

Forschungsbericht FZKA-BWPLUS

**Neuartige Maßnahmen zur Minderung von Baulärm -
Systeme, Methoden, Wirkungen**

von

Ivo Haltenorth, Lutz Weber, Philip Leistner
Schew-Ram Mehra

Universität Stuttgart
Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Förderkennzeichen: BWW 24003

Die Arbeiten des Programms Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung werden mit Mitteln des
Landes Baden-Württemberg gefördert

Februar 2007



Universität Stuttgart



Fraunhofer Institut
Bauphysik

Förderkennzeichen: BWW 24003

Neuartige Maßnahmen zur Minderung von Baulärm - Systeme, Methoden, Wirkungen

Das Projekt wurde innerhalb des Programms
Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung (BWPLUS)
mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert.

Dipl.-Ing. Ivo Haltenorth
Dr. Lutz Weber
Dr. Philip Leistner
Prof.-Dr. Schew-Ram Mehra

Stuttgart, 28. Februar 2007

Danksagung

Wir bedanken uns bei den Mitarbeitern des Hochbauamtes Stuttgart für die umfassende Beantwortung der Befragung zum Baulärm sowie für die Möglichkeit, auf den von ihnen betreuten Baustellen den praxisgerechten Einsatz neuartiger Abschirmmaßnahmen durchzuführen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	5
2	Problemstellung	6
2.1	Besonderheiten des Baulärms	6
2.2	Belästigung durch Baulärm	6
2.3	Kosten durch Baulärm	8
2.4	Rechtliche Grundlagen zur Baulärminderung	8
2.5	Möglichkeiten der Baulärminderung	9
2.5.1	Maßnahmen an Emittenten	10
2.5.2	Maßnahmen auf dem Ausbreitungsweg	11
2.5.3	Praxisrelevanz und Bedarf von Maßnahmen	11
3	Arten von Schallschirmen	12
3.1	Möglichkeiten der Schallabschirmung	12
3.2	Bausysteme von Schallschirmen	12
3.2.1	Massive Systeme	12
3.2.2	Systeme mit festen Stützen und Abschirmplatten	13
3.2.3	Systeme mit mobilen Stützen und Abschirmplatten	13
3.2.4	Systeme mit demontablen Gestellen und Abschirmplanen	13
3.2.5	Systeme ohne Stützen oder Gerüste	14
3.3	Nichtakustische Anforderungen an Abschirmungen	15
3.4	Bewertung von Systemen für den Einsatz auf Baustellen	15
3.4.1	Bewertungsfaktoren	15
3.4.2	Rangliste	16
4	Akustische Konzeptionierung der Lärmschutzmaßnahmen	18
4.1	Problemstellung	18
4.2	Globale und lokale Konzepte	18
4.3	Abschirmvariationen zwischen Stellwand und Kapsel	19
4.4	Bauabschnitte	21
4.5	Umsetzbarkeit von Abschirmmaßnahmen auf Baustellen	23
5	Prognose der Wirksamkeit leichter Abschirmsysteme	24
5.1	Parameter der Abschirmwirkung	24
5.1.1	Schallbeugung an Abschirmungen	24
5.1.2	Schalldämmung von Folien und Membranen	25
5.1.3	Schallabsorption von Folien und Membranen	26
5.2	Immissionsprognose-Software	27
5.3	Prognoseprogramm mit Berücksichtigung des Transmissionsanteils	28
5.4	Prognose von Fallbeispielen	30
5.5	Schlussfolgerung	32

6	Messtechnische Untersuchungen	34
6.1	Messungen im Halbfreifeldraum	34
6.2	Freiluftmessungen	36
6.3	Höreindruck durch Kunstkopfaufnahmen	37
6.4	Vergleich von Berechnung und Messung	39
6.5	Zusammenfassung	41
7	Baustellenanalyse	42
7.1	Auswahl der Baustellen	42
7.2	Bestandsaufnahme ausgewählter Baustellen	42
7.2.1	Pragschule / Kindertagesstätte Neubau	42
7.2.2	Sonderschulzentrum Hengstäcker / Erweiterung der Bodelschwingschule	43
7.2.3	Leuze-Bad / Parkhaus-Neubau	43
7.2.4	Friedrich-Eugens-Gymnasium / Mensa-Anbau	43
7.3	Planerische Auslegung von Lärmschutzmaßnahmen	43
7.3.1	Dimensionierung der aufblasbaren Schallschirme	44
7.3.2	Konzeption des praxisgerechten Lärmschutzes	44
8	Baustelleneinsatz leichter Abschirmungen	46
8.1	Aufbau und Einsatz der Abschirmungen	46
8.2	Messungen	47
8.2.1	Messtechnisch ermittelte Minderungswirkung	47
8.2.2	Vergleich mit Prognosewerten	48
8.3	Empfundene Minderungswirkung	50
8.3.1	Befragung	50
8.3.2	Höreindruck / Auralisation	50
8.4	Zusammenfassung	51
9	Bewertung der Untersuchungsergebnisse	53
9.1	Optimierung und Einsetzbarkeit aufblasbarer Stellwände	53
9.2	Flexible Abschirmsysteme und ihre Einsatzmethodik	55
10	Zusammenfassung	57
11	Ausblick	59
	Literatur	60
	Anhänge	107

1 Einführung

Von den vielfältigen akustischen Belastungen durch von Baustellen emittierten Lärm ist nach einer Umfrage des Umweltbundesamtes aus dem Jahre 2002 [28] die Hälfte der Befragten betroffen. Leisere Baumaschinen oder eine geschickte Logistik sind nicht nur kostenintensiv bzw. aufwändig, sondern stoßen auch an technische Grenzen. Zugleich steht diesem aktuellen Problem eine 35 Jahre alte Verwaltungsvorschrift zum Baulärm [1] gegenüber, deren Immissionsfestlegungen gerechtfertigt sind, deren Lärminderungsvorschläge jedoch teilweise nicht dem Stand der Lärmschutztechnik entsprechen.

Das Forschungsvorhaben zielt deshalb auf die Untersuchung, den Entwurf und den Wirkungsnachweis neuartiger Bausysteme und Methoden speziell für den Schutz gegen den temporär wirkenden Lärm von Baustellen im Freien sowie innerhalb von Gebäuden. Dazu werden unter anderem aktuelle Ansätze und Lösungen mit Verbundbauteilen untersucht, z.B. mit Folien- und Membrankonstruktionen, die ausreichende Schalldämmung und hohe Schallabsorption mit geringen Kosten und hoher Flexibilität, Mobilität und Montagfreundlichkeit verbinden.

Im Projekt werden zuerst die derzeit gängigen oder auch möglichen Bausysteme und ihre Einsatzmethodik auf Baustellen untersucht. Es folgt die Bestimmung der objektiven und subjektiven Minderungswirkung vor und nach der Installation von Musterlösungen auf typischen Baustellen im Großraum Stuttgart. Weiterhin werden bestehende akustische Diagnose- und Prognosewerkzeuge dahingehend modifiziert und validiert, dass für Baustellen geeignete Systeme in eine Lärmschutzplanung einbezogen werden können. Ziel sind praktische Planungs- und Handlungshilfen wirkungsvoller Maßnahmen bzw. Bausysteme zur Baulärminderung.

2 Problemstellung

2.1 Besonderheiten des Baulärms

Baustellen werden häufig im Freien und zeitlich befristet in unmittelbarer Wohnnähe betrieben. Sie sind nicht nur mit dem Betrieb von beweglichen (fahrbaren) Baumaschinen oder der Benutzung von mobilen Baugeräten verbunden, sondern auch mit Bautransporten. Als Emissionsorte wirken demnach Zufahrtstraßen und die jeweiligen Orte der Bautätigkeit, gegebenenfalls aber auch die einem Bauvorhaben zugeordneten Plätze zur Herstellung von Bauteilen oder zur Baumaterialaufbereitung bzw. -lagerung.

Die jeweiligen Orte der Bautätigkeit sind ebenso wie die Arten der Lärmemissionen während des Bauablaufes Änderungen unterworfen. Einerseits können Baustellen sowohl in vertikale (vor allem Hochbau) und horizontale (vor allem Tiefbau) Richtungen wachsen und wandern ("Linienbaustellen"), andererseits werden Maschinen und Geräte vielfach innerhalb kurzer Zeiträume an verschiedenen Standorten verwendet. Baugeräusche können impuls- und tonartig sein, sich aber auch hinsichtlich ihrer Einwirkdauer unterscheiden. Auch die von Maschinen und Geräten emittierten Frequenzanteile sind teilweise sehr verschiedenartig. So sind bei einem Bagger tieferfrequente Anteile maßgeblich, bei einem Presslufthammer hingegen die höherfrequenten Anteile (Abb. 1).

2.2 Belästigung durch Baulärm

Laut einer Umfrage des Umweltbundesamtes aus dem Jahre 2002 fühlen sich mehr als die Hälfte aller Befragten von Baulärm belästigt, wiederum die Hälfte davon wesentlich. Damit rangiert durch Bautätigkeiten hervorgerufene Lärmbelästigung nach Straßen- und Fluglärm etwa gleichrangig wie Nachbarschaftslärm und noch vor Schienen- oder Gewerbelärm [28]. Dass trotz des Einsatzes leiserer Baumaschinen der Belästigungsgrad seit Jahren gleich hoch ist, liegt zum einen daran, dass die Bauprozesse wegen verstärkten Zeit- und Kostendruckes auf die Bauherren immer stärker mechanisiert und intensiviert werden, andererseits daran, dass Baustellen vermehrt in bewohnte Gegenden verlagert werden [20].

Während sich Bewohner vor Lärmarten, die andauernd und / oder stationär wirken, durch die Wahl des Wohnortes, die akustische Verbesserung von Fassadenteilen bzw. die Errichtung stationärer Schallschirme schützen können und diesen dauernden Lärmarten durch Gewöhnungseffekte eine gewisse Akzeptanzbereitschaft entgegenbringen, werden sie von

temporären Lärmquellen¹ in der Nachbarschaft oft unangenehm überrascht. Zwar entstehen die Geräusche vorrangig tagsüber, sie erreichen aber beträchtliche Lärmpegel und weisen zudem ständige Schwankungen auf, sodass den Betroffenen eine etwaige Gewöhnung schwer fällt.

Nach [20] fühlen sich betroffene Anwohner von folgenden Bauarbeiten besonders stark belästigt:

- Rammarbeiten (Spundwanderstellung durch Schlagramme),
- Erstellung einer überschnittenen Bohrpfahlwand,
- Boden- oder Pflasterverdichtungsarbeiten (Stampfer, Rüttelplatte),
- Fräsarbeiten im Straßenbau,
- Stemm-, Abbruch- und Bohrhammerarbeiten im Massivbau,
- Schalungs- und Betonagearbeiten,
- Säge- und Trennarbeiten,
- Bauschuttbeförderung auf Schuttrutschen,
- Lieferverkehr von und zur Baustelle sowie
- Fassadenbehandlung (Trockenstrahlen).

Aus einer im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten Befragung von 22 Projektleitern von in Stuttgart ansässigen Bauträgern und Bauunternehmen (Tab. 1) ist der Trend erkennbar, dass Lärm unter den bei Baustellen auftretenden Belästigungen die wichtigste Belästigungsart ist und eine starke Rolle spielt, dicht gefolgt von Staubbelästigungen. Andere Belästigungsarten sind von unterordneter Bedeutung (Abb. 2). Die befragten Projektleiter stellten dennoch fest, dass lediglich manchmal bis selten Beschwerden durch Baustellen-Anrainer geäußert werden. So verzeichnet jeder Projektleiter jährlich durchschnittlich etwa 5 Beschwerden. Sicherlich aus diesem Grund erscheint diesen Projektleitern eine zusätzliche Senkung des Baulärms zwar sinnvoll, aber nicht überaus wichtig.

Die ersten Bauphasen einer Baustelle werden als eher lärmintensiv empfunden, insbesondere die Rohbauphase (Abb. 2). Die Phase des Innenausbaus liegt an letzter Stelle. Als besonders laute Bauarbeiten werden aufgeführt:

- Arbeiten an Beton (Trennen, Stemmen, Bohren, Sägen, Hämmern),
- Abbrucharbeiten,
- Arbeiten mit Kompressoren,
- Baggerarbeiten,
- Rammarbeiten zur Baugrubenerstellung,
- Rüttelarbeiten usw.

¹ Neben Baulärm fällt darunter auch Lärm durch Open-Air-, Sport- und Freizeitveranstaltungen.

2.3 Kosten durch Baulärm

Insbesondere die Inakzeptanz des Baulärms kann wirtschaftliche Folgen haben, die vom verzögerten Baubeginn oder -ablauf über eingeklagte Mietminderungen usw. bis zu einer gegen bauliche Investitionen gerichteten Atmosphäre reichen. Da die staatlichen Gewerbeaufsichtsämter zu selbst gewählten und nicht angekündigten Zeitpunkten die Immissionswirkungen von Baustellen messen, kann die Tätigkeit mit emissionsintensiven Verfahren im Fall der Überschreitung bis zur Umsetzung lärmmindernder Maßnahmen eingeschränkt oder sogar ganz untersagt werden [21]. Damit wiederum sind nicht selten hohe Kosten für unproduktive Personalpräsenz, Umorganisationen im Bauablauf und Zusatzaufwendungen zur Einhaltung der vorgegebenen und zugesagten Fertigstellungstermine verbunden.

Laut aktueller Rechtssprechung dürfen von Baulärm betroffene Mieter – je nach Grad der Baulärmbelästigung – Mietminderungen zwischen 20 und 40 Prozent bis hin zum Recht auf fristlose Wohnungskündigung geltend machen [26]. Auch Reiseveranstalter müssen Reisekostenminderungen bei Baulärmbelästigung am Urlaubsort von mindestens 15 bis 20 Prozent hinnehmen [2]. Die weiterhin immanente Belästigung der Bevölkerung durch Baulärm erfordert daher neue Überlegungen zur Minderung des durch temporäre Quellen verursachten Lärms.

2.4 Rechtliche Grundlagen zur Baulärminderung

Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm (AVV Baulärm) [1] aus dem Jahr 1970 fixiert die zulässigen Immissionsrichtwerte für den Beurteilungspegel im Anwohnerbereich für die verschiedenen in der Baunutzungsverordnung [4] festgelegten Baugebiete in Abhängigkeit von deren Nutzung für Tages- und Nachtzeit. Zudem werden in ihr das Verfahren für die Ermittlung des Beurteilungspegels erläutert, auf die Rahmenbedingungen für behördliche Maßnahmen zur Minderung des Baulärms hingewiesen und in ihrer Anlage 5 Beispiele für technische Maßnahmen zur Minderung des Baulärms genannt.

Für Beurteilungspegel und kurzzeitige Geräuschspitzen werden in der Verwaltungsvorschrift die gleichen Anforderungen wie in der aktuelleren TA Lärm [9] aus dem Jahr 1998 definiert, deren Geltungsbereich allerdings keine Baustellen umfasst (TA Lärm, Abs. 1.f). Das ist ein Indiz dafür, dass die in der Verwaltungsvorschrift gestellten Anforderungen an die Immissionsrichtwerte zeitgemäß und gerechtfertigt sind. Diese Verwaltungsvorschrift ist jedoch mehr als der Hälfte aller befragten Projektleiter aus Bauträgern und Bauunternehmen unbekannt (Tab. 1) oder wird von ihnen kaum genutzt.

Bauträger merken zu den aus ihrer Sicht strengen Anforderungen kritisch an, dass diese kaum als praxisgerecht bezeichnet werden können, da sie einen unvermeidbar hohen technischen und organisatorischen Aufwand bedingen und auf etlichen Baustellen, trotz intensiver Bemühungen des Baustellenpersonals, oft überschritten werden [20].

Die in der Anlage 5 der AVV Baulärm [1] aufgeführten Beispiele für technische Maßnahmen zur Minderung des Baulärms umfassen die Einrichtung der Baustelle, den Standort und Einsatz von bzw. die Maßnahmen an Baumaschinen sowie Hinweise zu Schallausbreitung, Schallabschirmung (Schallschirme, Schallschürzen) und Schalldämmung (Schallschutzzelte, Kapselungen).

Des Weiteren existieren landesrechtliche Regelungen zur Bekämpfung des Baulärms, wie etwa die Berliner Lärmverordnung [33], die in ihren Ausführungsvorschriften [3] Abschirmmaßnahmen² fordert. Die Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung [35] definiert zulässige Schall-Leistungspegel von 57 Maschinen und Gerätearten, setzt die AVV Baulärm [1] teilweise außer Kraft und kann deshalb bei der Auslegung des Begriffs „Stand der Technik“ herangezogen werden.

2.5 Möglichkeiten der Baulärminderung

Seit In-Kraft-Treten der 35 Jahre alten AVV Baulärm [1] haben sich nicht nur die Art der Bautätigkeiten und Bauabläufe geändert, sondern auch die technischen Möglichkeiten zur Baulärminderung. So schlägt die Vorschrift hinsichtlich der Ausführung von Schallschirmen vor: "Schallschirme können aus Brettern, Holz- und Metalltafeln, Blechen sowie aus Mauerwerk errichtet werden. Auch ... Erdwälle, Metallstapel o. ä. können als Schallschirme dienen." Für temporäre Lärmquellen sind massive Schallschirme jedoch ungeeignet und werden in der Praxis wenig angewendet. Neue (kostengünstige, flexible und mobile) Baumaterialien und / oder Abschirmaufbauten finden in der Vorschrift keine Berücksichtigung. Ebenso wenig werden nachahmenswerte Ausführungs- und Fallbeispiele mit belastbaren Wirkungsdaten aufgeführt.

Auch aktuelle Forschungsstudien [5] gehen für Lärminderungen auf Baustellen hauptsächlich auf Modifizierungen an den Lärmemitteln und den Bauverfahren ein und weisen auf Platzprobleme bei der Aufstellung von Abschirmeinrichtungen auf Baustellen hin.

² So zum Beispiel Schallschutzwände um die Baustelle oder an lärmintensiven Maschinen und Arbeitsbereichen, Schallschutzkabinen für Säge-, Schneide- oder Schleifarbeiten, Abhängen der Baugerüste mit „Schallschutzplanen“.

Prinzipiell gibt es im Immissionsschutz drei Möglichkeiten zur Lärminderung: Maßnahmen am Emittenten, am Ausbreitungsweg und am Immissionsort. Maßnahmen am Immissionsort (z.B. Umbau von Fenstern) sind im vorliegenden Fall wenig sinnvoll, da Baustellen lediglich über einen bestimmten Zeitraum Lärm erzeugen, Umbauarbeiten gegebenenfalls sehr kostenintensiv sein können und der Belästigungsgrad bei Betroffenen durch sie direkt tangierende Maßnahmen hoch ist. Maßnahmen an Emittenten hingegen haben nicht nur ein großes Minderungspotenzial, sondern wurden in den letzten Jahren bereits häufig umgesetzt.

2.5.1 Maßnahmen an Emittenten

Die optimale Schallschutzmaßnahme vor Lärm in der Umwelt ist immer, das Entstehen zu hoher Schallemissionen überlegt und aktiv gar nicht erst zu ermöglichen. Maßnahmen an den Lärmquellen sind vor allem angesichts der Besonderheiten des Baustellenlärms sehr sinnvoll, da bei geringeren Lärmemissionen auch der Aufwand für Lärminderung auf dem Ausbreitungsweg bzw. am Immissionsort automatisch verringert werden kann. In den letzten Jahrzehnten wurde nicht nur die Wirkung von Lärmemissionen verschiedenster Quellen auf Baustellenarbeitsplätze eingehend analysiert [6], sondern es wurden auch Grenzwerte für Geräuschemissionen durch Baumaschinen³ festgelegt [35] und deutlich leisere Baumaschinen entwickelt. Seit Mitte der achtziger Jahre regelt auch die EU diesen Bereich systematisch.

Mit dem Umweltzeichen "Blauer Engel" sind auch noch höhere Geräuschanforderungen verbunden. Inzwischen haben über 200 Baumaschinentypen diese Kennzeichnung vom Deutschen Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. (RAL) bzw. dem Umweltbundesamt erhalten. Diese Baumaschinen sind deutlich leiser als herkömmliche Geräte. Bei ihnen werden die derzeit gültigen Geräuschgrenzwerte um etwa 10 dB(A)⁴ unterschritten [7].

Auch bei Kraftfahrzeugen – vor allem bei LKW – sind in den letzten Jahren die Geräuschemissionen erheblich gemindert worden. Ein mit einem „G“ gekennzeichnetes und damit nach der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung als „geräuscharmes Kraftfahrzeug“ deklarierter LKW ist um ca. 8 dB(A) leiser, als es nach dem Standard der europäischen Richtlinien noch bis Ende der achtziger Jahre zulässig war.

Zwar werden die Geräuschanforderungen in zeitlichen Abständen verschärft, jedoch wurden die Bauprozesse in den letzten Jahrzehnten weiter mechanisiert, sodass durch die höhere Anzahl von Maschinen und Geräten die Minderung von einzelnen Lärmemissionen kompensiert wird. Zudem greifen diese Lärminderungsmaßnahmen am Emittenten erstens nur bei Bautransportern und Baumaschinen sowie gegebenenfalls bei Baugeräten

³ So sind für viele häufig verwendete Baumaschinenarten wie z.B. Bagger, Radlader, Aufbruchhämmer, Krane und Kompressoren Grenzwerte festgelegt und teilweise nach einigen Jahren stufenweise verschärft worden.

⁴ Dies bedeutet, dass etwa 10 Maschinen mit dieser Kennzeichnung den gleichen Lärm verursachen, wie eine herkömmliche Maschine dieses Typs.

(Bauproduktionsmittel), aber nicht unbedingt bei lärmintensiven Tätigkeiten (manuelle und mechanische Bauprozesse), und zweitens führt selbst der Einsatz lärmarmen Maschinen nicht immer zur Absenkung des Immissionspegels auf den erforderlichen Wert. Schließlich sind für den Gesamt-Immissionspegel vorrangig die Emissionen des/der lautesten Emittenten verantwortlich, während leisere Emittenten weniger wirksam sind. Zudem sind lärmarme Baumaschinen in Anschaffung und Unterhalt zumeist teurer als herkömmliche Maschinen, weswegen insbesondere mittelständische und kleine Bauunternehmen auf diese Möglichkeit der Lärmpegelminderung verzichten.

2.5.2 Maßnahmen auf dem Ausbreitungsweg

Maßnahmen auf dem Ausbreitungsweg sind vorwiegend angebracht, wenn [32]:

- Maßnahmen an der Quelle nicht möglich oder aufwändig sind,
- diese kostengünstiger als andere Schallschutzmaßnahmen sind oder
- die Wirkung vorwiegend in einer Richtung benötigt wird.

Maßnahmen auf dem Ausbreitungsweg werden in einigen Fällen derzeit zwar ansatzweise umgesetzt, sind aber zumeist unzureichend und entsprechen oftmals nicht dem Stand der Technik. Lärmschutzmaßnahmen vor Ort, welche den sogenannten sekundären oder passiven Lärmschutz umfassen, werden in den seltensten Fällen in die Bauablaufplanung einbezogen. Wenn überhaupt, dann beschränkt er sich hauptsächlich auf Bretterzäune und -verschläge oder die Positionierung stationärer Emittenten hinter Baumaterialstapel. Stellwände und Einhausungen sind hingegen selten, da Montageaufwand und Kosten umständlicher Bausysteme gegenüber der zu erzielenden Wirkung von den Bauträgern als zu hoch angesehen werden. Einlagige Folien und Membranen finden bestenfalls im Hochbau an Einrüstungen Verwendung, vorrangig aber aus Gründen der Verringerung von Staubemissionen. Zudem sind derart abgeschirmte Einrüstungen wegen ihrer Undichtigkeiten nicht immer akustisch wirksam. Mobile, einfache und kostengünstige, aber auch wirksame Schallschirme könnten daher in der Baupraxis eine Lücke schließen.

2.5.3 Praxisrelevanz und Bedarf von Maßnahmen

Die in Kapitel 2.2 angeführte Befragung von 22 Projektleitern von in Stuttgart ansässigen Bauträgern und Bauunternehmen (Tab. 1) ergab, dass im Schnitt „manchmal“ Maßnahmen zur Minderung von Baulärm ergriffen werden, wobei Maßnahmen am Emittenten die wichtigste und Maßnahmen am Immissionsort eine untergeordnete Rolle spielen. Abschirmeinrichtungen werden selten eingesetzt, wobei eine Weiterentwicklung von Maßnahmen auf dem Ausbreitungsweg zwar als „sinnvoll“ bis „wichtig“ empfunden wird, diese Maßnahmen aber als nur „manchmal“ umsetzbar eingestuft werden. Die Vorstellung, dass flexible und demontable Abschirmeinrichtungen als selbsttragende Luftkissen ausgeführt werden können, ist bei den Befragten eher gering ausgeprägt.

3 Arten von Schallschirmen

3.1 Möglichkeiten der Schallabschirmung

Als Schallschirme dienen zwischen Lärmquelle und Immissionsort gestellte stationäre⁵ Bauteile, welche die direkte Schallausbreitung vom Emissionsort zum Immissionsort behindern. Schallschirme können sowohl als Flächenbauteil (z.B. Stellwand), aber auch als zusätzlich seitlich und / oder oben verkleidetes Flächenbauteil (z.B. Einhausung) ausgeführt werden.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, durch Schallschutzzelte bzw. Kapselungen die gesamte Baustelle oder auch nur bestimmte Baustellenbereiche bzw. Maschinen einzuhausen. Für den Einsatz von Schirmen, Einhausungen, Zelten und Kapseln können verschiedene Bausysteme verwendet werden.

Abschirmungen werden durch Schallbeugung, Schalldämmung und Schallabsorption akustisch wirksam. Der von einer Schallquelle emittierte Schall wird sowohl an den Schirmkanten gebeugt als auch durch die Schirmfläche transmittiert. Schallreflexionen durch geringe Absorption auf der dem Emissionsort zugewandten Schirmseite führen zu Pegelerhöhungen (Abb. 3).

3.2 Bausysteme von Schallschirmen

Hinsichtlich prinzipieller Bauart und ihrer daraus resultierenden Flexibilität und Mobilität, die wiederum einen Kostenfaktor darstellen, können fünf grundlegende Bausysteme unterschieden werden (Abb. 4): massive Systeme, Systeme mit festen oder mobilen Stützen, Systeme mit demontablen Gerüsten und Systeme ohne Gerüste (Wall-Systeme werden nicht berücksichtigt).

3.2.1 Massive Systeme

Selbsttragende Schallschirme aus Stahlbeton, Mauerwerk, Gabionen (mit Steinen gefüllte Drahtkörbe) oder auch (als Sonderfall) Materialstapel sind als massive Systeme anzusehen. Ihre Aufstellung ist aufwändig und sie sind wenig flexibel⁶. Insbesondere Stellwände aus Stahlbeton oder Gabionen sind sehr teuer, haben dafür aber eine ausgezeichnete Standsicherheit und Haltbarkeit. Sinnvoll ist ihr Einsatz hauptsächlich dann, wenn sie auch nach der Bautätigkeit als Lärmschutzeinrichtung Verwendung finden können.

⁵ „Stationär“ zumindest während ihrer Nutzungsdauer.

