

Entwicklung eines Prognosemodells zur Ermittlung von Lärmbelastungen während der Bauwerkserstellung

**Dissertation
zur Erlangung eines Doktorgrades**

im
**Fachbereich D – Architektur, Bauingenieurwesen, Maschinenbau,
Sicherheitstechnik**
der
Bergischen Universität Wuppertal

- Abteilung Bauingenieurwesen -

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Jürgen Biernath
geb. am 19.10.1963 in Herten/Westfalen

Wuppertal im Oktober 2014

Bericht – Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und
Bauwirtschaft

Band 6/2015

Jürgen Biernath

**Entwicklung eines Prognosemodells
zur Ermittlung von Lärmbelastungen
während der Bauwerkserstellung**

Shaker Verlag
Aachen 2015

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Wuppertal, Univ., Diss., 2015

Copyright Shaker Verlag 2015

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3596-4

ISSN 2193-2557

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort des Herausgebers

Der Arbeitsschutz ist trotz intensiver jahrelanger Bemühungen seitens des Gesetzgebers und der überwachenden Organisationen ein Thema, das nicht ausreichend Berücksichtigung in der Bauwirtschaft findet. Neben der Arbeitssicherheit geht es auch um den Gesundheitsschutz, und hier stellt die Gefährdung durch Lärm auf Baustellen ein nach wie vor großes Problem dar. Die Kleinteiligkeit der Bauunternehmen mit ihren vielen Subunternehmen-Ketten machen Verbesserungen nur sehr schleppend möglich:

Nach dem TOP-Prinzip des Arbeitsschutzes (Technische, Organisatorische und Personenbezogene Maßnahmen) stehen an erster Stelle technische Lösungen zur Beseitigung der Gefährdung bzw. Belastung, an zweiter Stelle organisatorische Maßnahmen, und erst, wenn diese beiden Möglichkeiten nicht greifen, wird der Schutz der Mitarbeiter durch persönliche Schutzausrüstung dargestellt.

Bezogen auf den Lärmschutz gibt es bereits viele technische Lösungen zur Reduzierung des Lärms an der Quelle, z.B. durch schallgekapselte Baumaschinen. Die Baumaschinen- und Werkzeugindustrie entwickelt Schutzmaßnahmen in diesem Bereich intensiv weiter. Dennoch gibt es viele Lärmquellen, die technisch zumindest bis dato nicht abstellbar sind, z.B. bei Stemm- und Bohrarbeiten, die sehr häufig vorkommen. Insofern kommt der persönliche Schutz durch entsprechende Ausrüstung mit Gehörschutz häufig zum Tragen. Leider sind hier aber die Tragequoten, insbesondere bei Mitarbeitern, die nicht direkt an der Lärmquelle arbeiten, sondern in der Nähe, nicht besonders hoch.

Daher stellt Herr Dr.-Ing. Jürgen Biernath in seiner Arbeit den organisatorischen Bereich in den Fokus. Der Grundgedanke ist, die Lärmbelastung im Umfeld der Lärmquelle zu prognostizieren und durch organisatorische Veränderungen – z.B. im Bauablauf Grenzüberschreitungen bei Mitarbeitern im Umfeld der Lärmquelle – zu verhindern.

Ich freue mich sehr über diese grundlegende Arbeit zur präventiven Vermeidung von Lärmbelastungen und hoffe sehr, dass das Programm Eingang in die Bauwirtschaft findet.

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Arbeit wurde in den letzten 3 ½ Jahren berufsbegleitend mit einem sehr hohen zeitlichen Aufwand erstellt. Dieses wäre ohne die Unterstützung von meiner Familie, von Freunden, die mir immer wieder Mut und Zuversicht zugesprochen haben, von Geschäftspartnern, die mir sämtliche gewünschten Unterlagen zur Verfügung gestellt und mir die Möglichkeit zur Durchführung von Lärmmessungen auf Baustellen gegeben haben, und natürlich von meinen fachlichen Mentoren nicht möglich gewesen.

Ganz herzlich bedanken möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus für seine Bereitschaft, die Arbeit vollumfänglich zu betreuen, und für seine Unterstützung im Laufe der gesamten Bearbeitungszeit, die zur stetigen Optimierung der Arbeit beigetragen hat.

Natürlich gilt mein ganz besonderer Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. Richard Dellen für sein außergewöhnliches Engagement sowie seine vielfältigen, wertvollen und freundschaftlichen Hinweise und Anregungen, ohne die der Schritt, diese Arbeit berufsbegleitend in Angriff zu nehmen, niemals erfolgt wäre.

Und ebenso natürlich gilt mein besonderer Dank meiner Familie, die in dieser Zeit stets zu mir gestanden hat, viele Einschränkungen in Kauf genommen hat und mich allen voran in der Endphase in vielfältiger Weise auch sehr tatkräftig unterstützt hat. Ich danke meiner liebevollen Frau Silke und meinen beiden wunderbaren Kindern Marc-Andre´ und Ann-Kathrin, auf die ich sehr stolz bin.

