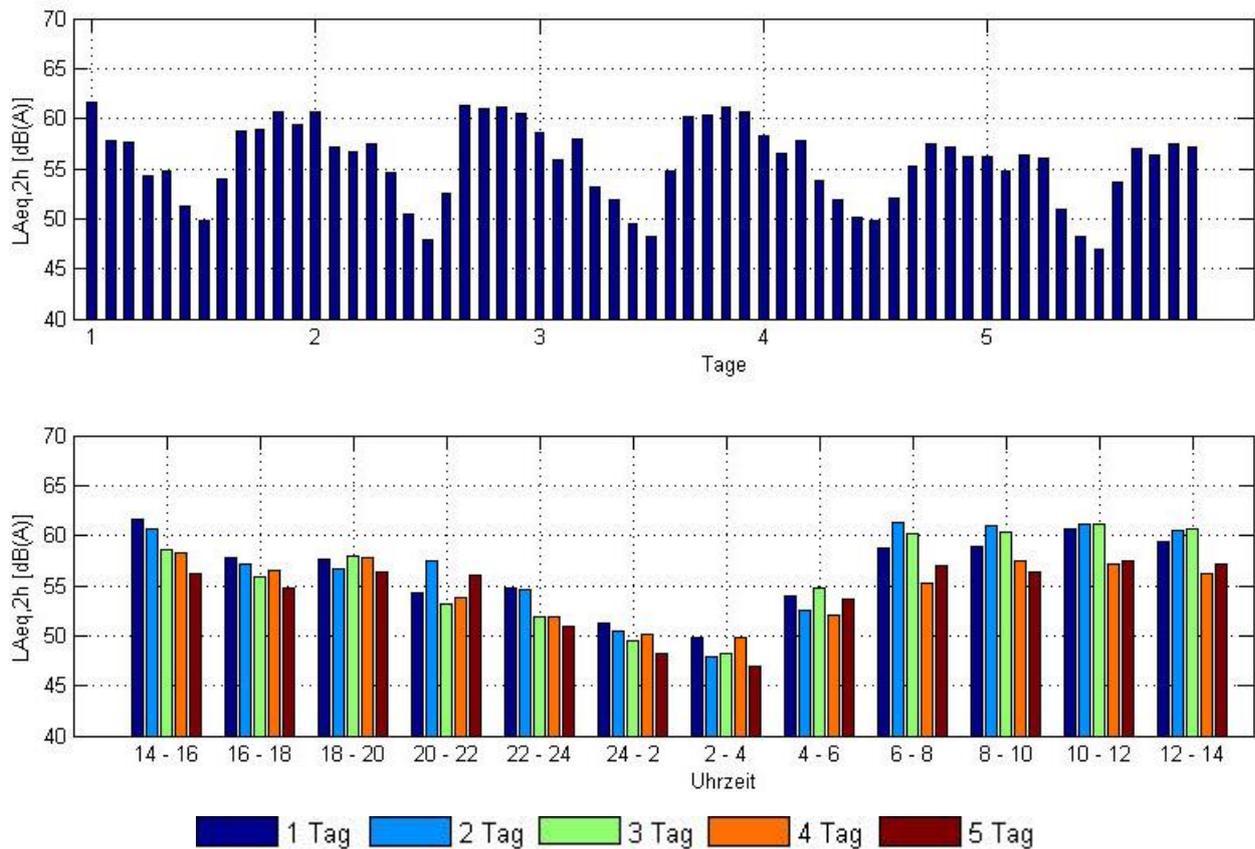


Abbildung 21: Trendanalyse vom Messpunkt 1 mit einer Mittelungszeit von jeweils 2 Stunden

Nachdem alle Maßnahmen zur Überprüfung auf Plausibilität durchgeführt wurden, begannen die Berechnungen aller notwendigen Pegel (siehe Kapitel 3.1.4 und 3.1.5). Um die Ergebnisse der Arbeit darstellen zu können, wurden zusätzlich der Schallpegelverlauf, die Lärmdichte, der stündliche Lärmpegel und eine Pareto-Analyse pro Messstelle ausgewertet und graphisch dargestellt.

4.6 Unsicherheitsquellen

Wesentliche Quellen für Unsicherheiten bei den Messungen sind [12]:

- Schwankungen der täglichen Arbeit, der Betriebsbedingungen (u_1)
- Messgeräte und Kalibrierung (u_2)
- Mikrofonposition (u_3)
- Störeinflüsse
- Beiträge untypischer Geräuschquellen

Die Schwankungen, die sich aus Punkt a) ergeben, hängen von der Komplexität der Arbeitssituation ab. Da das Messkonzept auf ortsfesten mehrtägigen Ganztagesmessungen beruhte und alle in der ÖNORM EN ISO 9612:2009 geforderten Bedingungen erfüllt wurden, sind diese Unsicherheiten relativ gering mit Ausnahme von Messpunkt 4 beim Ein-Bett-Patientenzimmer. Diese werden durch die Standardunsicherheit u_1 in Gleichung 5 berücksichtigt.

Punkt b) hängt von der Mikrofonbefestigung und der Genauigkeitsklasse von Messgerät und Kalibrator ab. Das bei den Messungen verwendete Messgerät entspricht der höchstmöglichen Genauigkeitsklasse 1. Vor jeder Messung wurde die im Messgerät integrierte Vor-Ort-Kalibrierung durchgeführt. Die Unsicherheitsquelle „Messgerät“ wird durch die Standardunsicherheit u_2 in Gleichung 5 berücksichtigt und beträgt in für Geräte der Klasse 1 nach der oben angeführten Norm 0,7 dB.

Die Unsicherheit durch die Mikrofonposition von Punkt c) wird wieder in Gleichung 5 durch die Standardunsicherheit u_3 berücksichtigt und beträgt nach der oben angegebenen Norm 1,0 dB.

Die in Punkt d) erwähnten Störeinflüsse, wie zum Beispiel Wind, Luftströmungen und Anschlagimpulse am Mikrofon, können aufgrund der ortsfesten Innenmessung weitgehend ausgeschlossen werden.

Die Beiträge untypischer Geräuschquellen aus Punkt e) können aufgrund der umfangreichen Kontrollen durch die Grenzwertkontrollen, den Peakdetections und den Trendanalysen ebenfalls weitgehend ausgeschlossen werden. Gefundene untypische Geräuschquellen wurden vor den Auswertungen herausgefiltert.

In Gleichung 5 ist die kombinierte Standardunsicherheit für den A-bewerteten Lärmexpositionspegel L_{Aeq} angegeben [12]:

$$u^2(L_{Aeq}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2) \quad (5)$$

Dabei ist

- $u^2(L_{Aeq})$ die kombinierte Standardunsicherheit des Lärmexpositionspegels L_{Aeq} ;
- c_1 der Empfindlichkeitskoeffizient verbunden mit der Schallpegelerfassung;
- c_2 der Empfindlichkeitskoeffizient verbunden mit der Messgerätetechnik, $c_2 = 1$;
- u_1 die Standardabweichung des energetischen Mittelwertes einer Anzahl von ermittelten A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegeln;
- u_2 die Standardunsicherheit aufgrund des Messgerätes;
- u_3 die Standardunsicherheit aufgrund der Mikrofonposition.

Die Standardabweichung u_1 wird dabei wie folgt berechnet [12]:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[\sum_{n=1}^N (L_{Aeq,T,n} - \bar{L}_{Aeq,T})^2 \right]} \quad (6)$$

Dabei ist

- u_1 die Standardabweichung des energetischen Mittelwertes einer Anzahl von ermittelten A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegeln;
- N die Gesamtzahl der Messwiederholungen;
- $L_{Aeq,T,n}$ der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel für die Messung n ;
- $\bar{L}_{Aeq,T}$ der arithmetische Mittelwert aus N Messwerten des A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegels;

Nachdem die Standardabweichung u_1 berechnet ist, kann der Unsicherheitsbeitrag $c_1 * u_1$ aus einer Tabelle in der ÖNORM EN ISO 9612:2009 genommen werden. [12]

Die erweiterte Unsicherheit ergibt sich zu $U = 1,65 * u$. Dabei wird ein einseitiger Vertrauensbereich mit einer Aussagewahrscheinlichkeit von 95 % betrachtet. Das bedeutet, dass 95 % der Werte unter der oberen Grenze, $L_{AFeq} + U$, liegen. [12]

Messpunkt	Bereich	Lärmexpositionspegel L_{AFeq} [dB]	u_I [dB]	$u_I * c_I$ [dB]	Erweiterte Unsicherheit U [dB]
1	Vormittag	59,3	2,02	1,7	3,5
	Nachmittag	56,6	0,56	0,65	2,3
	Nacht	51,2	0,59	0,7	2,3
2	Vormittag	60,9	1,23	2,1	4
	Nachmittag	59,7	0,36	0,4	2,1
	Nacht	55,4	0,39	0,5	2,2
3	Vormittag	58,6	1,15	1,9	3,7
	Nachmittag	56,2	0,59	0,8	2,4
	Nacht	50	0,52	0,6	2,2
4	Vormittag	59,7	1,75	3,9	6,7
	Nachmittag	55,2	2,18	6,2	10,4
	Nacht	50,8	1,71	3,7	6,4
5	Vormittag	61,8	0,4	0,5	2,2
	Nachmittag	61,1	0,23	0,3	2,1
	Nacht	60,6	0,73	0,8	2,4
6	Vormittag	59,2	1,34	2,2	4,2
	Nachmittag	57,8	1,04	1,6	3,3
	Nacht	55,6	1,2	2	3,9

Tabelle 5: Messergebnisse als Dauerschallpegel mit dazugehöriger erweiterter Unsicherheit

In Tabelle 5 ist die erweiterte Unsicherheit pro Messstelle und Messbereich berechnet worden. Bei Messpunkt 4, dem Ein-Bett-Patientenzimmer, kam es aufgrund der größeren Schwankungen zwischen den einzelnen Messtagen und Bereichen zu einer höheren Unsicherheit im Vergleich zu den anderen Messorten.

5 Ergebnisse

Der Verlauf des Schalldruckpegels wird jeweils für die letzten 24 Stunden pro Messpunkt dargestellt (siehe Abbildung 22, Abbildung 25, Abbildung 28,). Der angegebene Dauerschallpegel (rot) ist hingegen der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel als energetischer Mittelwert (siehe Gleichung 4) aus den letzten 3 Mess Tagen je Messbereich (mit der bereits erwähnten Ausnahme bei Messpunkt 1 im Bereich Vormittag). Bei der Darstellung des Schalldruckpegelverlaufs ist bei den Patientenbereichen (siehe Abbildung 31, Abbildung 34 und Abbildung 37) zusätzlich die „sichere Aufwachschwelle“ von 70 dB(A) (grün) angegeben.

Bei den Arbeitsplatzmessungen werden der Beurteilungspegel und bei den Patientenbereichsmessungen der Dauerschallpegel, welche beide in blauer Farbe dargestellt sind, mit einer Mittelungszeit von einer Stunde angegeben (siehe Abbildung 24, Abbildung 27, Abbildung 30, Abbildung 33, Abbildung 36 und Abbildung 39). Die Pegel sind dabei die Mittelwerte der letzten drei Messtage. Zusätzlich sind hier noch die Werte der einzelnen Messtage pro Stunde mit einem X eingezeichnet. Die Messpunkte wurden zur besseren und übersichtlicheren Darstellung verbunden. Der interpolierte Linienvverlauf ist außerhalb der Messpunkte nicht aussagekräftig.

Bei den Arbeitsplatz- und Patientenmessungen wird zusätzlich noch eine weitere Darstellungsform verwendet: die sogenannte Lärmdichte. Diese gibt an, wie oft pro Stunde der Schalldruckpegel von 70 dB(A) und somit die „sichere Aufwachschwelle“ überschritten wurde. Dabei müssen zwischen Überschreitungen mindestens zwei Minuten liegen, sonst werden diese als nur eine Überschreitung gezählt. Die angegebenen Werte (blau) sind wiederum die Mittelwerte pro Stunde der letzten drei Messtage. Die Maximal- und Minimalwerte pro Stunde (schwarz) sind zusätzlich angegeben (siehe Abbildung 23, Abbildung 26, Abbildung 29, Abbildung 32, Abbildung 35 und Abbildung 38).

In Tabelle 6, Tabelle 7, Tabelle 8, Tabelle 9, Tabelle 10 und Tabelle 11 werden die energieäquivalenten Dauerschallpegel, die Minimal- und Maximalpegel und gegebenenfalls die Beurteilungspegel pro Messart und Messzeitbereich zur Übersicht der Messstellen angeführt.

5.1 Ergebnisse der Plausibilitätsprüfung

Durch die Grenzwertkontrollen konnten über 1850 Ereignisse überprüft werden. Mit den darauffolgenden Peakdetections konnten wiederum knapp 400 unterschiedliche Ereignisse mit über 3500 Messwerten nachgeprüft werden. Bei den Trendanalysen sind keine speziellen Trends zu Beginn oder Ende der Messungen erkennbar.

Aufgrund dieser drei Auswertestrategien (Grenzwertkontrolle, Peakdetection und Trendanalyse) konnten 9 Ereignisse – dies entspricht ca. 4 ‰ der insgesamt untersuchten Ereignisse – mit untypischer Geräuschexposition erkannt und damit ca. 67 Messwerte ausgeschlossen werden. Bei sämtlichen dieser herausgefilterten Daten handelte es sich um absichtliche Verfälschungen durch das Personal.

5.2 Messpunkt 1: Visitenbereich

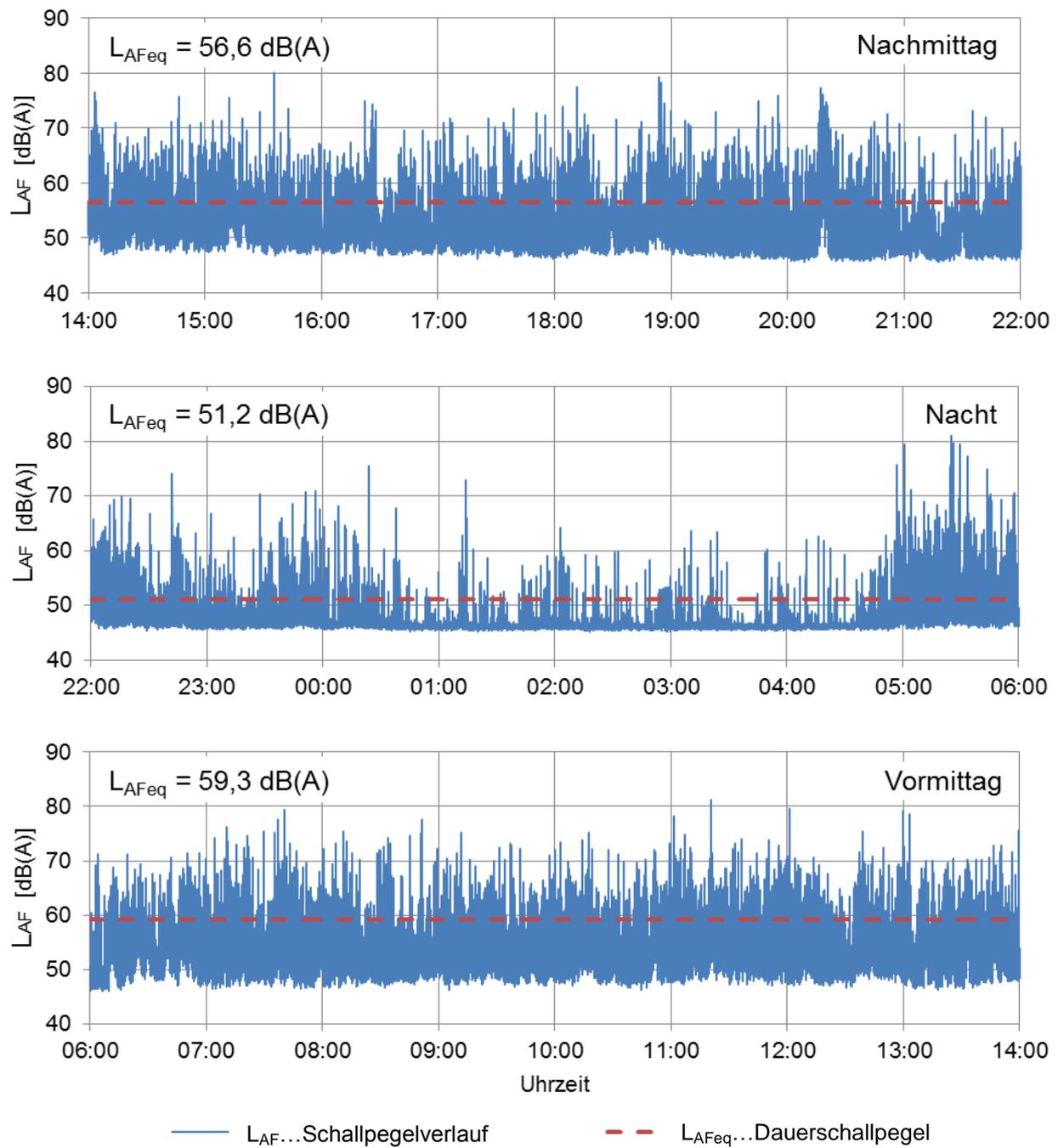


Abbildung 22: Repräsentativer Verlauf des Schalldruckpegels für Messpunkt 1: Visitenbereich
Vgl. [6]

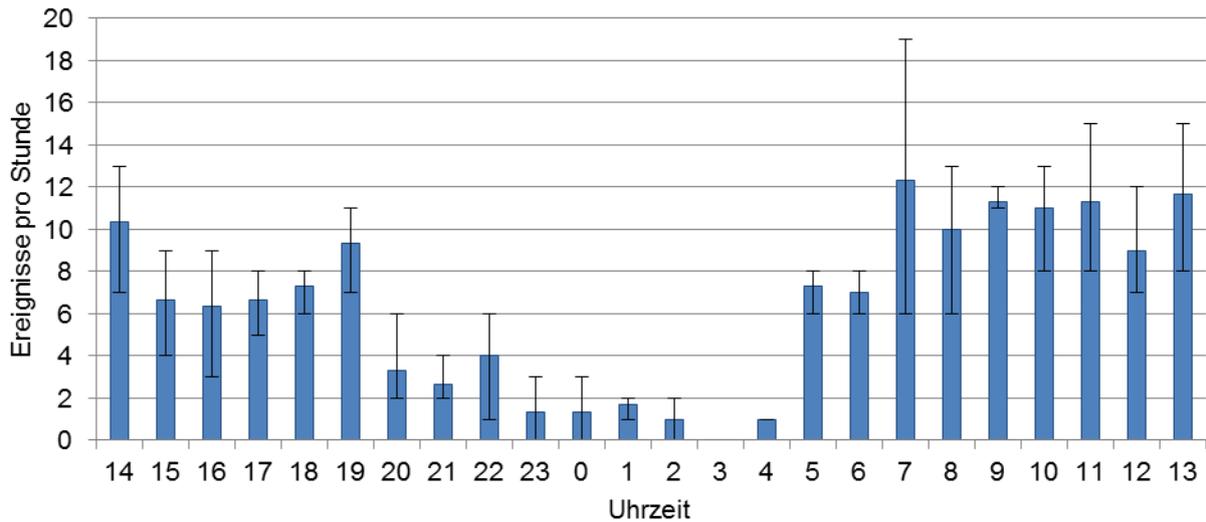


Abbildung 23: Lärmimpulse im Visitenbereich über 70 dB(A), bezogen auf jeweils eine Stunde, Vgl. [6]