⁶ Zur Begriffserläuterung der Flexibilität von Abschirmungen siehe 3.4.1.

3.2.2 Systeme mit festen Stützen und Abschirmplatten

Unter Systemen mit festen Stützen sind Bausysteme zu verstehen, deren Stützen verankert werden, deren Abschirmfläche jedoch montierbar ist. Darunter fallen beispielsweise die auf Baustellen oft üblichen Bretterwände, aber auch Lärmschutzwände, wie sie häufig zur Abschirmung von Straßenverkehrslärm Verwendung finden. Die Abschirmfläche kann aus großflächigen Platten (Sandwichpaneelen, Kunststoff-⁷ oder Metallplatten) gefertigt sein, aber auch aus demontablen Kassetten (aus Holz, Aluminium usw.) bestehen. Systeme mit festen Stützen sind nur geringfügig flexibel und relativ kostenintensiv, besitzen aber eine hohe Standsicherheit. Als Synergieeffekt kann, wie bei den massiven Systemen, die Weiterverwendung als Lärmschutzwand auch nach der Bautätigkeit (z.B. im Straßenbau) aufgeführt werden.

3.2.3 Systeme mit mobilen Stützen und Abschirmplatten

Systeme mit mobilen Stützen haben im Gegensatz zu Systemen mit festen Stützen den Vorteil, dass ihr Montageaufwand gering ist und sie teilweise flexibler einsetzbar sind. Sie können als mobile Stellwände sehr breit ausgeführt oder um einzelne Emittenten positioniert werden, sind dafür jedoch in ihrer Höhe begrenzt. Ihre Abschirmfläche kann aus Kassetten oder leichten Sandwichpaneelen zusammengesetzt sein. Manche Systeme werden nicht nur als Stellwände, sondern auch als Fassadengerüste mit einer geschlossenen Front aus Platten ausgeführt [34].

3.2.4 Systeme mit demontablen Gestellen und Abschirmplanen

Seit mehreren Jahren werden, auch für Lärmschutzzwecke, verschiedene Ausführungsvarianten für an demontablen Gestellen befestigte Folien und Membrane angeboten. Diese an gerüstartigen Trag- und Spannkonstruktionen angebrachten Abschirmplanen können lichtdurchlässig oder sogar transparent, ein- oder mehrlagig, mit Absorptionsmaterial belegt und - im Falle der Mehrlagigkeit - mit Dämmmaterial verfüllt sein. Bekannt sind auch Bausysteme, die aus zwei mit Membranstegen oder Querfäden miteinander verbundenen Membranlagen bestehen.

Ein relativ mobiles System besteht aus einem rechteckigen Stangengerüst, über welches eine mehrlagige und gegebenenfalls befüllte Folienkonstruktion gespannt ist [16]. Mehrere dieser Gerüste können zu einer Wand oder einer Einhausung zusammen gefügt werden. Auch einseitig mit Absorptionsmaterial belegte Folien sind möglich.

Mehrlagige, verfüllte Systeme wurden bisher auf Baustellen wenig eingesetzt, weil ihre Montage umständlich ist und unter Umständen eine sorgfältige Abdichtung der Trennfugen erfordert. Die Füllung der Zwischenräume mehrlagiger Abschirmflächen kann beim Hersteller erfolgen, aber auch am Aufstellort. Einige der älteren in der Praxis verwendeten Systeme bestehen aus sandbefüllten Planen, welche an speziellen Gerüsten befestigt werden [19]. Ein weiteres System

⁷ Auch transparente Ausführungen sind hier möglich.

mehrlagiger Membrane [12], in welche leichte Füllmedien (z.B. Mineralwolleplatten) eingebracht und die in Modulbauweise zu Zäunen oder Einhausungen aneinander gesetzt werden, findet als stationäre, aber auch als fahrbare, Trenn- bzw. Stellwand im Innen- und Außenbereich Verwendung.⁸

3.2.5 Systeme ohne Stützen oder Gerüste

Systeme ohne Stützen oder Gerüste sind als Hüllenkonstruktionen eine Neuerung auf dem Gebiet des Lärmschutzes und fanden bisher noch keinen Einsatz in der Baupraxis. Ihre entscheidenden Vorteile hinsichtlich Montagefreundlichkeit und Flexibilität wurden in der Fachliteratur bereits näher dargelegt [24].

Hüllenkonstruktionen aus Folien und Membranen bestehen aus einer geschlossenen Hülle, die über ein Ventil mit Gas - in der Regel mit Luft - befüllt wird. Sie können aus einer oder mehreren Kammern aufgebaut sein sowie elastische Verbindungsstege (Abstandhalter) zwischen den äußeren Schalen enthalten, welche die Form und Stabilität im aufgeblasenen Zustand bestimmen. Sie sind so konstruiert, dass sie durch das Aufblasen eine eigentragfähige Form erhalten. Derartige Hüllenkonstruktionen lassen sich in Form und Aussehen unterschiedlich herstellen oder durch Verbindung mehrerer Elemente zu größeren Bauteilen, wie z.B. Schallschirmen, Lärmschutzwänden, Einhausungen, geschlossenen schalldämmenden Konstruktionen oder Schallschutzkapseln zusammenfügen. Die Anpassung an verschiedene akustische und geometrische Anforderungen lässt sich durch geänderte Formgebung, Variation des Fülldrucks und Verwendung unterschiedlich schwerer Materialien erreichen. Um Schallreflexionen zu vermindern, können die Außenflächen der Elemente mit (abnehmbaren) Schichten aus schallabsorbierendem Material verkleidet werden. Auf ähnliche Weise lässt sich die Masse und damit die Schalldämmung der Elemente, falls erforderlich, durch Auflegen beschwerender Schichten vergrößern.

Bei den verwendeten Materialien der Hülle wird zwischen Folien und Membranen unterschieden. Unter den Begriff "Folie" fallen dünne, in sich homogene, flexible Flächengebilde aus Metall oder Kunststoff (z.B. Polyethylen oder Polypropylen), wobei in diesem Projekt nur Kunststofffolien betrachtet werden. Der Begriff "Membran" wird verwendet, wenn es sich um ein kunststoffbeschichtetes Gewebe (z.B. Polyamid-, Polyester-, Glasfaser- oder Aramidgewebe) handelt. Als Beschichtung kommen Stoffe wie Polyvinylchlorid (PVC) oder Polytetrafluorethylen (PTFE) in Frage.⁹

⁸ Der praxisrelevante Einsatz auf einer Baustelle fand bei diesem System bisher allerdings nur einmal statt, wobei keine ausführliche Aufwand/Nutzen-Analyse durchgeführt wurde.

⁹ Bei dieser Aufzählung handelt es sich lediglich um Beispiele und um keine vollständige Auflistung aller möglichen und verwendbaren Materialien.

Das akustische Verhalten von Folien und Membranen wurde hinsichtlich verschiedener unverfüllter Konstruktionsvarianten und flächenbezogener Massen bereits analysiert [25].

3.3 Nichtakustische Anforderungen an Abschirmungen

Die VDI 2720 [32] weist in Abs. 4 auf die Berücksichtigung allgemeiner nichtakustischer sowie bautechnischer Anforderungen an Abschirmungen im Freien hin. Bei der Wirtschaftlichkeit der Konstruktionen sollen nicht nur der Investitionsaufwand, sondern auch die Unterhaltskosten, die Reparaturfreundlichkeit und die Lebensdauer beachtet werden. Auch unter Einwirkung von Sonne, Witterung, Tausalzlösungen, Mineralöl, Abgasen und Reinigungsmitteln empfiehlt die Richtlinie eine Lebensdauer von 20 Jahren. Gründe für diese zwanzigjährige Lebensdauer werden allerdings nicht genannt; sowohl bei temporären Abschirmungen als auch bei kostengünstigen oder leicht recycelbaren Abschirmsystemen ergibt diese Forderung wenig Sinn.

Zudem wird auf den verfügbaren Platz zur Aufstellung von Abschirmeinrichtungen hingewiesen - eine Problematik, die insbesondere bei Baustellen im urbanen Bereich zum Tragen kommt und welche in Kapitel 4.5 näher analysiert wird. Eine weitere Anforderung bezieht sich auf das äußere Erscheinungsbild [18]. So soll die ästhetische und optische Wirkung auch in frühen Planungsstadien berücksichtigt werden.

Als bautechnische Gesichtspunkte werden die Brennbarkeit, die Standsicherheit, die Resistenz gegen mechanische Beanspruchungen (z.B. manövrierende Fahrzeuge, Steinschlag, mutwillige Zerstörung) sowie die Witterungsbeständigkeit aufgeführt.

3.4 Bewertung von Systemen für den Einsatz auf Baustellen

Die in Kapitel 3.2 aufgeführten Systeme können nach verschiedenen akustischen und nichtakustischen Faktoren bewertet und diese Faktoren aus Sicht von Bauherren, Bauarbeitern und Betroffenen gewichtet werden.

3.4.1 Bewertungsfaktoren

Die Bewertungsfaktoren können in 6 Hauptkategorien zusammen gefasst werden, und zwar hinsichtlich ihrer akustischen Wirksamkeit, Bausicherheit, Kosten, Flexibilität und ihres Montageaufwandes sowie nach "weichen Faktoren". Diese Hauptkategorien untergliedern sich in folgende einzelne Bewertungsfaktoren:

- a.) Akustische Wirksamkeit
- Schalldämmung

- Schallabsorption

b.) Bausicherheit

- statische Sicherheit (Windlasten)
- Brandschutz
- Haltbarkeit (Stoß- und Rissfestigkeit)
- Beständigkeit gegen Wasser, Schimmel, Ungeziefer, Säure und Salze
- Transparenz oder Lichtdurchlässigkeit

c.) Kosten

- Herstellungskosten des Systems
- Kosten für Auf- und Abbau sowie Transport
- Wiederverwendbarkeit für weitere Baumaßnahmen
- Nutzbarkeit als Werbefläche (Aufdrucke oder Tafeln)

d.) Montageaufwand

- Mobilität des Systems (tragbar, fahrbar, verschiebbar)
- Auf- und Abbauaufwand

e) Flexibilität

- in der Breite variierbar (horizontale Flexibilität)
- in der Höhe variierbar (vertikale Flexibilität)
- zu Einhausungen oder Kapseln/Zelten modifizierbar (3-dimensionale Flexibilität)

f.) Weiche Faktoren

- Umweltverträglichkeit (bezüglich Herstellung, Toxizität, Entsorgung)
- Akzeptanz/Ästhetik (Sympathiegrad)

3.4.2 Rangliste

Bei einer Befragung, an welcher 10 Studenten und Ingenieure aus dem Fachbereich Bauwesen / Bauphysik teilnahmen, wurden 23 verschiedene Abschirmsysteme, von der massiven Stahlbetonwand bis zur leichten Folienkonstruktion, hinsichtlich ihrer akustischen und nichtakustischen Vor- und Nachteile nach rein subjektivem Empfinden bewertet. Aus den Ergebnissen der Befragung wurde eine Rangliste generiert, welche die vermuteten Eigenschaften solcher Systeme gegenüberstellte und der vergleichenden Abschätzung diente. Manche dieser 10 Befragten mussten zunächst mit einigen Systemen vertraut gemacht werden. Es ist davon auszugehen, dass auch der Planer von Lärminderungsmaßnahmen auf Baustellen nicht alle Systeme und damit deren Eigenschaften kennt.

Die Bewertungsfaktoren wurden zudem aus Sicht von Bauherren, Bauarbeitern und Betroffenen gewichtet. Dabei stellte sich heraus, dass Bauherren an den Kosten, am Montageaufwand, an der Bausicherheit und der Flexibilität der Systeme besonderes Interesse hätten, Bauarbeiter wären besonders am Montageaufwand und der Bausicherheit interessiert, während für Betroffene vor allem die akustische Wirksamkeit wichtig zu sein scheint.

Bei den Kosten, der Flexibilität und dem Montageaufwand sind die leichten Systeme (mit Ausnahme der gefüllten zweilagigen Folien und Membrane) im Vorteil, bei der Bausicherheit die massiven Systeme. Bei den so genannten weichen Faktoren schneidet insbesondere die Stahlbetonwand schlecht ab. Auffällig ist, dass die akustische Wirksamkeit – mit Ausnahme einlagiger Folien und Membrane – bei leichten und flexiblen Konstruktionen ähnlich bewertet wird wie die von massiven Konstruktionen.

Die Bewertung der Systeme ist in Tab. 2 näher aufgeschlüsselt.

4 Akustische Konzeptionierung der Lärmschutzmaßnahmen

Da die Baustelle komplizierte und vielfältige Lärmsituationen aufweist, muss der Einsatz der Abschirmkonstruktion mit der jeweiligen Bautätigkeit sinnvoll abgestimmt werden, um ein möglichst hohes Wirkungspotenzial bei kleinem Aufwand und geringst möglicher Beeinträchtigung des Baustellenbetriebs zu erreichen.

4.1 Problemstellung

Lärmquellen auf Baustellen wirken vorrangig temporär, daher sollten auch die Lärminderungsmaßnahmen auf dem Ausbreitungsweg entweder temporär sein (dezentrale bzw. lokale Konzepte) oder den gesamten Ausdehnungsbereich umfassen, in welchem die temporären Quellen auftreten (zentrale bzw. globale Konzepte). Zudem ist es sinnvoll, bei jeder Konzeption auch die sich verändernden Bedingungen auf der Baustelle zu berücksichtigen.¹⁰

4.2 Globale und lokale Konzepte

Eine globale Abschirmung umschließt entweder die gesamte Baustelle oder zumindest einige Bereiche der einem Bauvorhaben zugeordneten Plätze zur Herstellung bzw. Aufbereitung von Bauteilen. Sie hat aus akustischer Sicht die Aufgabe, vor Emissionen mehrerer Quellen zu schützen.

Vorteile: - der Ausdehnungsbereich einer Baustelle wird gesamt oder größtenteils umfasst
- wirkt für mehrere oder alle Lärmquellen
- schützt mehrere oder alle Immissionsorte
- Synergieeffekte: Witterungs-, Staub- und / oder Sichtschutz

Nachteile: - eine akustische Auslegung für mehrere Emittenten oder maßgebliche Lärmquellen ist notwendig
- gegenüber dem Aufwand geringes akustisches Wirkungspotenzial
- für wachsende / wandernde Baustellen schwer einsetzbar
- Behinderung der Baustellenzugänge
- aufwändig und teuer

Beispiele: - allseitig umschließender Baustellenzaun

¹⁰ Bei Baustellen innerhalb bebauter Gebiete oder auch bei Linienbaustellen des Tief- und Straßenbaus treten möglicherweise - während bestimmter Bauabschnitte - Immissionspegelerhöhungen durch Reflexionen an rückseitiger Bebauung oder auch Witterungseinflüsse (Wind) auf. Ebenso können aber bei Linienbaustellen Bewuchs, Geländeunebenheiten oder angrenzende Bauwerke den Schallschutz beeinflussen. Weiterhin wechselt die Bautätigkeit während des Bauablaufs, wobei sich auch die dabei entstehenden Emissionsintensitäten, -zeiträume und -arten ändern.

- allseitige Gerüstabdeckung am Hochbau
- tunnelartige Einhausung im Straßenbau
- Zelt oder Kapsel zur Bauteilaufbereitung
- Einhausung sehr kleiner, langdauernder Baustellen (z.B. Sanierung denkmalgeschützter Objekte)

Eine lokale Abschirmung wird lediglich für eine oder einige wenige Lärmsituationen gezielt errichtet. Da im Laufe der Bautätigkeit die Orte der Lärmemission über anfänglich wirksame natürliche oder künstlich errichtete Schallschirme hinauswachsen/-wandern, sind die Schirme so temporär wirksam wie die jeweilige Lärmsituation selbst.

Vorteile: - gezielte akustische Auslegung für eine bestimmte Lärmsituation
 - hohes akustisches Wirkungspotenzial
 - bei mobilen Abschirmeinrichtungen für wachsende / wandernde Baustellen einsetzbar
 - auch nachträglich (kurzfristig) konzipierbar
 - relativ preiswert und weniger aufwändig

Nachteile: - sind nur für eine bestimmte Lärmsituation wirksam (schützt nur einen bestimmten Immissionsort)
 - vorrangig für stationär wirkende Emittenten geeignet

Beispiele: - Einhausung von kleinen, stationären Baugeräten (z.B. Säge)
 - Schallschürzen an Baumaschinen
 - Dämpfungsschlauch für Schlagrammen

4.3 Abschirmvariationen zwischen Stellwand und Kapsel

Für Lärminderungsmaßnahmen auf dem Ausbreitungsweg sind Abschirmungen in unterschiedlichen Ausführungen (Abb. 5) möglich:

a.) Stellwände

Die übliche Stellwand ist als flächenartiges Bauteil in Breite und Höhe begrenzt.

Vorteile: - einfache Ausführungen (Flexibilität, Mobilität, Kosten) möglich
 - Variierbarkeit des Abstandes zu Emittent oder Immissionsort

Nachteile: - geringe akustische Wirksamkeit durch Beugungseffekte an drei Schirmkanten¹¹

¹¹ Zwei Seitenkanten sowie eine Oberkante.

b.) Tunnelartige Abschirmungen

Tunnelartige Abschirmungen sind für horizontal wandernde Baustellen (Straßenbau) denkbar. Sie haben aus akustischer Sicht eine unendlich wirksame Höhe und zwei seitliche Beugungskanten, die bei Tunnelverlängerungen wirkungslos werden.

Vorteile: - einfache Ausführungen mit Traggerüsten
- Mobilitätspotenzial durch Schienentrassierung entlang der Baustelle

Nachteile: - erschwerte Baulogistik durch verminderte Zugangsmöglichkeit auf Baustelle
(Tunneldurchgänge)

c.) Wandartige Abschirmungen

Wandartige Abschirmungen sind für vertikal wandernde bzw. wachsende Baustellen (Hochbau) sinnvoll und werden auf Baustellen auch umgesetzt, allerdings weniger aus akustischen Gründen. Diese Abschirmungen haben eine unendliche wirksame Breite und eine Beugungskante auf der Oberseite, gegebenenfalls auch auf der Unterseite. Ihre Ausführungsmöglichkeiten sind als Umzäunung von Baustellen sowie der Verkleidung von Fassadengerüsten bzw. einzelnen sehr lärmintensiven Tätigkeitsbereichen (z.B. Rammarbeiten) bereits praxisrelevant.

Vorteile: - globale oder lokale Ausführungsmöglichkeiten
- Abschirmwirkung in relevante Richtungen
- Synergieeffekte (Notwendigkeit von Baustellenumzäunungen als Schutz vor unbefugtem Betreten oder Verkleidungen von Fassadengerüsten¹² für den Schutz vor Staubemissionen)

Nachteile: - erschwerte Baulogistik durch verminderte Zugangsmöglichkeiten durch Zäune
- Ausführungen meist in der Höhe begrenzt (Baustellenzaun)

d.) Einseitig offene Einhausungen

Zwischen einer Stellwand mit geformten bzw. erweiterten Kanten und einer einseitig offenen Einhausung gibt es viele Variationsmöglichkeiten. Insbesondere flexible Abschirmbauteile können problemlos zu ein- oder zweiseitig offenen Zäunen umgebaut oder auch mit einer Überdachung versehen werden. Einhausungen sind sinnvollerweise auf der vom Immissionsort abgewandten Seite offen.

Vorteile: - gegenüber Stellwänden eine erhöhte akustische Wirksamkeit
- Witterungsschutz am Emissionsort

Nachteile: - eingeschränkte Mobilität (Ausführungen vorrangig für lokale, stationäre Lärmquellen geeignet)

¹² Verkleidungen von Fassadengerüsten sind in allen Abschirmvariationen ausführbar.

e.) Kapseln und Zelte

Werden Kapselungen mit oder ohne Gerüst und mit flexiblen Bauteilen (Folien, Membrane) ausgeführt, so werden sie auch als Zelte bezeichnet. Bei Zelten und Kapseln ist nicht die Abschirmwirkung, sondern die Schalldämmung relevant. In der Baupraxis ist es kaum üblich, die gesamte Baustelle einzukapseln. Einige Baustellenbereiche der Vorfertigung bzw. Bearbeitung von Bauteilen werden hingegen manchmal in Zelte verlagert. Für einzelne Emissionsorte finden Kapselungen als Abdeckung von Schuttmulden Verwendung, allerdings eher aus Staubschutzgründen.

Vorteile: - keine Schallbeugung
- Witterungsschutz am Emissionsort
- Synergieeffekte: Staub-, Witterungs- und Sichtschutz

Nachteile: - erschwerte Baulogistik durch verminderte Zugangsmöglichkeit in Zelte
- lokale und globale Kapselung nur in wenigen Fällen möglich
- eingeschränkte Mobilität (Ausführungen nur für lokale, unbewegliche Lärmquellen geeignet)

4.4 Bauabschnitte

Bei einer vertikal wachsenden Baustelle des Hochbaus lassen sich nach [5] aus akustischer Sicht 5 Phasen unterscheiden, die aufgrund verschiedener Bauabschnitte und damit verbundenem Einsatz unterschiedlicher Arbeitsmittel auch zu unterschiedlichen Lärmimmissionen führen. Diese Phasen sind hinsichtlich der darin auftretenden Tätigkeiten, der maßgeblichen Emittenten und möglichen Lärminderungsmaßnahmen auf dem Ausbreitungsweg wie folgt zu unterteilen:

1. Phase: Erstellung der Baugrube

Tätigkeiten: Aushubarbeiten, Baugrubensicherung, Meliorationsarbeiten

Emittenten: Radlader, Bagger, Rüttelplatten, Schlagrammen (schwere Baumaschinen)

Maßnahmen: - globale Abschirmung durch wandartige Abschirmungen
- lokale Abschirmungen bei Errichtung von Stellwänden dicht vor Immissionsorten (Notwendigkeit großen Bewegungsfreiraums der Maschinen)
- Schallschürzen an Maschinen
- Dämpfungsschlauch an Schlagrammen

2. Phase: Betonieren der Sohle

Tätigkeiten: Betonlieferung, Betonier- und Betonmischarbeiten

Emittenten: Transportbetonmischer, Autobetonpumpe, Innenrüttler

Maßnahmen: - globale Abschirmung durch Baustellenzäune
- lokale Abschirmungen bei Errichtung von Stellwänden dicht vor Immissions-

orten

- Errichtung einer Wartezone für Transportbetonmischer, ggf. mit Einrichtung einer Stellwand oder einer tunnelartigen Abschirmung

3. Phase: Erstellung (oder Sanierung) des Rohbaus

Tätigkeiten: Anlieferung von Bauelementen, Einschal-, Bewehrungs-, Betonier-, Ausschalungs- und Steinsägearbeiten

Emittenten: Hammerschläge, Stein- und Kreissäge, Winkelschleifer, Innenrüttler, Tieflader, Kran, Schlagbohrmaschine

Maßnahmen: - lokale Abschirmungen bei Errichtung von mobilen Stellwänden dicht vor temporären Lärmquellen
- globale oder lokale Abschirmung durch Baugerüstverkleidung
- Abschirmung der Zuliefer- und Lagerbereiche
- Einhausung von kleinen, stationären Baugeräten (z.B. Säge)

4. Phase: Verkleidung (oder Sanierung) der Fassade

Tätigkeiten: Bohr- und Sägearbeiten, Fassadenreinigung

Emittenten: Schlagbohrmaschine, Stein- und Kreissäge

Maßnahmen: - globale Abschirmung durch Baugerüstverkleidung
- Einhausung von kleinen, stationären Baugeräten (z.B. Säge)

5. Phase: Innenausbau (oder Innensanierung)

Tätigkeiten: Bohr- und Einrichtungsarbeiten

Emittenten: Schlagbohrmaschine, Hammerschläge

Maßnahmen: - globale Abschirmung durch Baugerüstverkleidung
- temporärer Verschluss von Rohbauöffnungen (Fenster- und Türöffnungen)

Beim Tief- und Straßenbau (horizontale Baustelle) sind lediglich die Phasen 1 und 2 der Hochbaustellen relevant, also Aushub-, Verdichtungs- und Rammarbeiten sowie Betonier- und Asphaltarbeiten. Der Hauptunterschied zu Baustellen des Hochbaus besteht darin, dass diese Baustellen ebenerdig wachsen und wandern und aus akustischer Sicht somit meist eine halbkugelförmige Schallabstrahlung vom Boden vorherrscht. Im Tiefbau kann zudem die Baugrube als natürliche Abschirmung den Immissionspegel mindern. Eine tunnelartige Abschirmung wäre für Straßenbauarbeiten aus konstruktiven Gesichtspunkten am sinnvollsten.

4.5 Umsetzbarkeit von Abschirmmaßnahmen auf Baustellen

Um die Umsetzbarkeit von Abschirmmaßnahmen in der Baupraxis zu untersuchen, wurden 18 Baustellen im Stuttgarter Raum, vorrangig des Hochbaus, dahingehend analysiert, ob an der jeweiligen Baustelle

- zusätzliche Lärmschutzmaßnahmen notwendig sind,
- für die Aufstellung von Abschirmeinrichtungen Platz ist und
- ob diese zu einer spürbaren Lärminderung führen würden.

Die Bewertung richtete sich nach den örtlichen Gegebenheiten (Lage der Emissions- und Immissionsorte) sowie der Art der Baumaßnahmen.

Bei etwa 72 % der untersuchten Baustellen wären zusätzliche Lärmschutzmaßnahmen dringend notwendig, bei weiteren 22 % anzuraten. Allerdings wären nur bei 11 % dieser Baustellen Stellwände als Abschirmeinrichtungen auf dem Ausbreitungsweg unproblematisch aufstellbar (entsprechend dem globalen Konzept), bei weiteren 28 % könnten Stellwände immerhin derart aufgestellt werden, dass eine partielle Lärminderung erreichbar wäre (entsprechend dem lokalen Konzept). Bei 11 % besteht auf Grund von Platzproblemen überhaupt keine Möglichkeit zur Lärminderung durch Stellwände. Schalldämmende Gerüstverkleidungen wären bei 22 % der untersuchten Baustellen anbringbar, bei 17 % lediglich partiell und bei 39 % überhaupt nicht einsetzbar.

Der Einsatz von Abschirmmaßnahmen für eine bestimmte Baustelle wäre demnach hinsichtlich der örtlichen Gegebenheiten und des zu erwartenden Lärminderungspotenzials von Fall zu Fall abzuwägen.

5 Prognose der Wirksamkeit leichter Abschirmsysteme

Die VDI 2720 [32] beschreibt die Wirkungsweise von Schallschirmen wie diejenige von Lichtschirmen, die auf der dem / den Emittenten abgewandten Seite einen Schatten bilden. Dieser Schallschatten ist jedoch wegen der größeren Wellenlängen des Schalls weniger ausgeprägt als ein optischer Schatten. Deswegen werden die geometrischen Schattengrenzen durch Beugung an den Schirmkanten um so stärker überwunden, je niedriger die Frequenz des Schalls ist. Im freien Schallfeld gelangt zudem infolge von Transmission Schall durch die Schirmfläche in die Schattenzone.