Es ist nicht möglich, alle Personen, die zur Realisierung der Arbeit beigetragen haben, hier namentlich aufzuführen, ich bitte hierfür um Verständnis. Dennoch möchte ich stellvertretend für die vielen Helfer Herrn B.Eng. Frederik Höne danken, der mit mir zusammen sämtliche Messreihen durchgeführt hat und mir hierbei ein stets wertvoller und zuverlässiger Berater war.

Kurzbeschreibung

Lärmschwerhörigkeit gehört branchenübergreifend seit vielen Jahren zu den am häufigsten anerkannten Berufskrankheiten, die allerdings oftmals erst mit zunehmendem Alter der Betroffenen ihre tatsächlichen Auswirkungen zeigt. Kombinations- und Wechselwirkungen mit anderen Einflussgrößen wie z.B. Vibrationen, bestimmten chemischen Substanzen oder Medikamenten verstärken zudem den Schädigungsgrad des Gehörs.

Lärmintensive Tätigkeiten und vom Lärm betroffene Berufsbilder waren bereits Gegenstand mehrerer Studien mit darin einbezogenen, umfangreichen Messreihen. Was bislang jedoch fehlt, ist eine aussagekräftige Datenbasis, um Prognosen treffen zu können, wie sich Lärm unterschiedlicher Roh- und Ausbautätigkeiten auf benachbarte Baustellenarbeitsplätze auswirkt.

Unter Berücksichtigung rechtlicher und physikalischer Grundlagen wird ein auf umfangreichen Messreihen basierendes, 5-stufiges Prognosemodell entwickelt und vorgestellt, das hinreichend genaue Lärmprognosen für definierte Schallquellen unter Einbeziehung baulicher Parameter (Decken- und Wandstärken, Wandöffnungen, Entfernungen zur Schallquelle, Lage zu Fluren und Treppenhäusern) ermöglicht. Hinreichend genau bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die in der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung festgeschriebenen Auslöswerte auch für die im Rahmen der Studie durchgeführten Messungen charakteristische Grenzwerte darstellen.

Im eigentlichen Prognosemodell wird zunächst aufgezeigt, wie auf analytische Weise im Zusammenspiel bauspezifischer Dokumente (insbesondere von Termin- und Grundrissplänen) die für die Schallausbreitung relevanten baugometrischen Parameter unter Zugrundelegung bekannter Ausgangsschallquellen den entsprechenden Dokumenten entnommen werden können.

Das Herzstück des Modells bildet eine auf umfassenden Messreihen basierende Matrix, die empirisch ermittelte Schallpegelabnahmen in Abhängigkeit von Gebäudestrukturen und Entfernungen umfasst. Aus dieser lassen sich den baugometrischen Parametern zugeordnete Schallpegelabnahmen ablesen, um Schallpegelwerte an anderen Arbeitsplätzen abschätzen zu können.

Anschließend werden technische und organisatorische Schutzmaßnahmen gegen die Gefährdung durch Baustellenlärm aufgezeigt. Ein besonderes Augenmerk wird hierbei auf die Wirksamkeit des Abkapselns der Schallquelle durch Schließen von Wandöffnungen gerichtet, die durch eine spezifische, im Rahmen der Modellentwicklung durchgeführte Messreihe unter Beweis gestellt werden konnte.

Die kritische Auseinandersetzung mit dem entwickelten Lärmprognosemodell u.a. im Zuge einer Verifizierung am Beispiel eines Hochbauvorhabens zeigt, dass das Thema vielfältiges Potential für weitere Untersuchungen und Studien bietet – insbesondere auch deshalb, weil es einen Beitrag zur Gesunderhaltung von Baustellenbeschäftigten darstellt.

Abstract

For many years, noise-induced hearing loss has been one of the most frequently reported occupational illnesses across all industries, which, however, often only shows its true impact as the affected persons age. Moreover, there are effects from combinations and interactions with other relevant factors such as vibration, certain chemical substances or medication that increase the level of damage to hearing.

Noise-intensive activities and occupational profiles affected by noise have already been subject of many studies containing relevant, comprehensive series of measurements. To date, however, there has been no credible database enabling a prognosis on how much impact noise produced by diverse structural and finishing work on neighbouring construction sites has.

Taking into consideration legal and physical principles, a 5-step prognosis model has been developed and presented based on a comprehensive series of measurements delivering sufficiently exact noise prognoses for defined acoustic sources taking construction work parameters into account (thickness of walls and ceilings, wall openings, distance from the acoustic source, position in relation to corridors and staircases). In this context, "sufficiently exact" means that the exposure action values laid down in the Noise and Vibration Regulation are also reflected in the characteristic limit values for the measurements carried out within this study.

In the first instance, the actual prognosis model demonstrates how, using analytical methods, the interplay of construction-relevant documents (in particular scheduling and layout plans) can be used to gather relevant structural geometric parameters taken on the basis of known sources of acoustic output.

The heart of the model is formed by a matrix based on a comprehensive series of measurements covering the empirically determined sound level reductions depending on building structures and distances. These provide readings of sound level reductions associated with structural geometric parameters which, in turn, permit an estimation of sound level values at other workplaces.