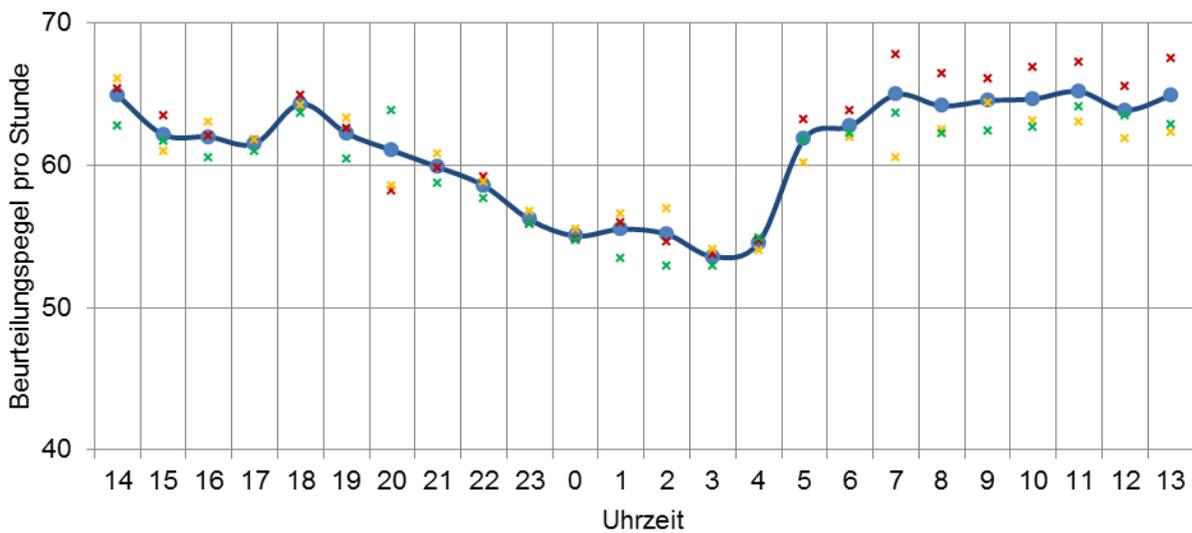


Abbildung 24: Stündlicher Mittelwert des Beurteilungspegels beim Visitenbereich inkl. Messwerte der einzelnen Messstage

Zeitbereich	Energieäquivalenter Dauerschallpegel L_{AFeq}	Minimal-pegel L_{AFmin}	Maximal-pegel L_{AFmax}	Beurteilungspegel L_{Ar}
Nachmittag	56,6	45,1	83,1	62,6
Nacht	51,2	45	81,1	57,2
Vormittag	59,3	46	88,3	65,3

Tabelle 6: Gemessene und berechnete Pegel beim Visitenbereich in dB(A)

5.3 Messpunkt 2: Schwesternpult

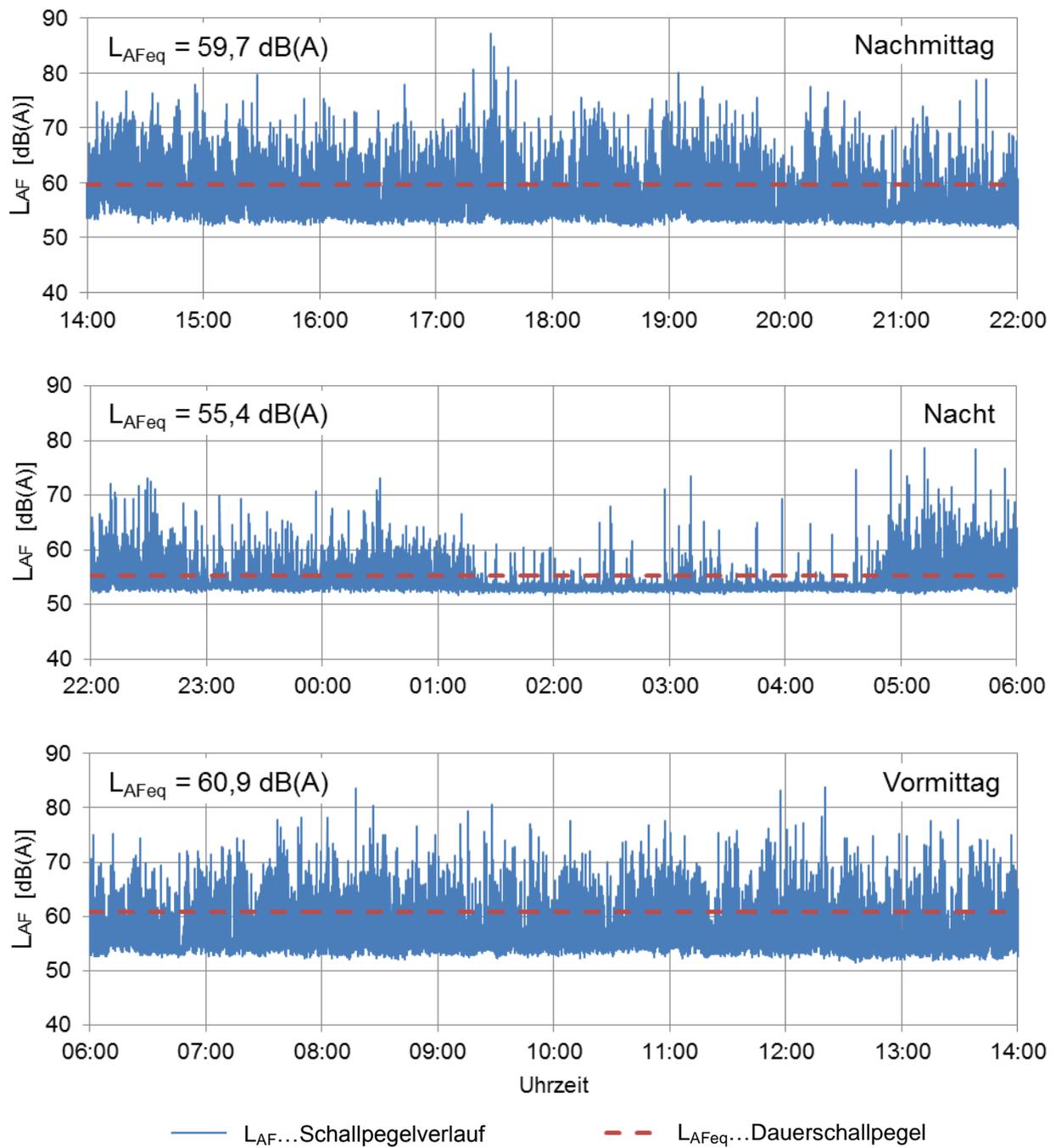


Abbildung 25: Repräsentativer Verlauf des Schalldruckpegels für Messpunkt 2: Schwesternpult
Vgl. [6]

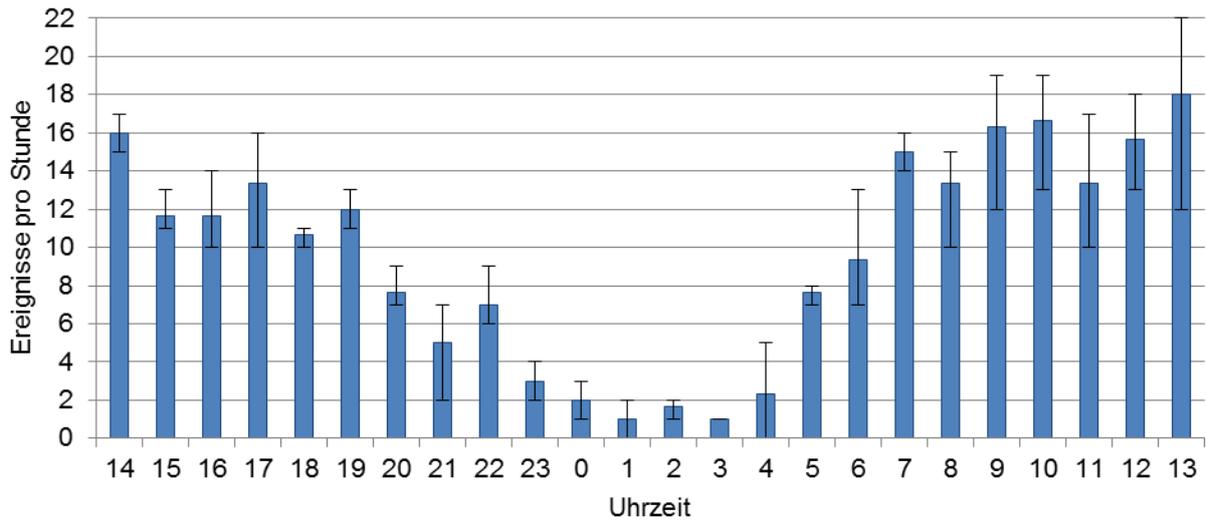


Abbildung 26: Lärmimpulse beim Schwesternpult über 70 dB(A), bezogen auf jeweils eine Stunde, Vgl. [6]

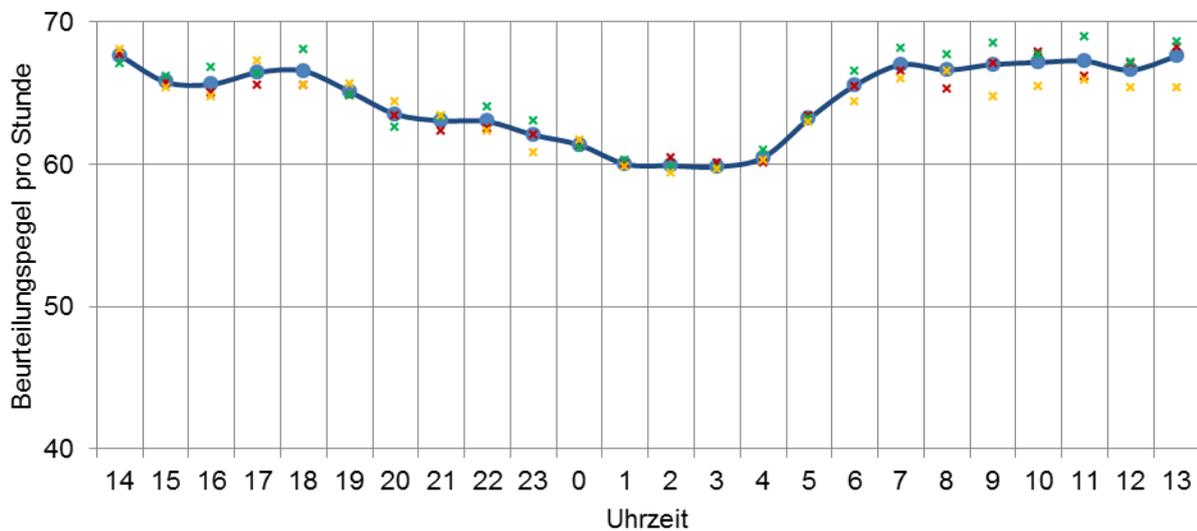


Abbildung 27: Stündlicher Mittelwert des Beurteilungspegels im Bereich Schwesternpult inkl. Messwerte der einzelnen Messtage

Zeitbereich	Energieäquivalenter Dauerschallpegel L_{AFeq}	Minimalpegel L_{AFmin}	Maximalpegel L_{AFmax}	Beurteilungspegel L_{Ar}
Nachmittag	59,7	48,5	88,1	65,7
Nacht	55,4	51,3	80,9	61,4
Vormittag	60,9	51	87,2	66,9

Tabelle 7: Gemessene und berechnete Pegel im Bereich Schwesternpult in dB(A)

5.4 Messpunkt 3: Pult Kojen-Bereich

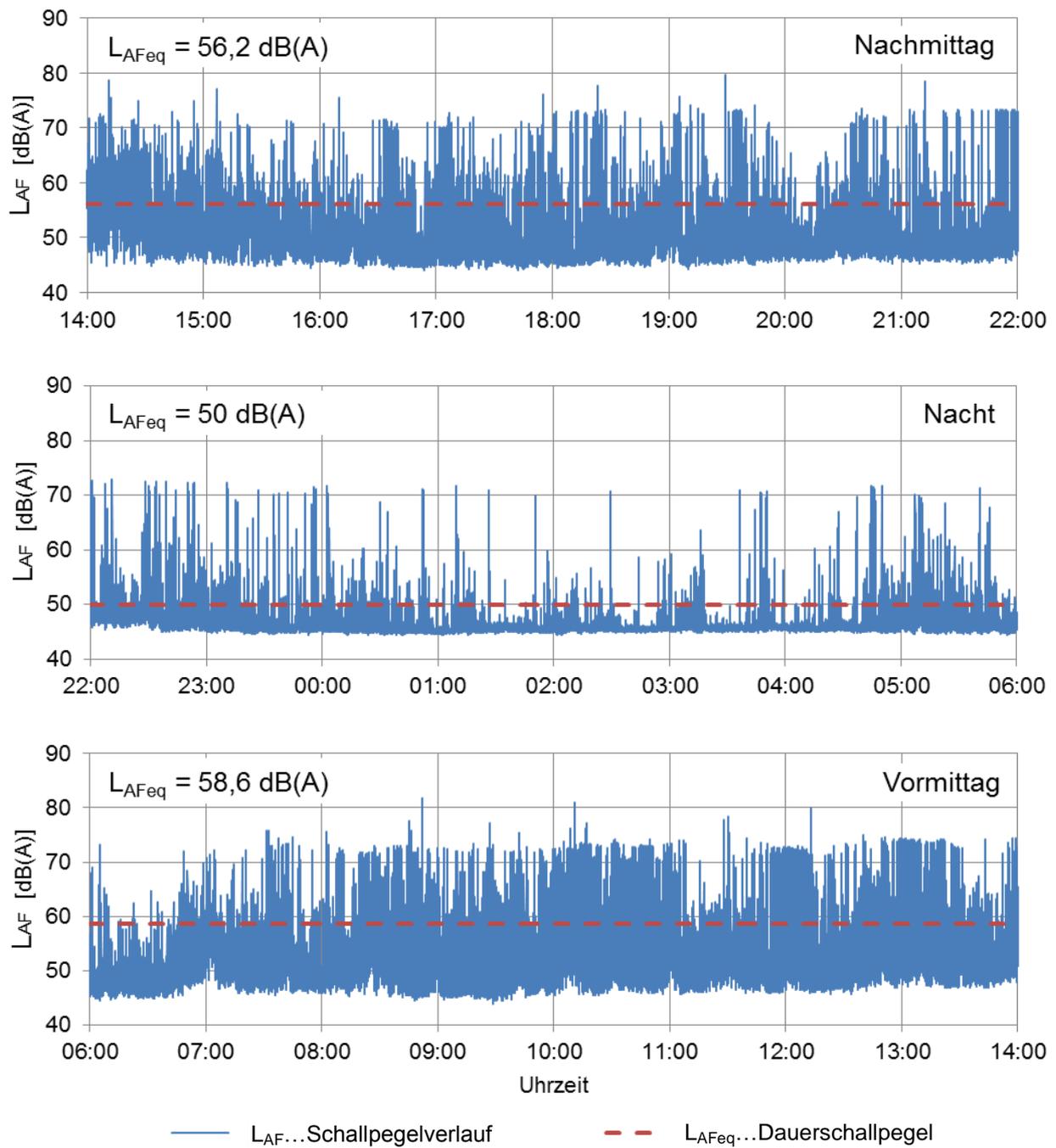


Abbildung 28: Repräsentativer Verlauf des Schalldruckpegels für Messpunkt 3: Pult Kojen-Bereich
Vgl. [6]

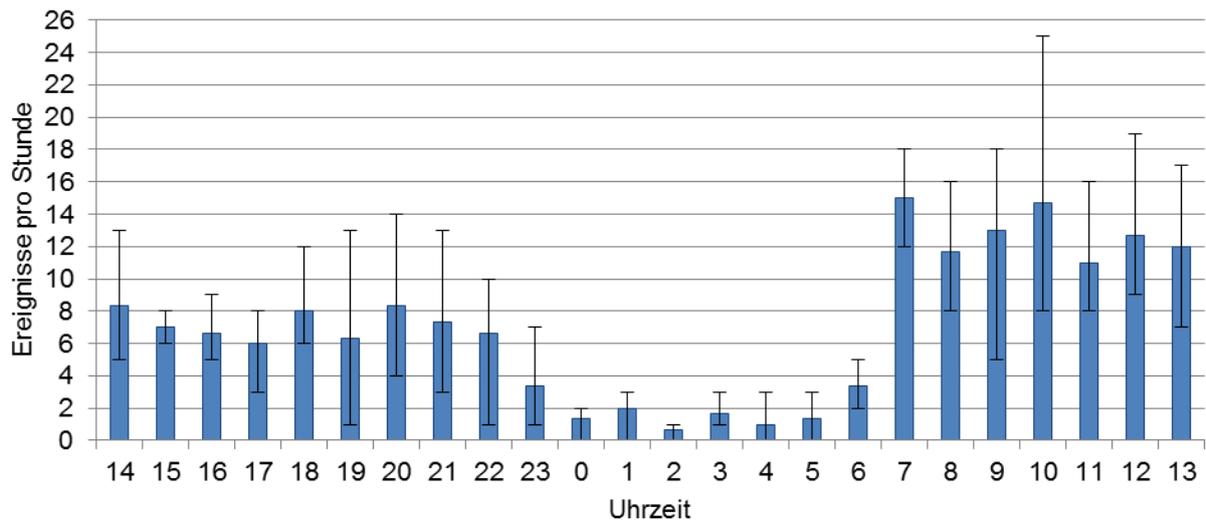


Abbildung 29: Lärmimpulse im Bereich der Kojen über 70 dB(A), bezogen auf jeweils eine Stunde, Vgl. [6]