5.1 Parameter der Abschirmwirkung

Der resultierende Immissionspegel hinter einer Abschirmung ergibt sich also aus der Pegeladdition des durch den Schirm durchgehenden und des an den Schirmrändern gebeugten Schallanteils. Der über die Kanten gebeugte Schall ist von den geometrischen Parametern der Abschirmung abhängig und deshalb bei geometrisch gleichen Bausystemen ähnlich, da die Kantenausbildung eine geringe Rolle spielt. Der von der Schalldämmung des Bausystems abhängige Transmissionsanteil des Schirms kann bei leichten Systemen unter bestimmten Voraussetzungen von Bedeutung sein. Dieser Transmissionsanteil wird um so größer, je geringer die Schalldämmung des Schirmes und je höher der Anteil der durch den Schirm verdeckten Schallausbreitungshülle ist. Aus diesem Grund sollen leichte Konstruktionen – beispielhaft solche aus Folien und Membranen – als neuartige Systeme näher untersucht werden.

5.1.1 Schallbeugung an Abschirmungen

Zur Beurteilung der Wirksamkeit eines Schallschirmes dient die erreichbare Schallpegelminderung hinter dem Schallschirm. Diese als Einfügungsdämpfungsmaß D_e bekannte Kenngröße gibt die frequenzabhängige Differenz zwischen den Schalldruckpegel an einem Immissionspunkt ohne (L_o) und mit (L_m) Schallschirm an:

$$(1) \quad D_e = L_o - L_m \quad [\text{dB}]$$

Das Einfügungsdämpfungsmaß kann nur messtechnisch ermittelt werden. Dies ist zeitaufwändig und die Ergebnisse sind nicht ohne weiteres auf andere Situationen übertragbar. Daher werden für Planungs- und Prognosezwecke Berechnungsmethoden genutzt, die - unter Vernachlässigung des Transmissionsanteils sowie der Rand- und Umgebungsbedingungen - eine näherungsweise Vorherbestimmung der erreichbaren Schallpegelminderung ermöglichen.

Die Berechnungsansätze für die Schallbeugung an Abschirmungen nach DIN ISO 9613-2 [8] bzw. VDI 2720 [32] erscheinen als die brauchbarsten Ansätze [25]. So berücksichtigen diese Verfahren alle wesentlichen in der Praxis vorkommenden Randbedingungen und Eingabewerte und liefern darüber hinaus auch akzeptable Ergebnisse.

Der Zusammenhang zwischen dem gemessenen Einfügungsdämpfungsmaß D_e und dem berechneten Abschirmmaß D_z ist nach VDI 2720 [32] - immer noch unter Vernachlässigung des Transmissionsanteils - durch folgende Beziehung gegeben:

$$(2) \quad D_e = D_z - D_o + D_m \geq 0 \quad [\text{dB}]$$

$D_{o/m}$ im Ausbreitungsweg des Schalls vorhandene Zusatzdämpfung (durch Bewuchs, Bebauung und Boden- und Meteorologieeinflüsse) ohne und mit Schirm.

Für die Beugung über eine etwa bodenparallele Kante eines freistehenden Schirms (ohne Bewuchs und Bebauung) wird nach dieser Norm mit

$$(3) \quad D_e = D_z - D_{BM,o} \geq 0 \quad [\text{dB}]$$

$D_{BM,o}$ Zusatzdämpfung durch Boden- und Meteorologieeinflüsse (ohne Schirm)

gerechnet. Bei Beugung an senkrechten Schirmkanten (z.B. bei einer Stellwand) wird diese Zusatzdämpfung in der Berechnung vernachlässigt¹³ und das Abschirmmaß D_z durch energetische Addition der Beiträge der einzelnen Kanten ermittelt.

In die Berechnung des Abschirmmaßes D_z geht - neben Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung örtlicher, akustischer Gegebenheiten (Richtcharakteristik, Mehrfachreflexionen u.a.), potenzieller Mehrfachbeugungen und der Witterungseinflüsse - der Schirmwert z ein, der sich aus den geometrischen Beziehungen zwischen Emissionsort, Abschirmung und Immissionsort ergibt.

5.1.2 Schalldämmung von Folien und Membranen

Verschiedene Normen und Richtlinien [1], [11], [15], [32] fordern bzw. empfehlen für Abschirmeinrichtungen eine Mindestflächenmasse von mindestens 10 kg/m^2 , weil damit „das Luftschalldämm-Maß des Hindernisses groß gegenüber dem Abschirmmaß ist“ [32]. Die VDI

¹³ Die Zusatzdämpfung durch Boden- und Meteorologieeinflüsse ist nach den Berechnungsvorschriften [31] bei kurzen Entfernungen zwischen Emittent und Immissionsort, wie sie bei innerstädtischen Baustellen oft auftreten, sehr geringfügig und damit vernachlässigbar, sodass im Folgenden zwischen der Einfügungsdämpfung D_e und dem Abschirmmaß D_z lediglich nach der Herkunft des Ergebnisses aus Messung oder Rechnung unterschieden wird.

2720 [32] gibt zudem an anderer Stelle an, dass bei „dichten Wänden häufig eine flächenbezogene Masse von 5 bis 10 kg/m² bei Frequenzen oberhalb von 250 Hz“ genügt. Mit diesen Forderungen soll sicher gestellt werden, dass das Schalldämm-Maß mindestens 10 dB über der (durch Beugungseffekte erzielten) A-bewerteten Schallpegelminderung am Immissionsort liegt und der Transmissionsanteil gegenüber dem Beugungsanteil vernachlässigt werden kann. Mit dieser Forderung werden sehr leichte Abschirmeinrichtungen von vornherein ausgeschlossen. Eine Berechnungsvorschrift zur Einbeziehung der Schalldämmung bei der Ermittlung des Abschirmmaßes D_z von Abschirmeinrichtungen existiert nicht.

Im Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) in Stuttgart wurden neben gängigen Bauteilen, die sich für die Verwendung als Abschirmeinrichtungen eignen und in der Praxis eingesetzt werden, auch Konstruktionen aus Folien und Membranen akustisch untersucht [25]. Dabei fanden Folien mit Dicken zwischen 0,08 mm und 1,0 mm (flächenbezogene Massen m'' zwischen 0,12 kg/m² und 1,3 kg/m²) sowie Membranen mit Dicken zwischen 0,2 mm und 1,5 mm (flächenbezogene Massen m'' zwischen 0,23 kg/m² und 1,92 kg/m²) Beachtung. Diese Folien und Membranen wurden als einlagige und teilweise auch zweilagige (mit verschiedenen Abständen der beiden Folien- bzw. Membranschichten) Systeme gemessen. Weiterhin wurden Luftkissenkonstruktionen in verschiedenen Ausführungen untersucht. Einige ausgewählte Konstruktionen sind hinsichtlich ihrer Materialeigenschaften (Tab. 3) bzw. ihrer Schalldämmung (Tab. 4, Abb. 6, Abb. 7) im Anhang dargestellt.

Bei einlagigen Folien und Membranen werden bewertete Schalldämm-Maße R_w je nach Ausführung zwischen 2 dB und 22 dB erreicht, durch Zweischaligkeit erhöhen sich diese Werte je nach Schalenabstand zusätzlich um mehrere dB. Bei zweischaligen Konstruktion aus zwei gleichartigen Membranen kann die Doppelschalenresonanz die Schalldämmung im tiefen Frequenzbereich verschlechtern (Abb. 6). In [25] wird auf die Problematik der Doppelschalen- und Hohlraumresonanz zweischaliger Folien- und Membrankonstruktionen dezidiert eingegangen.

5.1.3 Schallabsorption von Folien und Membranen

Zur akustischen Gesamtwirkung von Folien- und Membrankonstruktionen für Abschirmzwecke trägt neben den geometrischen Parametern der Abschirmkonstruktion und der Schalldämmung auch die Schallabsorption bei. In verschiedenen Regelwerken wird für provisorische Abschirmungen auf die Verhinderung von Reflexionen eingegangen, indem die Verkleidung von Stellwänden mit Schallabsorptionsmaterial auf der der Schallquelle zugewandten Seite als Forderung [1] oder Möglichkeit [11] formuliert wird.

Eine Besonderheit bei frei stehenden / hängenden Folien- und Membrankonstruktionen ist die fehlende schallharte Rückwand, wie sie sonst in der Raumakustik oder auch bei

Schallschutzwänden besteht. Bei zweilagigen Folien- und Membrankonstruktionen wird die Rückwand durch die zweite Lage gebildet. Die Schallabsorption solcher Folien- und Membrankonstruktionen mit leerem oder absorbierendem Rückvolumen ist sehr schmalbandig [25]. Mit mehreren geschlossenen Folien- bzw. Membranlagen lassen sich nur in moderatem Umfang breitbandig hohe Absorptionswerte erzielen. Wenn die Ansprüche an die Transparenz oder Lichtdurchlässigkeit allerdings untergeordnet sind, kann die Absorption durch äußere Zusatzschichten aus (mikro-)perforierten Folien oder aus porösen Absorbermaterialien verbessert werden. Dadurch lassen sich nahezu beliebige Absorptionsgrade erreichen. Die Vorteile einer innen liegenden Hohlraumdämpfung zwischen Folien- oder Membranlagen einer Abschirmung im Freien für die Schalldämmung lassen sich dagegen nicht auf die Absorptionswirkung ausweiten.

Der mitunter vorteilhafte Effekt raumakustisch regulierender Wirkung ergibt sich durch die diffuse Streuung an gekrümmten oder nennenswert profilierten Oberflächen. So sind z.B. mit aufblasbaren Folien- und Membrankonstruktionen gewölbte Oberflächen durchaus realisierbar.

5.2 Immissionsprognose-Software

Mit computergestützten Schallausbreitungsrechnungen, wie sie beispielsweise mit CADNA oder SoundPLAN möglich sind, können für fallspezifische Simulationen Abschirmeinrichtungen modelliert und die durch sie erreichte Minderungswirkung prognostiziert werden. Bei diesen Berechnungsmodellen werden lediglich der Beugungsanteil und bestenfalls die Absorption, jedoch nicht die Schalldämmung der Abschirmbauteile berücksichtigt. Für Immissionsprognosen unter Einbeziehung leichter Abschirmungen, bei denen der Schalldurchgang einen Anteil an den Gesamtmissionen haben könnte, eignen sich diese Programme daher nur bedingt.

Mit dem Berechnungsprogramm CADNA konnten lokale und globale Konzepte hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Wirksamkeit problemlos untersucht werden (siehe Kapitel 7.3.2). Das Programm wurde zudem für die in Kapitel 8 beschriebenen Baustellenmessungen für Prognosezwecke dahingehend eingesetzt, um in ihren Abmessungen bereits festgelegten Abschirmungen hinsichtlich ihres Aufstellungsortes und ihrer Aufstellungsart so zu optimieren, dass an den Immissionsorten möglichst geringe durch den Beugungsanteil verursachte Pegel zu erwarten sind.

5.3 Prognoseprogramm mit Berücksichtigung des Transmissionsanteils

Für einfache Situationen der Schallausbreitung im Freien können mit einem eigens im Projekt entwickelten Prognoseprogramm die Lärmpegelminderungen durch den Einsatz von Stellwänden, tunnel- oder wandartigen Abschirmungen sowie einseitig offenen Einhausungen überschlägig berechnet und somit verschiedene geometrische und konstruktive Ausbildungen von Abschirmungen für unterschiedliche Lärmsituationen simuliert werden. Dabei wird nicht nur der Anteil der Schallbeugung berücksichtigt, sondern auch der des Schalldurchganges.

Die Bedienung dieses Prognoseprogramms ist in Anhang A erläutert, ebenso sind dort Hinweise zu den Berechnungsgrundlagen zu finden. Als Eingangswerte müssen die geometrischen Parameter der örtlichen Situation und der Abschirmung sowie die Schall-Leistung des Emittenten und die Schalldämmung der Abschirmung bekannt sein. Um einen Zielwert der Lärminderung bzw. des Immissionspegels zu erreichen, können die Eingangsparameter variiert werden.

Das Programm hat zur Ermittlung der ausbreitungsbedingten Schalldämpfung, des Beugungsanteils sowie der Berücksichtigung der Schallabstrahlungsrichtung die Berechnungsvorschriften nach [15], [30], [31], [32] zur Grundlage. Der Schalldruckpegel L_s , den eine einzelne Schallquelle bei ungehinderter Schallausbreitung im Freifeld an einem Immissionspunkt im Abstand s_m erzeugt, wird nach folgendem Schema berechnet¹⁴ [31]:

$$(4) \quad L_s = [L_w + DI + K_0] - [D_s + \Sigma D] \quad [\text{dB}]$$

L_w	Schall-Leistungspegel des Emittenten oder der imaginären Ersatzquelle
DI	Richtwirkungsmaß der Schallabstrahlung
K_0	Raumwinkelmaß für reflektierende Flächen in der Nähe der Geräuschquelle
D_s	Abstandsmaß zur Ermittlung der Schallpegelabnahme im Abstand s_m
ΣD	Schallpegelminderungen durch Luftabsorption, Boden- und Bewuchsdämpfung sowie Hindernisse ¹⁵ .

Der Beugungsanteil wird bei der Abschirmvariante Stellwand über senkrechte und waagerechte Schirmkanten zusammen gefasst, bei tunnelartigen Abschirmungen lediglich der über die senkrechten, bei wandartigen Abschirmungen lediglich der über die waagerechten Schirmkanten gebeugte Anteil berücksichtigt. Bei einseitig auf der dem Immissionsort abgewandten Seite

¹⁴ Der Schalldruckpegel L_s ist der berechnete Wert gegenüber dem messtechnisch ermittelten Wert L_o (1).

¹⁵ Berechnungshinweise für diesen Term auch in [15].

offenen Einhausungen wird für die Berechnungen kein Beugungsanteil angenommen. Reflexionen oder Richtwirkungen können durch Korrekturfaktoren berücksichtigt werden.

Für die Ermittlung des Transmissionsanteils einer Abschirmung im Freien existieren keine Berechnungsvorschriften. Um den Schalldurchgang dennoch abschätzen zu können, sind in Anhang A einige Vereinfachungen und Annahmen für die Berechnungen sowie die Vorgehensweise zur Ermittlung des Transmissionsanteils einer flächenhaften Abschirmung mit definierten Beugungskanten angeführt. Aus den Anteilen Schalldurchgang und Schallbeugung wird der bei Schallausbreitung im Freifeld an einem Immissionspunkt prognostizierte Gesamt-Immissionspegel $L_{s,D}'$ durch Pegeladdition¹⁶ ermittelt:

$$(5) \quad L_{s,D}' = 10 * \log \left[10^{\left(\frac{L_{s,D}}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{L_{s,T}}{10}\right)} \right] \quad [\text{dB}]$$

$L_{s,D}$ Berechneter Schall-Druckpegel an einem Immissionsort nach Schallbeugung an einer Abschirmung [32] unter Berücksichtigung der Schallausbreitung im Freien [31]

$L_{s,T}$ Berechneter Schall-Druckpegel an einem Immissionsort nach Schalldurchgang an einer Abschirmung unter Berücksichtigung der Schallausbreitung im Freien [31]

Das aus Beugung und Schalldämmung resultierende Abschirmmaß D_z' wird dann derart ermittelt:

$$(6) \quad D_z' = L_s - L_{s,D}' \quad [\text{dB}]$$

L_s berechneter Schalldruckpegel bei ungehinderter Schallausbreitung im Freifeld (ohne Schirm) nach (4)

$L_{s,D}'$ berechneter Gesamt-Immissionspegel bei abgeschirmter Schallausbreitung im Freifeld mit den Anteilen Schalldurchgang und Schallbeugung (mit Schirm) nach (5)

Somit ergibt sich im Vergleich zwischen Gleichung (3) und Gleichung (6) für das resultierende Abschirmmaß D_z' :

$$(7) \quad D_z' < D_z \quad [\text{dB}]$$

¹⁶ Die beiden Anteile können bei der Auswertung im Prognoseprogramm getrennt betrachtet werden, auch in ihrem Frequenzverlauf.

wobei sich das resultierende Abschirmmaß D_z' mit zunehmender Schalldämmung der Abschirmkonstruktion dem Abschirmmaß D_z annähert.

Die Einhausung ist als Sonderfall schwieriger zu berechnen. Wenn man sich eine solche Einhausung wie eine Stellwand mit Seitenschirmen und einer Dachabdeckung vorstellt, dann entspricht der Transmissionsanteil an der Frontfläche dem der Stellwand. Der Beugungsanteil über die offene Rückseite kann derart abgeschätzt werden, dass man vom gleichen Schallpegel, der theoretisch innen an der Frontseite anliegt, das Richtwirkungsmaß DI_E nach VDI 2571 [30] von 20 dB abzieht und bis zum Immissionsort die Schallminderung berechnet.¹⁷

Bei einem derartigen Vorgehen müssten allerdings auch Schalldurchgang und Richtwirkung der Seitenschirme und der Dachabdeckung berücksichtigt werden: Von dem auf der Rückseite dieser Bauteile anliegenden theoretischen Schalldruck wären unter Berücksichtigung des Abstrahlwinkels nach VDI 2571 [30] 5 dB abzuziehen. Der Gesamt-Immissionspegel einer Einhausung aus leichten Bauteilen kann dadurch größer werden als bei einer analogen Stellwand, da nach [32] kein seitliches Richtwirkungsmaß bei flächenhaften Abschirmungen berücksichtigt wird. Auch andere Normen [8], [27], die Hinweise zur Ermittlung eines Richtwirkungsmaßes in Abhängigkeit vom Abstrahlwinkel angeben, helfen im vorliegenden Fall nicht weiter. Aus diesem Grund wird im Prognoseprogramm die Schallabstrahlung über Seitenschirme und Dachabdeckung vernachlässigt. Die Prognosen, insbesondere bei der Einhausung, liefern daher nur grobe Anhaltswerte.

5.4 Prognose von Fallbeispielen

Mit dem in Abschnitt 5.3 erläuterten Prognoseprogramm wurden exemplarisch mehrere Varianten von Lärmsituationen und Abschirmkonstruktionen untersucht, um den Einfluss der Schalldämmung auf die Wirkung der Abschirmung abzuschätzen. Bei den Berechnungen fanden die den Gesamt-Immissionspegel ergebenden Beugungs- und Transmissionsanteile getrennt Berücksichtigung. Folgende Fallbeispiele für eine bestimmte Geländesituation (Abb. 8) wurden analysiert:

- Stellwand und Einhausung, jeweils mit
- Materialien unterschiedlicher flächenbezogener Masse, jeweils für
- unterschiedliche Emittenten.

¹⁷ Voraussetzung dafür ist, dass neben weiteren im Anhang genannten Vereinfachungen die Entfernung zwischen Emittent und Frontseite als so definiert wird wie zwischen Emittent und offener Rückseite.

Die dem Immissionsort zugewandte Fläche der Einhausung hat die gleichen Abmessungen wie die Stellwand. Die modellierte Einhausung besteht also aus der Stellwand mit zusätzlicher Seiten- und Dachabdeckung.

Die Schall-Leistung verschiedener Emittenten kann durch Messungen ermittelt werden, (frequenzabhängige) Werte hierfür sind in umfassender Form in [22] und [23] zusammen gefasst, aber auch in Herstellerangaben oder in Veröffentlichungen, z.B. [1], [17], auffindbar. Als Emittenten wurden die Baumaschinen/-geräte bei folgenden Arbeitsvorgängen zur näheren Betrachtung herangezogen:

- Bagger / Pulverisieren von Abrissmaterial, $L_{w,A,eq} = 115 \text{ dB(A)}$,
- Plattenrüttler / Einrütteln von neuverlegtem Verbundsteinpflaster, $L_{w,A,eq} = 119 \text{ dB(A)}$ sowie
- Presslufthammer / Aufstemmen einer Stahlbetondecke, $L_{w,A,eq} = 111 \text{ dB(A)}$.

Die maßgeblichen Emissionsanteile dieser Baumaschinen bei den genannten Arbeitsvorgängen liegen in unterschiedlichen Frequenzbereichen (Tab. 5, Abb. 1).

Als Abschirmmaterialien wurden sehr leichte (Folie, $D = 0,08 \text{ mm}$) bis sehr schwere (Stahlbetonwand, $D = 160 \text{ mm}$) einschalige Bauteile überprüft. Terzwerte der Schalldämmung sind für Folien und Membrane in [25] angegeben und ergeben sich für gängige Bauteile / Konstruktionen aus Messungen in bauakustischen Prüflaboratorien.

Für die skizzierte Situation (Abb. 8) mit einer Stellwand (Breite = 4 m, Höhe = 3 m) und einer analogen Einhausung (Abmessungen der Front: Breite = 4 m, Höhe = 3 m, Tiefe der Seiten- und Dachverkleidung: 4 m) sind die Anteile von Schalldurchgang und Schallbeugung am Gesamt-Immissionspegel für drei verschiedene Schallquellen und sieben Abschirmmaterialien in (Tab. 6) dargestellt. Da der Beugungsanteil von der geometrischen Form der Abschirmung bzw. der Geländesituation abhängt, bleiben Abschirmmaß D_z und Richtwirkungsmaß DI_E unabhängig vom eingesetzten Abschirmmaterial gleich. Der Einfluss des Transmissionsanteils wird mit zunehmender Flächenmasse der Abschirmung geringer. Es gibt also eine flächenbezogene Masse, bei der für eine bestimmte Prognosesituation Transmissions- und Beugungsanteil gleich sind bzw. eine andere (größere) flächenbezogene Masse, bei welcher der Transmissionsanteil als akustisch bedeutungslos eingestuft werden kann.

In (Abb. 9) sind der Gesamt-Immissionspegel $L_{s,D}$, der Transmissions- ($L_{s,D}$) und der Beugungsanteil ($L_{s,T}$) in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse der Abschirmeinrichtungen Stellwand und Einhausung exemplarisch für die Schallquelle „Plattenrüttler beim Einrütteln von neuverlegtem Verbundsteinpflaster“ grafisch dargestellt. Diese Schallquelle emittiert besonders im mittleren Frequenzbereich; die Kurvenverläufe der

anderen beiden untersuchten Emissionsfälle mit maßgeblich tief- und hochfrequenten Schallanteilen sind allerdings ähnlich (Tab. 6).

Im vorliegenden Untersuchungsfall zeigt sich, dass bei der Stellwand die Schalldämmung wegen des relativ hohen Beugungsanteils $L_{s,D}$ nur eine untergeordnete Rolle spielt und ihr Einfluss auf den Gesamt-Immissionspegel $L_{s,D}'$ erst bei leichten Bauteilen ab einer flächenbezogenen Masse $m'' < 1,5 \text{ kg/m}^2$ bemerkbar wird¹⁸. Höher als der Beugungsanteil $L_{s,D}$ wird der Transmissionsanteil $L_{s,T}$ sogar erst ab $m'' < 0,4 \text{ kg/m}^2$. Schwere einlagige Membrane oder mittelmäßig schwere zweischalige Konstruktionen wären in diesem Fall demnach bedenkenlos einsetzbar, sehr leichte Konstruktionen nur unter Vorbehalt.

Bei Einhausungen spielt die Schalldämmung wegen des geringeren Beugungsanteils erwartungsgemäß eine wichtigere Rolle. Der Transmissionseinfluss auf den Gesamt-Immissionspegel wird bei leichten Bauteilen ab $m'' < 20 \text{ kg/m}^2$ bemerkbar und ist ab $m'' < 3 \text{ kg/m}^2$ größer als der Beugungseinfluss. Folien und Membrane wären im untersuchten Beispiel als Abschirmmaterialien nur bedingt einsetzbar.¹⁹

5.5 Schlussfolgerung

Wenn bei einer Lärminderungsplanung für eine bestimmte Gelände- und Emissionssituation Abschirmeinrichtungen konzipiert werden sollen, können die Parameter der Abschirmungsausführung, der Abschirmdimensionierung und der Abschirmmaterialien verändert werden, um die gewünschte Lärminderung auf dem Ausbreitungsweg zu erzielen. Die Ausführung der Abschirmung hängt vom Baustellentyp, dem vorhanden Platz zur Aufstellung der Schirme und der Art der Schallquellen ab. Der Vergrößerung von Abschirmungen mit dem Ziel, den Beugungsanteil zu vermindern, sind aus konstruktiven, logistischen oder gestalterischen Gründen oft Grenzen gesetzt. Anhand der überprüften Beispielsituationen wurde dargelegt, dass in bestimmten Fällen auch leichte Abschirmungen eingesetzt werden können, ohne dass ihre Wirksamkeit wegen zu großen Schalldurchganges vermindert wäre.

Leichte Abschirmungen können besonders dann schwere Ausführungen ersetzen, wenn der Beugungsanteil sehr hoch ist. Dies ist vor allem bei kleinen Stellwänden der Fall. Eine geringe Schalldämmung wird um so problematischer, je mehr die Schallquelle oder ein Immissionsort von der Abschirmung umschlossen wird. In der Baupraxis spielt der durch Stellwände

¹⁸ Ist der Transmissionsanteil $L_{s,T} > L_{s,D} - 10 \text{ dB}$, dann wird der Gesamt-Immissionspegel $L_{s,D}'$ vom Schalldurchgang beeinflusst.

¹⁹ Die Aussagen bzgl. des Anteils von Schalldurchgang und Schallbeugung für Abschirmkonstruktionen gelten qualitativ auch für andere Geländesituationen.

transmittierte Schallanteil aber auch deshalb meistens eine untergeordnete Rolle, weil der Emittent und / oder der Immissionsort relativ weit von der Abschirmung entfernt sind. Zweischalige Konstruktionen aus Folien und Membranen, welche Flexibilität und Mobilität mit ausreichender Schalldämmung verbinden, mindern also in nennenswertem Umfang Lärmbelastigungen. Welche Materialien bei verschiedenen Emissions-Situationen geeignet sind, kann überschlägig berechnet werden.

Die Forderungen und Empfehlungen von Normen und Richtlinien [1], [11], [15], [32] bzgl. einer Mindestflächenmasse von mindestens 10 kg/m^2 für Abschirmkonstruktionen sind zu pauschal und tragen den Anforderungen an Flexibilität und Mobilität temporärer Lärmschutzeinrichtungen wenig Rechnung. Für Stellwände ist der Wert zu hoch, womit die Konstruktion hinsichtlich der Abschirmmaterialien überdimensioniert wird, für Einhausungen könnte er in bestimmten Fällen sogar zu gering sein.

6 Messtechnische Untersuchungen

Um die tatsächliche Wirksamkeit von Abschirmbauteilen zu untersuchen und das auf Rechenverfahren von Normen und Richtlinien basierende Prognoseprogramm zu überprüfen, wurden Untersuchungen an Stellwänden im Halbfreifeldraum des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik sowie auf einer in einem Waldpark gelegenen unbebauten Wiese (im Folgenden Freiluftmessung bezeichnet) durchgeführt. Es handelt sich bei den näher untersuchten Bauteilen um die Membran M2/100 (Halbfreifeldraum und Freiluftmessung) und die Folie F3 (Freiluftmessung), deren akustische- und Material-Eigenschaften in Tab. 3 und Tab. 4 dargestellt sind.