Technical and organizational protective measures counteracting risks due to noise on construction sites will subsequently be demonstrated. Special attention will be directed here to the effectiveness of sound isolation by closing wall openings which has been put to the test by a detailed series of measurements carried out within the scope of the model development.

The critical appraisal of the noise prognosis model developed, inter alia by using the example of a building construction to verify the model, shows that this is a topic with enormous potential for further examination and study – but, more significantly, that it also makes a contribution to maintaining the health of construction site workers.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------|
| Vorwort des Herausgebers | I |
| Vorwort des Verfassers | II |
| Kurzbeschreibung | III |
| Abstract | IV |
| Abkürzungsverzeichnis | VII |
| Abbildungsverzeichnis | IX |
| Tabellenverzeichnis | XIII |
| 1. Einleitung | 1 |
| 1.1 Hintergrund | 1 |
| 1.2 Problemstellung | 3 |
| 1.3 Zielsetzung der Arbeit und wissenschaftliches Vorgehen | 4 |
| 2. Rechtliche Grundlagen im Zusammenhang mit Lärmbelastungen | 7 |
| 2.1 Lärm im Fokus des nationalen Arbeitsschutzrechts | 7 |
| 2.1.1 Arbeitsschutzgesetz | 7 |
| 2.1.2 Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung | 8 |
| 2.1.3 Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (TRLV Lärm) | 10 |
| 2.1.3.1 TRLV Lärm, Teil 1 „Beurteilung der Gefährdung durch Lärm“ | 11 |
| 2.1.3.2 TRLV Lärm, Teil 2 „Messung von Lärm“ | 15 |
| 2.1.3.3 TRLV Lärm, Teil 3 „Lärmschutzmaßnahmen“ | 17 |
| 2.2 Lärm im Fokus des nationalen Umweltrechts | 21 |
| 2.2.1 Lärm als Bestandteil des Immissionsschutzrechts (BImSchG) | 21 |
| 2.2.2 Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) | 25 |
| 2.2.3 Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm (AVV Baulärm) | 26 |
| 2.3 Lärm im Fokus von Standards | 33 |
| 2.3.1 BS OHSAS 18001:2007 „Arbeits- und Gesundheitsschutz- Managementsysteme – Anforderungen“ | 33 |
| 2.3.2 DIN EN ISO 14001 „Umweltmanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung“ | 36 |
| 2.3.3 Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB) | 37 |
| 3. Technische Rahmenbedingungen des Prognosemodells | 41 |
| 3.1 Physikalische Grundlagen | 41 |

| | |
|--|------------|
| 3.2 Grundlagen der Lärm- und Schallmessung..... | 53 |
| 3.2.1 DIN EN ISO 9612:2009 „Akustik – Bestimmung der Lärmexposition am Arbeitsplatz – Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 (Ingenieurverfahren)“ | 54 |
| 3.2.2 DIN 45645-2:2012 „Ermittlung des Beurteilungspegels am Arbeitsplatz bei Tätigkeiten unterhalb des Pegelbereiches der Gehörgefährdung“ | 65 |
| 3.2.3 DIN 45645-1 „Ermittlung des Beurteilungspegels aus Messungen – Teil 1: Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft“ | 68 |
| 4. Entwicklung eines Prognosemodells zur quantitativen Einschätzung von Schallausbreitungen..... | 74 |
| 4.1 Grundlagen zur Entwicklung des Prognosemodells | 74 |
| 4.1.1 Stand der Forschung und Technik | 74 |
| 4.1.2 Orientierende Messreihe..... | 91 |
| 4.2 Entwicklungsschritte des Prognosemodells | 100 |
| 4.2.1 Rahmenbedingungen der Untersuchungen..... | 100 |
| 4.2.2 Analyse von Bauabläufen unter räumlichen und zeitlichen Gesichtspunkten | 102 |
| 4.2.3 Erfassung baugeometrischer Parameter..... | 106 |
| 4.2.4 Planung und Durchführung von Lärmmessungen | 112 |
| 4.2.5 Auswertung der Messergebnisse..... | 113 |
| 4.3 Darstellung des Modells zur quantitativen Prognostizierung von Schallausbreitungen . | 145 |
| 4.4 Anwendung des Prognosemodells zur Ermittlung von Lärmbelastungen am Beispiel eines Bauvorhabens (Verifizierung) | 151 |
| 5. Schlussfolgerungen im Hinblick auf Schutzmaßnahmen..... | 160 |
| 5.1 Technische Schutzmaßnahme – Abkapselung der Schallquelle | 160 |
| 5.2 Organisatorische Maßnahmen..... | 161 |
| 5.2.1 Anpassung des Sicherheits- und Gesundheitsschutzplanes | 161 |
| 5.2.2 Anpassung Gefährdungsbeurteilung..... | 164 |
| 6. Zusammenfassung und Ausblick..... | 166 |
| 6.1 Zusammenfassung | 166 |
| 6.2 Ausblick | 167 |
| Literaturverzeichnis | 169 |
| Anhang..... | 175 |