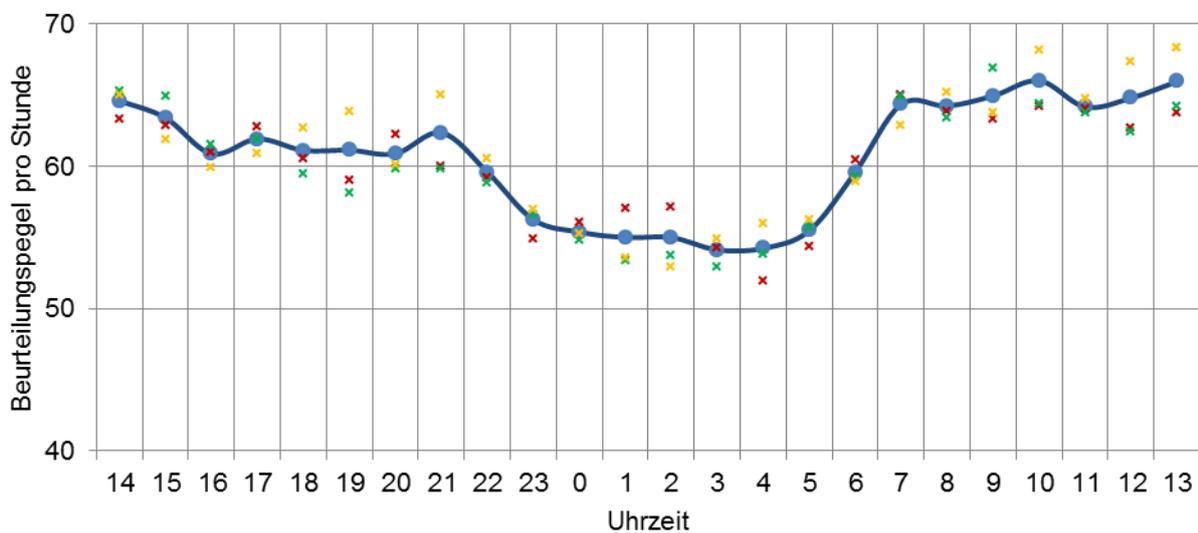


Abbildung 30: Stündlicher Mittelwert des Beurteilungspegels im Bereich des Pultes der Kojen inkl. Messwerte der einzelnen Messtage

Zeitbereich	Energieäquivalenter Dauerschallpegel L_{AFeq}	Minimalpegel L_{AFmin}	Maximalpegel L_{AFmax}	Beurteilungspegel L_{Ar}
Nachmittag	56,2	43,9	79,6	62,2
Nacht	50	43,1	74,6	56
Vormittag	58,6	43,5	81,8	64,6

Tabelle 8: Gemessene und berechnete Pegel im Bereich des Pultes der Kojen in dB(A)

5.5 Messpunkt 4: Ein-Bett Patientenzimmer

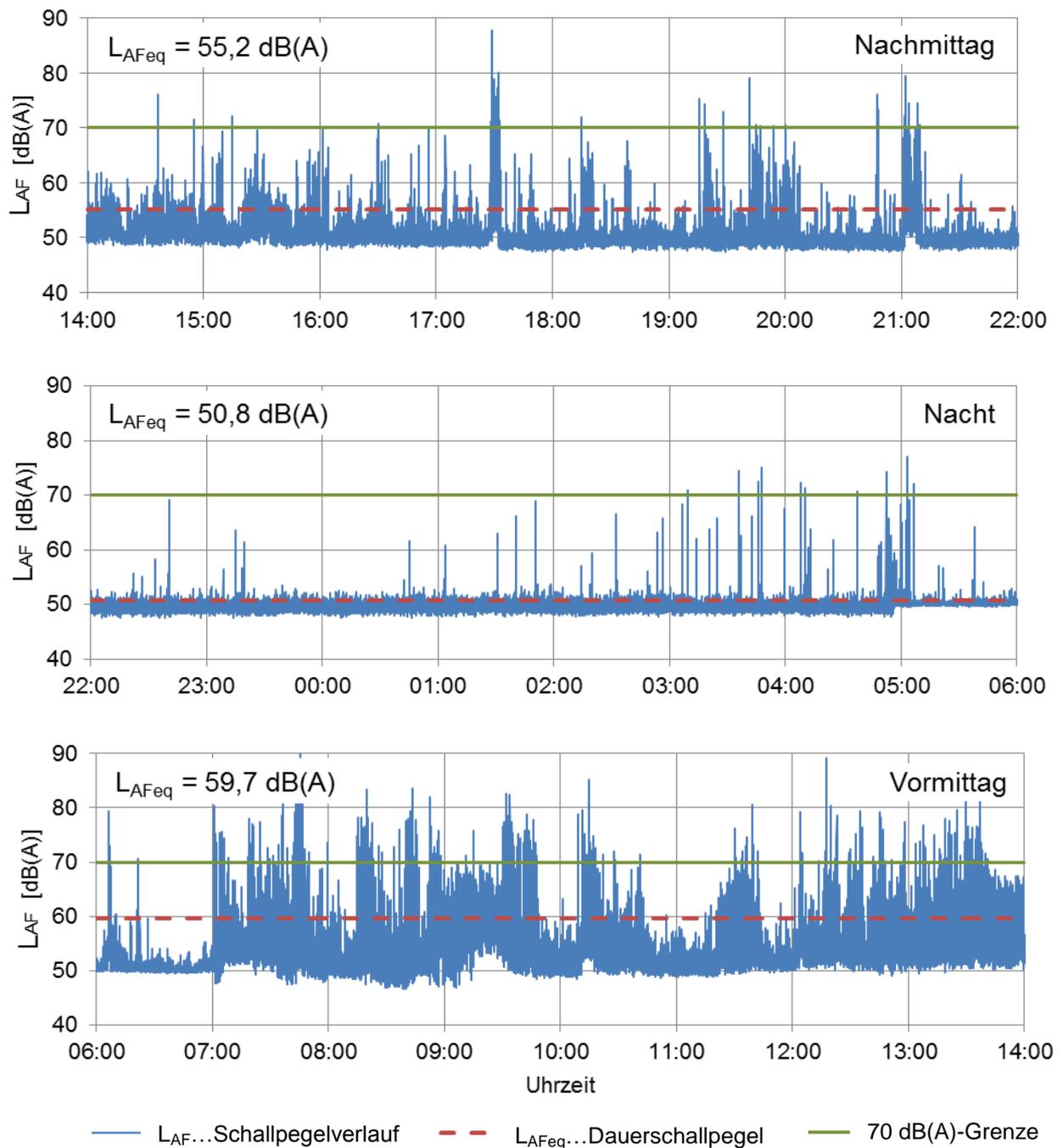


Abbildung 31: Repräsentativer Verlauf des Schalldruckpegels für Messpunkt 4: Ein-Bett Patientenzimmer
Vgl. [6]

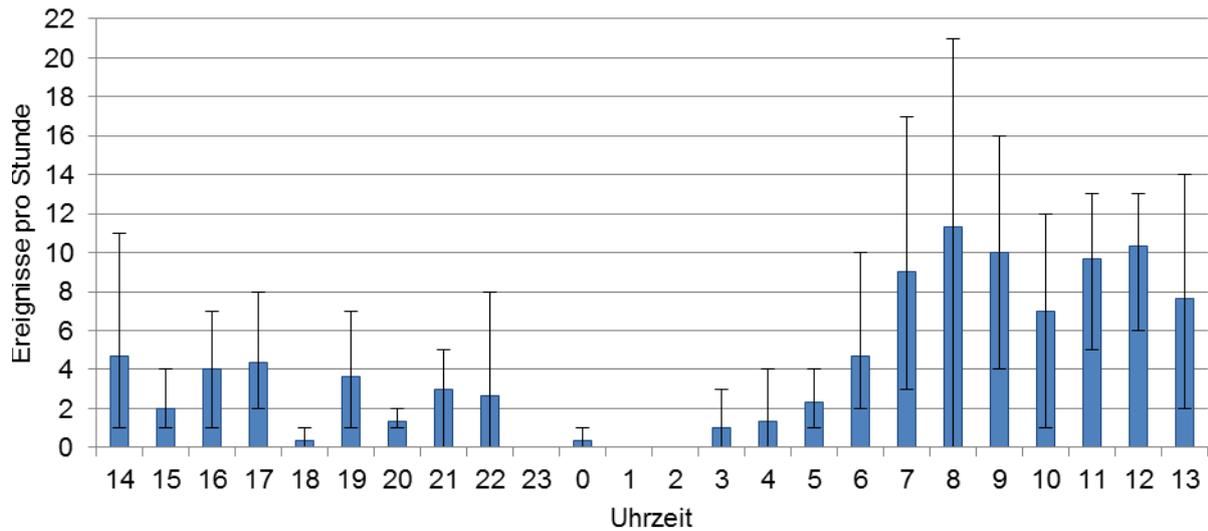


Abbildung 32: Lärmimpulse im Ein-Bett-Patientenzimmer über 70 dB(A), bezogen auf jeweils eine volle Stunde, Vgl. [6]

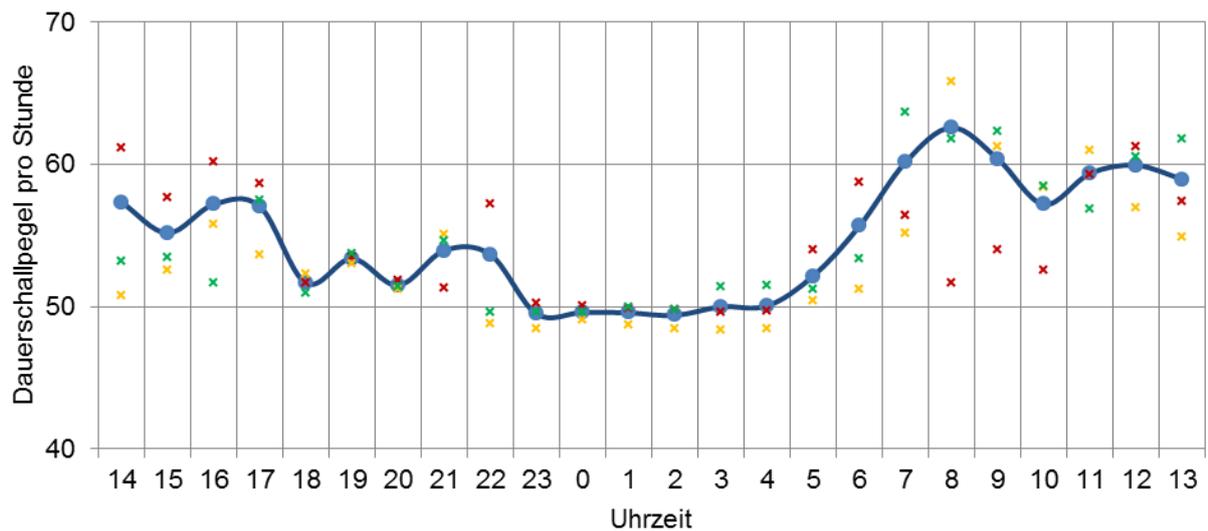


Abbildung 33: Stündlicher Mittelwert des Dauerschallpegels im Ein-Bett-Patientenzimmer inkl. Messwerte der einzelnen Messtage

Zeitbereich	Energieäquivalenter Dauerschallpegel L_{AFeq}	Minimalpegel L_{AFmin}	Maximalpegel L_{AFmax}
Nachmittag	55,2	47,4	90,1
Nacht	50,8	46,9	80,8
Vormittag	59,7	46,6	90,3

Tabelle 9: Gemessene und berechnete Pegel für das Ein-Bett Patientenzimmer in dB(A)

5.6 Messpunkt 5: Drei-Bett-Patientenzimmer (Patientenplatz Bett 5)

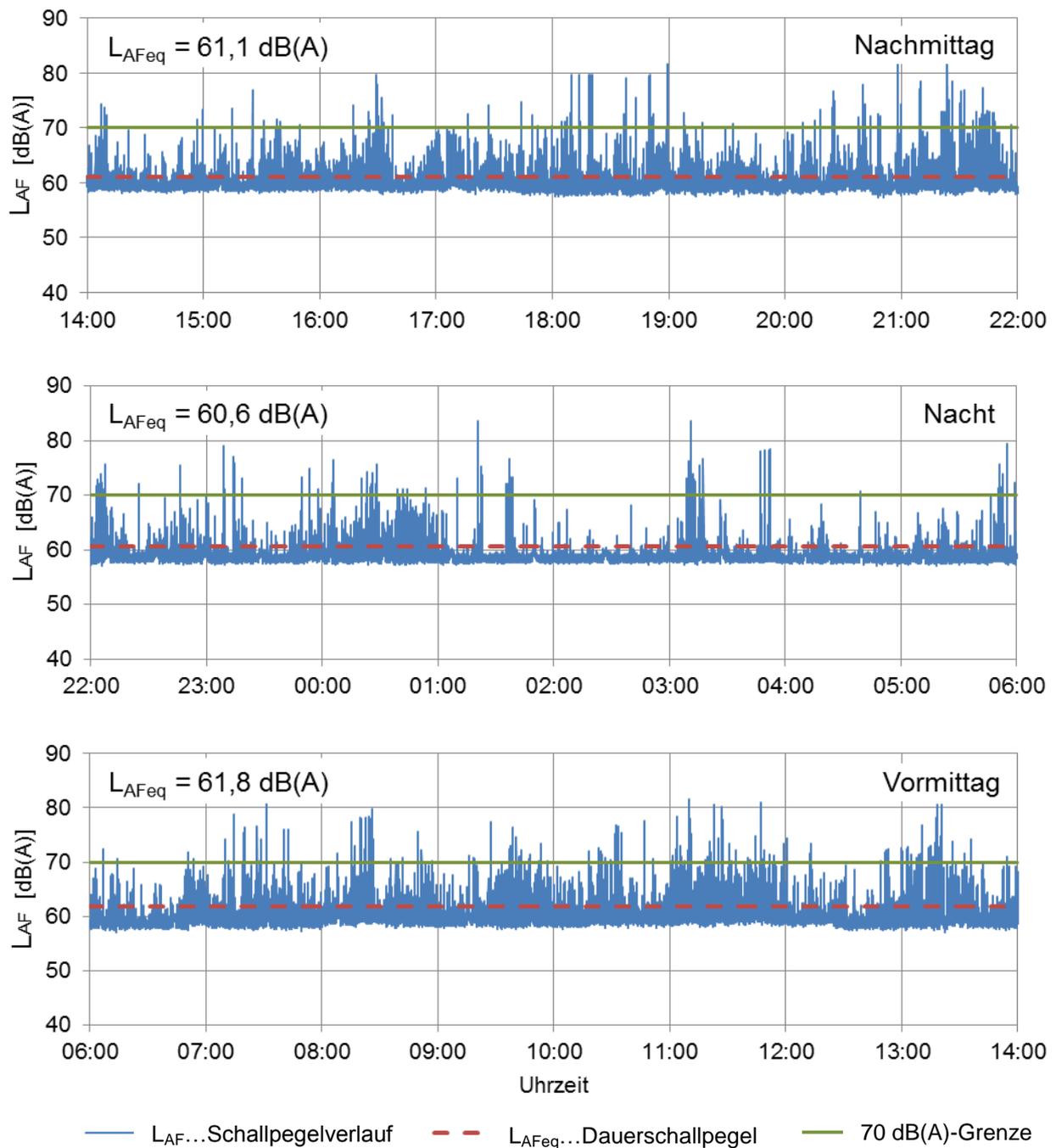


Abbildung 34: Repräsentativer Verlauf des Schalldruckpegels für Messpunkt 5: Drei-Bett Patientenzimmer
Vgl. [6]

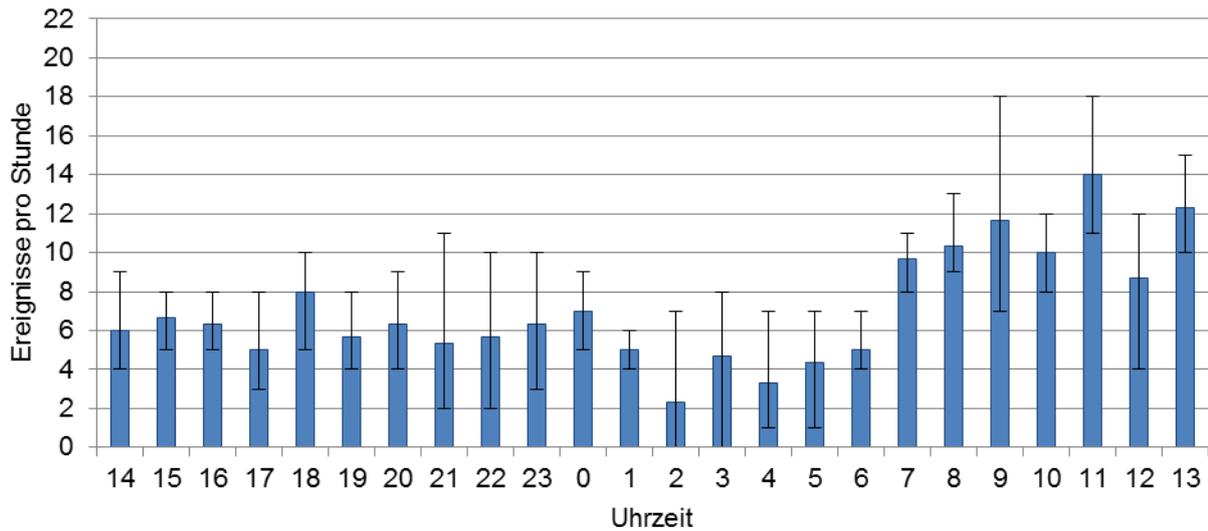


Abbildung 35: Lärmimpulse im Drei-Bett-Patientenzimmer über 70 dB(A), bezogen auf jeweils eine volle Stunde, Vgl. [6]

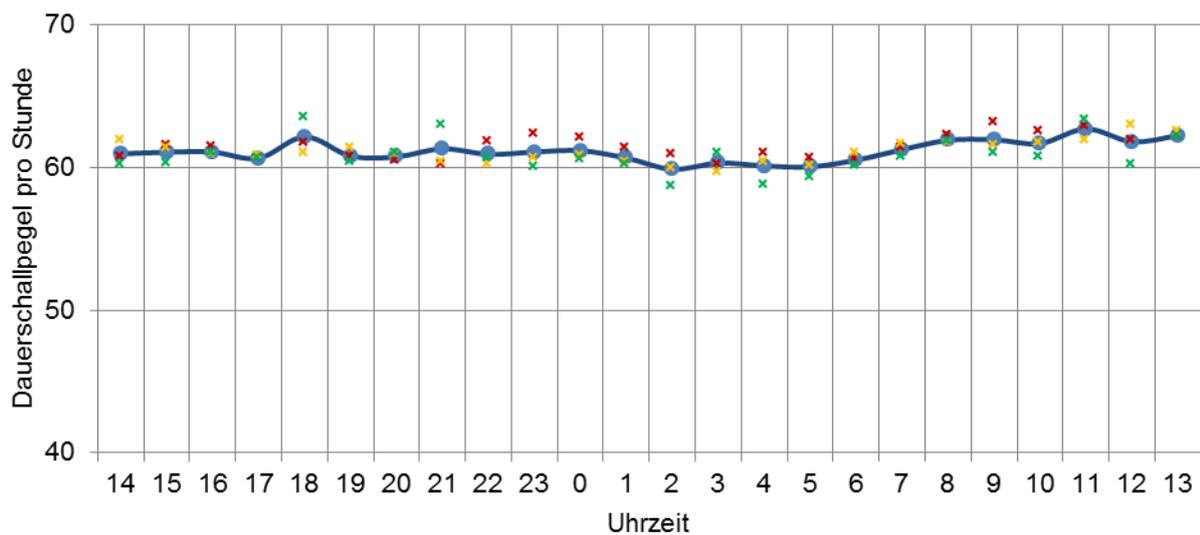


Abbildung 36: Stündlicher Mittelwert des Dauerschallpegels im Drei-Bett-Patientenzimmer inkl. Messwerte der einzelnen Messtage