6.1 Messungen im Halbfreifeldraum

Der Halbfreifeldraum des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (Abb. 10) eignet sich für praxisgerechte Messungen an Lärmschutzwänden aus Folien und Membranen in normalem Größenmaßstab. Er hat bei der Untersuchung wandartiger Abschirmungen den Vorteil, dass die waagerechten Abmessungen der Lärmschutzwand kleiner gewählt werden können, da die Auskleidung der Wände im Halbfreifeldraum mit absorbierenden Materialien die seitliche Schallbeugung verhindert. Damit wird eine Lärmschutzwand mit „unendlich wirksamer“ Breite nachempfunden. Außerdem herrschen im Raum gleichbleibende und genau definierbare klimatische Verhältnisse. Dadurch können wetterbedingte Störeinflüsse wie Wind, Regen, usw. ausgeschlossen werden. Die Messungen sind somit genauer, reproduzierbar und können untereinander besser verglichen werden.

Bei den Untersuchungen wurde die Membran (M2) über zwei Metallstangen gelegt, sodass eine zweischalige Konstruktion (M2/100)²⁰ entstand, welche seitlich bis in die absorbierende Auskleidung des Halbfreifeldraumes hineingeführt wurde (Abb. 11). Die Höhe der Lärmschutzwand betrug 2,50 m, womit sich bei einer Raumbreite von 5,2 m eine Abschirmfläche von 13 m² ergab.

Zur Ermittlung des Einfügungsdämpfungsmaßes (1), also der Differenz der Schalldruckpegel aus den Messungen mit und ohne Abschirmung, wurden für zwei Anregungspositionen an jeweils 11 Mikrofonpositionen die Schalldruckpegel im Halbfreifeldraum ohne und mit Abschirmung bestimmt. Alle Anrege- und Mikrofonpositionen lagen dabei in einer Ebene senkrecht zur Abschirmung (Abb. 10) in unterschiedlicher Bodenhöhe (2 m, 3 m, 4 m).

²⁰ Für diese zweischalige, unbedämpfte Membrankonstruktion wurde ein bewertetes Schalldämm-Maß von $R_w = 22$ dB ermittelt (Tab. 4).

Als Emittent diente eine Vergleichsschallquelle, Typ Rox (796162), mit annähernd kugelförmiger Abstrahlcharakteristik. Diese Schallquelle zeichnet sich dadurch aus, dass sie eine zeitlich konstante Schall-Leistung²¹ erzeugt und somit bei allen Messungen gleichbleibende (Anrege-)Bedingungen gewährleistet. Der Mittelpunkt der Vergleichsschallquelle befand sich in einer Höhe von etwa 0,5 m über dem Boden.

Um Reflexion am Boden und Interferenzerscheinungen durch direkten und am Boden reflektierten Schall zu vermindern, wurde der Boden in einer 2 m breiten Bahn im Bereich der Mikrofone und Schallquellen ca. 10 cm hoch mit Mineralfaser ausgelegt (Abb. 11). Dennoch traten bei der Messung ohne Lärmschutzwand im Bereich der Terzmittenfrequenz von 250 bis 315 Hz deutliche Einbrüche im Pegelverlauf auf (Abb. 12). Nach [25] ist bei derartigen Messungen im Halbfreifeldraum der Pegel einbruch in diesem Frequenzbereich auf Interferenzerscheinungen zurückzuführen. Damit sind die Messwerte in diesem Bereich unsicher.

Bei der zweischaligen Abschirmung ist im Bereich der Doppelschalenresonanz ein Einbruch der Einfügungsdämpfung ersichtlich (Abb. 13). Die Frequenz der Doppelschalenresonanz f_R wird nach der in [25] verwendeten Formel für zwei gleiche Lagen wie folgt ermittelt:

$$(8) \quad f_R = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2 s'}{m''}} \quad [\text{Hz}]$$

m'' flächenbezogene Masse einer Lage [kg/m^2]
 s' dynamische Steifigkeit der Zwischenschicht [N/m^3]

$$(9) \quad \text{mit } s' = \frac{\rho c^2}{a} \quad [\text{N}/\text{m}^3]$$

ρ Schallgeschwindigkeit in der Zwischenschicht [m/s]
 c Rohdichte der Zwischenschicht [kg/m^3]
 a Schalenabstand [m]

Die Doppelschalenresonanz wurde aus den Material- und Konstruktionsdaten bei $f_R \approx 200$ Hz ermittelt²². Dieser Einbruch ist an dem Messpunkt, der sich näher an der Abschirmung befindet, deutlicher erkennbar, weil hier das Verhältnis von Transmissionsanteil zu Beugungsanteil größer ist als bei einem weiter entfernten Messpunkt. Die im Resonanzfrequenzbereich geringere Schalldämmung der Abschirmung wird dadurch wirksamer.

²¹ Pegelwerte der Schall-Leistung L_w der Vergleichsschallquelle siehe Tab. 5.

²² Siehe dazu auch Abb. 6.

Die Hohlraumresonanz wird wie folgt ermittelt:

$$(10) \quad f_H = \frac{c}{2a} \quad [\text{Hz}]$$

a Schalenabstand [m]

c Rohdichte der Zwischenschicht [kg/m^3]

Diese Hohlraumresonanz, die bei der vorliegenden Konstruktion bei $f_H \approx 1400$ Hz berechnet wurde, ist im Frequenzverlauf lediglich ansatzweise erkennbar, was an der relativ hohen Masse der Membranen und dem geringen Schalenabstand liegt (Abb. 12). In dem Bereich der Hohlraumresonanz ist die Schalldämmung der Wand bereits ausreichend hoch und somit der transmittierte Schallanteil gegenüber dem gebeugten Anteil vernachlässigbar.

Abgesehen von den tiefen Frequenzen bis 500 Herz ist die Schalldämmung der Abschirmkonstruktion im untersuchten Fall ausreichend hoch, um den Transmissionsanteil gegenüber dem über die Schirmkante gebeugten Anteil vernachlässigen zu können.

6.2 Freiluftmessungen

In der Nähe der Universität Stuttgart wurde eine in einem Waldpark gelegene großflächige Wiese für Freiluftmessungen an einer kleinen Stellwand aus Folien und Membranen ausgewählt (Abb. 14). Dabei war das Ziel, die Wirksamkeit leichter Abschirmungen unter praxisgerechten Bedingungen, darunter auch nichtakustischen Unwägbarkeiten, auszuloten.

Bei den Freiluftmessungen wurde die Membran (M2) analog den Messungen im Halbfreifeldraum über zwei Metallstangen gelegt, sodass die Konstruktion zweischalig wurde (M2/100). Zudem waren Messungen mit einer sehr leichten, einlagigen Folie (F2) vorgesehen. Für diese leichte Folie wurde das bewertete Schalldämm-Maß aus einem Datensatz ähnlicher Folien mit $R_w = 11$ dB abgeschätzt (Tab. 4). Die Breite der Abschirmung betrug 3,50 m, die Höhe aus logistischen Gründen 2,0 m.²³

Das Einfügungsdämpfungsmaß D_e wurde jeweils bei Anregung durch die Emittenten Vergleichsschallquelle, Typ Rox (796162), und Notstromaggregat 2600 W, Typ Geko2602E,²⁴ bei einer Anregungsposition ohne und mit dem Abschirmmaterial M2/100 bzw. F2 bestimmt.

²³ Es war selbst bei dieser geringen Höhe für 2 Personen schwierig, die schwere Membranbahn ohne Hilfsmittel über die Metallstangen zu legen.

²⁴ Pegelwerte der Schall-Leistung L_w beider Emittenten siehe Tab. 5.

Als Mikrofonpositionen wurden neben den senkrecht zur Abschirmung liegenden Punkten analog der Hallraummessung (siehe Kapitel 6.1) auch Positionen parallel der Stellwand zu einer Seite bzw. in die Höhe ausgewählt. Die Pegelmessungen wurden dabei durch Kunstkopfaufnahmen ergänzt, die später einen unmittelbaren Vergleich des Höreindrucks mit und ohne Abschirmung bei sonst gleichen Bedingungen ermöglichen sollten (siehe Kapitel 6.3). Geräuschaufnahmen und Messergebnisse sind in Anhang C dargelegt.

Bei der zweischaligen Abschirmung M2/100 sind wiederum die durch die Doppelschalen- und Hohlraumresonanz hervorgerufenen Einbrüche der Einfügungsdämpfung bei $f_R \approx 200$ Hz bzw. $f_H \approx 1400$ Hz erkennbar; wie bei der Messung im Halbfreifeldraum insbesondere an jenem Messpunkt, der sich nahe der Stellwand befindet (Abb. 15). Je weiter sich der Messpunkt von der Wand entfernt, um so geringer sind diese Resonanzen wirksam.

Auch die einlagige, leichte Folie liefert erstaunlich hohe Pegelminderungen, selbst bei dem tieferfrequenten Notstromaggregat als Schallquelle (Abb. 16). Die in hohen Frequenzen vorhandene Schalldämmung dämpft die Emissionen immerhin in diesem Frequenzbereich, obgleich der Transmissionsanteil im gesamten Spektrum wirksam ist (Abb. 17).

Bei der zweischaligen Stellwand M2/100 ist der Transmissionsanteil gegenüber den über die drei Schirmkanten gebeugten Anteile derart gering, dass bis auf die tiefen Frequenzen bis 315 Herz (bei 2 m Abstand) bzw. bis 250 Hz (bei 10 m Abstand) die Schalldämmung der Abschirmkonstruktion vernachlässigt werden kann.

Der Dämpfungsverlauf ist sowohl bei der einlagigen als auch bei der zweilagigen Konstruktion bei beiden Emittenten (Vergleichsschallquelle / Notstromaggregat) qualitativ ähnlich, die Dämpfung bei der Verwendung der höherfrequenten Vergleichsschallquelle ist im Einzahlwert allerdings größer (siehe Abb. 15, Abb. 16, Tab. 7).

6.3 Höreindruck durch Kunstkopfaufnahmen

Zu allen Pegelaufnahmen wurden bei den Freiluftmessungen synchrone Aufnahmen mit einem Kunstkopf durchgeführt, die als Audio-Dateien die Lärmsituation auch nach den Messungen hörbar machten. Ein Vorteil solcher Aufnahmen besteht darin, dass ein Hörer eine bestimmte Lärmsituation mit und ohne Abschirmung unmittelbar vergleichen kann, ohne die Abschirmung zwischendurch auf- und abbauen zu müssen. Zudem wird er nicht von der (versperrten) Sicht auf die Schallquelle hinsichtlich eines Stör- oder Belästigungsgefühls visuell beeinflusst.

Einige Aufnahmen wurden für eine Einschätzung der Lärminderungswirkung ausgewählt:

- Fall a.) Emittent Vergleichsschallquelle / Abschirmung Folie einlagig (F3) / Immissionsort 2 m hinter dem Schirm,
- Fall b.) Emittent Vergleichsschallquelle / Abschirmung *Membran* zweilagig (M2/100) / Immissionsort 2 m hinter dem Schirm,
- Fall c.) Emittent *Notstromaggregat* / Abschirmung *Folie* einlagig (F3) / Immissionsort 2 m hinter dem Schirm,
- Fall d.) Emittent *Notstromaggregat* / Abschirmung *Membran* zweilagig (M2/100) / Immissionsort 2 m hinter dem Schirm,
- Fall e.) Emittent *Notstromaggregat* / Abschirmung *Membran* zweilagig (M2/100) / Immissionsort 10 m hinter dem Schirm.

13 Mitarbeiter des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik wurden befragt, wie sie die Lärminderung empfinden. Sie konnten die Auswertung anhand einer Power-Point-Präsentation ungestört an ihrem Arbeitsplatz vornehmen. Dabei wurde den Testpersonen nicht mitgeteilt, mit welchen Mitteln die Pegelminderung erzielt wurde. Die Wertung sollte nach einem Notensystem durchgeführt werden: 1 = sehr stark, 2 = stark, 3 = mittelmäßig, 4 = leicht, 5 = sehr leicht.

Die Lärmpegelminderung für Fall a.) wurde durchschnittlich mit „stark“ (Notenmittel 2,2) bewertet, die für Fall b.), die zweilagige Membran, nur leicht besser (Note 1,9). Die Minderung des durch das tieferfrequente Notstromaggregat emittierten Pegels wurde für Fall c.) mit „mittelmäßig“ (Note 3,0) eingeschätzt, bei der zweilagigen Abschirmung, Fall d.) und Fall e.) – also für den Immissionsort 2 m und 10 m hinter dem Schirm, beide Male mit „stark“ (Note 2,2 bzw. Note 2,1).

Die gemessenen Einfügungsdämpfungsmaße D_e decken sich qualitativ mit der Bewertung (siehe Tab. 7). Es ist aber bereits bei den wenigen Stichproben festzustellen, dass der Einzahlwert der gemessenen Einfügungsdämpfung D_e für eine empfundene Minderungswirkung nur bedingte quantitative Aussagekraft hat (Abb. 18).

Die Ergebnisse sind nicht nur allein deswegen beeindruckend, weil die durch die kleine Stellwand aus Folien und Membranen erzielte Lärminderung als stark bis mittelmäßig empfunden wird, sondern auch, weil die einlagige Folie unerwartet gut abschneidet. Vor allem bei Schallquellen mit höherfrequenten Emissionsanteilen scheint die leichte, einlagige Folie in der Wirksamkeit der relativ schweren, zweilagigen Membran nicht nach zu stehen. Weiterhin ist interessant, dass die Wirksamkeit auch bei größerer Entfernung vom Schirm als gleich bleibend eingeschätzt wird.

6.4 Vergleich von Berechnung und Messung

Die Ergebnisse der Messungen im Halbfreifeldraum sowie im Freien wurden den mittels des Prognoseprogramms (siehe Kapitel 5.3) berechneten Werten gegenüber gestellt. Die zur Berechnung notwendigen Eingangsparameter müssen dazu bekannt sein: die Schalldämmung der Abschirmkonstruktionen (Tab. 4), die Schall-Leistungspegel der Quellen (Tab. 5) sowie die geometrische Situation von Gelände, Abschirmung, Emissions- und Messpositionen.

Die Schall-Leistungspegel $L_{w,A,eq}$ der für die Messungen verwendeten Schallquellen Vergleichsschallquelle, Typ Rox (796162), und Notstromaggregat 2600 W, Typ Geko2602E, wurden durch das Hallraumverfahren [13] im Hallraum des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (IBP) in Stuttgart ermittelt. Die Schalldämmung der zweilagigen Membrankonstruktion M2/100 wurde ebenfalls im Labor gemessen, die der einlagigen Folie F3 aus den Schalldämm-Maßen ähnlicher Folien abgeschätzt [25].

Aus acht gemessenen (L_m) und berechneten ($L_{s,D}'$) Schalldruckpegeln für Abschirmsituationen bei Freiluftmessungen an verschiedenen Messpositionen sowie unterschiedlichen Abschirmmaterialien und Emittenten wurde der Frequenzverlauf mit und ohne Abschirmung arithmetisch gemittelt, um einen Eindruck von den Abweichungen zu erhalten (Abb. 18). Die Kurven weichen stark voneinander ab: In den tiefen Frequenzen liefert die Prognose zu niedrige Pegel, in den höheren Frequenzen zu hohe. Besser vergleichbar sind die über die Messungen gemittelten Einzahlwerte:

Messung ohne Abschirmung:	$L_o = 63,1 \text{ dB(A)}$,
Rechnung ohne Abschirmung:	$L_s = 64,5 \text{ dB(A)}$,
Messung mit Abschirmung:	$L_m = 52,5 \text{ dB(A)}$,
Rechnung mit Abschirmung:	$L_{s,D}' = 52,6 \text{ dB(A)}$.

Für eine bestimmte Mess-Situation mit hohem Transmissionsanteil wurde neben dem gemessenen Frequenzverlauf L_m der nach (5) berechnete Gesamt-Immissionspegel $L_{s,D}'$ in seinem Beugungs- und Transmissionsanteil ($L_{s,D}$ bzw. $L_{s,T}$) frequenzabhängig dargestellt (Abb. 17). Das ausgewählte Beispiel mit einer leichten Folie als Abschirmung zeigt, dass sich die Berechnungskurve durch Pegeladdition von Schallbeugung und Transmissionsanteil (6) der tatsächlichen Messkurve annähert. Selbst in diesem Fall ist aber erkennbar, dass für die Genauigkeit der Prognose die Ungenauigkeit der Berechnungsvorschriften maßgeblicher ist als die Einbeziehung des Schalldurchganges. Die Einzahlwerte der Schalldruckpegel ergeben, nicht nur in diesem Beispiel, hingegen relativ treffsichere Prognosewerte:

$L_m =$	58,5 dB(A)
$L_{s,D}' =$	57,4 dB(A), davon
$L_{s,D} =$	55,2 dB(A)

$$L_{s,T} = 53,4 \text{ dB(A)}$$

Bei den gängigen Schallimmissions-Prognoseverfahren, die auch der Immissionsprognose-Software wie CADNA oder SoundPLAN zu Grunde liegt, bleibt der Schalldurchgang durch die Abschirmung unberücksichtigt. Wird der Transmissionsanteil in die Prognose einbezogen, so zeigt sich - auch bei einer Stellwand mit hohem Beugungsanteil - zumeist eine geringfügige Annäherung der Prognosewerte $L_{s,D}$ ' an die gemessenen Ergebnisse L_m . Dies verdeutlicht aber auch, welchen geringen Einfluss die Schalldämmung auf die Einfügungsdämpfung in den untersuchten Fällen hat.

Aus mehreren Messungen im Halbfreifeldraum und im Freien können die gemittelten Abweichungen zwischen den gemessenen und prognostizierten Immissionspegeln analysiert werden (Abb. 20). Hierzu wurden 12 Messungen im Halbfreifeldraum mit und ohne Abschirmung gemittelt²⁵, zudem 8 Messungen im Freien mit verschiedenen Abschirmungen bzw. Emittenten sowie die gleichen 8 Messungen im Freien, bei denen lediglich der Beugungsanteil $L_{s,D}$ entsprechend VDI 2720-1 [32] berücksichtigt wurde.

Bei den Messungen im Halbfreifeldraum ist der starke Pegelabfall unter 500 Hz auf die bereits erwähnten Interferenzerscheinungen durch direkten und am Boden reflektierten Schall zurück zu führen. Die gegenüber den Prognosen höhere Dämpfung im tiefen bzw. geringere Dämpfung im hohen Frequenzbereich können ihren Grund in der Schallausbreitungs- [31] und Beugungstheorie [32] haben, die verschiedene Boden- und Meteorologieeinflüsse außer Acht lässt (3). Die Differenz zwischen der Einfügungsdämpfung D_e (Messung) und dem resultierenden Abschirmmaß D_z' (Prognose) zeigt geringere Unterschiede (Abb. 21).

Bei den Abweichungen der Einzelergebnisse ergibt sich bei allen untersuchten Fällen ein besseres Bild: Der Prognosewert D_z' liegt im Mittel noch nicht einmal 1 dB neben der Einfügungsdämpfung D_e , wobei die Genauigkeit durch die Berücksichtigung des Transmissionsanteils steigt. Die einzelnen Abweichungen können allerdings in positive und negative Richtung stärker streuen. So liegen diese bei einzelnen analysierten Freifeldmessungen zwischen -3,1 dB(A) und +4,4 dB(A). Zum Vergleich des gemessenen Einfügungsdämpfungsmaßes mit den Prognosewerten mit bzw. ohne Transmissionsanteil siehe auch Tab. 7.

²⁵ Bei alleiniger Betrachtung der Messungen mit Abschirmung ergibt sich eine ähnliche Kurve.

6.5 Zusammenfassung

Die Halbfreifeldraum- und Freiluftmessungen an leichten Abschirmungen zeigen, dass die akustische Wirksamkeit von Abschirmungen aus Folien und Membranen nicht geringer als bei geometrisch gleichen, schweren Abschirmungen sein muss. Zwar führt die geringe Schalldämmung leichter Konstruktionen zu einer Erhöhung des Gesamt-Immissionspegels besonders im tiefen Frequenzbereich, doch kann die Pegelminderung ausreichend sein, um für Betroffene den berechtigten Eindruck einer „starken Minderung“ zu hinterlassen.

Prognose- und Messergebnisse der Immissionspegel für verschiedene Emissions- und Abschirmsituationen stimmen in den Einzahlwerten allgemein gut überein, weniger gut jedoch bei einem Vergleich der Frequenzbänder. Gründe dafür können Interferenzerscheinungen durch direkten und am Boden reflektierten Schall oder die in der Schallausbreitungs- und Beugungstheorie definierten Boden- und Meteorologieeinflüsse sein.

7 Baustellenanalyse

Um die Praxistauglichkeit leichter Abschirmungen zu überprüfen, wurden zunächst Baustellen in Stuttgart und Umgebung analysiert und evaluiert. Für mehrere geeignete Baustellen wurden Minderungsprognosen durchgeführt.

7.1 Auswahl der Baustellen

Auf die theoretische Umsetzbarkeit von Abschirmmaßnahmen in der Baupraxis wurde bereits in Kapitel 4.5 eingegangen. Zwar wurden bei den meisten der 18 untersuchten Baustellen im Stuttgarter Raum zusätzliche Lärmschutzmaßnahmen als notwendig erachtet, allerdings war bei vielen kein Platz für die Aufstellung von leichten Abschirmeinrichtungen, die zur Aufnahme von Windlasten zusätzlich mit Seilen abgespannt werden sollten.

Vier Baustellen rückten in die engere Auswahl, weil sie den Platz boten, die Stellwände mitsamt Abspannungen aufzustellen und dabei so hätten platziert werden können, dass in Wohn- oder Schulräumen Lärminderungen mess- und hörbar geworden wären.

Bei zwei dieser vier Baustellen waren die Rohbaumaßnahmen vor Lieferung der Prototypen aufblasbarer Abschirmungen abgeschlossen, sodass die Untersuchung der Praxistauglichkeit auf die anderen beiden Baustellen beschränkt bleiben musste.

7.2 Bestandsaufnahme ausgewählter Baustellen

Auf die vier in die engere Auswahl gezogenen Baustellen soll im Folgenden näher eingegangen werden.

7.2.1 Pragschule / Kindertagesstätte Neubau

Etwa 40 m von der mehrgeschossigen Stuttgarter Pragschule entfernt wurde eine eingeschossige Kindertagesstätte (Flachbau) errichtet. Zwischen Baustelle und Schule führte ein Weg, neben dem ein Drahtgitterzaun zur Absperrung der Baustelle aufgestellt war (Abb. 22). Anstelle dieses Zaunes, oder auch dahinter, könnte eine (globale) Abschirmung problemlos aufgestellt werden. Damit hätte insbesondere bei den Untergeschossen der Pragschule die Lärmbelästigung gemindert werden können. Ein akustischer Synergieeffekt wäre die Abschirmung der Schule gegen den Verkehrslärm der stark befahrenen Heilbronner Straße. Die Rohbaumaßnahmen auf der Baustelle waren allerdings bereits vor Lieferung der aufblasbaren Abschirmungen abgeschlossen, sodass auf ihren Einsatz an diesem Standort verzichtet wurde.

7.2.2 Sonderschulzentrum Hengstäcker / Erweiterung der Bodelschwinghschule

Etwa 15 m von der mehrgeschossigen Stuttgarter Bodelschwinghschule entfernt wurde ein eingeschossiger Erweiterungsbau (Flachbau) errichtet. Auf der anderen Seite der Baustelle befanden sich in etwa 60 m Entfernung mehrgeschossige Einfamilienhäuser (Abb. 23). Auf der Grünfläche zwischen Baustelle und diesen Häusern hätten sowohl lokale als auch globale Abschirmmaßnahmen ergriffen werden können. Möglich wären auch Abschirmungen zwischen Baustelle und Schule. Für diese Baustelle wurden mehrere Möglichkeiten der Abschirmung hinsichtlich ihres Minderungspotenzials planerisch ausgelegt (siehe Kapitel 7.3). Die Rohbaumaßnahmen waren auch auf dieser Baustelle bereits vor Lieferung der aufblasbaren Abschirmungen abgeschlossen, sodass auf ihren Einsatz an diesem Standort verzichtet wurde.

7.2.3 Leuze-Bad / Parkhaus-Neubau

Neben dem Stuttgarter Leuze-Bad entstand, etwa 60 m bis 100 m zur umliegenden mehrgeschossigen Wohnbebauung entfernt, ein mehrgeschossiges Parkhaus (Abb. 24). Ein Wall (gleichzeitig Bruchkante der Baugrube) direkt neben der Baustelle in Richtung Wohnbebauung bot sich zur Aufstellung von Abschirmeinrichtungen an, die wegen der Größe der Baustelle am besten global zu konzipieren gewesen wären. An dieser Baustelle wurde der Einsatz aufblasbarer Stellwände erprobt.

7.2.4 Friedrich-Eugens-Gymnasium / Mensa-Anbau

Etwa 10 m von dem mehrgeschossigen Stuttgarter Friedrich-Eugens-Gymnasium entfernt wurde ein zweigeschossiger Mensa-Anbau errichtet. Auf der anderen Seite der Baustelle befand sich etwa 40 m entfernt Wohnbebauung (Abb. 25). Da das Erdgeschoss der Mensa bereits durch die Bruchkante der Baugrube zur Wohnbebauung verdeckt war, bot sich die Aufstellung von Abschirmeinrichtungen auf dieser Bruchkante an, um den Schirmeffekt zu verstärken. In Richtung Schule wären lediglich vor den Schulbau gehängte Folien zur Abschirmung möglich gewesen, die als „Maßnahmen am Immissionsort“ definiert werden müssten. Von Schülern und Lehrern wurde diese Baustelle in ihrem Fortgang intensiv begleitet und dokumentiert, eine Sicht auf die Baustelle war demnach erwünscht. Hier hätten transparente Folien Verwendung finden können, deren Befestigung allerdings kompliziert gewesen wäre. An dieser Baustelle wurde der Einsatz aufblasbarer Stellwände erprobt.

7.3 Planerische Auslegung von Lärmschutzmaßnahmen

Für eine Beispielbaustelle wurden mehrere Möglichkeiten des globalen und lokalen Lärmschutzes konzeptioniert, um fest zu stellen, welche Dimensionierung der

Abschirmeinrichtungen für diesen oder einen ähnlich gelagerten Fall notwendig ist. Bei der Erstellung von Prototypen aufblasbarer Stellwände waren dieser Dimensionierung aus verschiedenen Gründen (Kosten, Bausicherheit, Handlichkeit) allerdings Grenzen gesetzt. Mit den Abmessungen der tatsächlich gelieferten Abschirmungen wiederum konnten vor den geplanten Baustellenmessungen aussagekräftige Prognosen der zu erwartenden Lärminderung durchgeführt werden.

7.3.1 Dimensionierung der aufblasbaren Schallschirme

Die Abschirmeinrichtung wurde als eine Art Kastenluftmatratze aus stabiler Folie / Membran mit den Abmessungen 3,4 m x 3,4 m x 0,2 m (Breite x Höhe x Dicke) und einem Kammerabstand von 20 cm (17 Kammern) konzipiert. Die Begrenzung der Abmessungen ergab sich aus Gründen der Handhabbarkeit auf der Baustelle. Von diesen Matratzen waren 6 Stück favorisiert. Die flächenbezogene Masse beider Schalen sollte $m'' \geq 1 \text{ kg/m}^2$ betragen. Zudem sollte die gesamte Matratze über ein Luftventil befüllt werden können, wozu Durchlässe zwischen den Kammern notwendig gewesen wären. Ein umlaufender Randstreifen mit Metallösen war zum Abspannen der Stellwand gedacht.

Ein Konfektionär lieferte die gewünschten Stellwände mit einigen herstellungsbedingten Veränderungen: 5 Stück mit den Abmessungen 4,2 m x 3,4 m x 0,15 m (Breite x Höhe x Dicke) und jeweils etwa 40 Kilogramm Gewicht. Die Matratzen bestanden aus zwei Membranschichten, die durch 15 cm lange, flexible Kunststoffstege miteinander verbunden waren und die beiden Membranlagen in aufgeblasenem Zustand auf Distanz hielten. Drei zweilagige Membranbahnen mit der Länge von je 3,4 m, die dem Konfektionär vom Hersteller in 1,4 m Breite geliefert wurden, waren an den Stößen miteinander vernäht, sodass sich die Element-Gesamtbreite von 4,2 m ergab (Abb. 26). Jedes Element war einzeln über ein Luftventil zu befüllen. Die Ecken der Stellwände mussten herstellungsbedingt abgerundet ausgeführt werden.

7.3.2 Konzeption des praxisgerechten Lärmschutzes

Mittels der Immissionsprognose-Software CADNA (siehe Kapitel 5.2) wurden verschiedene Lärmschutzmaßnahmen auf dem Ausbreitungsweg exemplarisch für die Stuttgarter Bodenschwingschule im Sonderschulzentrum Hengstäcker hinsichtlich ihrer Wirksamkeit untersucht. Derartige Programme berücksichtigen für Abschirmungen keinen Schalldurchgang, doch kann der Transmissionsanteil bei relativ schweren bzw. zweilagigen Folien- und Membrankonstruktionen bei Planungsaufgaben auch vernachlässigt werden²⁶. Für eine an einem bestimmten Tag vorherrschende Baustellensituation wurden Stellwände dimensioniert und dabei globale und lokale Konzepte analysiert.

²⁶ Zur Begründung siehe Kapitel 6.4 und 6.5.

Die Bebauungs-, Gelände- und Emissionssituation waren die grundlegenden Software-Eingabeparameter. An einem ausgewählten Tag waren auf der Baustelle eine Kreissäge, ein Turmdrehkran, ein Betonmischer sowie Betonierarbeiten (Verdichten des Betons in einer Schalwand) über unterschiedliche Zeitabschnitte die maßgeblichen Emittenten. Die Schallleistungspegel wurden der Literatur [22], [23] entnommen. Die Pegelverteilung ohne Lärmschutzmaßnahmen ist über den Tag von 6 Uhr bis 22 Uhr gemittelt und für 1,5 m über Gelände angegeben (Abb. 27).

Mit der globalen Auslegung der Lärmschutzmaßnahmen sollten alle schützenswerten Immissionsorte vor allen potenziell auf der Baustelle auftretenden Emissionen abgeschirmt werden. Dazu mussten die 4 Stellwände sehr hoch (4,5 m) und großflächig (Breite bis 17 m) dimensioniert werden (Abb. 28). Da diese Wände während der gesamten Bauzeit stationär bleiben sollten, mussten sie möglichst außerhalb des Arbeitsbereiches von Bauarbeitern und Baumaschinen aufgestellt werden. Die größte Stellwand, direkt vor der Bodenschwingschule, würde die Sicht von Lehrern und Schülern auf die Baustelle versperren und könnte auch die Lichtverhältnisse in den Klassenzimmern verschlechtern. Die Karte der Pegelverteilung zeigt die „Schallschatten“ hinter den Stellwänden und eine teilweise starke Verringerung der Pegel an den Immissionsorten.

Für das lokale Konzept wurden kleinere Stellwände konzipiert, die an eine veränderte Emissionssituation durch Verschieben oder Neuaufstellen angepasst werden können. Diese relativ kleinen Wände (6 Stück je Breite = 6,0 m, Höhe = 4,0 m) wurden so nah wie möglich an den Emissionsorten platziert (Abb. 29). Die Karte der Pegelverteilung zeigt gegenüber dem globalen Konzept kleinere „Schallschatten“ und eine geringere Verbesserung der Lärmbelästigung. Dies wird auch quantitativ ersichtlich, wenn die durch die global bzw. lokal konzeptionierten Abschirmungen an verschiedenen Immissionsorten erzielten Pegelminderungen der Ausgangssituation ohne Lärmschutz gegenüber gestellt werden (Abb. 30).

Für die Baustellen Leuze-Bad und Friedrich-Eugens-Gymnasium, an welchen der Baustelleneinsatz leichter Abschirmungen durchgeführt wurde, wurden ebenfalls Immissionsprognosen mittels CADNA erstellt. Nachdem die Abmessungen der für den vorgesehenen Praxistest gelieferten aufblasbaren Stellwände bekannt waren und daher eine planerische Dimensionierung beschränkt war, dienten diese Prognosen hauptsächlich der Wahl eines günstigen Standortes zur Aufstellung der Abschirmungen, um die Lärmbelästigung an möglichst vielen Immissionsorten möglichst stark zu mindern.

8 Baustelleneinsatz leichter Abschirmungen

Die 5 Prototypen aufblasbarer Elemente²⁷ mit den Abmessungen je 4,2 m x 3,4 m (Breite x Höhe) wurden als Abschirmungen an den zwei ausgewählten Baustellen Leuze-Bad / Parkhaus-Neubau sowie Friedrich-Eugens-Gymnasium / Mensa-Anbau aufgestellt und akustisch untersucht. Wichtig war vor allem der messtechnische Vergleich der Situationen mit und ohne Wand. Dazu wurden neben Schallpegelmessungen auch Kunstkopfaufnahmen durchgeführt. Passantenbefragungen begleiteten die Untersuchung.

8.1 Aufbau und Einsatz der Abschirmungen

Der praktische Einsatz aufblasbarer Schallschirme verzögerte sich auf Grund von Herstellungs- und Lieferschwierigkeiten bis zum 10. November 2005. Es war zu befürchten, dass die Baustellentätigkeit wegen des nahenden Winters zum Erliegen kommt und die Messungen nicht durchgeführt werden können. Bereits einige Tage später, am 14. und 15. November 2006, wurden die Elemente an der Baustelle am Leuze-Bad aufgestellt und, weil sich der dortige Einsatz unproblematisch gestaltete, am 16. und 17. November 2006 an der Baustelle des Friedrich-Eugens-Gymnasiums ebenfalls eingesetzt. Die Situation auf den Baustellen und den Einsatz der Abschirmungen verdeutlichen ein kurzer Videofilm (Anhang E) sowie ausgewählte Fotoaufnahmen (Anhang F).

Die 5 zusammen gelegten Elemente passten neben der Messausrüstung problemlos in einen VW-Bus. In aufgeblasenem Zustand hatten sie insgesamt eine Fläche von 71,4 m². Die Schallschirme wurden bei den Baustellen in etwa 30 bis 50 Metern Entfernung vom Aufstellungsort mittels eines Druckluftkompressors (400 l/min) aufgepumpt, was pro Element etwa 20 Minuten dauerte, und die Elemente an ihrem Standort mit Seilen im Winkel von etwa 45° abgespannt. Aus Sicherheits- und Stabilitätsgründen wurden die Elemente seitlich miteinander verknüpft und durch Holzpflocke im Bodenbereich justiert. Die Aufstellung der 5 Elemente dauerte bei beiden Baustellen etwa 2,5 Stunden, der Abbau bis zum sorgfältigen Verpacken jeweils etwa 1,5 Stunden.

Die Stellwände sollten die Bautätigkeit nicht beeinträchtigen und wurden dementsprechend positioniert. Es war an beiden Baustellen nicht zu erwarten, dass die Abschirmung durch Bautätigkeit (Schwenkbereich des Kranes) oder Vandalismus zu Schaden kommen würde.²⁸

²⁷ Zur näheren Beschreibung der Prototypen siehe Kapitel 7.3.1.

²⁸ Eines der fünf Elemente wies am dritten Einsatztag eine fertigungsbedingte Undichtigkeit an einer Nahtstelle auf; am Morgen des vierten Tages stand dieses Element zwar erschläft, aber noch funktionsfähig im Gesamtverbund.

Die ausgewählten Baustellen erwiesen sich für den Einsatz der Abschirmungen als bedingt geeignet. Für die Baustelle am Leuze-Bad waren schon wegen der Größe der Baustelle die insgesamt 21 m Breite (bei waagerechter Lage der Elemente) zu wenig, um die anliegende Bebauung wirkungsvoll abzuschirmen. Bei Tätigkeiten, die auf der Baustelle vor der Stellwand statt fanden (z.B. Bodenverdichtung durch Rüttelplatte), erfüllte sie jedoch ihren Zweck. Die Baustelle am Friedrich-Eugens-Gymnasium war bereits soweit fortgeschritten, dass die Stellwände zur Abschirmung der Bewehrungsarbeiten auf dem Dach in ihrer Höhe zu niedrig waren, obwohl drei Elemente senkrecht gestellt wurden, also 4,2 m Höhe erreichten. Zudem reflektierte die umliegende Bebauung den Baulärm, sodass die Abschirmungen an Wirkung verloren.

8.2 Messungen

An beiden Baustellen wurden zunächst typische Baustellengeräusche gemessen. Da bei den Vorfelduntersuchungen festgestellt wurde, dass die Minderungswirkung in größerer Entfernung ähnlich empfunden wird wie direkt hinter dem Schirm²⁹ und die Immissionsorte zudem an für Messungen schwer zugänglichen Positionen lagen, wurden die Pegel synchron (zweikanalig) etwa 2 m vor und 2 m hinter dem Schirm gemessen. Zudem waren exakt wiederholbare Emissionssituationen bei den Baustellenmessungen nicht gegeben, sodass Messungen mit bzw. ohne Schirm schon aus diesem Grund nur bedingt vergleichbar gewesen wären. Dennoch wurden auch Messpunkte in der Nähe von Immissionsorten ausgewählt, um einige weitgehend definierbare Emissionssituationen vor und nach Abbau der Abschirmung zu analysieren.

8.2.1 Messtechnisch ermittelte Minderungswirkung

Innerhalb der 4 Messtage gab es die unterschiedlichsten Emissionskonstellationen. Schwierig gestaltete sich die Auswertung der Messungen³⁰, wenn die Geräusche

- a.) zeitlich sehr kurz waren,
- b.) sehr leise waren bzw. in größerer Entfernung verursacht wurden oder
- c.) von anderen Geräuschen der Baustelle bzw. der Umgebung überlagert wurden.

Bei der Auswertung fanden ausschließlich A-bewertete Maximalpegel $L_{A,F,max}$ Beachtung, da diese als Spitzenpegel besonders wahrgenommen werden und eine Vergleichbarkeit der jeweiligen Geräusche ermöglichen.

²⁹ Siehe dazu in Kapitel 6.3 den Vergleich von Freiluftmessungen in 2 m und 10 m Abstand hinter der Abschirmung.

³⁰ Bei der Auswertung mussten die mittels Echtzeit-Analysator Norsonic 840 gemessenen Daten und mittels Kunstkopf aufgenommenen Geräusche synchronisiert werden.

Das Einfügungsdämpfungsmaß für ausgewählte Maschinen bzw. Arbeitsvorgänge beträgt bei den Messungen 2 m vor und 2 m hinter dem Schirm:

- Kettenbagger bei Profilarbeiten:	$D_e = 10,6 \text{ dB(A)}$
- Rüttelplatte beim Verdichten des Unterbaus einer Bodenplatte:	$D_e = 20,0 \text{ dB(A)}$
- strombetriebener Druckluftkompressor:	$D_e = 8,0 \text{ dB(A)}$
- Druckluftpistole:	$D_e = 8,1 \text{ dB(A)}$
- Umlegen von Gerüstbohlen:	$D_e = 16,1 \text{ dB(A)}$
- Fallenlassen von Bewehrungsmatten:	$D_e = 12,1 \text{ dB(A)}$
- Fallenlassen eines Stahlrohres:	$D_e = 16,7 \text{ dB(A)}$
- Hammerschläge auf Holzbohlen:	$D_e = 26,0 \text{ dB(A)}$ ³¹
- Hammerschläge auf Stahlgerüst:	$D_e = 20,1 \text{ dB(A)}$

Das Einfügungsdämpfungsmaß vor und nach Abbau der Abschirmung wurde für zwei weitgehend wiederholbare Emissionssituationen in der Nähe von Immissionsorten etwa 30 m von der Baustelle entfernt 2 m über Gelände gemessen:

- Hammerschläge auf Holzbohlen:	$D_e = 9,4 \text{ dB(A)}$
- Hammerschläge auf Stahlgerüst:	$D_e = 11,9 \text{ dB(A)}$

Bei einigen Messungen mit Abschirmung waren Schall-Reflexionen durch die umliegende Bebauung deutlich spürbar.

Die Pegelverläufe der A-bewerteten Maximalpegel $L_{A,F,max}$ der näher untersuchten Emissionssituationen sind in Anhang D dargestellt.

8.2.2 Vergleich mit Prognosewerten

Wenn Schallimmissions-Prognosen vor der Einrichtung von Baustellen durchgeführt werden, dann müssen die für die Prognose relevanten Datenbestände vorhanden oder zumindest abschätzbar sein. Die Geländesituation, auch für verschiedene Bauabschnitte, konnte bei den beiden untersuchten Baustellen bereits im Vorfeld unproblematisch analysiert sowie ein passendes Abschirmungskonzept entwickelt werden. In den vorliegenden Fällen waren dieser Konzeptionierung durch die eingesetzten Abschirm-Prototypen Grenzen gesetzt: Es wurden Stellwände aus aufblasbaren Membrankonstruktionen mit aus logistischen-, Fertigungs- und Kostengründen reduzierten Abmessungen verwendet, von denen die Schalldämmung abgeschätzt wurde.

³¹ Die VDI 2720 [32], Abs. 3.5, führt aus: „Das Abschirmmaß D_z ist bei Einfachbeugung in der Regel nicht größer als 20 dB.“ Dies gilt für normale Immissionssituationen. Im vorliegenden Fall können aufgrund der Mikrofonpositionen nah hinter der Wand höhere Werte auftreten.

Die Ermittlung der Emissionsdaten stellt die größte Herausforderung dar: Für die vielfältigen Arbeitsvorgänge sind kaum Schall-Leistungspegel bekannt, für Baumaschinen sind diese nur durch Messungen, Herstellerangaben oder aus der Literatur ermittelbar. Für zwei der gemessenen Emissionssituationen wurden für die Prognose Schall-Leistungspegel aus Messungen generiert³² (Werte siehe Tab. 5):

- Kettenbagger bei Profilierarbeiten (KTB),
- Rüttelplatte beim Verdichten des Unterbaus einer Bodenplatte (RTP).

Der Vergleich der gemessenen mit den berechneten Immissionspegel zeigt größere Unterschiede, wenn die Emissionswerte der Literatur [22], [23] entnommen werden. Die darin veröffentlichten Schall-Leistungspegel für bestimmte Maschinen und Tätigkeiten ähneln zwar qualitativ im Pegelverlauf den beiden o. a. Emittenten, jedoch nicht in den Absolutwerten der Schall-Leistung. Der gemessene Schall-Leistungspegel L_{wAeq} lag um 4 dB (KTB) bis 13 dB (RTP) höher.

Eine bessere Vorhersagbarkeit ergibt sich, wenn die tatsächlichen Schall-Leistungspegel L_w für die Prognose verwendet werden. Im vorliegenden Fall wurde die Schall-Leistung L_w aus gemessenen Schall-Druckpegeln L_o (ohne Schirm) durch Umstellung der Gleichung (4) generiert. Die bei der Rückrechnung konsequenterweise folgende hohe Übereinstimmung der Immissionspegel ohne Schirm an eben diesem Messpunkt (Abb. 33, Abb. 34) ist bei der Berechnung für andere Messpunkte um so weniger gegeben, je weiter diese Punkte vom Referenzpunkt entfernt liegen.

Der Kurvenverlauf der berechneten Terzmittenfrequenzen $L_{s,D}'$ zeigt in allen Fällen für tiefe Frequenzbereiche zu geringe Pegel, in höheren Frequenzen zu hohe Pegel (Abb. 33, Abb. 34). Die Einzahlwerte ergeben im Allgemeinen, genau wie bei den Voruntersuchungen, treffsicherere Prognosewerte (Tab. 7). Aber auch hier gibt es vereinzelt Abweichungen zum Messwert bis ± 5 dB bei einigen Untersuchungsfällen, zwischen resultierendem Abschirmmaß D_z' und Einfügungsdämpfungsmaß D_e sogar bis ± 8 dB (Tab. 7). Zudem ist festzustellen, dass das resultierende Abschirmmaß D_z' zwar gegenüber dem entsprechend VDI 2720-1 ohne Transmissionsanteil berechneten Abschirmmaß D_z meist eine Annäherung an das Einfügungsdämpfungsmaß D_e ergibt, dieser geringe Transmissionsbeitrag gegenüber möglichen Ungenauigkeiten der Berechnungsregeln [31], [32] oder nicht prognostizierbaren örtlichen Verhältnissen (Reflexionen usw.) jedoch kaum ins Gewicht fällt.

³² Da die Messungen 2 m vor und 2 m hinter dem Schirm stattfanden, wurden die Prognosewerte für den direkten Vergleich um die Entfernungsdifferenz nach [31] derart korrigiert, indem der theoretische Messpunkt für die Messungen ohne Schirm auf den Messpunkt „2m hinter dem Schirm“ projiziert wurde .

8.3 Empfundene Minderungswirkung

Um die durch den Einsatz der Abschirmungen erzielte Minderungswirkung zu evaluieren, wurden Passantenbefragungen und Kunstkopfaufnahmen durchgeführt. Ein Problem bei der Passantenbefragung bestand darin, dass für die Befragten kein direkter Vergleich bestimmter Lärmsituationen ohne und mit Lärmschutz möglich war. Die Kunstkopfaufnahmen hingegen ermöglichten einen derartigen Vergleich an Probanden, die von den Abschirmungen visuell nicht beeinflusst waren.

8.3.1 Befragung

Während des Baustelleneinsatzes der aufblasbaren Stellwände wurden 35 Passanten zu ihrem Eindruck zu den Stellwänden befragt.³³ Eine direkte Anwohnerbefragung war vom Bauträger nicht erwünscht, da die Anwohner durch die Befragung für Lärmprobleme erst sensibilisiert werden könnten. Dennoch waren unter den Passanten einige Anwohner, welche die gestellten Fragen eher emotional beantworteten und bei der statistischen Auswertung (Tab. 8) außer Acht gelassen werden mussten.³⁴

Die ersten zwei Fragen behandelten allgemeine Themen zur Baulärmbelästigung. In ihrem eigenen Wohnumfeld fühlten sich nur wenige der Befragten stark von Baulärm belästigt, dennoch befürwortete eine große Mehrheit, dass generell mehr Maßnahmen zur Minderung von Baulärm ergriffen werden. Zur festgestellten oder erwarteten Pegelminderung konnten viele Befragte keine Antwort geben, weil sie keinen Vergleich zur Situation ohne Lärmschutz hatten. Der ästhetische Eindruck schwankte für die meisten Befragten zwischen „interessant“ und „hässlich“. Viele bemerkten beiläufig, dass das Aussehen aber unwichtig wäre, wenn die Wände einen praktischen Nutzen hätten. Auch eine zusätzliche Gestaltung der Wände wurde mehrmals erwähnt. Die eindeutige Mehrheit der Befragten zeigte sich insoweit innovativ, dass sie sich gut vorstellen konnten, dass solche aufblasbaren Stellwände zukünftig verstärkt zur Minderung von Baustellenlärm eingesetzt werden.

8.3.2 Höreindruck / Auralisation

Bei der Aufnahme der in Kapitel 8.2.1 aufgeführten Baustellengeräusche wurde der Kunstkopf vor dem Schirm in der Nähe des Mikrofons platziert. Die hörbaren Geräusche können also direkt mit den gemessenen Pegeln verglichen werden. Einige Baumaschinen, -geräte oder Arbeitsgeräusche wurden ausgewählt, um zusätzlich mit dem Kunstkopf Aufnahmen vor und

³³ Von den Bauarbeitern und Bauleitern, die nicht befragt wurden, wurde die Lärmschutzmaßnahme interessiert zur Kenntnis genommen. Am Leuze-Bad suchte ein Bauarbeiter Schutz hinter der Abschirmung, um sich für einige Minuten vom ihn ständig umgebenden Baulärm zu erholen.

³⁴ Beispielsweise meinten einige Befragte aus einem anliegenden Bauingenieurbüro, dass starker Baulärm auf eine gute Arbeitsleistung von Bauarbeitern hinweisen würde und somit begrüßenswert wäre. Ein anderer wegen der Baustelle aufgebracht Anwohner kritisierte die Lärmschutzmaßnahmen als unzureichend und überflüssig, um anschließend über den Straßen- und Gewerbelärm der Umgebung zu klagen.

hinter der Wand (als Ersatz für „mit und ohne Wand“) durchzuführen. Da diese Aufnahmen nicht gleichzeitig durchgeführt werden konnten, musste auf gleichbleibende Emissionsbedingungen (Geräuschart und Geräuschort) geachtet werden.³⁵ Außerdem wurden Kunstkopfaufnahmen parallel zu den Pegelaufnahmen in der Nähe von Immissionsorten durchgeführt, um verschiedene Emissionspegel vor und nach Abbau der Abschirmung aufzunehmen. Alle Aufnahmen sind zum Abhören in Anhang D zu finden.

Die Wertung wurde analog zu den in Kapitel 6.3 beschriebenen Voruntersuchungen nach einem Notensystem durchgeführt: 1 = sehr stark, 2 = stark, 3 = mittelmäßig, 4 = leicht, 5 = sehr leicht. Die gemessenen Einfügungsdämpfungsmaße D_e stimmen mit der Bewertung des Höreindrucks kaum überein (siehe Tab. 7, Abb. 18), was mit der Impulshaltigkeit oder dem Frequenzverlauf der jeweiligen Geräusche erklärt werden könnte. So wird die Lärminderung bei dem wenig impulshaltigen Druckluftkompressor oder dem tieffrequenten Kettenbagger gegenüber dem Messwert als zu gut empfunden, hingegen bei den stark impulshaltigen Bohlenschlägen und Gerüstschlägen sowie bei der Rüttelplatte als zu schlecht. Mit größerer Entfernung von der Baustelle ist eine größere Übereinstimmung zwischen gemessener und empfundener Lärminderung festzustellen.

8.4 Zusammenfassung

Der Einsatz von Prototypen aufblasbarer Abschirmungen an Baustellen diene nicht nur dem akustischen Wirksamkeitsnachweis derartiger Schallschirme - der schließlich bereits durch die Voruntersuchungen erbracht war -, sondern auch der Überprüfung der Praxistauglichkeit. Der baupraktische Einsatz gestaltete sich im Wesentlichen unproblematisch. Für einzelne Schwachpunkte, wie etwa die Verankerung der Elemente zur Aufnahme von Windlasten, können Lösungen gefunden werden.

Die Ergebnisse der messtechnischen Untersuchungen belegen ein gutes Minderungspotenzial auch bei leichten Schallschirmen. Messbegleitende Berechnungen zeigen, dass die Schalldämmung der aufblasbaren Elemente für die Gesamt-Immissionspegel keine nennenswerte Rolle spielt, diese leichten Abschirmungen (zumindest als Stellwände in den untersuchten bzw. ähnlichen Situationen) schweren Systemen in ihrer Wirksamkeit demnach nicht nachstehen.

Bereits bei wenigen Stichproben wurde festgestellt, dass der Einzahlwert der Einfügungsdämpfung D_e für eine empfundene Minderungswirkung nur bedingte Aussagekraft

³⁵ Zwar sind mit den Aufnahmen vor/hinter der Wand keine völlig identischen Emissionssituationen aufgenommen worden, dennoch können sie miteinander verglichen werden.

hat, da die empfundene Belästigung offensichtlich auch sehr stark vom Geräushtyp (Impuls- oder Tonhaltigkeit) und dem Frequenzverlauf abhängt.

9 Bewertung der Untersuchungsergebnisse

Während des Projektes wurden zweischalige, aufblasbare Stellwände aus Membranen hinsichtlich ihrer akustischen Wirksamkeit und baupraktischen Einsetzbarkeit als lokale Lärmschutzmaßnahmen eingehend analysiert. Die Untersuchungen an Fallbeispielen dienen allerdings nicht allein der weiteren Optimierung spezieller Abschirmsituationen, sondern lassen auch Rückschlüsse auf den prinzipiellen Einsatz leichter Abschirmungen zu.

9.1 Optimierung und Einsetzbarkeit aufblasbarer Stellwände

Wie in 4.5 dargestellt, sind Abschirmeinrichtungen aus verschiedenen Gründen nicht auf jeder Baustelle notwendig oder aufstellbar. Zudem können Schirme aus Folien und Membranen nicht an jedem Emissionsort verwendet werden. Deshalb sollte ihr Einsatz bereits im Vorfeld abgewägt werden. Entsprechend der in Kapitel 3.4.1 aufgelisteten Bewertungsfaktoren können für aufblasbare Stellwände folgende Schlussfolgerungen gezogen werden.

a.) Akustische Wirksamkeit

Hinsichtlich ihrer Schalldämmung müssen als Abschirmungen eingesetzte Folien- und Membrankonstruktionen nicht schlechter sein als massive Systeme. Die Wirksamkeit hängt stark von der nach Kapitel 4.3 gewählten Abschirmvariante ab. Die Anbringung zusätzlicher Schallabsorbtiionsmaterialien steigert den Montageaufwand und schränkt die Flexibilität von temporären Systemen ein, sie wäre also nur für weitgehend stationäre Aufstellungsvarianten sinnvoll.

b.) Bausicherheit

Da das Abspannen leichter, selbsttragender Stellwände zwar auf Grund von Windlasten notwendig ist, andererseits jedoch Platz benötigt, der auf Baustellen selten vorhanden ist, sollten andere Lösungen gefunden werden. Denkbar ist eine aufklappbare Stahl- oder Aluminiumkonstruktion, in welche die aufblasbaren Elemente gestellt werden können, die im Boden fest verankert wird und welche die Schirme durch senkrechte Arme gegen Windlasten sichert (Abb. 35).

Die untersuchten Prototypen aufblasbarer Membranelemente erwiesen sich als relativ robust. In einer Serienfertigung können konstruktive Schwachstellen an Nähten und Kanten beseitigt werden. Aus Gründen des Brandschutzes dürfen Schirme aus Folien und Membranen allerdings nicht direkt neben in dieser Hinsicht gefährlichen Emittenten aufgestellt werden. Elemente aus Folien können, im Gegensatz zu solchen aus Membranen, auch transparent oder transluzent gefertigt werden.

Bei auftretendem Druckluftverlust ist bei aus mehreren Elementen zusammengesetzten Wänden das Nachpumpen derart möglich, dass alle Elemente durch Schläuche miteinander verbunden werden.

c.) Kosten

Eines der 5 Elemente kostete in Herstellungs- und Materialkosten etwa 1100 Euro, also etwa 80 Euro/m². Nach [9] werden die Kosten für einen Quadratmeter Schallschutzwand an Straßen „je nach Material und Gestaltung“ zwischen etwa 300 bis 600 Euro taxiert, bei schwierigen Untergründen auch darüber. Im Jahr 2004 wurde von der Bundesrepublik für Lärmschutzwände ein Durchschnittspreis von 273 Euro/m² bezahlt [13]. Bisher eingesetzte flexible Systeme sind etwas preiswerter. Selbst die untersuchten Prototypen sind also besonders kostengünstig. Bei einer Serienfertigung aufblasbarer Schallschirme würden sich die Herstellungskosten aufblasbarer Lärmschutzelemente weiter verringern. Zudem sind sie mehrmals verwendbar.