Zeitbereich	Energieäquivalenter Dauerschallpegel L_{AFeq}	Minimalpegel L_{AFmin}	Maximalpegel L_{AFmax}
-			
Nachmittag	61,1	57,3	83,8
Nacht	60,6	57,2	83,6
Vormittag	61,8	57,1	91

Tabelle 10: Gemessene und berechnete Pegel für das Drei-Bett Patientenzimmer in dB(A)

5.7 Messpunkt 6: Vier-Bett-Patientenzimmer

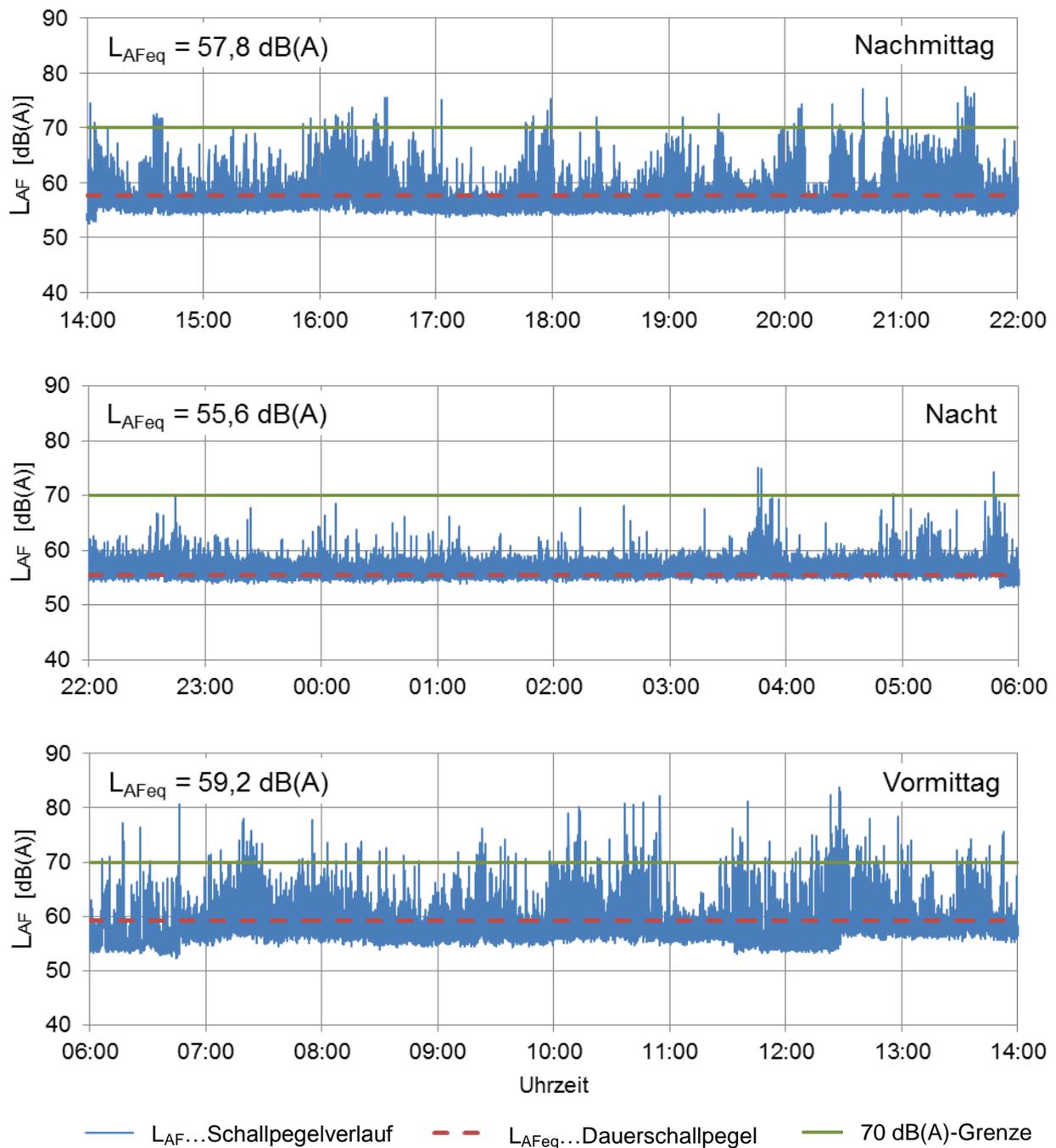


Abbildung 37: Repräsentativer Verlauf des Schalldruckpegels für Messpunkt 6: Vier-Bett Patientenzimmer
Vgl. [6]

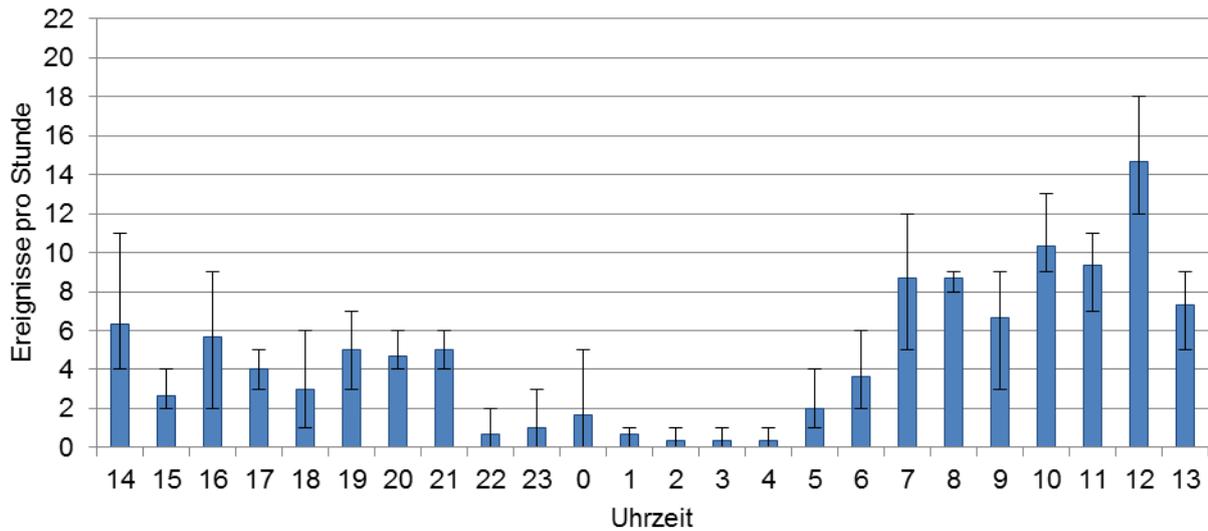


Abbildung 38: Lärmimpulse im Vier-Bett-Patientenzimmer über 70 dB(A), bezogen auf jeweils eine volle Stunde, Vgl. [6]

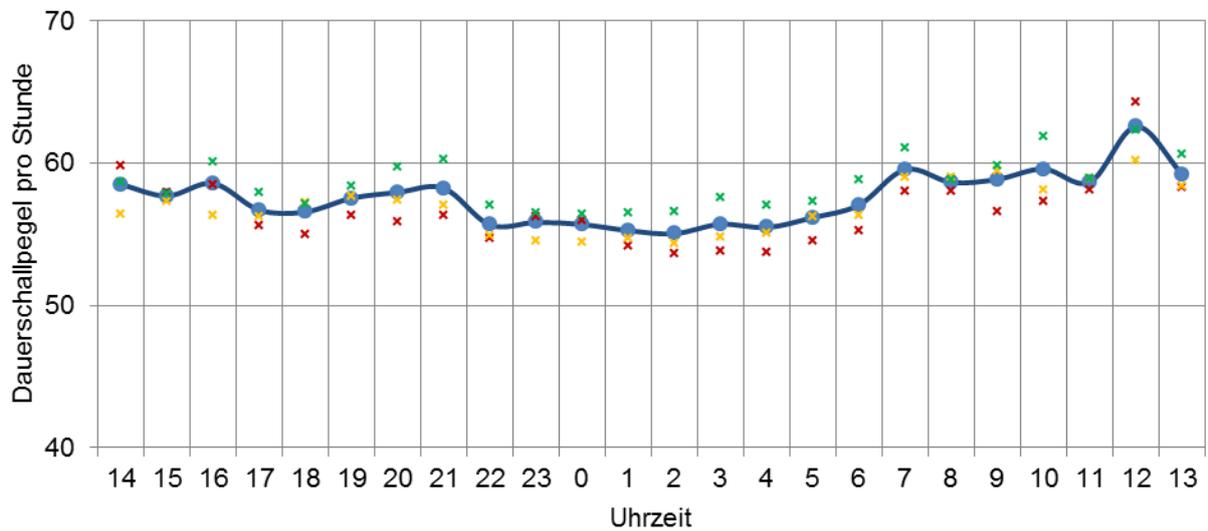


Abbildung 39: Stündlicher Mittelwert des Dauerschallpegels im Vier-Bett-Patientenzimmer inkl. Messwerte der einzelnen Messtage

Zeitbereich	Energieäquivalenter Dauerschallpegel L_{AFeq}	Minimalpegel L_{AFmin}	Maximalpegel L_{AFmax}
-			
Nachmittag	57,8	51,7	80,2
Nacht	55,6	51,3	80,2
Vormittag	59,2	51	83,8

Tabelle 11: Gemessene und berechnete Pegel für das Vier-Bett Patientenzimmer in dB(A)

5.8 Pareto Analysen

Die Pareto Analysen basieren auf den Ergebnissen der Grenzwertkontrollen. Es werden dementsprechend die Ursachen der Überschreitungen der in Kapitel 4.5 definierten Grenzwerte abgebildet. Die Balken (blau) stellen die Anzahl der Überschreitungen dar und die Linie (rot) den kumulierten Prozentsatz.

In Abbildung 40 ist die Pareto Analyse zu Messpunkt 1 (Visitenbereich) dargestellt. Die detailliertere Aufschlüsselung ist in Tabelle 12 ersichtlich. Sehr ähnlich sind die Ergebnisse der Pareto Analyse zu Messpunkt 2 (siehe Abbildung 41). An erster Stelle mit 52% und einer Anzahl von 217 steht auch hier die Ursache „etwas wurde fallen gelassen, hingestellt oder geschlossen“.

Die Pareto Analyse von Messpunkt 5 (Drei-Bett-Patientenzimmer) ist in Abbildung 44 dargestellt. Die detailliertere Aufschlüsselung ist wieder in Tabelle 16 ersichtlich. Im Vergleich mit den Ergebnissen der Pareto Analyse von Messpunkt 3 (siehe Abbildung 42) zeigt sich wieder ein sehr ähnliches Bild. Die meisten Überschreitungen mit einer Anzahl von 102 und 52% kommen hier durch die Ursache „Alarm“ zustande. An zweiter Stelle steht wieder repräsentativ für die Arbeitsplatzmessungen die Ursache „etwas wurde fallen gelassen, hingestellt oder geschlossen“ (19%). Bei beiden Messorten muss noch beachtet werden, dass die Anzahl der zusammenhängenden Alarme geringer ist, da ein Alarm meist über eine längere Zeit aktiv ist und bei einer Messgenauigkeit von einer Sekunde öfter erfasst wird. Die Anzahl der nicht zusammenhängenden Alarme liegt bei beiden Messorten bei etwa 50 Ereignissen.

Ein etwas anderes Bild zeigt sich bei den Ergebnissen der Pareto Analysen von Messpunkt 4 und 6 (siehe Abbildung 43 und Abbildung 45). Beim Messpunkt 4 stehen die Gespräche mit dem Patienten mit 54% und Geräusche durch den Patient selbst mit 16% im Vordergrund. Ziemlich ausgeglichen sind dagegen die Ursachen bei Messpunkt 6. Dabei unterscheidet sich die Anzahl der ersten fünf Ursachen kaum.

Unter der Ursache „sonstiges“ werden einzelne Ereignisse zusammengefasst.

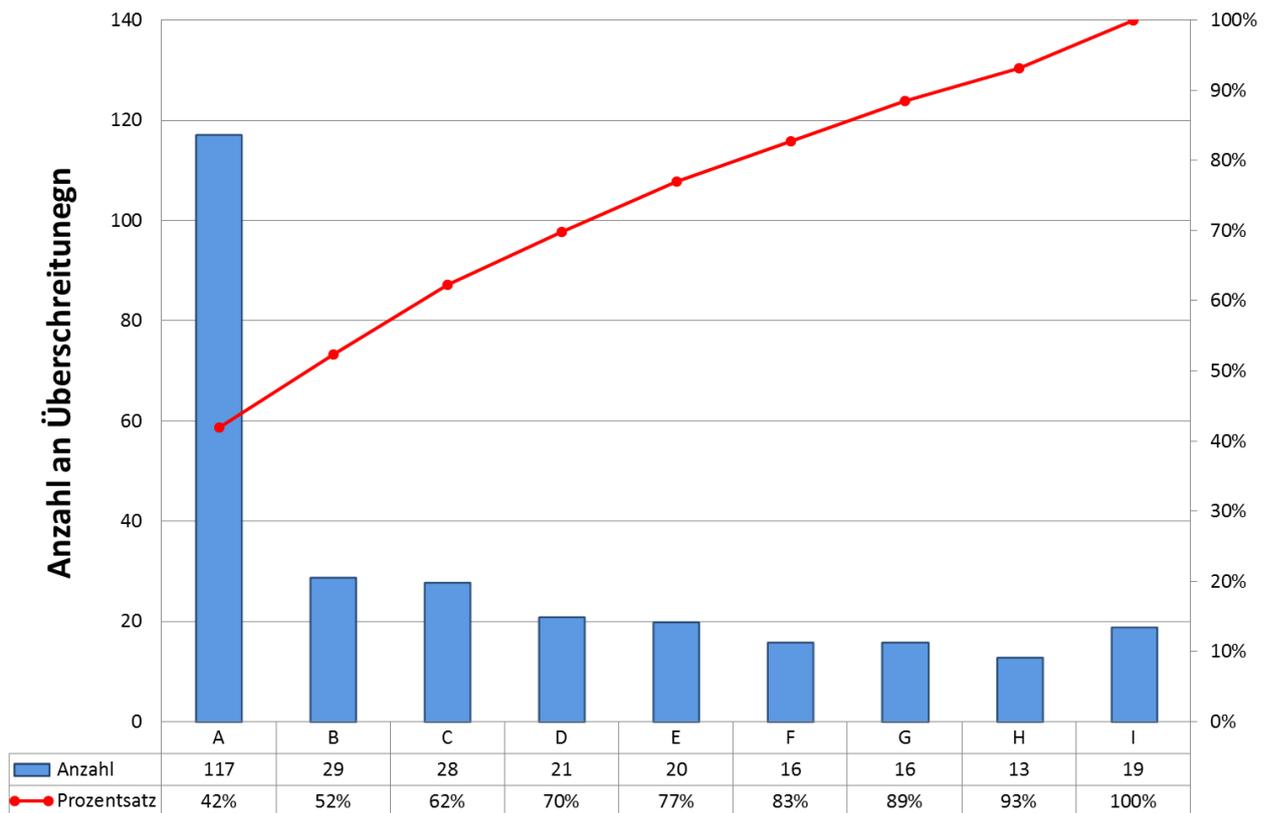


Abbildung 40: Pareto Analyse von Messpunkt 1, basierend auf den Ergebnissen der Grenzwertkontrollen

Kategorie	Anzahl	Prozent	Kumulierter Prozentsatz	Maximal-Pegel	Ursache
A	117	42%	42%	88,3	etwas wurde fallen gelassen / hingestellt / geschlossen
B	29	10%	52%	82,8	Küchengeräusche
C	28	10%	62%	87,7	Reinigungsarbeiten / Müll
D	21	8%	70%	80,7	Verpackung aufreißen
E	20	7%	77%	80,5	Husten / Niesen
F	16	6%	83%	81,3	Alarm
G	16	6%	89%	81,2	Gespräche / Gelächter
H	13	5%	93%	81,2	etwas wurde umgefüllt / aufgefüllt
I	19	7%	100%	81,3	sonstiges

Tabelle 12: Detaillierte Auflistung der Ursachen für die Überschreitungen der Grenzwerte bei Messpunkt 1

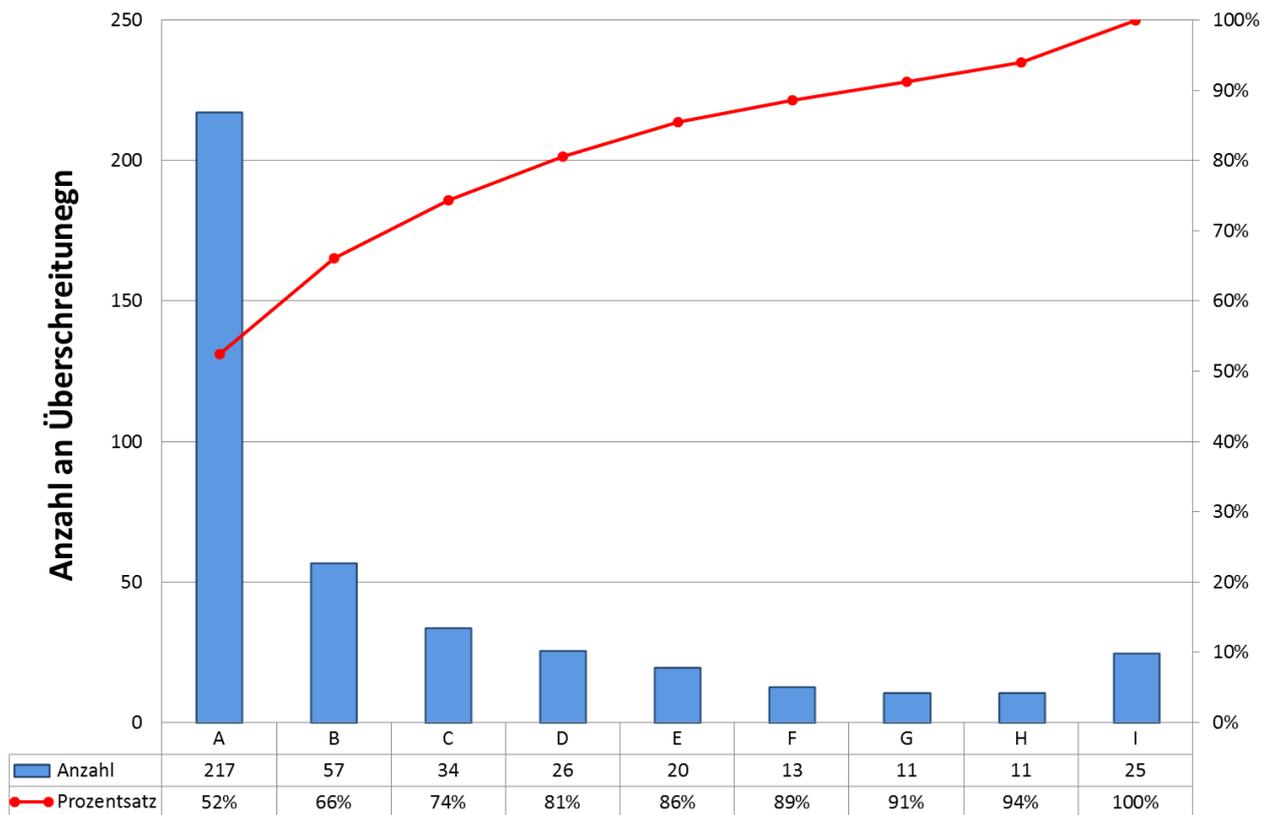


Abbildung 41: Pareto Analyse von Messpunkt 2, basierend auf den Ergebnissen der Grenzwertkontrollen