Wenn eine Lärmschutzkonzeption die Einsetzbarkeit derartiger Abschirmungen bestätigt, könnte ein Unternehmen vom Bauherren beauftragt werden, welches aufblasbare Stellwände vorhält, diese auf- und abbaut und auch während des Einsatzes betreut.

d.) Montageaufwand

Leichte Schallschirme können schnell auf- und abgebaut oder versetzt werden. Auch mit einem schwereren Halterungsgestell ist ein Versetzen der Schirme problemlos möglich, da sich auf Baustellen meist Krane oder Transportfahrzeuge befinden.

e) Flexibilität

An vertikal wachsenden bzw. wandernden Baustellen sind leicht montierbaren Abschirmungen aus statischen Gründen Grenzen gesetzt. Bei horizontal wandernden Baustellen des Straßenbaus kann durch das Versetzen einzelner Schirmelemente von einem zum anderen Ende der Wand der Lärmschutz relativ einfach mit der Baustelle wandern. Mehrere Elemente können modular zu Einhausungen oder Kapseln zusammengesetzt werden - oder auch gleich als solche hergestellt werden.

Zum Einsatz in Gebäuden sind aufblasbare Elemente, welche den untersuchten Prototypen entsprechen, ebenfalls geeignet. So können Flure abgesperrt oder Öffnungen verschlossen werden. Wie ein praktischer Versuch in einem Flur zeigte, verschließt ein aufgeblasenes Element die Öffnung durch den Anpressdruck derart fest, dass es nicht mehr verschoben werden kann. In dem Fall der vollständigen Absperrung ist das Schalldämm-Maß für die akustische Wirksamkeit maßgeblich. Neben dem Schall werden hierbei auch Belästigungen durch Staub vermindert.

f.) Weitere Faktoren

Zwar bestehen aufblasbare Schallschirme aus Kunststoffen, doch sind sie wegen ihres geringen Material-, Transport- und Entsorgungsaufwandes relativ umweltfreundlich. Gestaltungsmöglichkeiten bei den derzeit als eher unästhetisch eingestuften Wänden (siehe Kapitel 8.3.1), wie etwa die Ausführung der Schirmoberkante oder eine Flächengliederung [18], sind zwar möglich, bei temporären Lärmschutzelementen mit Mehrfachverwendung allerdings nicht unbedingt sinnvoll. Die Abschirmflächen können aber als Werbeträger ebenso verwendet werden wie als Fläche für eine künstlerische Farbgebung.³⁶

9.2 Flexible Abschirmsysteme und ihre Einsatzmethodik

Der akustische Wirksamkeitsnachweis für die aufblasbaren Systeme ist selbstverständlich auch auf andere leichte Systeme mit ähnlich geringer Schalldämmung übertragbar. In ihrem Montageaufwand, ihrer Flexibilität und ihren Kosten sind sie allerdings kaum schlagbar. Andere Systeme können unter gewissen Voraussetzungen auf Baustellen aber ebenso sinnvoll oder geeignet sein.

Aufblasbare Elemente sind – wie alle flexiblen und montablen Systeme – nur bis zu einer bestimmten Schirmhöhe einsetzbar. Ihr Einsatz an Gerüsten wäre aus logistischen Gründen problematisch. Vor allem wegen des Staubschutzes werden eingerüstete Bauwerke manchmal mit einlagigen Folien oder Membranen eingehaust, womit gleichzeitig die Lärmquellen innerhalb des Bauwerkes (global) abgeschirmt werden können. Aus akustischer Sicht ist dabei auf eine möglichst geschlossene Schirmfläche und die Verwendung ausreichend schwerer Schirmmaterialien zu achten. Während des Innenausbaus können derartige Abschirmungen auch lokal vor einzelnen Gebäudeöffnungen platziert werden.

Für Gerüstabdeckungen zwar kostenintensive, aber akustisch und logistisch empfehlenswerte Systeme können aus Paneelen bestehen, welche im Rasterabstand in die Gerüste eingehängt werden, und die auch bei einer flächenbezogenen Masse $m'' < 10 \text{ kg/m}^2$ gute Schalldämmwerte aufweisen [34].

Bei Straßenbaumaßnahmen sollte überlegt werden, ob geplante (stationäre) Lärmschutzwände zur Minderung von Straßenverkehrslärm nicht bereits vor Beginn der Baumaßnahmen errichtet werden können, um auch gegen Baulärm zu schützen.

³⁶ Die private Lärmschutzinitiative „Kunst und Natur an der A 14“ zeigte bereits Interesse an einer künstlerischen Gestaltung der Prototypen.

Generelle Musterlösungen von Lärmschutzmaßnahmen auf Baustellen können nicht angeboten werden, da die eingesetzten Emittenten, die örtlichen Situationen, die Betroffenen (hinsichtlich ihrer Sensibilität), die Synergieeffekte und nicht zuletzt die Baumaßnahmen selbst äußerst vielfältig sind und immer wieder neue Lösungen zur Lärminderung erfordern. Bei der Auswahl geeigneter Abschirmbauteile spielen auch nichtakustische Belange eine wichtige Rolle, weswegen die Auswahl des geeigneten Systems hinsichtlich seiner Vor- und Nachteile von Fall zu Fall abzuwägen ist. Eine grobe Orientierung hierfür kann die Bewertungsliste von Abschirmeinrichtungen nach verschiedenen Kriterien bieten (Tab. 2), welche zudem dem in Lärmschutzfragen oftmals nicht bewanderten Bauherren oder Planer verdeutlicht, welche Abschirmsysteme überhaupt existieren.

10 Zusammenfassung

Baulärm hat gegenüber anderen Lärmarten einige Besonderheiten: Die Emissionssituationen wirken zeitlich befristet, sind sehr vielfältig und selten stationär. Auch der in den letzten Jahrzehnten verstärkte Einsatz leiserer Baumaschinen hat die Lärmbelastigung nicht spürbar verringert, sodass von Baulärm immer noch viele Menschen betroffen sind. Dieser Umstand, verbunden mit einer latenten bis offenen Inakzeptanz gegenüber Bauarbeiten in der Nachbarschaft, führt neben einer gegen bauliche Investitionen gerichteten Atmosphäre auch zu wirtschaftlichen Folgen, die sich in verzögerten Bauabläufen oder in Regressforderungen bei Mieten oder Hotelbuchungen niederschlägt. Es existieren zwar rechtliche Grundlagen zur Baulärminderung, die auch auf Lärminderungsmaßnahmen auf dem Ausbreitungsweg hinweisen, doch werden diese Maßnahmen nur grob umrissen und entsprechen oftmals nicht dem Stand der Technik.

In einer Marktstudie wurden unterschiedliche Abschirmsysteme recherchiert, in funktionale Systeme gegliedert und hinsichtlich ihrer akustischen und nichtakustischen Vor- und Nachteile näher untersucht. Um eine möglichst objektive Einschätzung der verschiedenen Systeme zu erhalten, fand eine Befragung statt, bei welcher 23 verschiedene Abschirmsysteme bewertet wurden. Leichte Systeme werden hinsichtlich ihrer Kosten, der Flexibilität und dem Montageaufwand am besten und in ihren akustischen Eigenschaften ähnlich wie schwere Systeme eingeschätzt. Die Bausicherheit wird bei leichten Systemen hingegen noch als Schwachpunkt eingestuft.

Um durch Abschirmmaßnahmen ein möglichst hohes Wirkungspotenzial bei kleinem Aufwand und geringst möglicher Beeinträchtigung des Baustellenbetriebs zu erreichen, ist eine Konzeptionierung des Lärmschutzes für jede Baustelle individuell notwendig. So sollten die Emissionssituationen bei allen Bauphasen schon im Stadium der Lärmschutzplanung abschätzbar sein, um sich für bestimmte Abschirmkonstruktionen/-materialien, für Abschirmvariationen zwischen Stellwand und Kapsel und für globale oder lokale Konzepte zu entscheiden. Die praktische Umsetzbarkeit von Abschirmmaßnahmen wurde an 18 Stuttgarter Baustellen mit dem Fazit untersucht, dass zwar fast überall zusätzlicher Lärmschutz notwendig ist, jedoch Abschirmungen auf dem Ausbreitungsweg (vorrangig aus Platzgründen) nicht in allen Fällen eingesetzt werden können.

Der vielfach eingebrachte Einwand, leichte Abschirmungen würden wegen ihrer geringen Flächenmasse und damit verbundenen schlechten Schalldämmung für den Einsatzzweck ungeeignet sein, führte zu einer Analyse des Einflusses der Schalldämmung auf den Gesamt-Immissionspegel. Mit einem eigens in diesem Projekt entwickelten Prognoseprogramm, für das auch der bisher vernachlässigte Schalldurchgang bei verschiedenen Abschirmvariationen theoretisch modelliert wurde, ist anhand einiger Fallbeispiele der Schalldurchgang in einen

Kontext zur Schallbeugung gesetzt worden. Mittels einer Reihenuntersuchung wurde dargelegt, dass auch leichte Abschirmungen eingesetzt werden können, ohne dass ihre Wirksamkeit wegen zu großen Schalldurchganges vermindert wäre.

Diese Feststellung konnte durch mehrere messtechnische Untersuchungen in einem Halbfreifeldraum und im Freien untermauert werden. Durch Kunstkopfaufnahmen wurden, selbst bei Stellwänden aus leichten Folien, beeindruckende Lärminderungen auch für Unbeteiligte hörbar. Beim Vergleich der Ergebnisse von Prognose und Berechnung kristallisierten sich im Frequenzverlauf allerdings systematische Differenzen heraus, während die Einzahlwerte gut überein stimmten.

Vier Baustellen im Stuttgarter Raum wurden mit einem Schallimmissions-Prognoseprogramm akustisch näher untersucht, um Lärminderungspotenziale bei unterschiedlichen Abschirmungskonzeptionen zu evaluieren. Dabei ergab sich, dass auch durch Stellwände - als lokale Abschirmungen gezielt eingesetzt - gegenüber baustellenumfassenden, globalen Lärmschutzmaßnahmen gute Pegelminderungen erzielt werden können.

Zur Überprüfung der Praxistauglichkeit wurden an zwei dieser Baustellen Prototypen aufblasbarer Abschirmungen aufgestellt und akustisch untersucht. Dazu wurden neben Schallpegelmessungen auch Kunstkopfaufnahmen und Passantenbefragungen durchgeführt. Dieser baupraktische Einsatz gestaltete sich überraschend problemlos und zeigte ein großes Mobilitäts- und Flexibilitätspotenzial auf. In akustischer Hinsicht wurden die aus Prognose und Voruntersuchungen gewonnenen Erkenntnisse bezüglich des guten Minderungspotenzials auch leichter Abschirmungen bestätigt.

11 Ausblick

Ein umfassender Praxiseinsatz aufblasbarer Folien- und Membrankonstruktionen auf Baustellen oder bei anderen temporären Lärmsituationen ist aus akustischer Sicht ebenso möglich wie die Verwendung anderer leichter Systeme, bei denen Kosten, Flexibilität und Mobilität ein wichtiges Einsatzkriterium sind. Die Normen und Richtlinien, welche für Abschirmeinrichtungen eine pauschale Mindestflächenmasse fordern, sollten in dieser Hinsicht modifiziert werden.

Bei aufblasbaren Folien- und Membrankonstruktionen sind gegenüber den untersuchten Prototypen einige Verbesserungen hinsichtlich ihrer Standsicherheit bzw. Haltbarkeit notwendig, um sie für einen problemlosen Baustelleneinsatz zu optimieren.

Zum Einsatz in Gebäuden, etwa zur Absperrung von Fluren oder zum Verschließen von Öffnungen, sind aufblasbare Elemente, welche den untersuchten Prototypen entsprechen, ebenfalls geeignet. Praktische Untersuchungen für diesen Anwendungsfall wären sinnvoll.

Ein Lärmschutzkonzept muss je nach Baustellen- und Emissionssituation von Fall zu Fall individuell entwickelt werden. Planungshilfen können prinzipiell nur derart gegeben werden, dass dem Planer die umfassenden Möglichkeiten der Konzeptionierung vermittelt werden, sodass dieser sich für die wirksamste und sinnvollste Methode entscheiden kann.

Tiefergehende Untersuchungen zur frequenzabhängigen Übereinstimmung der durch die bestehenden Schallausbreitungs- und Beugungsmodelle berechneten Werte mit Messwerten wären ebenso wünschenswert wie eine Analyse, inwieweit eine gemessene bzw. berechnete Einfügungsdämpfung gegenüber der empfundenen Lärminderung Aussagekraft besitzt. Hierfür eignen sich auf Kunstkopfaufnahmen basierende psychoakustische Untersuchungen, die für eine Bewertung bisher rein messtechnisch gewonnener Aussagen viel stärkere Aufmerksamkeit verdienen.

Literatur

- [1] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm - Geräuschemissionen - vom 19. August 1970. Beil. zum BAnz. Nr. 160.
- [2] Amtsgericht Düsseldorf, Urteil vom 16.12.1996, Aktenzeichen 47 C 19823/97 bzw. Landgericht Hannover, Urteil vom 14.8.1997, Aktenzeichen 18 S 62/97, weiterhin Amtsgericht Bad Homburg, Urteil vom 17.1.1997, Aktenzeichen 2 C 3263/96-19 sowie Amtsgericht Frankfurt am Main, Urteil vom 5.8.1986, Aktenzeichen 30 C 957/86-47.
- [3] Ausführungsvorschriften zur Verordnung zur Bekämpfung des Lärms (AV LärmVO) vom 22. Juli 1996, zuletzt geändert durch Verwaltungsvorschriften vom 17. August 1999.
- [4] Baunutzungsverordnung - BauNVO Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke Baunutzungsverordnung - BauNVO) in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Januar 1990 (BGBl. I S. 132), zuletzt geändert durch Gesetz vom 22. April 1993.
- [5] Becker, S.: Lärmarme Großbaustelle - Modellhafte Erprobung der Ausschöpfung gegebener Lärminderungsspotenziale und typische Baustellengeräusche bei der Errichtung von Bürogebäuden oder mehrgeschossigen Wohngebäuden. Forschungsbericht Nr. 29653804, Umweltbundesamt, 2000.
- [6] Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz - BIA: Lärmbelastung an Baustellenarbeitsplätzen, Teil I bis VI. BIA. Sankt Augustin, 1987 bis 2004.
- [7] Brüggemann, Dr. Rudolf: LAUT IST OUT! - Lärmbekämpfung in Deutschland. Veröffentlichung des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Juli 2001, S. 22.
- [8] BS EN 12354-4: Bauakustik - Berechnungen der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften, Teil 4: Schallübertragung von innen nach außen. Beuth-Verlag, Berlin, April 2001.
- [9] BUND für Umwelt und Naturschutz: Verringerung von Lärmimmissionen, <http://www.bund.net/verkehr/>, Stand: 28.02.2007..
- [10] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz - Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm, Ausgabe 28. BMI, Bonn, August 1998.
- [11] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (Schweiz): Baulärm-Richtlinie - Richtlinien über bauliche und betriebliche Maßnahmen zur Begrenzung des Baulärms, Ausgabe 2. Februar 2000.
- [12] Calenberg Ingenieure: Firmenprospekt bzw. Arbeitsheft zur biegeweichen Lärmschutzwand Cisilent, 2. Auflage. Salzhemmendorf, 2003.
- [13] de Veer, H.: Jährliches Verzeichnis 2004 der Hersteller von Lärmschutzwänden und -steilwällen. Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 51 (2004), S. 124 ff.
- [14] DIN EN ISO 3741:2001-01: Akustik - Bestimmung der Schall-Leistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Hallraumverfahren der Genauigkeitsklasse 1. Beuth-Verlag, Berlin, Januar 2001.
- [15] DIN ISO 9613-2: Akustik - Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien - Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren, Berlin. Beuth-Verlag, Berlin, Oktober 1999.
- [16] Environmental Noise Control, Inc. (ENC): Acoustical Blankets. Firmenpräsentation im Internet, <http://www.environmental-noise-control.com/construction.html>, Stand: 15.02.2007.
- [17] Fasold, W.; Kraak, W.; Schirmer, W.: Taschenbuch Akustik - Teil 1. VEB Verlag Technik, Berlin, 1984.
- [18] Hahn, J.: Zur ästhetischen Gestaltung von Lärmschutzanlagen an Straßen. Straße und Autobahn 30, Nr. 7, (1979), S. 295-302.

- [19] Hoechst AG Frankfurt: Firmenprospekt, Synteen Gewebe Technik Erzingen: Synteen aktuell 1992.
- [20] Höllrigl, M.: Baulärm - vermeiden oder reduzieren. Arconis 3/2000, S. 25 ff.
- [21] Kotte, G.: Lärmminimierung auf Baustellen als Pflicht. BW-Spezial, (Juni 1992), S. 55 ff.
- [22] Krämer, E.: Technischer Bericht zur Untersuchung der Geräuschemissionen von Baumaschinen. Hessische Landesanstalt für Umwelt, Wiesbaden, 1998.
- [23] Krämer, E.; Leiker, H.; Wilms, U.: Technischer Bericht zur Untersuchung der Geräuschemissionen von Baumaschinen. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden, 2004.
- [24] Mehra, S. R.: Aufblasbarer Schallschutz mit Bauteilen aus Folien und Membranen. Fraunhofer-Institut für Bauphysik und Lehrstuhl für Bauphysik der Universität Stuttgart, o.J.
- [25] Mehra, S. R.; Maysenhölder, W.; Leistner, P.; Teller, P.: Akustisches Verhalten von Hüllkonstruktionen aus Folien und Membranen - AHAFUM. Lehrstuhl Konstruktive Bauphysik, Universität Stuttgart, 2004.
- [26] Mieterverein zu Hamburg, http://www.mieterverein-hamburg.de/mieterverein-recht/recht_m-mietrecht-mietertipps-urteile.htm, Stand: 15.02.2007.
- [27] ÖAL Richtlinie Nr. 28: Schallabstrahlung und Schallausbreitung. Österreichisches Normungsinstitut, Dezember 1987.
- [28] Ortscheid, J.: Auswertung der Online-Umfrage des Umweltbundesamtes. Umweltbundesamt, 2002.
- [29] VDI 2058-1: Beurteilung von Arbeitslärm in der Nachbarschaft. VDI, Düsseldorf, September 1985.
- [30] VDI 2571: Schallabstrahlung von Industriebauten. VDI, Düsseldorf, August 1976.
- [31] VDI 2714 Schallausbreitung im Freien. VDI, Düsseldorf, Januar 1988.
- [32] VDI 2720-1: Schallschutz durch Abschirmung im Freien. VDI, Düsseldorf, Februar 1991.
- [33] Verordnung zur Bekämpfung des Lärms (LärmVO) in der Fassung der Bekanntmachung vom 6. Juli 1994, zuletzt geändert durch Verordnung vom 29. Mai 2001.
- [34] Wilhelm Layher GmbH & Co. KG: Protect-System - Aufbau und Bedienungsanleitung.
- [35] Zweiunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung - 32. BImSchV, vom 29. August 2002, geändert am 06. Januar 2004.

Tab. 1 Auswertung der Befragung von 22 Projektleitern von in Stuttgart ansässigen Bauträgern und Bauunternehmen (Angabe der Anzahl der Antworten, manche Fragen wurden nicht von allen Befragten beantwortet).

Von folgenden durch Bautätigkeiten hervorgerufenen Beeinträchtigungen fühlen sich Ihrer Einschätzung nach Betroffene (Anwohner) besonders gestört:					
	sehr stark	stark	mittelmäßig	leicht	nicht
Lärm	8	9	4	1	0
Staub	4	13	5	0	0
Gerüche	0	5	7	7	3
Verkehrsbeeinträchtigung	1	6	10	4	1
Anblick	1	1	5	9	6
Die „Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm“ ist Ihnen ein Begriff und wird von Ihnen genutzt:					
	sehr oft	oft	manchmal	selten	nie
	2	3	5	8	4
Bei den von Ihnen betreuten Bauvorhaben kommt es immer wieder zu Beschwerden von Anwohnern wegen Baulärm:					
	sehr oft	oft	manchmal	selten	nie
	0	2	12	5	3
Wie oft im Jahr: Durchschnittlich 5,25 Beschwerden					
Bei den von Ihnen betreuten Bauvorhaben ist aus Ihrer Sicht eine Senkung der Baulärmbelästigung:					
	sehr wichtig	wichtig	sinnvoll	überlegenswert	unwichtig
	2	7	6	6	1
Bei welcher Bauphase treten aus Ihrer Sicht die stärksten Lärmbelästigungen auf:					
	sehr starke	starke	mittelmäßige	leichte	keine
Erstellung von Baugruben	1	9	6	0	3
Gründungsarbeiten	2	10	4	1	2
Erstellung von Rohbauten	0	0	9	10	0
Fassadenarbeiten	0	4	10	7	0
Innenausbau	0	3	5	13	1
Bei den von Ihnen betreuten Bauvorhaben ergriffen / ergreifen Sie Maßnahmen zur Minderung von Baulärm:					
	sehr oft	oft	manchmal	selten	nie
	2	4	7	8	1
Sie empfehlen / benutzen:					
	sehr oft	oft	manchmal	selten	nie
lärmmilde Baumaschinen und -geräte	4	7	1	7	3
Abschirmeinrichtungen	0	2	5	11	4
Maßnahmen am Immissionsort	1	1	4	7	9
Bei Abschirmeinrichtungen empfehlen / benutzen Sie:					
	sehr oft	oft	manchmal	selten	nie
Zelte	0	0	0	6	16
Kapseln	0	1	0	3	18
Einhausungen	2	5	1	4	10
Stellwände	4	3	3	4	8

Sie halten eine Weiterentwicklung von Maßnahmen zur Baulärminderung für:					
	sehr wichtig	wichtig	sinnvoll	überlegenswert	unwichtig
	4	5	8	4	1
Sie können sich vorstellen, dass demontable und flexible Abschirmeinrichtungen auf Baustellen eingesetzt werden können:					
	sehr oft	oft	manchmal	selten	nie
	0	2	12	8	0
Sie können sich vorstellen, dass solche demontablen und flexiblen Abschirmeinrichtungen als selbsttragende Luftkissen (analog stehender Luftmatratzen) ausgeführt sein können:					
	sehr stark	stark	mittelmäßig	leicht	nicht
	0	3	8	8	3

Die Ergebnisse zu den Fragen, von welchen durch Bautätigkeiten hervorgerufenen Beeinträchtigungen sich Betroffene besonders gestört fühlen und in welcher Bauphase die stärksten Lärmbelastungen auftreten, sind zur Verdeutlichung in Abb. 2 grafisch dargestellt.

Tab. 2 Bewertung von möglichen Abschirmeinrichtungen nach verschiedenen Kriterien (Wertung von 1 = sehr gut bis 5 = sehr schlecht). Die bestbewerteten Systeme einer Bewertungskategorie sind fett dargestellt.

Systeme	Akustik	Bau-sicherheit	Kosten	Montage-aufwand	Flexi-bilität	Weiche Faktoren
Massiv / selbsttragend						
Stahlbetonwand	3,0	2,4	3,4	4,6	3,6	3,9
Gabionen (Steinkörbe aus Drahtgittern)	3,1	2,7	3,6	4,2	3,3	2,6
vor Emittent gestellte Materialstapel	3,5	3,8	2,6	2,5	3,7	2,9
Wände mit massiven Stützen						
übliche Bretterwand auf Holzpfehlen	3,8	3,3	2,6	3,9	3,1	2,5
großflächiges Plattensystem	3,1	2,9	3,1	4,1	3,6	3,1
Kassetten (Aluminium)	2,7	3,0	3,3	3,7	3,0	3,3
Kassetten (Holz)	2,8	3,4	3,2	3,7	3,0	2,4
Plexiglas (nicht transparent)	3,6	3,2	2,8	3,8	3,7	3,3
Plexiglas (transparent)	3,6	2,9	3,4	3,8	3,8	3,1
Wände mit mobilen Stützen						
Kassetten (Aluminium)	2,7	3,3	3,0	2,3	2,8	3,4
Kassetten (Holz)	2,9	3,8	2,9	2,4	2,8	2,5
Sandwichplatten	3,2	3,3	2,8	2,4	2,7	3,3
Mit flexiblem Gerüst/Gestell						
Sandwichplatten (tragbar, Rastersystem)	3,3	3,4	2,6	2,2	2,2	3,1
Folien einfach (nicht transparent)	3,7	4,0	2,2	1,6	2,1	3,2
Folien einfach (transparent)	3,7	3,5	2,6	1,6	2,1	3,0
Membran (Geotextil)	3,4	3,7	2,3	1,7	2,1	2,9
Folien/Membrane zweilagig	3,1	3,8	2,4	2,1	2,4	3,0
Folien vorgefüllt (mit Platten)	2,8	4,0	2,9	2,7	3,1	3,3
Folien vorgefüllt (mit Schüttmaterial)	2,6	3,9	3,0	3,0	3,4	3,4
Folien gefüllt vor Ort (mit Platten)	2,8	4,0	3,2	3,6	3,1	3,3
Folien gefüllt vor Ort (mit Schüttmaterial)	2,7	3,9	3,2	3,7	3,4	3,4
Ohne Gerüst/Stützen						
Luftkissen (nicht transparent)	3,0	4,2	2,3	1,5	2,7	3,0
Luftkissen (transparent)	3,0	3,6	2,6	1,5	2,7	2,8

Tab. 3 Bezeichnung, Materialkenngrößen und bewertetes Schalldämm-Maß ausgewählter Folien und Membrane

Bezeichnung	Dicke [mm]	Flächenbezogene Masse [kg/m ²]	R _w [dB]
Membran			
M1 leichtes Membran einlagig	0,2	0,23	6
M2 schweres Membran einlagig	1,5	1,92	19
M2/100 schweres Membran zweilagig, Schalenabstand 100 mm	2 x 1,5	3,84	22
M3/150 Membrankissen mit Verbindungsstegen, Schalenabstand 150 mm	2 x 1,1	2,84	21*
Folie			
F1 leichte Folie einlagig	0,08	0,12	2
F2 schwere Folie einlagig	0,8	1,55	18
F3 Teichfolie einlagig	0,5	0,60	11*
F4/260 Folienkissen, Kammergröße 0,8 m x 0,9 m, Schalenabstand 260 mm, Innendruck 75 mbar	0,8	0,95	19

R_w: bewertetes Schalldämm-Maß

*: Schalldämm-Maß aus dem Schalldämm-Maß ähnlicher Materialien abgeschätzt

Tab. 4 Gemessenes bzw. abgeschätztes Schalldämm-Maß ausgewählter ein- und zweischaliger Folien- und Membrankonstruktionen gemäß Tab. 3

Frequenz [Hz]	Schalldämm-Maß R [dB]							
	M1	M2	M2/100	M3/150*	F1	F2	F3*	F4/260
100	-1,4	4,3	5,9	-0,1	-0,9	3,3	2,1	3,1
125	2,7	7,7	3,5	2,6	1,9	7,1	4,1	3,1
160	2,5	9,4	6,5	6,5	1,2	9,2	3,6	8,6
200	3,3	12,3	7,2	4,4	3,5	10,9	6,8	6,1
250	1,9	12,5	7,5	6,9	2,1	11,5	6,0	8,1
315	1,8	12,4	12,4	11,6	1,6	12,2	5,5	10,8
400	2,9	13,2	16,8	17,7	1,0	12,6	5,6	11,4
500	2,2	13,5	20,3	20,7	0,4	12,5	6,5	15,1
630	3,5	15,2	23,3	24,3	1,8	14,1	7,0	17,2
800	3,9	17,2	26,4	25,1	1,9	14,9	8,4	18,7
1000	4,3	17,8	30,8	27,3	2,2	17,1	9,7	20,4
1250	5,7	19,5	35,9	31,2	2,0	18,6	11,7	22,3
1600	6,5	20,3	38,1	34,4	1,9	19,8	12,1	23,5
2000	8,1	22,6	38,5	35,3	2,9	22,7	14,5	25,7
2500	9,6	23,8	41,2	38,0	3,4	23,4	15,9	27,7
3150	10,5	25,1	44,5	41,4	3,9	24,2	17,2	31,0
4000	11,9	26,5	46,6	44,0	5,0	26,4	18,7	33,1
5000	13,7	27,3	48,9	47,1	6,1	28,1	20,2	35,2
R _w [dB]	6	19	22	21	2	18	11	19

R_w: bewertetes Schalldämm-Maß

*: Schalldämm-Maß aus dem Schalldämm-Maß ähnlicher Materialien abgeschätzt

Tab. 5 Schall-Leistungspegel verschiedener Emittenten.

Frequenz [Hz]	Schall-Leistungspegel $L_{w,A,eq}$					$L_{w,A,Fmax}$	
	BAG	PLR	PLH	NSA	VSQ	KTB	RTP
50	96,0	77,0	58,0	73,2	38,1	91,7	82,0
63	98,0	76,0	66,0	65,5	40,1	96,0	90,8
80	110,0	87,0	74,0	47,4	47,6	97,4	88,6
100	105,0	84,0	72,0	57,1	54,5	100,4	95,8
125	93,0	87,0	78,0	75,4	59,6	99,0	98,1
160	104,0	92,0	85,0	76,3	64,0	103,2	96,9
200	104,0	97,0	83,0	75,7	66,5	106,3	95,0
250	108,0	100,0	86,0	74,3	68,1	106,5	103,9
315	100,0	107,0	88,0	73,9	70,2	109,3	104,0
400	99,0	105,0	93,0	74,4	72,2	105,5	107,9
500	96,0	109,0	95,0	77,9	73,6	111,7	109,6
630	97,0	107,0	96,0	79,8	75,2	103,5	112,1
800	99,0	109,0	99,0	80,7	78,0	104,1	113,1
1000	94,0	110,0	101,0	82,0	78,9	104,7	112,2
1250	93,0	111,0	100,0	85,3	79,8	105,1	112,9
1600	93,0	112,0	102,0	83,7	81,6	104,7	110,9
2000	92,0	110,0	101,0	82,2	83,5	106,5	109,0
2500	92,0	108,0	99,0	81,8	84,4	105,2	107,7
3150	91,0	105,0	101,0	79,6	85,1	103,1	105,6
4000	91,0	100,0	99,0	77,3	84,2	100,1	103,7
5000	89,0	97,0	102,0	75,8	81,4	99,5	98,1
L_{wAeq} [dB]	114,8	119,0	111,2	92,5	92,7	116,4	119,9

$L_{w,A,eq}$: Äquivalenter, A-bewerteter Schall-Leistungspegel

$L_{w,A,Fmax}$: Maximaler, A-bewerteter Schall-Leistungspegel

BAG: Bagger beim Pulverisieren von Abrissmaterial [23]

PLR: Plattenrüttler beim Einrütteln v. neuverlegtem Verbundsteinpflaster [22]

PLH: Presslufthammer beim Aufstemmen einer Stahlbetondecke [22]

NSA: Notstromaggregat*

VSQ: Vergleichsschallquelle*

KTB: Kettenbagger bei Profilierarbeiten*

RTP: Rüttelplatte beim Verdichten des Unterbaus einer Bodenplatte*

*: Schall-Leistungspegel messtechnisch ermittelt

Tab. 6 Prognose der Beugungs- ($L_{s,D}$) und Transmissionsanteile ($L_{s,T}$) am Gesamt-Immissionspegel $L_{s,D}'$ bei Abschirmung durch eine Stellwand bzw. Einhausung (Abb. 8) mit unterschiedlichen Abschirmmaterialien (leicht bis schwer) bei verschiedenen Emittenten (Abb. 1). Die fettgedruckten Zeilen markieren, ab welcher flächenbezogenen Masse der Transmissionsanteil am Gesamt-Immissionspegel akustisch vernachlässigbar ist.

Bagger

Bagger beim Pulverisieren von Abrissmaterial, $L_{w,A,eq} = 115 \text{ dB(A)}$		Immissionspegel ohne Abschirmung: $L_s = 72,1 \text{ dB(A)}$					
Abschirmmaterial	m'' [kg/m ²]	Stellwand			Einhausung		
		$L_{s,D}'$	$L_{s,D}$	$L_{s,T}$	$L_{s,D}'$	$L_{s,D}$	$L_{s,T}$
Folie F1	0,12	65,5	59,3	64,3	64,3	43,9	64,3
Membran M1	0,23	63,5	59,3	61,4	61,4	43,9	61,4
Folie F3	0,60	61,2	59,3	56,7	57,0	43,9	56,7
Folie F2	1,55	59,8	59,3	50,1	51,0	43,9	50,1
12,5 mm Gipskarton, $R_w = 29 \text{ dB}$	10,00	59,4	59,3	38,7	45,0	43,9	38,7
100 mm Gipsdielen, $R_w = 42 \text{ dB}$	90,00	59,3	59,3	26,3	43,9	43,9	26,3
160 mm Stahlbeton, $R_w = 60 \text{ dB}$	360,00	59,3	59,3	8,5	43,9	43,9	8,5

Plattenrüttler

Plattenrüttler beim Einrütteln von neuverlegtem Verbundsteinpflaster, $L_{w,A,eq} = 119 \text{ dB(A)}$		Immissionspegel ohne Abschirmung: $L_s = 87,2 \text{ dB(A)}$					
Abschirmmaterial	m'' [kg/m ²]	Stellwand			Einhausung		
		$L_{s,D}'$	$L_{s,D}$	$L_{s,T}$	$L_{s,D}'$	$L_{s,D}$	$L_{s,T}$
Folie F1	0,12	80,3	72,9	79,4	79,5	58,9	79,4
Membran M1	0,23	77,4	72,9	75,5	75,6	58,9	75,5
Folie F3	0,60	74,7	72,9	70,1	70,4	58,9	70,1
Folie F2	1,55	73,3	72,9	62,9	64,4	58,9	62,9
12,5 mm Gipskarton, $R_w = 29 \text{ dB}$	10,00	73,0	72,9	51,7	59,7	58,9	51,7
100 mm Gipsdielen, $R_w = 42 \text{ dB}$	90,00	72,9	72,9	37,2	59,0	58,9	37,2
160 mm Stahlbeton, $R_w = 60 \text{ dB}$	360,00	72,9	72,9	18,2	58,9	58,9	18,2

Presslufthammer

Presslufthammer beim Aufstemmen einer Stahlbetondecke, $L_{w,A,eq} = 111 \text{ dB(A)}$		Immissionspegel ohne Abschirmung: $L_s = 79,0 \text{ dB(A)}$					
Abschirmmaterial	m'' [kg/m ²]	Stellwand			Einhausung		
		$L_{s,D}'$	$L_{s,D}$	$L_{s,T}$	$L_{s,D}'$	$L_{s,D}$	$L_{s,T}$
Folie F1	0,12	71,3	63,6	70,5	70,5	50,8	70,5
Membran M1	0,23	68,0	63,6	66,0	66,1	50,8	66,0
Folie F3	0,60	65,3	63,6	60,4	60,8	50,8	60,4
Folie F2	1,55	64,0	63,6	53,1	55,1	50,8	53,1
12,5 mm Gipskarton, $R_w = 29 \text{ dB}$	10,00	63,7	63,6	44,6	51,7	50,8	44,6
100 mm Gipsdielen, $R_w = 42 \text{ dB}$	90,00	63,6	63,6	26,4	50,8	50,8	26,4
160 mm Stahlbeton, $R_w = 60 \text{ dB}$	360,00	63,6	63,6	7,9	50,8	50,8	7,9

$L_{s,D}'$: Gesamt-Immissionspegel

$L_{s,D}$: Beugungsanteil am Gesamt-Immissionspegel

$L_{s,T}$: Transmissionsanteil am Gesamt-Immissionspegel

Zu den Abkürzungen der Abschirmmaterialien siehe Tab. 3, zu deren Schalldämmung Tab. 4

Tab. 7 Gemessene Einfügungsdämpfung D_e im Verhältnis zum Abschirmmaß D_z für verschiedene Emissions-, Abschirm- und Geländesituationen sowie Bewertung der Minderungswirkung

Emittent [Typ; Standort]	Abschirmung [Typ; B x H]	Immissionsort [Standort]	D_e [dB(A)]	$D_{z,D'}$ [dB(A)]	$D_{z,D}$ [dB(A)]	Wertung [Note]
<i>Messungen im Freifeld</i>						
VSQ 2 m vor dem Schirm	F3 3,5 m x 2,0 m	2 m hinter dem Schirm	13,4	12,2	14,4	2,2
VSQ 2 m vor dem Schirm	M2/100 3,5 m x 2,0 m	2 m hinter dem Schirm	17,3	14,2	14,4	1,9
NSA 2 m vor dem Schirm	F3 3,5 m x 2,0 m	2 m hinter dem Schirm	7,4	9,0	11,7	3,0
NSA 2 m vor dem Schirm	M2/100 3,5 m x 2,0 m	2 m hinter dem Schirm	8,6	10,6	11,7	2,2
NSA 2 m vor dem Schirm	M2/100 3,5 m x 2,0 m	10 m hinter dem Schirm	6,2	10,6	11,2	2,1
<i>Messungen an Baustellen</i>						
KTB ca. 25 m vor Schirm	M3/150 21 m x 3,4 m	1 m hinter dem Schirm	10,6	11,7	12,1	2,5
RTP ca. 7 m vor Schirm	M3/150 21 m x 3,4 m	1 m hinter dem Schirm	20,0	15,9	16,9	1,9
Druckluftkompressor 5 m v. S.	M3/150 21 m x 3,4 m	1 m hinter dem Schirm	8,0	8,8	10,5	1,5
Bohlenschläge 4 m vor Schirm	M3/150 21 m x 3,4 m	1 m hinter dem Schirm	26,0	18,4	19,8	2,8
Gerüstschläge 5 m vor Schirm	M3/150 21 m x 3,4 m	1 m hinter dem Schirm	20,1	23,1	23,7	2,0
Bohlenschläge 4 m vor Schirm	M3/150 21 m x 3,4 m	20 m hinter dem Schirm	9,4	12,2	12,8	3,4
Gerüstschläge 5 m vor Schirm	M3/150 21 m x 3,4 m	20 m hinter dem Schirm	11,9	15,9	16,0	2,3

D_e : Gemessenes Einfügungsdämpfungsmaß

$D_{z,D'}$: Berechnetes resultierendes Abschirmmaß

$D_{z,D}$: Berechnetes Abschirmmaß (ohne Berücksichtigung des Schalldurchganges)

Bewertung der Minderungswirkung: 1 = sehr stark, 2 = stark, 3 = mittelmäßig,

4 = leicht, 5 = sehr leicht

Zu den Abkürzungen der Abschirmmaterialien siehe Tab. 3

Zu den Abkürzungen der Emittenten siehe Tab. 5

Tab. 8 Auswertung der Befragung von 35 Passanten- und Anwohnern während des Einsatzes aufblasbarer Abschirmungen auf zwei Baustellen (Angabe der Anzahl der Antworten, manche Fragen wurden nicht von allen Befragten beantwortet)

Sind Sie in Ihrem Wohnumfeld den letzten Jahren von Baulärm gestört worden?					
	sehr stark	stark	mittelmäßig	leicht	nicht
	3	5	5	12	9
Befürworten Sie es, dass generell mehr Maßnahmen zur Minderung von Baulärm ergriffen werden?					
	sehr stark	stark	mittelmäßig	leicht	nicht
	2	20	8	4	1
Haben Sie den Hör-Eindruck, dass diese Wände den Baustellenlärm mindern oder können Sie sich das vorstellen?					
	sehr stark	stark	mittelmäßig	leicht	nicht
	0	11	12	10	0
Welchen ästhetischen Eindruck haben Sie von den Wänden?					
	schön	interessant	mittelmäßig	unschön	hässlich
	0	7	9	10	7
Können Sie sich vorstellen, dass in Zukunft solche Wände verstärkt zur Lärminderung auf Baustellen eingesetzt werden?					
	sehr stark	stark	mittelmäßig	leicht	nicht
	2	17	11	2	2

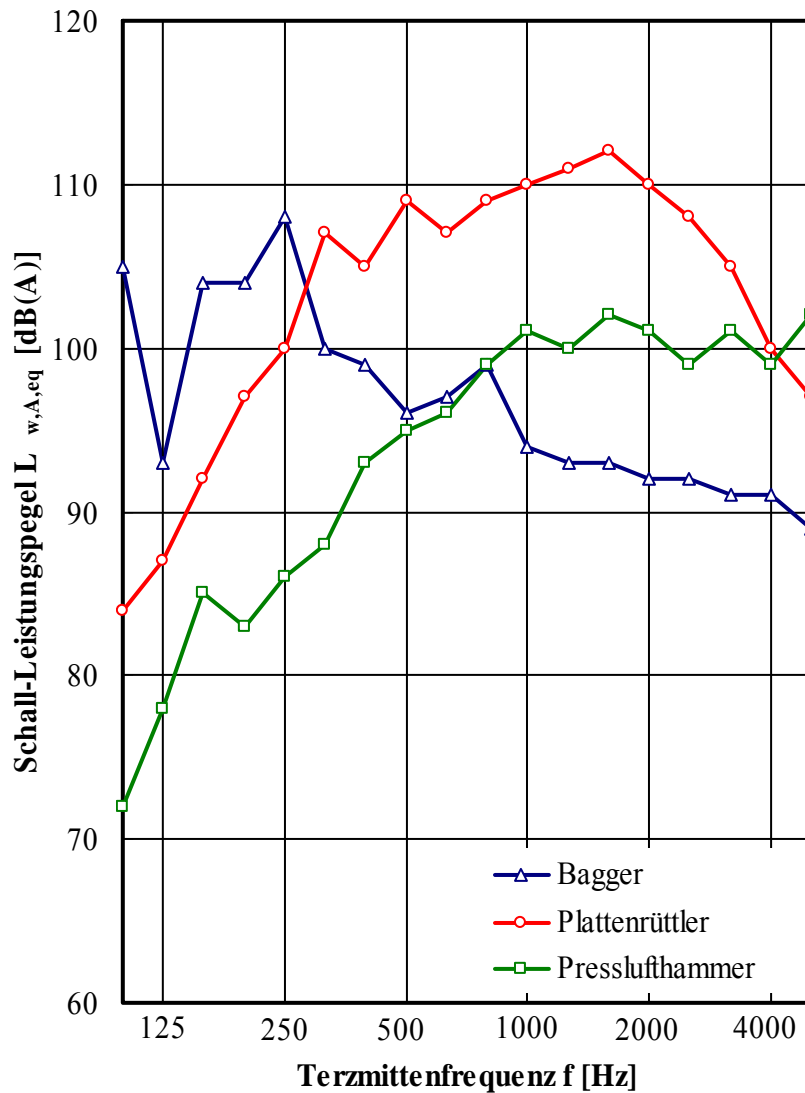


Abb. 1 Äquivalente, A-bewertete Schall-Leistungspegel der Emittenten „Bagger beim Pulverisieren von Abrissmaterial“ - $L_{w,A,eq} = 115$ dB(A), „Plattenrüttler beim Einrütteln von neuverlegtem Verbundsteinpflaster“ - $L_{w,A,eq} = 119$ dB(A) sowie „Presslufthammer beim Aufstemmen einer Stahlbetondecke“ - $L_{w,A,eq} = 111$ dB(A). Die maßgeblichen Emissionsanteile liegen in unterschiedlichen Frequenzbereichen.

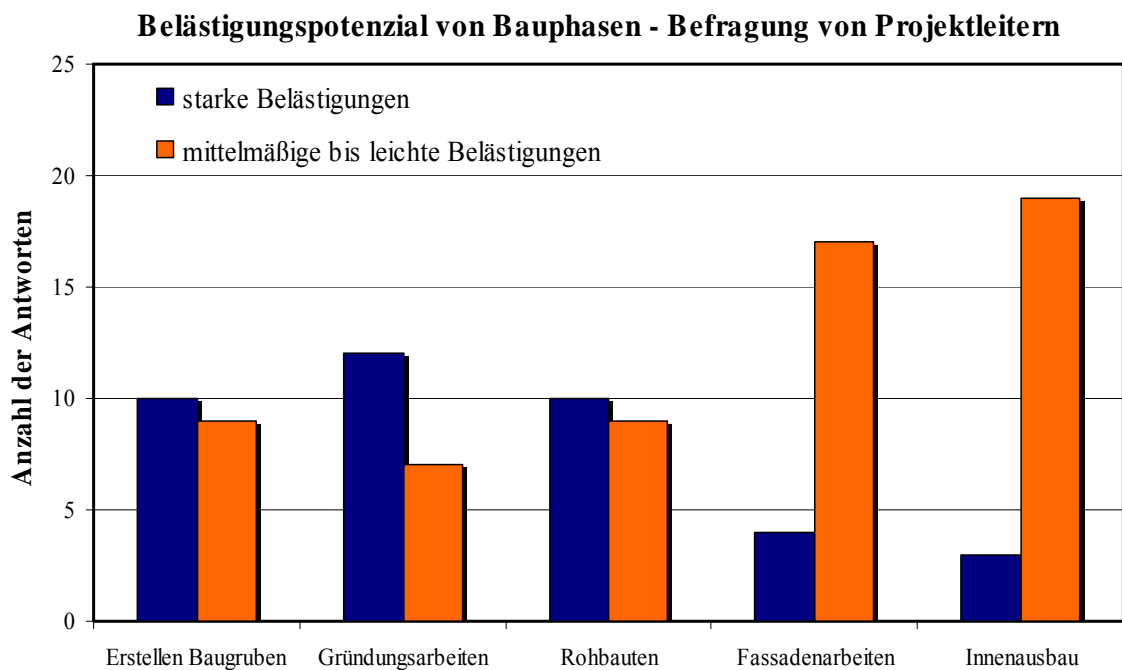
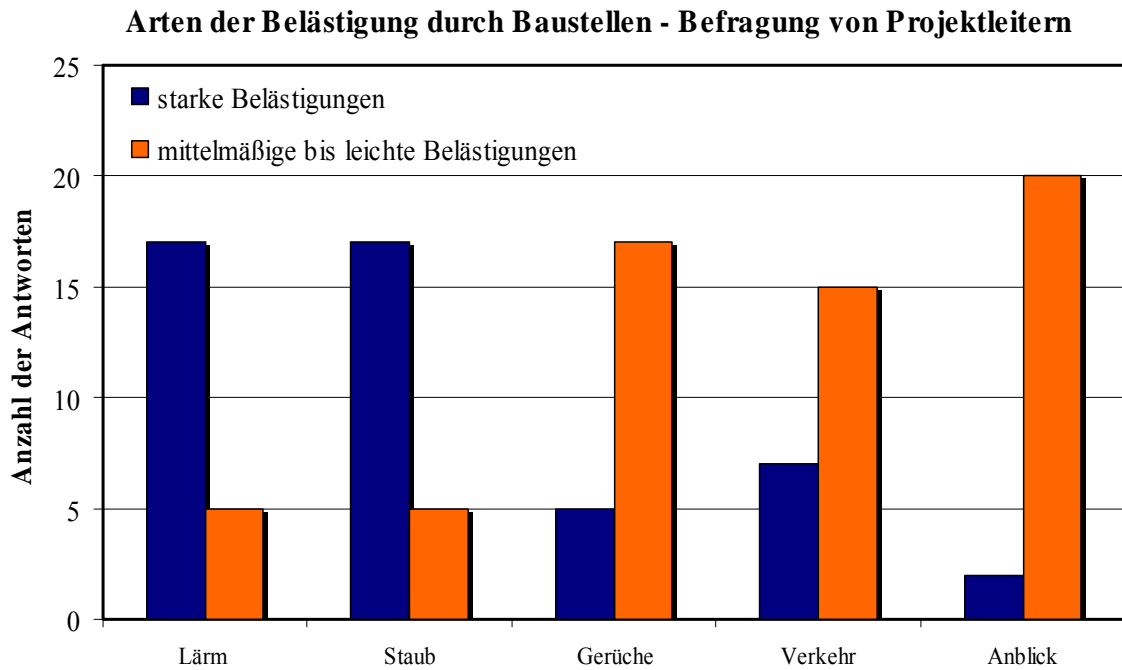


Abb. 2 Ergebnisse der Befragung von 22 Projektleitern von in Stuttgart ansässigen Bauträgern und Bauunternehmen: Belästigungsarten auf Baustellen bzw. Belästigungspotenzial von Bauphasen.

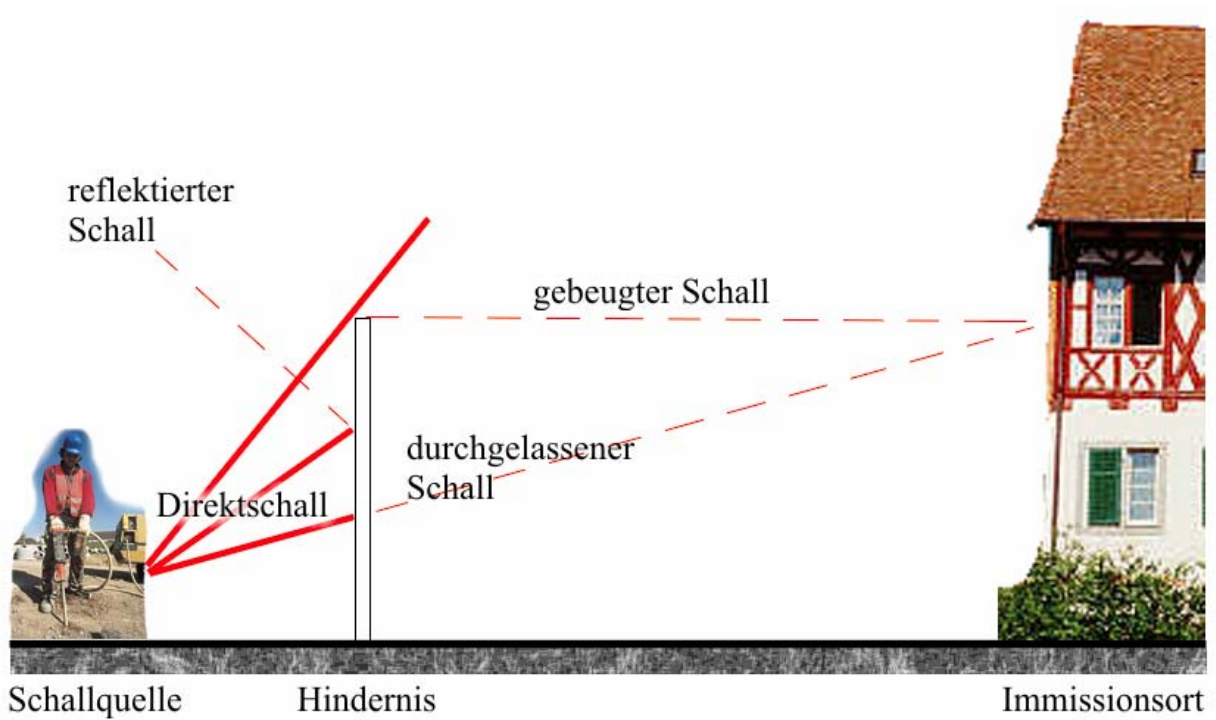
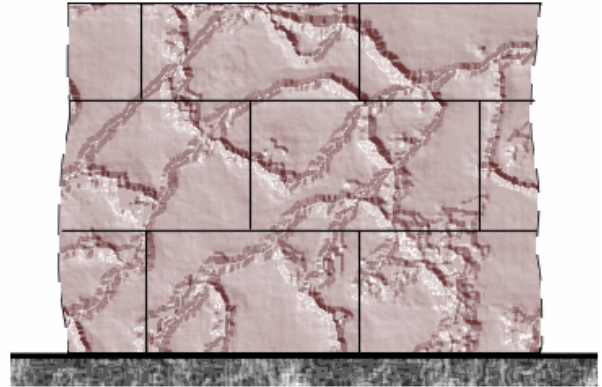
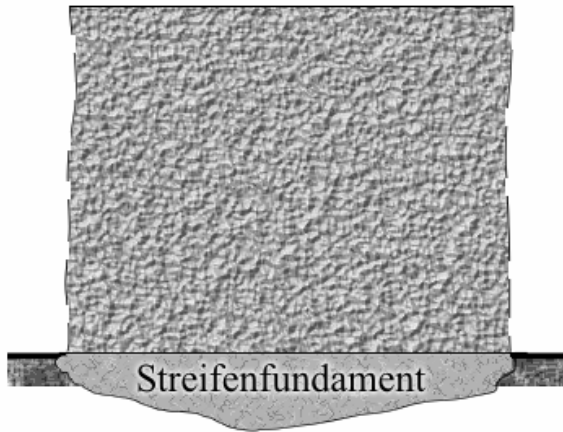
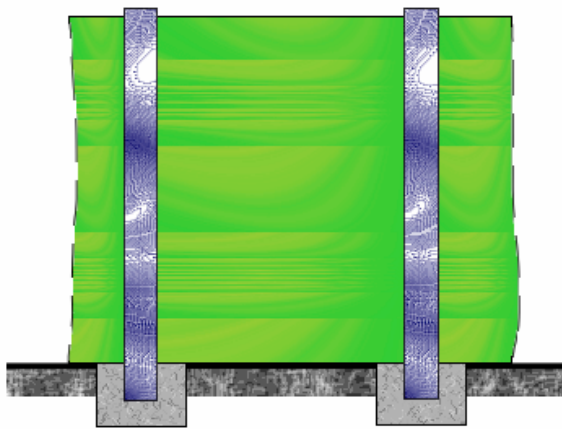


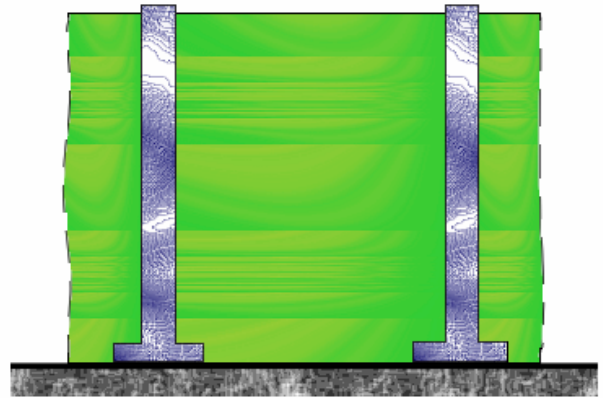
Abb. 3 Schematische Darstellung eines Schallschirms mit Angabe des direkten, gebeugten, reflektierten und durch das Hindernis durchgelassenen Schalls.