Kategorie	Anzahl	Prozent	Kumulierter Prozentsatz	Maximal-Pegel	Ursache
A	217	52%	52%	88,1	etwas wurde fallen gelassen / hingestellt / geschlossen
B	57	14%	66%	80,6	Gespräche / Gelächter
C	34	8%	74%	80,7	Küchengeräusche
D	26	6%	81%	79,1	unbekannt
E	20	5%	86%	80,5	Alarm
F	13	3%	89%	79,1	Reinigungsarbeiten / Müll
G	11	3%	91%	81,8	etwas wurde aufgerissen
H	11	3%	94%	79,7	Husten / Niesen
I	25	6%	100%	78,6	sonstiges

Tabelle 13: Detaillierte Auflistung der Ursachen für die Überschreitungen der Grenzwerte bei Messpunkt 2

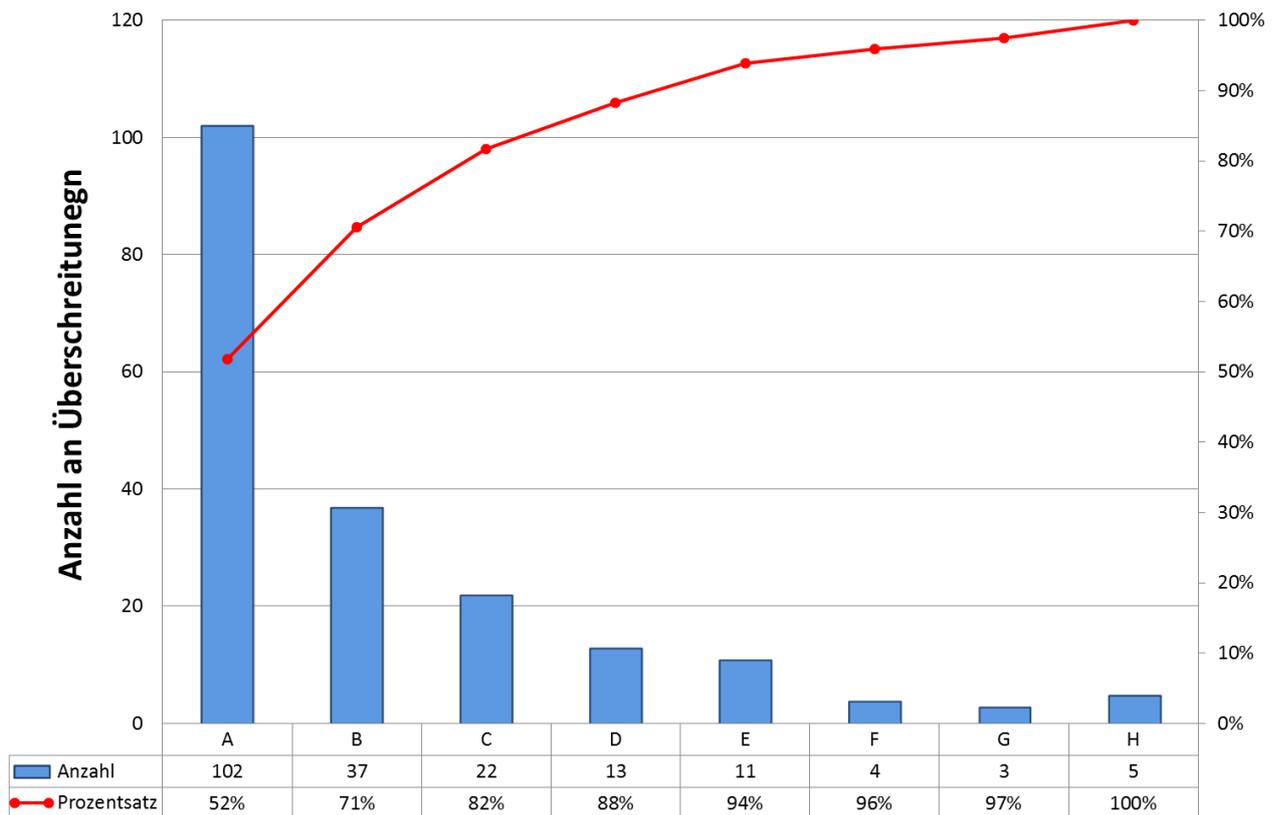


Abbildung 42: Pareto Analyse von Messpunkt 3, basierend auf den Ergebnissen der Grenzwertkontrollen

Kategorie	Anzahl	Prozent	Kumulierter Prozentsatz	Maximal-Pegel	Ursache
A	102	52%	52%	78,3	Alarm
B	37	19%	71%	81,8	etwas wurde fallen gelassen / hingestellt / geschlossen
C	22	11%	82%	80	Gespräche / Gelächter
D	13	7%	88%	80,9	Reinigungsarbeiten / Müll
E	11	6%	94%	79,4	Husten / Niesen
F	4	2%	96%	75,8	etwas wurde aufgerissen
G	3	2%	97%	78,4	Arbeiten
H	5	3%	100%	80,4	sonstiges

Tabelle 14: Detaillierte Auflistung der Ursachen für die Überschreitungen der Grenzwerte bei Messpunkt 3

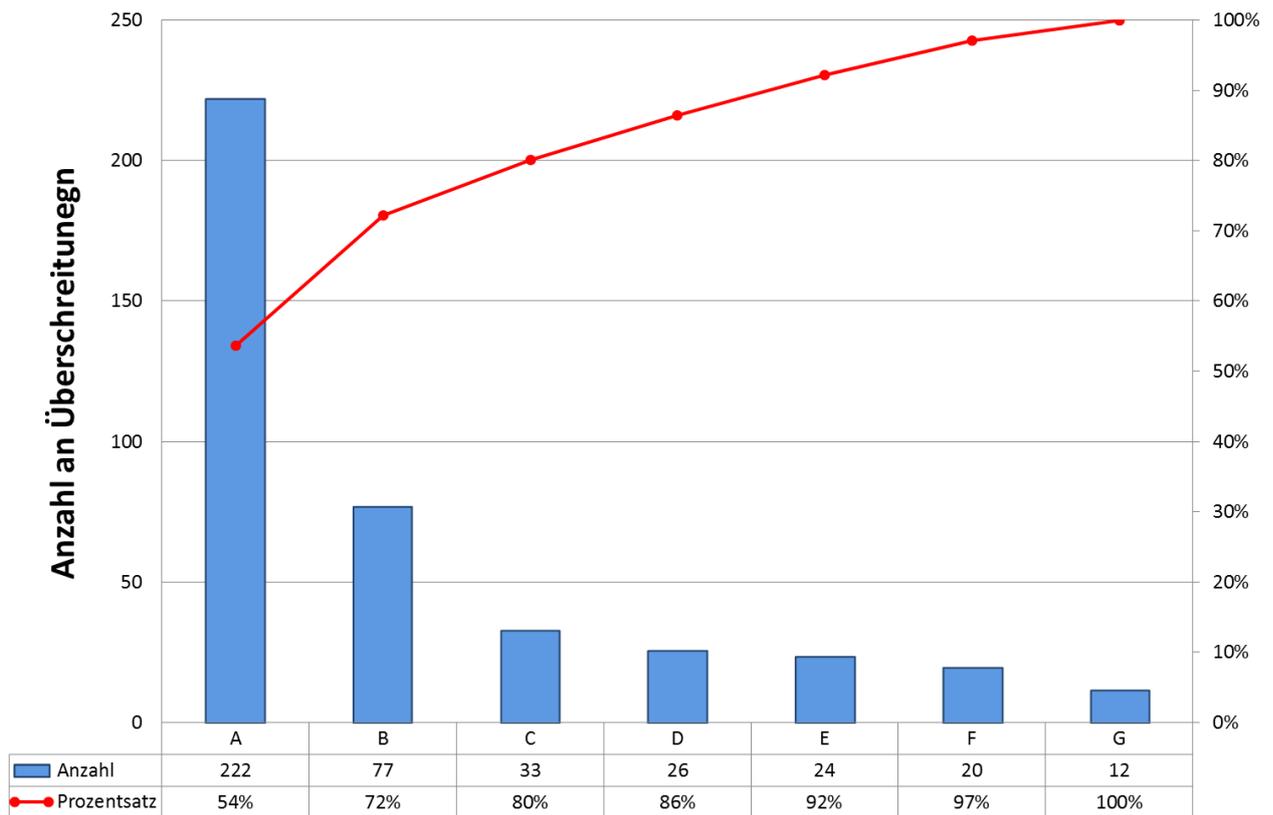


Abbildung 43: Pareto Analyse von Messpunkt 4, basierend auf den Ergebnissen der Grenzwertkontrollen

Kategorie	Anzahl	Prozent	Kumulierter Prozentsatz	Maximal-Pegel	Ursache
A	222	54%	54%	87,8	Personal spricht mit Patient
B	77	19%	72%	90,3	Patient
C	33	8%	80%	84,6	Arbeiten
D	26	6%	86%	85,1	etwas wurde fallen gelassen / hingestellt / geschlossen
E	24	6%	92%	82,1	Alarm
F	20	5%	97%	89,1	Gespräche
G	12	3%	100%	90,1	sonstiges

Tabelle 15: Detaillierte Auflistung der Ursachen für die Überschreitungen der Grenzwerte bei Messpunkt 4

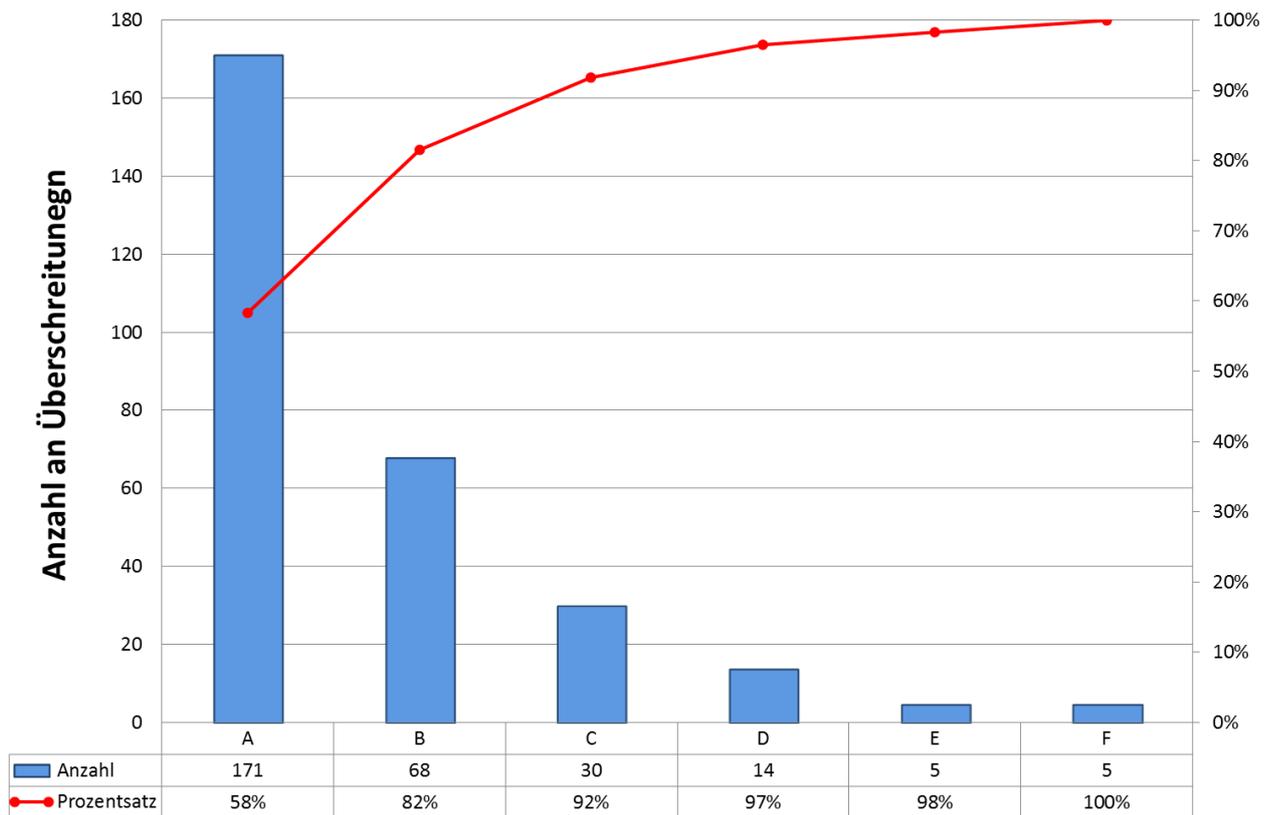


Abbildung 44: Pareto Analyse von Messpunkt 5, basierend auf den Ergebnissen der Grenzwertkontrollen

Kategorie	Anzahl	Prozent	Kumulierter Prozentsatz	Maximal-Pegel	Ursache
A	171	58%	58%	83,5	Alarm
B	68	23%	82%	83,7	Arbeiten
C	30	10%	92%	91	etwas wurde fallen gelassen / hingestellt / geschlossen
D	14	5%	97%	80,6	Gespräche
E	5	2%	98%	79,4	Husten / Niesen
F	5	2%	100%	83,6	sonstiges

Tabelle 16: Detaillierte Auflistung der Ursachen für die Überschreitungen der Grenzwerte bei Messpunkt 5

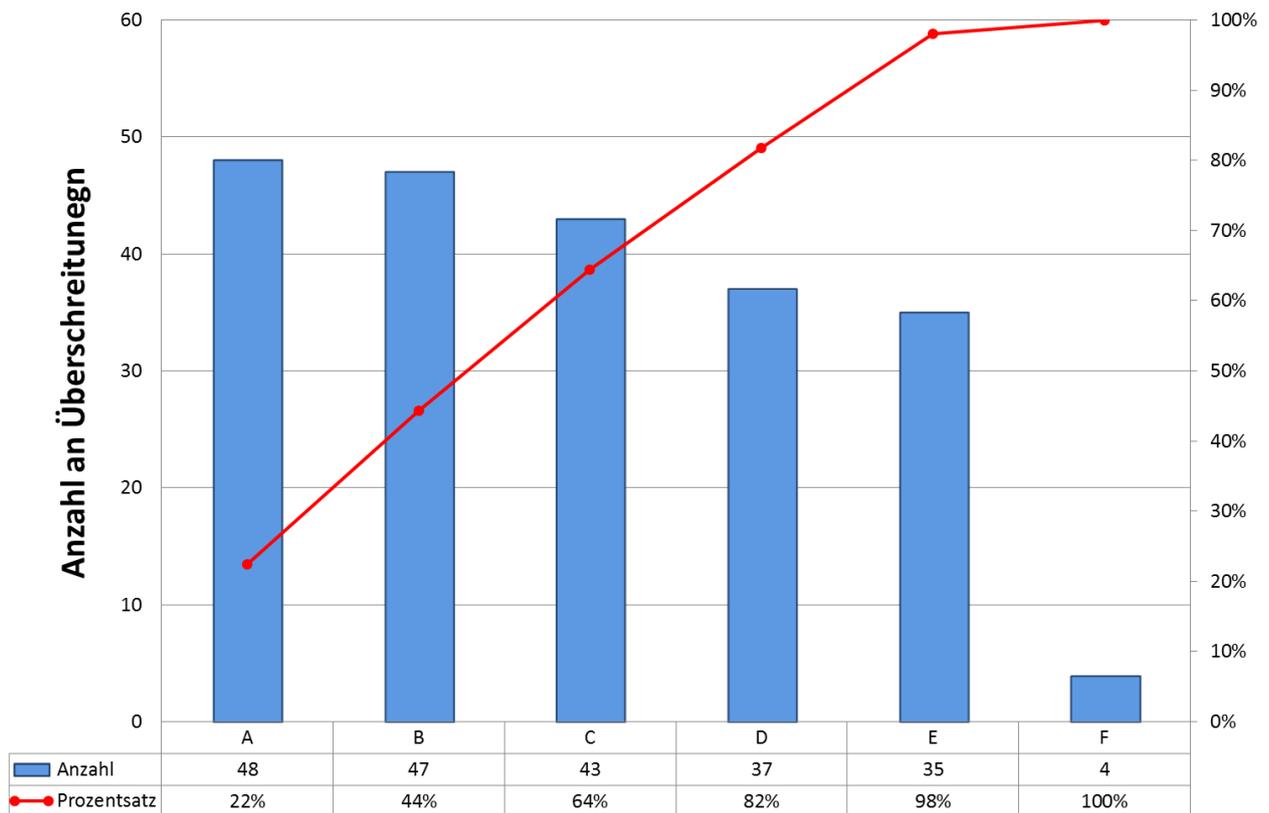


Abbildung 45: Pareto Analyse von Messpunkt 6, basierend auf den Ergebnissen der Grenzwertkontrollen

Kategorie	Anzahl	Prozent	Kumulierter Prozentsatz	Maximal-Pegel	Ursache
A	48	22%	22%	83	Gespräche
B	47	22%	44%	83,6	Arbeiten
C	43	20%	64%	82,2	Patient
D	37	17%	82%	82,3	etwas wurde fallen gelassen / hingestellt / geschlossen
E	35	16%	98%	83,8	Alarm
F	4	2%	100%	75,2	sonstiges

Tabelle 17: Detaillierte Auflistung der Ursachen für die Überschreitungen der Grenzwerte bei Messpunkt 6

5.9 Gerätemessungen

In Abbildung 46 und Abbildung 47 sind die Schallpegelverläufe im Alarmfall von vier medizinischen Geräten (zwei Beatmungsmaschinen, einer Infusionsspritzpumpe und einem Dialysegerät) dargestellt. In Tabelle 18 sind die Dauerschallpegel, die Grundgeräuschpegel sowie die Minimal- und Maximalpegel pro Minute für jedes gemessene medizinische Gerät aufgelistet.

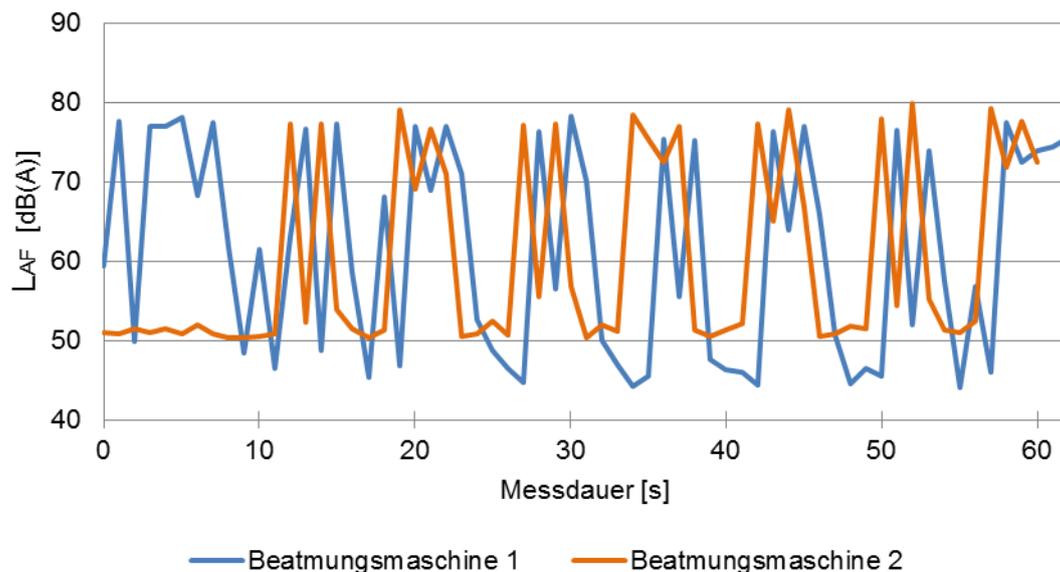


Abbildung 46: Schallpegelverlauf von zwei Beatmungsmaschinen im Alarmfall

Bei den beiden Beatmungsmaschinen ist der sehr ähnliche und spezielle Verlauf der Alarme ersichtlich. Hierbei handelt es sich um ein Geräusch, das bezogen auf den Verlauf des Schalldruckpegels zuerst stark ansteigt, danach leicht abfällt, um dann wieder auf das Maximum anzusteigen. Nach einer kurzen Pause beginnt dieser Ablauf wieder von vorne. Bei der Beatmungsmaschine 1 wurde der Alarmfall „Minutenvolumen hoch“ und bei der Beatmungsmaschine 2 der Alarmfall „CO₂ tief“ simuliert.

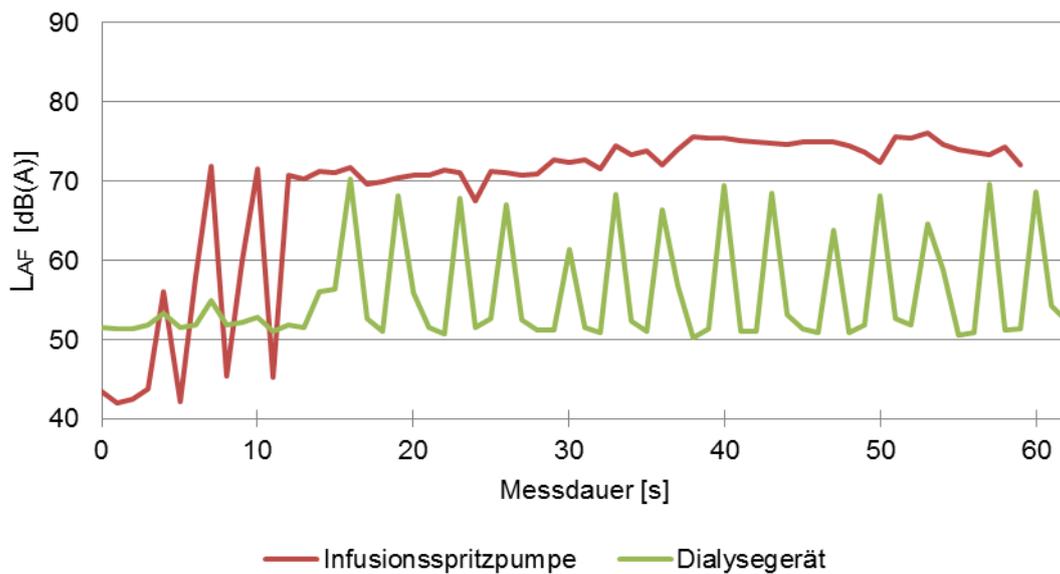


Abbildung 47: Schallpegelverlauf von einer Infusionsspritzpumpe und einem Dialysegerät im Alarmfall

Bei der Infusionsspritzpumpe wurde in den ersten 12 Sekunden der Alarmfall „Voralarm“ aufgezeichnet und danach der Alarmfall „Infusionsende“ aufgenommen. Während der Voralarm noch ein wiederholtes und impulsartiges Geräusch erzeugt, kommt es beim Infusionsende zu einem einzigen andauernden Geräusch. Der Alarmfall „Filtrationsbeutel voll“ (ab Sekunde 15) erzeugte beim Dialysegerät, ähnlich wie beim Voralarm der Infusionsspritzpumpe, ein wiederholtes und impulsartiges Signal.

medizinisches Gerät	Dauerschallpegel für eine Minute $L_{AFeq,1min}$	Grundgeräuschpegel	Minimalpegel L_{AFmin}	Maximalpegel L_{AFmax}
Beatmungsmaschine 1	72,1	~ 45	44,1	78,3
Beatmungsmaschine 2	72,3	~ 50	50,4	79,9
Infusionsspritzpumpe	72,5	~ 45	42	76,1
Dialysegerät	61,9	~ 50	50,2	70,2

Tabelle 18: Gemessene und berechnete Pegel der medizinischen Geräte in dB(A)

Bei den Gerätemessungen sind Pegelspitzen zwischen 70 und 80 dB(A) registriert worden.

5.10 Zusammenfassung

Zum Abschluss sind in Abbildung 48 und Abbildung 49 die Hauptergebnisse zusammengefasst dargestellt. Es handelt sich bei der ersten Grafik um die Ergebnisse der drei Arbeitsplatzmessungen als Beurteilungspegel und bei der zweiten Grafik um die Ergebnisse der Patientenbereichsmessungen als energieäquivalenter Dauerschallpegel. Um die Ergebnisse der Arbeitsplatzmessungen und der Patientenbereichsmessungen miteinander vergleichbar zu machen, können die Werte der Patientenbereichsmessung als Beurteilungspegel oder die Werte der Arbeitsplatzmessungen als Dauerschallpegel dargestellt werden (siehe Abbildung 50).

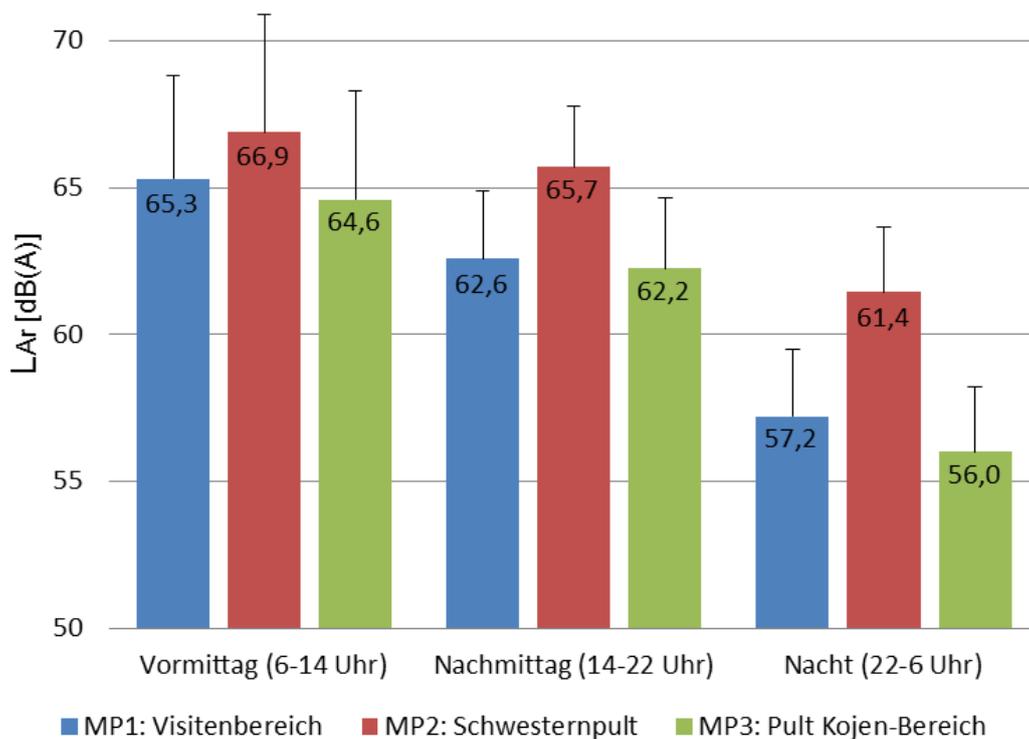


Abbildung 48: Darstellung der Ergebnisse der Arbeitsplatzmessungen als Beurteilungspegel inkl. Erweiterter Unsicherheit

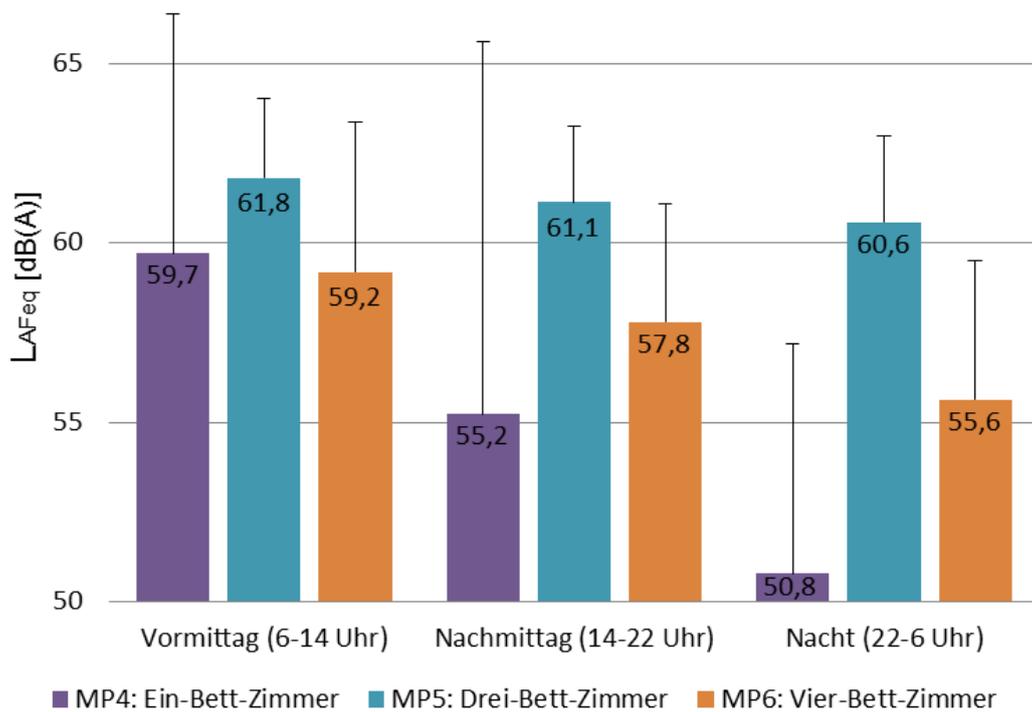


Abbildung 49: Darstellung der Ergebnisse der Patientenbereichsmessungen als Dauerschallpegel inkl. Erweiterte Unsicherheit

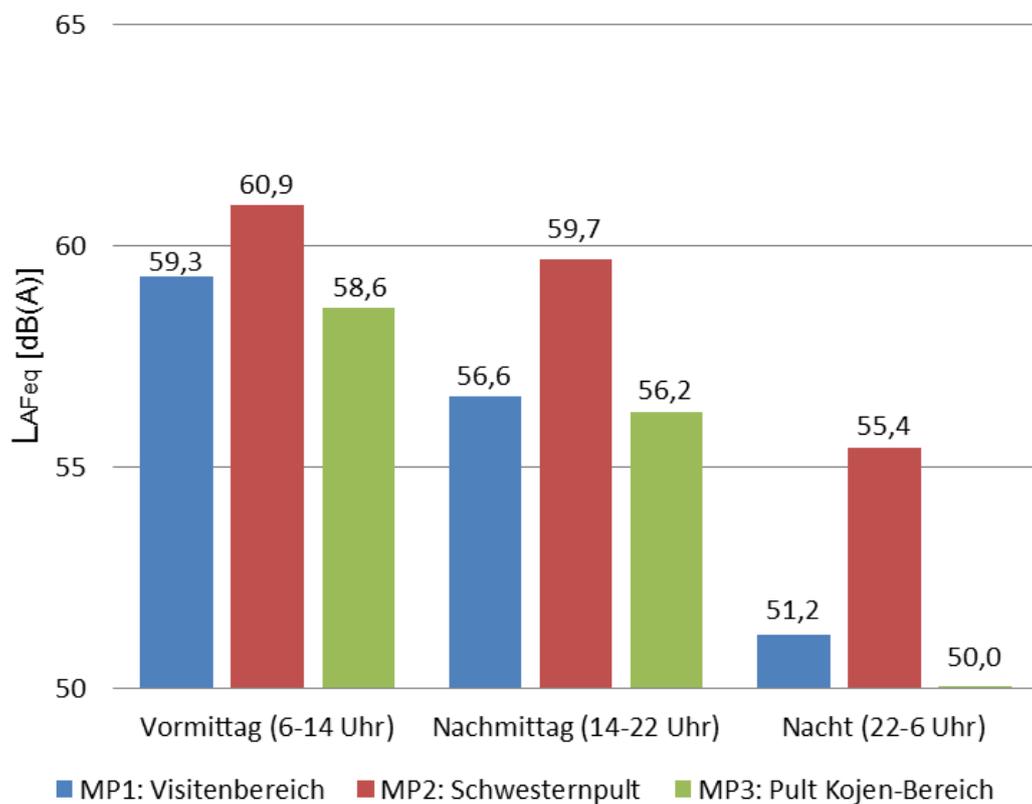


Abbildung 50: Darstellung der Ergebnisse der Arbeitsplatzmessungen als Dauerschallpegel

6 Diskussion

6.1 Arbeitsplatzmessungen

In der Verordnung über den Schutz der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch Lärm und Vibrationen (VOLV) werden Grenzwerte für verschiedene Bereiche am Arbeitsplatz in Österreich vorgegeben. Diese sind als Beurteilungspegel angegeben und dürfen nicht überschritten werden. Bezogen auf das Baujahr der Intensivstation (vor 2008) sind diese Grenzwerte folgendermaßen definiert:

- 1) 50 dB in Räumen, in denen überwiegend geistige Tätigkeiten ausgeführt werden;
- 2) 70 dB in Räumen, in denen einfache Bürotätigkeiten oder vergleichbare Tätigkeiten ausgeführt werden. [15]

Sämtliche Messungen am Arbeitsplatz überschreiten den ersten Grenzwert für „überwiegend geistige Tätigkeiten“ (siehe Abbildung 48). Der zweite Grenzwert für „einfache Bürotätigkeiten“ wird hingegen jederzeit eingehalten.

Der Arbeitsplatzbereich beim **Schwesternpult** ist im Vergleich zu den anderen zwei Arbeitsplatzmessungen (siehe Abbildung 48) der lauteste Bereich. Dieser liegt in unmittelbarer Nähe der Eingangsschleuse der Intensivstation und hier ist auch die Glocke dieser Eingangsschleuse angebracht. Des Weiteren sind drei Drei-Bett-Patientenzimmer und ein Küchenbereich in der Nähe. Diese Tatsachen und die äußerst zentrale Lage machen das Schwesternpult mit Abstand zum lautesten Arbeitsplatz von den drei gemessenen. Die durchschnittlichen Beurteilungspegel pro Stunde (siehe Abbildung 27) liegen immer über 60 dB(A). Von 1 bis 5 Uhr werden die geringsten Pegel von ca. 60 dB(A) registriert. Die Maxima der stündlichen Beurteilungspegel sind zwischen 7 und 14 Uhr mit einem Pegel von ca. 67 dB(A) zu finden. Bei den Lärmimpulsen über 70 dB(A) (siehe Abbildung 26) hat das Schwesternpult die meisten Überschreitungen mit einer Anzahl von 694 in drei Tagen vorzuweisen. Das sind im Schnitt pro Stunde 9,6 Überschreitungen. Dabei liegen die maximalen, gemittelten Impulse zwischen 13 und 14 Uhr mit einer Anzahl von 18 Überschreitungen. In der Nacht zwischen 23 und 5 Uhr kommt es zu einer starken Reduzierung

dieser Impulse. Von 1 bis 2 Uhr und 3 bis 4 Uhr kommt es jeweils nur zur einer Überschreitung pro Stunde.

Durch die Pareto Analyse von Messpunkt 2 (siehe Abbildung 41) werden die Ursachen dieser Überschreitungen dargestellt. Über die Hälfte (52%) aller Überschreitungen sind durch eine einzige Geräuschkategorie zu erklären: „etwas wurde fallen gelassen, hingestellt oder geschlossen“. Dies sind relativ häufig Kästen oder Türen, die sehr unsanft geschlossen werden oder Dinge, die lautstark abgestellt werden. Dabei werden Spitzenpegel von bis zu 88,1 dB(A) erreicht. Diese Geräuschkategorie könnte allerdings sehr einfach reduziert werden. Spezielle Dämpfer für Kästen oder Dämpfungsmaterial bei Türen könnten die Anzahl und Lautstärke dieser Überschreitungen verringern. Auf Platz 2 mit 14% sind Gespräche und Gelächter des Personals, gefolgt von Küchengeräuschen mit 8%.

Der **Visitenbereich** ist im Vergleich zu Messpunkt 2 (Schwesternpult) etwas leiser. Dieser befindet sich zwischen dem Schwesternpult und dem Kojen-Bereich (siehe Abbildung 15). Es befinden sich zwei Ein-Bett-Intensivzimmer im Umkreis des Visitenbereichs. Die stündlichen Beurteilungspegel liegen im Mittel zwischen 54 und 65 dB(A), wobei die Maxima von 7 bis 8 Uhr, 11 bis 12 Uhr und 13 bis 15 Uhr auftreten und das Minimum von 3 bis 4 Uhr zu finden ist.

Die Verteilung der Lärmdichte (siehe Abbildung 23) ist wieder ähnlich der Verteilung beim Schwesternpult, allerdings mit einer geringeren Anzahl registrierter Schwellenüberschreitungen (462 vs. 694) in den drei Messtagen. Die maximalen Überschreitungen pro Stunde treten dabei, ähnlich wie die Maxima bei den stündlichen Beurteilungspegeln, von 7 bis 8 Uhr und von 13 bis 14 Uhr im Mittel mit 12 Überschreitungen auf. Über den Tag liegen die Überschreitungen sogar nur bei 6,4 pro Stunde. In der Nacht von 23 bis 5 Uhr fallen wieder die geringen durchschnittlichen Überschreitungen von nur 6,3 Mal in diesem Zeitbereich auf. Von 3 bis 4 Uhr in der Nacht sind sogar an allen drei Messtagen nie Pegel über 70 dB(A) registriert worden.

Die zugehörige Pareto Analyse von Messpunkt 1 (siehe Abbildung 40) zeigt, dass, gleich wie beim Schwesternpult, ein Großteil der Überschreitungen (42%) durch die Geräuschkategorie „etwas wurde fallen gelassen, hingestellt oder geschlossen“ zustande kommt. Dabei werden wieder Spitzenpegel von bis zu 88,3 dB(A) erreicht. Danach folgen mit jeweils 10% Küchengeräusche und Reinigungsarbeiten. Die Küchengeräusche kommen hier allerdings nicht aus der Teeküche, sondern aus einem

kleinen Sterilisationsraum. Hier werden verschiedene Objekte, wie zum Beispiel Nierentassen, gereinigt und erzeugen dabei küchenähnliche Geräusche.

Messpunkt 3, der Arbeitsplatz im **Bereich des Pultes der Kojen**, ist umgeben von vier Ein-Bett-Kojen und zeigt im Vergleich zum Visitenbereich einen sehr ähnlichen Verlauf des stündlichen Beurteilungspegel (siehe Abbildung 30). Die Maxima treten dabei von 10 bis 11 Uhr und 13 bis 14 Uhr mit einem Dauerschallpegel von 66 dB(A) auf und die Minima von 3 bis 5 Uhr mit einem Pegel von jeweils 54 dB(A).

Durch die Übersicht der Arbeitsplatzmessungen (siehe Abbildung 48) ist ersichtlich, dass es sich hierbei um den ruhigsten Arbeitsbereich handelt. Im Vergleich zum Visitenbereich sind die Beurteilungspegel im Schnitt um 0,6 dB niedriger. Geringere einzelne Minimalschalldruckpegel mit 43,1 dB(A) und Spitzenpegel mit 81,8 dB(A) sind dabei mitverantwortlich.

Bei der Lärmdichte (siehe Abbildung 29) ergibt sich wieder ein sehr ähnliches Bild wie beim Visitenbereich. Mit einer Gesamtanzahl von 508 Schwellenüberschreitungen und einer durchschnittlichen Überschreitung von 7,1 Mal pro Stunde. Die Maxima von 15 Überschreitungen treten dabei jeweils von 7 bis 8 Uhr und 10 bis 11 Uhr auf. Die Minima sind wieder in der Nacht von 0 bis 6 Uhr zu finden. Hier kommt es insgesamt nur zu 8 Überschreitungen der 70 dB(A)-Grenze.

Bei der Pareto Analyse zeigt sich allerdings ein etwas anderes Bild. Der Großteil der Überschreitungen (52%) ist hier auf Alarme zurückzuführen. Auf Platz 2 kommt die sonst dominierende Geräuschkategorie „etwas wurde fallen gelassen, hingestellt oder geschlossen“ mit 19%. Auf Platz 3 der Häufigkeit der Ursachen sind Gespräche und Gelächter zu finden.

Allgemein betrachtet fällt auf, dass für alle drei Arbeitsplatzmessungen der Beurteilungspegel zwischen 5 und 6 Uhr nach der Nachtruhe und während dem Schichtwechsel ansteigt.

6.2 Patientenbereichsmessungen

Um die Lärmsituation der Patienten bewerten zu können, müssen die gewonnenen Ergebnisse mit internationalen Richtlinien verglichen werden. Die World Health Organisation (WHO) empfiehlt für Patientenzimmer einen ganztägigen Grenzwert von 35 dB(A) [26]. Die Richtlinien der Environmental Protection Agency (EPA) begrenzen

den energieäquivalenten Dauerschallpegel auf 35 dB(A) in der Nacht und auf 45 dB(A) am Tag [27].

Die Ergebnisse zeigen deutlich (siehe Abbildung 49), dass die Richtwerte dieser Empfehlungen in hohem Maße überschritten werden. So ergibt sich in der Nacht beim Drei-Bett-Patientenzimmer eine Überschreitung des Dauerschallpegels von über 25 dB(A). Selbst im ruhigsten Patientenzimmer, der Ein-Bett-Koje, ist eine Überschreitung von über 15 dB(A) registriert worden. Das bedeutet, dass es umgerechnet auf den Schalldruck zu einer 6- bis 19-fachen Überschreitung der internationalen Richtlinien kommt.

Aus den Ergebnissen der Patientenbereichsmessungen (siehe Abbildung 49) ist ersichtlich, dass das **Drei-Bett-Patientenzimmer** (Messpunkt 5) den lautesten Bereich mit den höchsten gemessenen Pegeln darstellt. Dieser Ort liegt in der Nähe des zentralen Schwesternpultes (Messpunkt 2) und zeichnet sich durch eine gute Erreichbarkeit aus. Daher werden in diesem Bereich besonders kritische und schwere Fälle versorgt, die neben einer besonderen Personalaufmerksamkeit noch zusätzlich einen erhöhten medizinischen Apparatenaufwand benötigen. So werden in diesem Bereich spezielle Betten eingesetzt, die einen hohen Geräuschpegel erzeugen und somit auch den Grundgeräuschpegel erhöhen. Des Weiteren ist die Eingangsschleuse der Intensivstation in unmittelbarer Nähe vom Drei-Bett-Patientenzimmer.

Auffällig bei Messpunkt 5 ist der beinahe konstante Verlauf des stündlichen Dauerschallpegels über 60 dB(A) (siehe Abbildung 36) mit nur einer marginalen Tendenz nach unten in der Nacht. Bei näherer Betrachtung der Lärmdichte (siehe Abbildung 35) fallen die relativ häufigen Überschreitungen, besonders in der Nacht, auf. So kommt es in der Nacht von 22 bis 6 Uhr zu durchschnittlich 39 Überschreitungen. Da die Lärmdichte auch als sichere Aufwachschwelle definiert ist, ist hier ein erholsamer und durchgehender Schlaf ausgeschlossen. Im Durchschnitt kommt es beim Drei-Bett-Zimmer zu 7,1 Überschreitungen pro Stunde. Dabei wurde eine maximale Anzahl der gemittelten Überschreitungen von bis zu 14 Mal pro Stunde registriert.

Aus der Pareto Analyse (siehe Abbildung 44) ist ersichtlich, dass diese Überschreitungen zum Großteil (58%) durch Alarme zustande kommen. An zweiter Stelle (23%) sind typische Arbeitsgeräusche vorzufinden. Danach ist mit 10% die Geräuschkategorie „etwas wurde fallen gelassen, hingestellt oder geschlossen“ vertreten. Dabei werden vereinzelt Spitzenpegel von bis zu 91 dB(A) erreicht.

Das **Ein-Bett-Patientenzimmer** stellte sich im Vergleich mit den anderen Patientenzimmern als ruhigster Bereich heraus. Hier kommen keine Einflüsse von anderen Patienten bzw. Personalarbeiten aufgrund anderer Patienten zum Tragen. Dieser Bereich liegt in der Nähe von Messpunkt 3, das heißt im Bereich des Pultes der Kojen, und ist nur durch eine kleine Schleuse betretbar. Auffällig bei diesem Messort sind die relativ großen, zeitlichen Schwankungen der Pegel der einzelnen Messtage (siehe Abbildung 33). Dies führt zu einer größeren Standardabweichung und im Weiteren auch zu einer erhöhten Messunsicherheit (siehe Kapitel 4.6) und ist hauptsächlich dadurch begründbar, dass der Patient nicht jeden Tag dieselbe Behandlung bekam bzw. vom gleichen Personal betreut wurde. Die große Varianz in den Messungen ist demzufolge durch den personalbedingten Lärm erklärbar. Dies wird auch durch die Pareto Analyse (siehe Abbildung 43) sichtbar. Über die Hälfte (54%) der auftretenden Überschreitungen ist auf Gespräche des Personals mit den Patienten zurückzuführen. Geräusche durch den Patienten selbst hingegen liegen mit 19% auf Platz 2. Im Gegensatz zum Drei-Bett-Patientenzimmer finden sich die Alarme etwas abgeschlagen mit nur 6% auf Platz 6 wieder. Die Maximalpegel sind dabei wieder sehr ähnlich, und zwar liegen diese bei 90,3 dB(A).

Die Lärmimpulse im der Ein-Bett-Koje sind mit einer durchschnittlichen Anzahl von 4,2 Überschreitungen pro Stunde deutlich geringer als im Drei-Bett-Zimmer. Des Weiteren treten in der Nacht von 22 bis 6 Uhr nur durchschnittlich 8 Überschreitungen auf (siehe Abbildung 32). Die maximale und gemittelte Anzahl an Überschreitungen pro Stunde liegt hingegen bei 11 Mal und zwar zwischen 8 und 9 Uhr am Vormittag. Zu dieser Zeit ist auch der höchste durchschnittliche stündliche Dauerschallpegel mit 63 dB(A) gegeben. Ähnlich wie bei den Arbeitsplatzmessungen kommt es zwischen 5 und 6 Uhr nach der Nachtruhe zu einem starken Anstieg des Dauerschallpegels.

Das **Vier-Bett-Patientenzimmer** liegt im Bezug der auftretenden Lärmsituation zwischen den zwei besprochenen Patientenzimmern (siehe Abbildung 49). Dies spiegelt sich auch bei den gemessenen Minimalschalldruckpegeln wieder: 57 dB(A) im Drei-Bett-Zimmer, 47 dB(A) im Ein-Bett-Zimmer und 51 dB(A) im Vier-Bett-Zimmer. Das Vier-Bett-Patientenzimmer liegt etwas außerhalb, in einem externen Bereich der Intensivstation mit einem eigenen Zugang.

Die durchschnittlichen und stündlichen Dauerschallpegel (siehe Abbildung 39) pendeln zwischen 55 und 60 dB(A) mit einer Ausnahme. Zwischen 12 und 13 Uhr liegt gemittelt auf die drei Messtage der höchste Dauerschallpegel bei 63 dB(A).

Obwohl höhere Dauerschallpegel als beim Ein-Bett-Patientenzimmer in der Nacht von 22 bis 6 Uhr registriert wurden, kommt es in diesem Bereich bei der Lärmdichte zu durchschnittlich nur 7 Überschreitungen. Auf die gesamten Messtage gesehen kommt es im Mittel zu 4,2 Überschreitungen der 70dB(A)-Grenze pro Stunde.

Bei der Pareto Analyse (siehe Abbildung 45) zeigt sich in diesem Bereich ein etwas anderes Bild. Statt nur einer Ursache, die bei den übrigen Messungen den Großteil der Überschreitungen zu verantworten hat, sind hier fünf Ursachen mit einer sehr ähnlichen Anzahl an Überschreitungen ausschlaggebend. Gespräche und Arbeiten des Personals liegen jeweils mit 22% vor Geräuschen, die vom Patienten selbst ausgehen (20%), dicht gefolgt von den Geräuschen der Kategorie „etwas wurde hingestellt, fallen gelassen oder geschlossen“ mit 17% und Alarmen mit 16%.

Im direkten Vergleich der Patientenbereichsmessungen mit den Arbeitsplatzmessungen (siehe Abbildung 49 und Abbildung 50) zeigen sich sehr ähnliche Ergebnisse mit der Ausnahme des etwas lautereren Drei-Bett-Patientenzimmers.

Um die schädlichen Auswirkungen von Lärm auf das Schlafverhalten und die daraus entstehenden Gefahren für die Patienten von Intensivstationen zu vermeiden, ist die Reduzierung der Geräuschkulisse auf Spitzenpegel von unter 60 dB zumindest während der Nacht anzustreben, damit den Patienten ein physiologischer Tag-Nacht-Rhythmus ermöglicht werden kann [16]. Dies wird in allen drei Patientenbereichen nicht erreicht. Ein besonderes Augenmerk sollte auf den Drei-Bett-Patientenbereich, mit der relativ hohen Belastung in der Nacht für die Patienten, gerichtet werden.

Um Herz-Kreislaufkrankungen zu vermeiden, ist aus präventivmedizinischer Sicht der Dauerschallpegel am Tag auf 65dB(A) zu begrenzen [19]. Dies wird auch auf der Intensivstation am Landeskrankenhaus Graz bei allen Messorten eingehalten.

7 Schlussfolgerung

Insgesamt wurden an 31 Tagen Schallpegelmessungen in einer Intensivstation durchgeführt. Dabei kam es an den 18 Tagen, welche für die Auswertungen berücksichtigt wurden, zu 2813 Überschreitungen von einem Pegel von 70 dB(A). Dies entspricht im Mittel 6,5 Überschreitungen pro Stunde.

Zusammengefasst wurden Beurteilungspegel am Arbeitsplatz von 62,2 bis 66,9 dB(A) am Tag und 56 bis 61,4 dB(A) in der Nacht gemessen. Im Patientenbereich wurden Dauerschallpegel von 55,2 bis 61,8 dB(A) am Tag und 50,8 bis 60,6 dB(A) in der Nacht aufgezeichnet. Dabei wurden Maximalpegel von 88,1 dB(A) bei den Arbeitsplatzmessungen und 91 dB(A) bei den Patientenbereichsmessungen registriert. Bei den Patientenbereichsmessungen kam es bezogen auf den äquivalenten Dauerschallpegel bis zu einer 19-fachen Überschreitung der internationalen Richtlinien.

Daraus können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Der Grenzwert für „überwiegend geistige Tätigkeiten“ von 50 dB am Arbeitsplatz wurde stets überschritten.
- Der Grenzwert für „einfache Bürotätigkeiten“ von 70 dB am Arbeitsplatz wurde jederzeit eingehalten.
- Die Richtwerte für die Patientenbereiche (45 dB am Tag und 35 dB in der Nacht) wurden jederzeit beträchtlich überschritten.

Um für die Zukunft eine verbesserte Lärmsituation für Patienten und Fachpersonal auf der Intensivstation zu ermöglichen, sollten im nächsten Schritt Verbesserungsmöglichkeiten diskutiert und entsprechende Maßnahmen durchgeführt werden. Diese lassen sich folgendermaßen zusammenfassen: Reduzierung des personalbedingten Lärms, Reduzierung des gerätebedingten Lärms und bauliche Maßnahmen zur Lärmreduzierung [16]. Viele Maßnahmen benötigen dabei nur einen geringen technischen Aufwand. So ist die Schaffung eines Bewusstseins für die Lärmproblematik und Sensibilisierung ein wichtiger Schritt in Richtung Lärmreduzierung [16].

Der Erfolg der durchgeführten Maßnahmen sollte in weiterer Folge durch erneute Messungen auf der Intensivstation evaluiert werden.

8 Literaturverzeichnis

- [1]. **Statistik Austria.** www.statistik.at. [Online] 2011. [Zitat vom: 1. 7 2013.] https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/umwelt/umweltbedingungen_verhalten/index.html.
- [2]. **Kupczik, Ingrid.** Spektakel statt Bettruhe. *Die Welt.* [Online] 4. 12 2005. [Zitat vom: 2013. 7 1.] <http://www.welt.de/print-wams/article135742/Spektakel-statt-Bettruhe.html>.
- [3]. **Balogh, D., et al.** Noise in the ICU. *Intensive Care Medicine.* 1993, 19.
- [4]. **Meyer-Falcke, A., et al.** How noisy are anaesthesia and intensive care medicine? Quantification of the patient's stress. *European Journal of Anaesthesiology.* 1994, 11.
- [5]. **Meyer, T. J., et al.** Adverse environmental conditions in the respiratory and medical ICU settings. *Chest.* 1994, 105.
- [6]. **Arnold, Jörg und Kornadt, Oliver.** Lärm auf Intensivstationen in Krankenhäusern. *Bauphysik-Kalender 2009.* 2009, S. 657-679.
- [7]. **Jar-Yuan, Pai.** A Study in Hospital Noise - A Case From Taiwan. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics.* 2007, 13.
- [8]. **Maute, Dieter.** *Technische Akustik und Lärmschutz.* Leipzig : HANSER, 2006.
- [9]. **Pieper, Frank.** *Das P.A. Handbuch.* München : GC Carstensen Verlag, 2011.
- [10]. **Lerch, Reinhard, Sessler, Gerhard M. und Wolf, Dietrich.** *Technische Akustik.* Berlin : Springer, 2009.
- [11]. **Maue, Jürgen H.** Ermittlung des Lärmexpositionspegels am Arbeitsplatz. *Information: Lärmmesstechnik.* 2012.
- [12]. **ON Österreichisches Normungsinstitut.** ÖNORM EN ISO 9612. *Akustik - Bestimmung der Lärmexposition am Arbeitsplatz - Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 (Ingenieurverfahren) . 01. 09 2009.*
- [13]. **Günther, Bobo, Hansen, Karl H. und Veit, Ivar.** *Technische Akustik - Ausgewählte Kapitel.* Renningen : expert verlag, 2008.
- [14]. **Zünd, Andi.** laermorama.ch. [Online] [Zitat vom: 1. Juni 2013.] http://www.laermorama.ch/m1_akustik/schallpegel_w.html.
- [15]. **VOLV.** Bundeskanzleramt Rechtsinformationssystem. *Verordnung über den Schutz der Arbeitnehmer/innen vor der Gefährdung durch Lärm und Vibrationen.* [Online] 2013. April 2013. [Zitat vom: 1. April 2013.]

<http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20004576&FassungVom=2013-04-01>.

- [16]. **Schrader, Daniel und Schrader, Nicole.** Lärm auf Intensivstationen und dessen Auswirkungen auf Patienten und Personal. *intensiv - Fachzeitschrift für Intensivpflege und Anästhesie* 9. 2001, Nr. 3.
- [17]. **Schick, August.** *Schallwirkung aus psychologischer Sicht.* Stuttgart : Klett-Cotta, 1979.
- [18]. **Europäische Woche.** *Schluss mit Lärm! Reduzierung lärmbedingter Risiken am Arbeitsplatz.* 2005.
- [19]. **Kloepfner, Michael, et al.** *Leben mit Lärm: Risikobeurteilung und Regulation des Umgebungslärms im Verkehrsbereich.* Heidelberg : Springer, 2006.
- [20]. **Umwelt-Bildungs-Zentrum Steiermark.** *Lärm macht krank.* Graz : s.n., 2009.
- [21]. **Deller, A, et al.** Alarme durch medizinisch-technische Geräte auf der operativen Intensivstation, eine prospektive Studie. *Anaesthesie, Intensivtherapie, Notfallmedizin.* 1988, 23.
- [22]. **Bunzel, B, et al.** Psychische Streßfaktoren in der Intensivmedizin. *Anaesthesist.* 1982, 31.
- [23]. **RION Co., Ltd.** Bedienungsanleitung. 2002.
- [24]. **ON Österreichisches Normungsinstitut.** ÖNORM S 5004. *Messung von Schallimmissionen.* 01. 12 2008.
- [25]. **ON Österreichisches Normungsinstitut.** ÖVE/ÖNORM EN 61672-1. *Elektroakustik - Schallpegelmesser Teil 1: Anforderungen.* 2005.
- [26]. **Berglund, Brigitta, Lindvall, Thomas und Schwela, Dietrich H.** *Guidelines for community noise.* s.l. : OMS (World Health Organization), 1999.
- [27]. **Agency, U.S. Environmental Protection.** Information on levels of environmental noise requisite to protect public health and welfare with an adequate margin of safety. [Online] 1974. [Zitat vom: 1. Juli 2013.] <http://www.nonoise.org/library/levels74/levels74.htm>.

9 Anhang

9.1 Messprotokoll

	Masterarbeit: Untersuchung des Lärmpegels auf Intensivstationen Messbericht	Seite: 72 von 83
		Datum: 07.12.2012
		erstellt von: Kletzenbauer

Allgemeine Informationen

- Messort: LKH Graz, Intensivstation

Ausrüstung

- Messgerät: Schallpegelmesser NL-32
- Mikrofon: Vorpolarisiertes Kondensatormikrofon Typ UC-53A
- Mikrofon-Vorverstärker: Typ NH-21
- Schallaufzeichnung: Samson Meteor, Laptop ¹

Schallquelle(n)

Personal: - Beschreibung: Ärzte, Pflegepersonal, etc.

- Lage: mobil
- Betriebsbedingungen: immer aktiv
- Geräuschcharakteristika: schwankend, Sprache

Patienten: - Beschreibung: Patienten

- Lage: stationär, Intensivzimmer
- Betriebsbedingungen: aktiv wenn wach
- Geräuschcharakteristika: ungefähr gleich bleibend, Sprache

Geräte: - Beschreibung: Medizinische Geräte (zB Beatmungsgerät)

- Lage: universal, speziell im Intensivzimmer
- Betriebsbedingungen: aktiv wenn notwendig
- Geräuschcharakteristika: schwankend, Pfeifen, Heulen

¹ Probemessung gehört von: Mag. Martin Wiederkumm, DGKP Christoph Kumpitsch, Univ. Prof. S. Fruhwald, Univ. Prof. M. Vicenzi, Univ. Prof. W. Toller, Dr. Hubinger C.

Messpunkte

- Nummer:
- Ort:
- Dateiname:

Messzeit

- Messbeginn:
- Messende:

Messergebnisse der ersten Probenmessung (bei Arbeitsplatzmessung)

- L_{Aeq} :
- L_{A1eq} :
- L_{Amax} :
- L_{Amin} :
- L_{AE} :
- L_{A1} :
- L_{A95} :

Geräteliste (bei Patientenmessung)

Messbedingungen

Messzeit Bedingung	Start					Ende
Anzahl Patienten						
Anzahl Personal						
Aktive Geräte						
Reinigungsarbeiten						
...						
...						
...						
...						

Angaben zur Ergebnisunsicherheit

9.2 Detaillierte Messergebnisse

Datum	Messpunkt	Bereich	L _{AFeq}	L _{AFmin}	L _{AFmax}	L _{AF,1}	L _{AF,95}
Di, 08.01.2013	1	Nm	58,6	46,6	93,4	68,3	48,1
		Na	52,9	45,9	78,5	63,2	47,0
Mi, 09.01.2013		Vo	59,5	46,7	84,5	69,1	49,8
		Nm	58,3	46,9	89,5	68,0	48,5
Do, 10.01.2013		Na	52,0	45,7	81,3	61,1	46,5
		Vo	61,0	47,3	85,1	70,7	50,7
		Nm	56,8	45,1	83,1	67,9	47,2
		Na	51,8	45,0	78,1	62,4	45,8 *
Fr, 11.01.2013		Vo	60,6	46,3	88,3	70,0	50,2
		Nm	56,9	45,7	81,4	67,6	47,0
		Na	51,1	45,4	80,5	60,8	46,1
		Vo	56,6	46,0	83,4	67,0	47,7
Sa, 12.01.2013		Nm	55,9	45,6	80,0	66,7	47,1
		Na	50,6	45,2	81,1	59,7	45,9
So, 13.01.2013		Vo	57,0	46,1	81,2	67,6	47,9
Mo, 14.01.2013	2	Nm	61,4	48,5	96,6	69,5	50,3
		Na	57,3	51,3	85,3	66,2	53,0
Di, 15.01.2013		Vo	61,2	51,9	81,9	70,7	53,9
		Nm	60,8	52,3	96,2	68,5	53,6
		Na	56,2	51,5	87,8	64,4	52,6
		Vo	61,8	51,6	90,0	70,7	54,3
Mi, 16.01.2013		Nm	59,3	50,8	88,1	68,6	52,6
		Na	55,4	51,5	76,2	63,3	52,8
Do, 17.01.2013		Vo	60,8	51,6	87,2	70,3	53,6
		Nm	60,0	51,5	81,5	69,7	52,9 *
		Na	55,8	51,8	80,9	64,0	52,6
		Vo	62,0	51,0	85,5	71,5	54,0 *
Fr, 18.01.2013		Nm	59,8	51,8	87,2	69,3	53,1 *
		Na	55,0	51,7	78,6	62,1	52,6
Sa, 19.01.2013		Vo	59,5	51,5	83,7	68,8	53,2
So, 20.01.2013	3	Nm	56,5	44,8	78,0	70,3	46,1
		Na	56,1	43,9	77,0	71,8	45,6
Mo, 21.01.2013		Vo	59,8	43,6	84,0	73,1	46,6
		Nm	57,2	43,9	79,4	72,2	44,9
		Na	52,1	43,1	75,4	61,4	43,9
		Vo	57,5	43,7	84,1	69,0	46,1
Di, 22.01.2013		Nm	55,7	44,7	78,0	67,9	46,6
		Na	50,1	43,3	72,6	60,0	44,2
Mi, 23.01.2013		Vo	57,6	44,1	80,4	69,3	46,2
		Nm	56,1	44,8	76,3	68,4	46,4
		Na	49,4	45,0	74,6	58,1	45,8
		Vo	58,1	43,5	80,2	69,1	46,2
Do, 24.01.2013		Nm	56,9	44,1	79,6	70,7	45,6

		Na	50,4	44,4	72,9	59,9	45,1
Fr, 25.01.2013		Vo	59,8	43,9	81,8	72,6	46,1
Sa, 26.01.2013	4	Nm	57,3	49,0	90,1	67,4	50,1
		Na	52,3	47,1	80,8	60,0	48,8 *
So, 27.01.2013		Vo	57,5	47,3	80,7	69,4	49,5
		Nm	53,4	47,4	84,6	64,1	48,4
		Na	48,9	46,9	73,4	51,8	47,6
Mo, 28.01.2013		Vo	60,2	47,0	89,4	71,7	48,3
		Nm	53,8	47,4	87,8	62,7	48,5
		Na	50,4	47,6	77,1	52,2	48,6
Di, 29.01.2013		Vo	60,8	46,6	90,3	72,2	49,5
Mi, 30.01.2013	5	Nm	61,0	57,4	81,1	67,1	58,7
		Na	61,4	57,3	80,9	69,2	58,8
Do, 31.01.2013		Vo	62,2	57,8	91,0	69,2	59,1
		Nm	61,1	57,9	83,8	67,2	59,0
		Na	60,3	57,9	80,0	64,2	59,0
Fr, 01.02.2013		Vo	61,9	57,6	82,3	69,7	58,8
		Nm	61,4	57,3	83,5	70,6	58,5
		Na	60,0	57,2	83,6	67,3	57,9
Sa, 02.02.2013		Vo	61,4	57,1	84,3	69,6	58,2
So, 03.02.2013	6	Nm	57,2	51,7	80,2	66,5	52,6
		Na	54,7	51,3	79,8	63,7	52,3
Mo, 04.02.2013		Vo	57,8	51,0	83,6	67,5	52,2 *
		Nm	57,0	52,1	79,7	66,1	53,4
		Na	54,9	52,5	80,2	59,3	53,5
Di, 05.02.2013		Vo	58,8	52,5	80,7	68,3	53,5
		Nm	58,9	52,5	77,5	68,0	55,0
		Na	56,9	53,1	75,2	61,6	55,0
Mi, 06.02.2013		Vo	60,5	52,2	83,8	69,9	54,4

Tabelle 19: Detaillierte Messergebnisse aller 6 Messorte für jeweils 8 Stunden; *bereinigte Messwerte

9.3 Quellcode Matlab

Dauerschallpegel mit einer Mittelungszeit von 8 Stunden:

```
for (i=1:1:n)
ynm(i)= input(i);
end

for(i=n:1:2*n)
yna(i-n+1)= input(i);
end

for(i=2*n:1:3*n)
yvo(i-2*n+1)= input(i);
end

x=1:n;
n=8*60*60; % 8 Stunden

%% Umwandeln von L in Leq
% Variante2
for(i=1:1:n)
h(i)=10^(0.1*input(i));
end
LeqNM=10*log10(1/n*sum(h));

for(i=n:1:2*n)
h(i-n+1)=10^(0.1*input(i));
end
LeqNA=10*log10(1/n*sum(h));

for(i=2*n:1:3*n)
h(i-2*n+1)=10^(0.1*input(i));
end
LeqVO=10*log10(1/n*sum(h));

%% Graphik
subplot(3,1,1), plot(ynm, '-', 'LineWidth',1)
set(gca, 'xtick', [0:60*60:n])
set(gca, 'xticklabel', [14:1:60*60])
title('Nachmittag')
xlabel('Uhrzeit')
ylabel('L')
ylim([40 90])
grid on

subplot(3,1,2), plot(yna, '-', 'LineWidth',1)
set(gca, 'xtick', [0:60*60:n])
set(gca, 'XTickLabel', {'22', '23', '24', '1', '2', '3', '4', '5', '6'})
title('Nacht')
xlabel('Uhrzeit')
ylabel('L')
ylim([40 90])
grid on

subplot(3,1,3), plot(yvo, '-', 'LineWidth',1)
set(gca, 'xtick', [0:60*60:n])
```


stündlicher Lärmpegel:

```
n=60*60;
p0=20*10^(-6);

%% Umwandeln von L in Leq
% Variantel
for(j=1:1:72)
for(i=1:1:n)
p(i)=p0*10^(input(i+n*(j-1))/20);
p2(i)=p(i)^2;
end
Leq(j)=10*log10(1/n*sum(p2)/(p0^2));
end

fileID = fopen('lärmpegel_pro_stunde.txt','w');
fprintf(fileID, '%2.2f\n', Leq);
fclose(fileID);
```

Peakdetection:

```
n=numel(input); % % 8 Stunden
min = 5*60; % 5 Minuten
sek = 10;
pegel = 10;

fileID = fopen('PD_MP6.txt','w');
fprintf(fileID, 'test|i|zeit|L\n');
index = 1;
i=min;
while(i<n-sek)
for(j=1:1:min)
h(j)=10^(0.1*input(j+i-min));
end
LeqPAST(i)=10*log10(1/min*sum(h));

for(j=1:1:sek)
b(j)=10^(0.1*input(j+i));
end
LeqFUTURE(i)=10*log10(1/sek*sum(b));

test = LeqFUTURE(i)-LeqPAST(i);
if(test>=pegel)
peak(index,1)=test;
peak(index,2)=i;
peak(index,3)=floor(i/3600);

if(mod(i,3600)>60)
peak(index,4)=floor(mod(i,3600)/60);
peak(index,5)=mod(i,60);
end

peak(index,6)=input(i);
fprintf(fileID, '%2.2f|%6.0f|%2.0f:%2.0f:%2.0f|%2.2f\n', peak(index,1), peak(i
ndex,2), peak(index,3), peak(index,4), peak(index,5), peak(index,6));
index=index+1;
end
end
```

```
fclose(fileID);
plot(LeqFUTURE-LeqPAST)
```

Trendanalyse:

```
n=8*60*60; % 8 Stunden
```

```
%% Variable
```

```
split = 4; % 2 = alle 4 Stunden, 4 = alle 2 Stunden, usw...
messart = 15; %15 bei Arbeitsplatzmessung; 9 bei Patientenmessung
```

```
for (i=1:1:messart*split)
for (j=1:1:n/split)
    y(j,i)= input((i-1)*n/split+j);
end
end
x=1:n;
```

```
%% Umwandeln von L in Leq
```

```
for (i=1:1:messart*split) %15 bei Arbeitsplatzmessung; 9 bei Patientenmes-
sung
for (j=1:1:n/split)
h(j,i)=10^(0.1*y((i-1)*n/split+j));
end
end
a = sum(h);
for (i=1:1:messart*split)
Leq(i)=10*log10(split/n*a(i));
end
```

```
%% Graphik
```

```
if (numel(Leq) == 30)
subplot(2,1,1),bar(Leq,0.5);
set(gca,'xtick',[1:6:30])
set(gca,'xticklabel',[1:1:5])
title('Trend 4h')
xlabel('Tage')
ylabel('LAeq,4h [dB(A)]')
ylim([40 70])
grid on
```

```
matrix1 = [Leq(1) Leq(7) Leq(13) Leq(19) Leq(25); Leq(2) Leq(8) Leq(14)
Leq(20) Leq(26); Leq(3) Leq(9) Leq(15) Leq(21) Leq(27); Leq(4) Leq(10)
Leq(16) Leq(22) Leq(28); Leq(5) Leq(11) Leq(17) Leq(23) Leq(29); Leq(6)
Leq(12) Leq(18) Leq(24) Leq(30)];
subplot(2,1,2),bar(matrix1)
set(gca,'XTickLabel',{'14 - 18','18 - 22','22 - 2','2 - 6','6 - 10','10 -
14'})
title('Trend 4h')
xlabel('Uhrzeit')
ylabel('LAeq,4h [dB(A)]')
ylim([40 70])
grid on
```

```
h = legend('1 Tag', '2 Tag', '3 Tag', '4 Tag', '5 Tag',1);
set(h, 'Interpreter', 'none')
```

```
elseif (numel(Leq)==60)
```

```

subplot(2,1,1),bar(Leq,0.5)
set(gca,'xtick',[1:12:60])
set(gca,'xticklabel',[1:1:5])
title('Trend 2h')
xlabel('Tage')
ylabel('LAeq,2h [dB(A)]')
ylim([40 70])
grid on

matrix1 = [Leq(1) Leq(13) Leq(25) Leq(37) Leq(49); Leq(2) Leq(14) Leq(26)
Leq(38) Leq(50); Leq(3) Leq(15) Leq(27) Leq(39) Leq(51); Leq(4) Leq(16)
Leq(28) Leq(40) Leq(52); Leq(5) Leq(17) Leq(29) Leq(41) Leq(53); Leq(6)
Leq(18) Leq(30) Leq(42) Leq(54); Leq(7) Leq(19) Leq(31) Leq(43) Leq(55);
Leq(8) Leq(20) Leq(32) Leq(44) Leq(56); Leq(9) Leq(21) Leq(33) Leq(45)
Leq(57); Leq(10) Leq(22) Leq(34) Leq(46) Leq(58); Leq(11) Leq(23) Leq(35)
Leq(47) Leq(59); Leq(12) Leq(24) Leq(36) Leq(48) Leq(60)];
subplot(2,1,2),bar(matrix1)
set(gca,'XTickLabel',{'14 - 16','16 - 18','18 - 20','20 - 22','22 - 24','24
- 2','2 - 4','4 - 6','6 - 8','8 - 10','10 - 12','12 - 14'})
title('Trend 2h')
xlabel('Uhrzeit')
ylabel('LAeq,2h [dB(A)]')
ylim([40 70])
grid on

h = legend('1 Tag', '2 Tag', '3 Tag', '4 Tag', '5 Tag',1);
set(h, 'Interpreter', 'none')

elseif (numel(Leq) == 18)
subplot(2,1,1),bar(Leq,0.5)
set(gca,'xtick',[1:6:18])
set(gca,'xticklabel',[1:1:3])
title('Trend 4h')
xlabel('Tage')
ylabel('LAeq,4h [dB(A)]')
ylim([40 70])
grid on

matrix1 = [Leq(1) Leq(7) Leq(13); Leq(2) Leq(8) Leq(14); Leq(3) Leq(9)
Leq(15); Leq(4) Leq(10) Leq(16); Leq(5) Leq(11) Leq(17); Leq(6) Leq(12)
Leq(18)];
subplot(2,1,2),bar(matrix1)
set(gca,'XTickLabel',{'14 - 18','18 - 22','22 - 2','2 - 6','6 - 10','10 -
14'})
title('Trend 4h')
xlabel('Uhrzeit')
ylabel('LAeq,4h [dB(A)]')
ylim([40 70])
grid on

h = legend('1 Tag', '2 Tag', '3 Tag',1);
set(h, 'Interpreter', 'none')

else
subplot(2,1,1),bar(Leq,0.5)
set(gca,'xtick',[1:12:36])
set(gca,'xticklabel',[1:1:3])
title('Trend 2h')
xlabel('Tage')
ylabel('LAeq,2h [dB(A)]')

```

```

ylim([40 70])
grid on

matrix1 = [Leq(1) Leq(13) Leq(25); Leq(2) Leq(14) Leq(26); Leq(3) Leq(15)
Leq(27); Leq(4) Leq(16) Leq(28); Leq(5) Leq(17) Leq(29); Leq(6) Leq(18)
Leq(30); Leq(7) Leq(19) Leq(31); Leq(8) Leq(20) Leq(32); Leq(9) Leq(21)
Leq(33); Leq(10) Leq(22) Leq(34); Leq(11) Leq(23) Leq(35); Leq(12) Leq(24)
Leq(36)];
subplot(2,1,2),bar(matrix1)
set(gca,'XTickLabel',{'14 - 16','16 - 18','18 - 20','20 - 22','22 - 24','24
- 2','2 - 4','4 - 6','6 - 8','8 - 10','10 - 12','12 - 14'})
title('Trend 2h')
xlabel('Uhrzeit')
ylabel('LAeq,2h [dB(A)]')
ylim([40 70])
grid on

h = legend('1 Tag', '2 Tag', '3 Tag',1);
set(h, 'Interpreter', 'none')

end

```