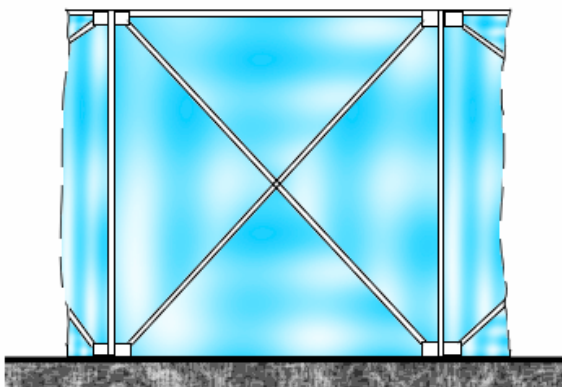
Massive Systeme mit und ohne Fundament



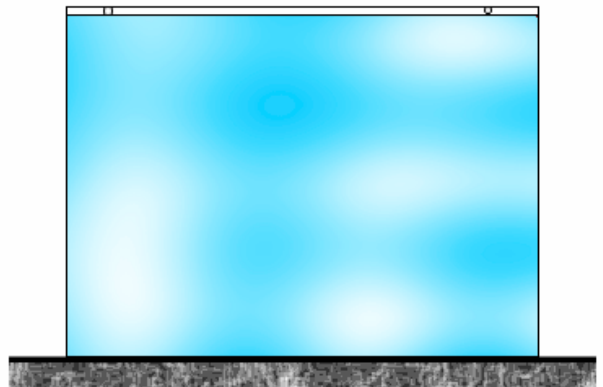
System mit festen Stützen



System mit mobilen Stützen



System mit demontablen Gestellen



System ohne Stützen oder Gerüste

Abb. 4 Schematische Darstellung der Bausysteme von Schallschirmen: massive Systeme mit und ohne Fundament, Systeme mit festen oder mobilen Stützen, Systeme mit demontablen Gerüsten und Systeme ohne Gerüste.

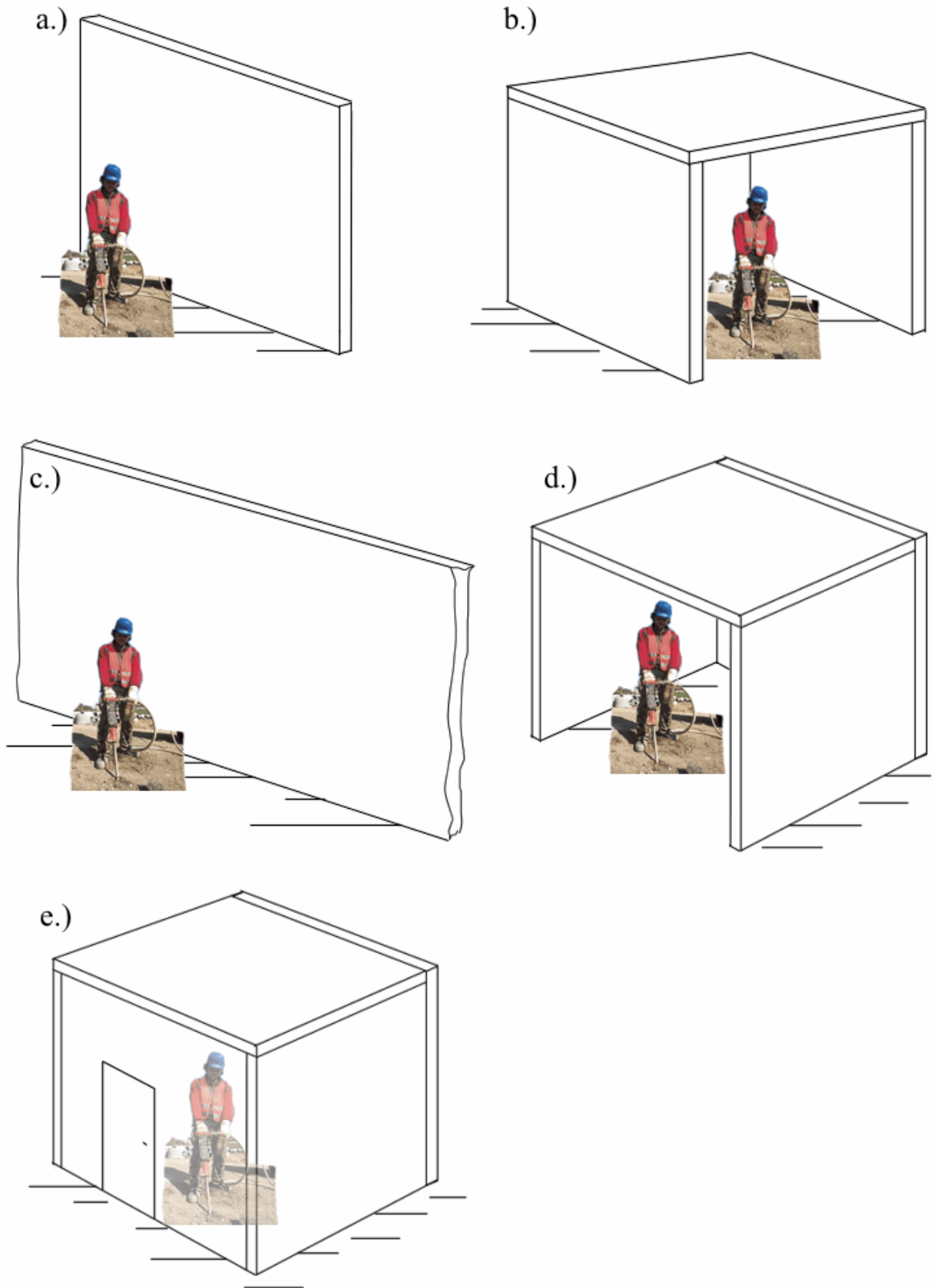


Abb. 5 Schematische Darstellung der Abschirmvarianten: a.) Stellwand, b.) tunnelartige Abschirmung, c.) wandartige Abschirmung, d.) einseitig offene Einhausung, e.) Kapsel oder Zelt.

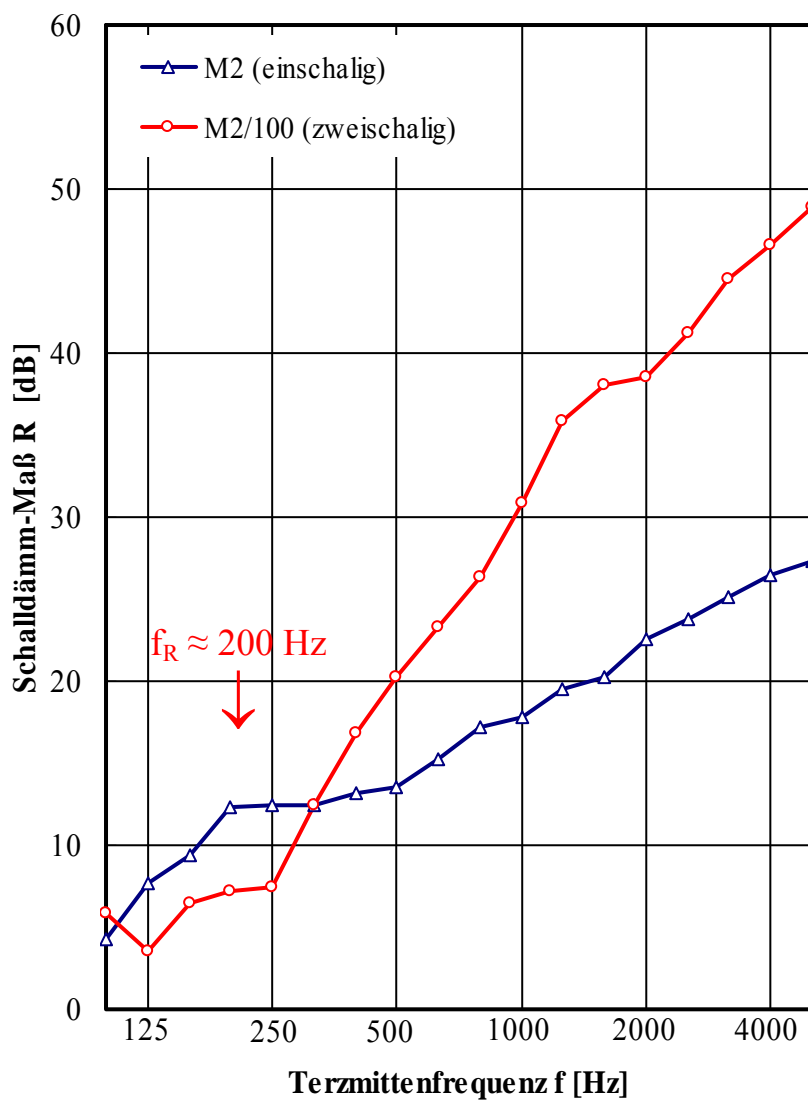


Abb. 6 Vergleich der Schalldämm-Maße einer ein- und zweischaligen Membrankonstruktion (M2, $m'' = 1,92 \text{ kg/m}^2$, M2/100, $m'' = 2 \times 1,92 \text{ kg/m}^2$, Schalenabstand 100 mm) im Wandprüfstand. Die Doppelschalenresonanz der zweischaligen Konstruktion wurde rechnerisch bei $f_R \approx 200 \text{ Hz}$ ermittelt..

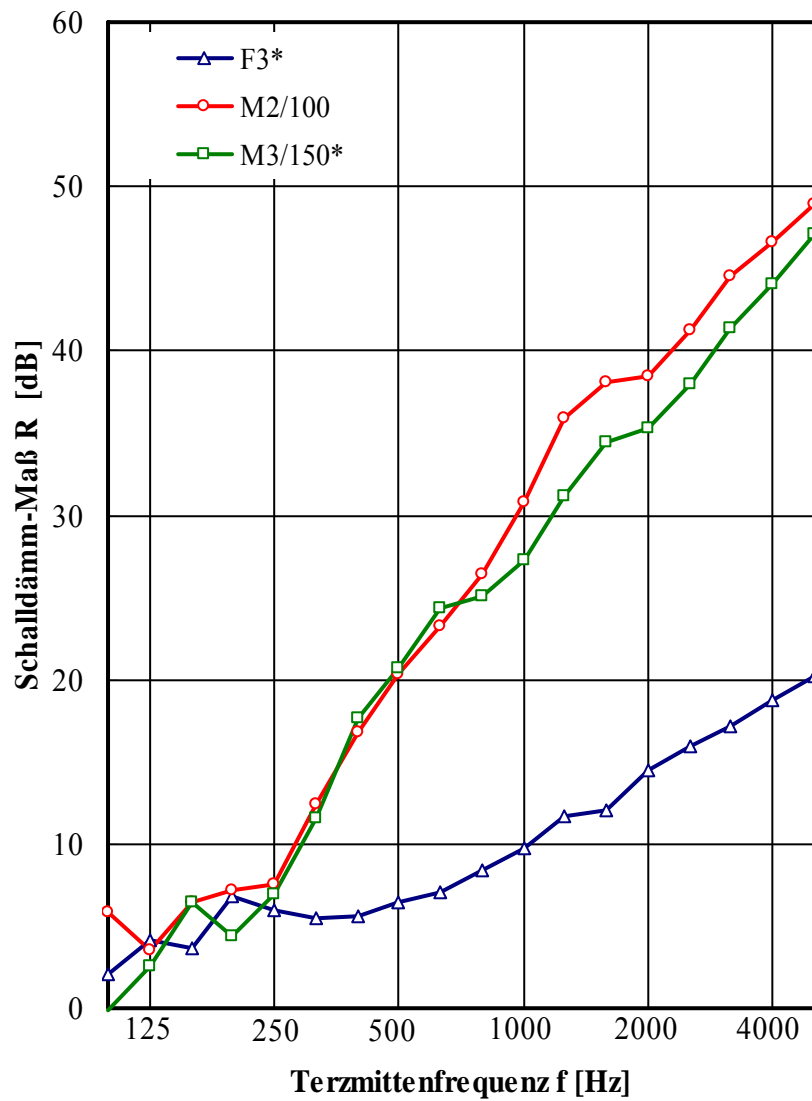


Abb. 7 Schalldämm-Maße der in den messtechnischen Untersuchungen eingesetzten einschaligen Folienkonstruktion (F3, $m'' = 0,60 \text{ kg/m}^2$) bzw. zweischaligen Membrankonstruktionen (M2/100, $m'' = 2 \times 1,92 \text{ kg/m}^2$, Schalenabstand 100 mm, M3/150, $m'' = 2 \times 1,42 \text{ kg/m}^2$, Schalenabstand 150 mm).

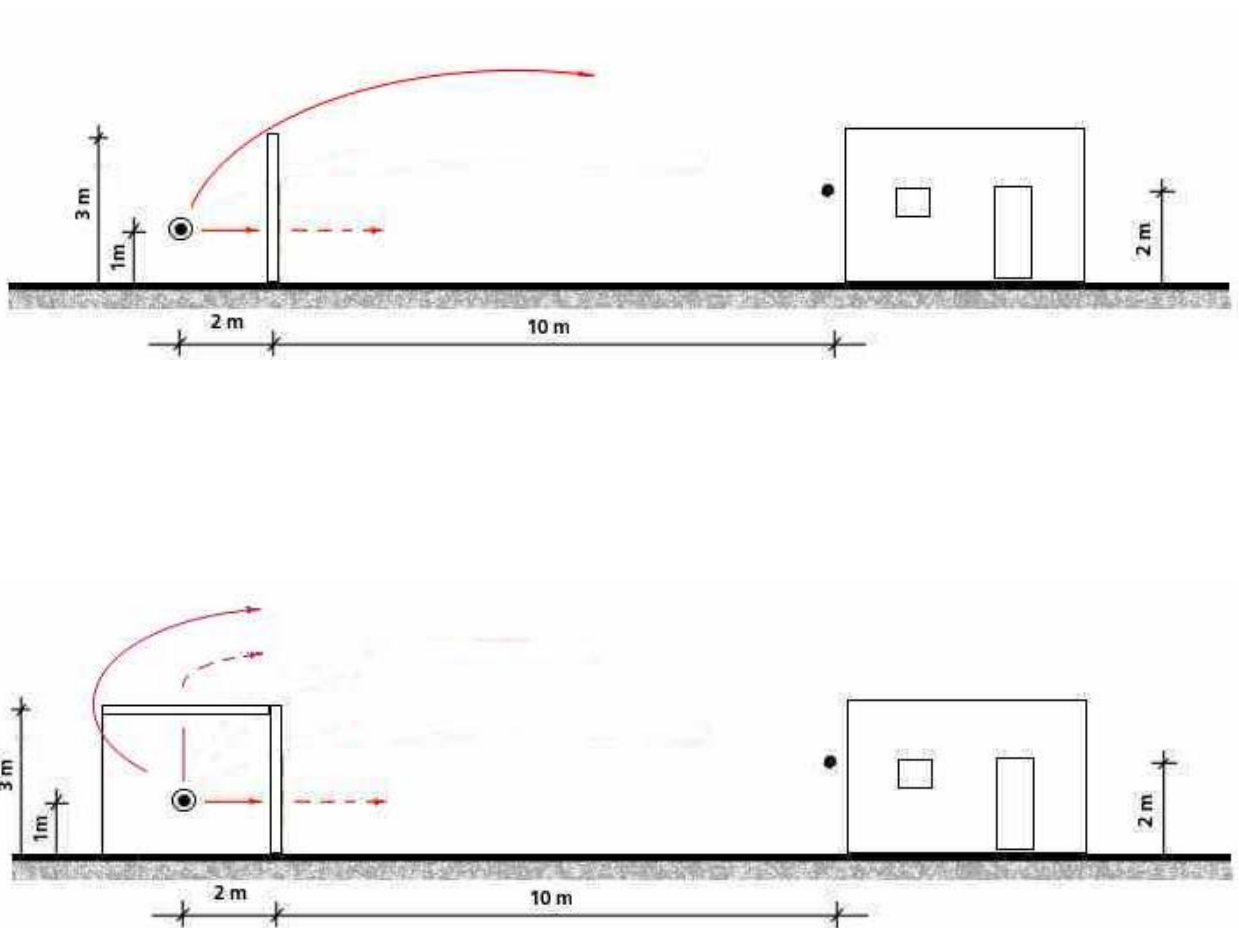


Abb. 8 Stellwand und Einhausung bei gleicher Geländesituation. Die vom Emittenten auf den Immissionsort wirkenden Energieanteile sind rot dargestellt.

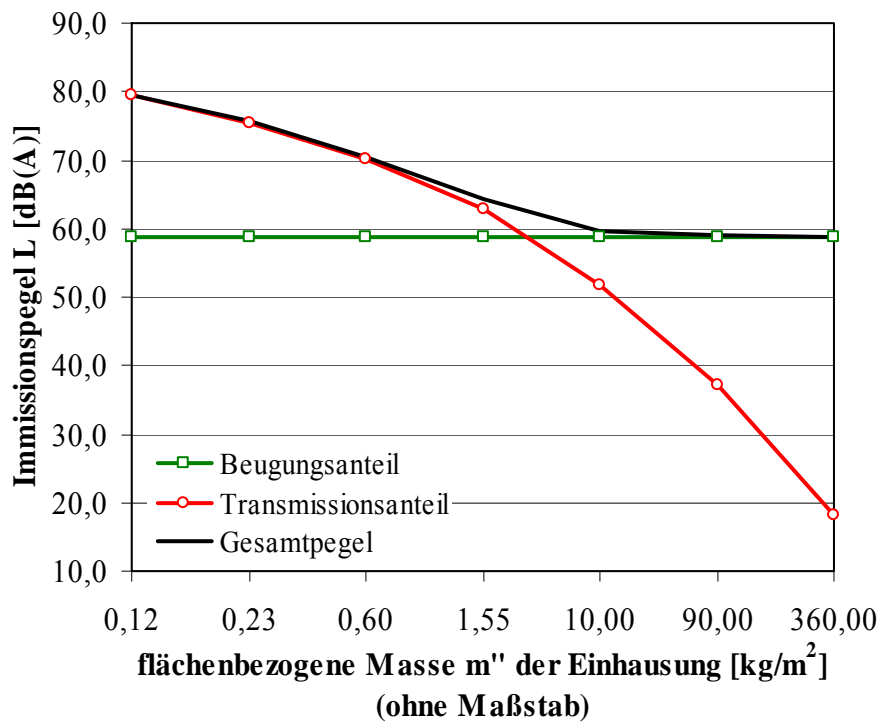
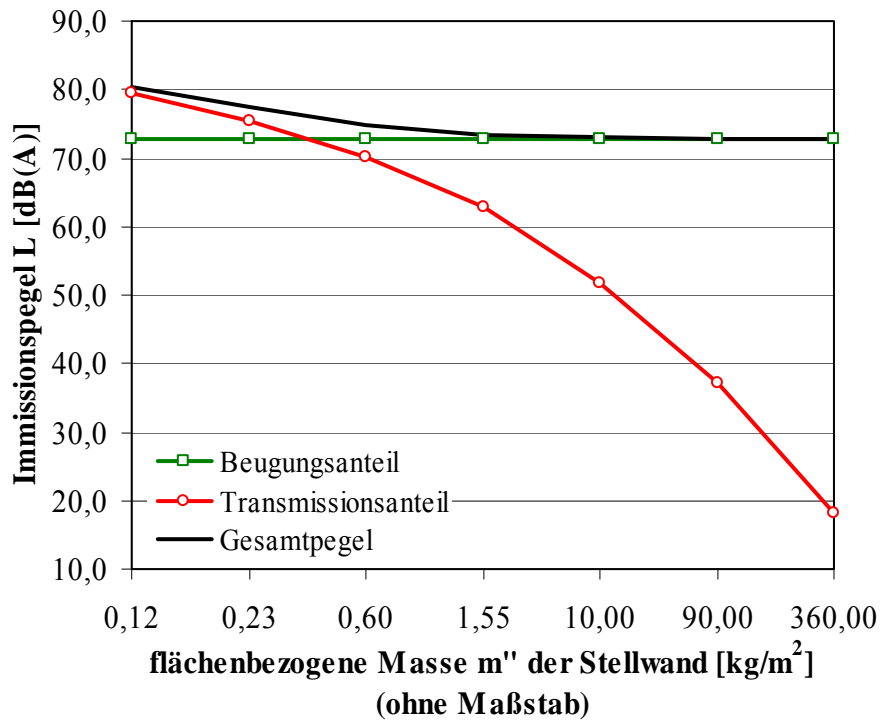
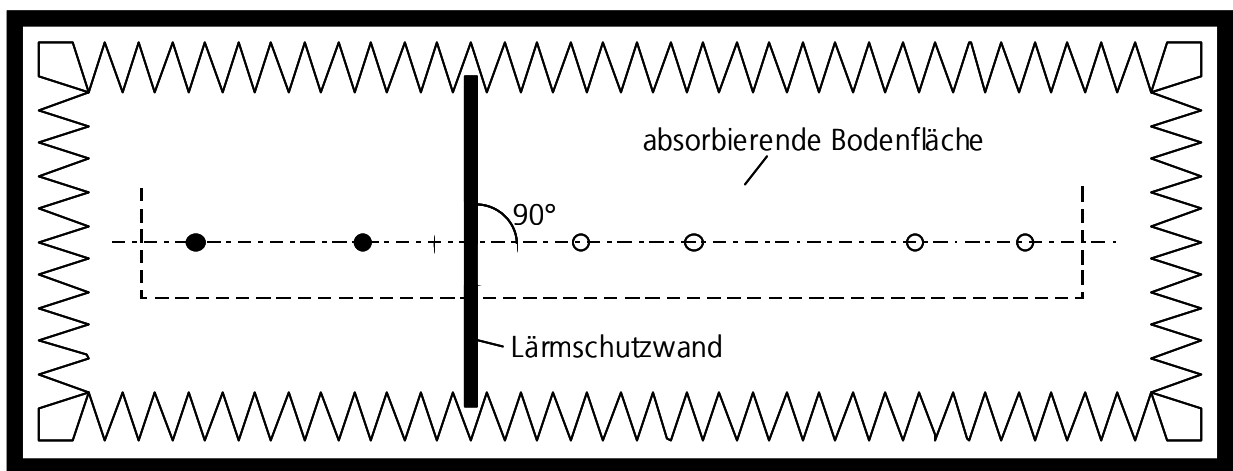


Abb. 9 Anteil von Schalldurchgang ($L_{s,T}$) und Schallbeugung ($L_{s,D}$) am Gesamt-Immissionspegel $L_{s,D}$ in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse einer Abschirmung (Stellwand Diagramm oben, Einhausung Diagramm unten) bei einer definierten Geländesituation. Emittent: Plattenrüttler beim Einrütteln von neuerlegtem Verbundsteinpflaster ($L_{w,A,eq} = 119$ dB(A), Terzwerte als Diagramm siehe Abb. 1)



- Schallquellenpositionen
- Mikrofonpositionen

Abb. 10 Schematische Darstellung des Horizontaleschnitts durch den Halbfreiefeldraum mit eingebauter Lärmschutzwand und absorbierend ausgelegter Bodenfläche. Die Abmessungen des Halbfreiefeldraums (innerhalb der Mineralfaserkeil-Auskleidung) betragen $L \times B \times H = 19,4 \text{ m} \times 5,2 \text{ m} \times 6,2 \text{ m}$.



Abb. 11 Ansicht der im Halbfreifeldraum eingebauten zweischaligen Membrankonstruktion (M2/100 nach Tab. 3).

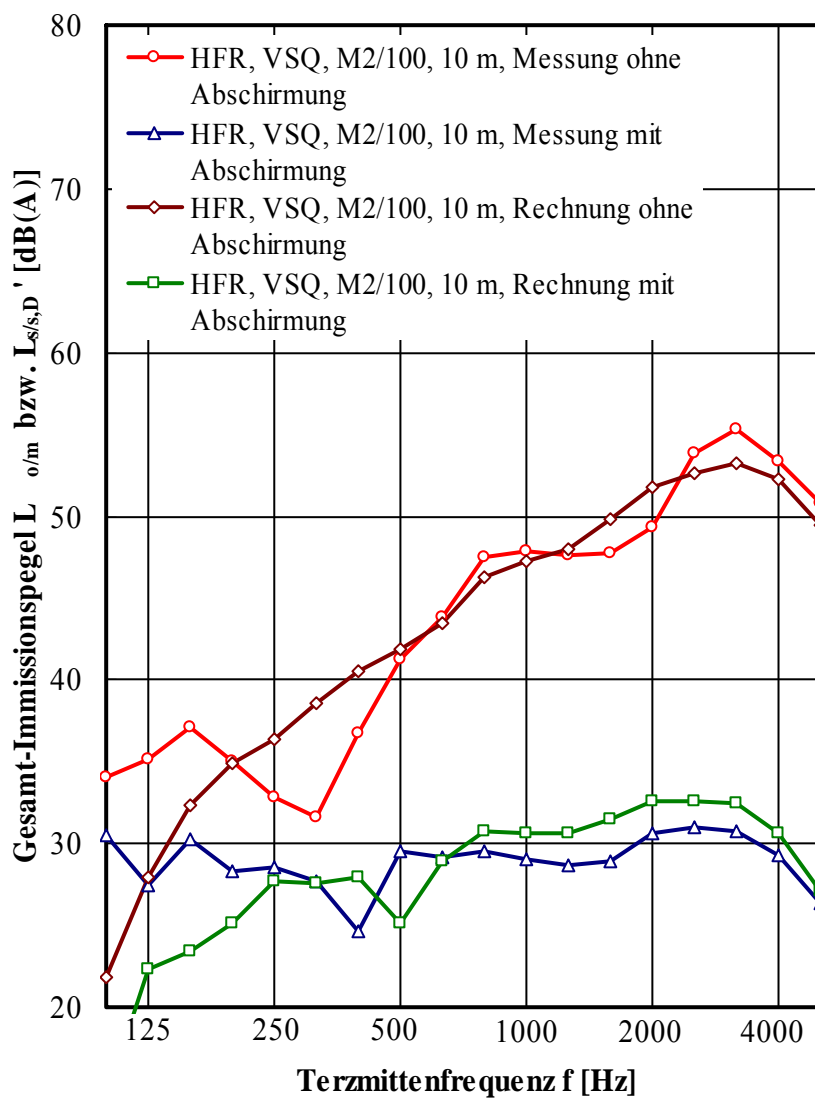


Abb. 12 Gemessene und berechnete Schalldruckpegel $L_{o/m}$ bzw. $L_{s/s,D'}$ an der Messposition 10 m hinter dem Schirm (Höhe 2 m) mit und ohne eine im Halbfreifeldraum (HFR) eingebaute zweischalige Membrankonstruktion (M2/100 nach Tab. 3) bei einer Vergleichsschallquelle (VSQ) als Emittenten.

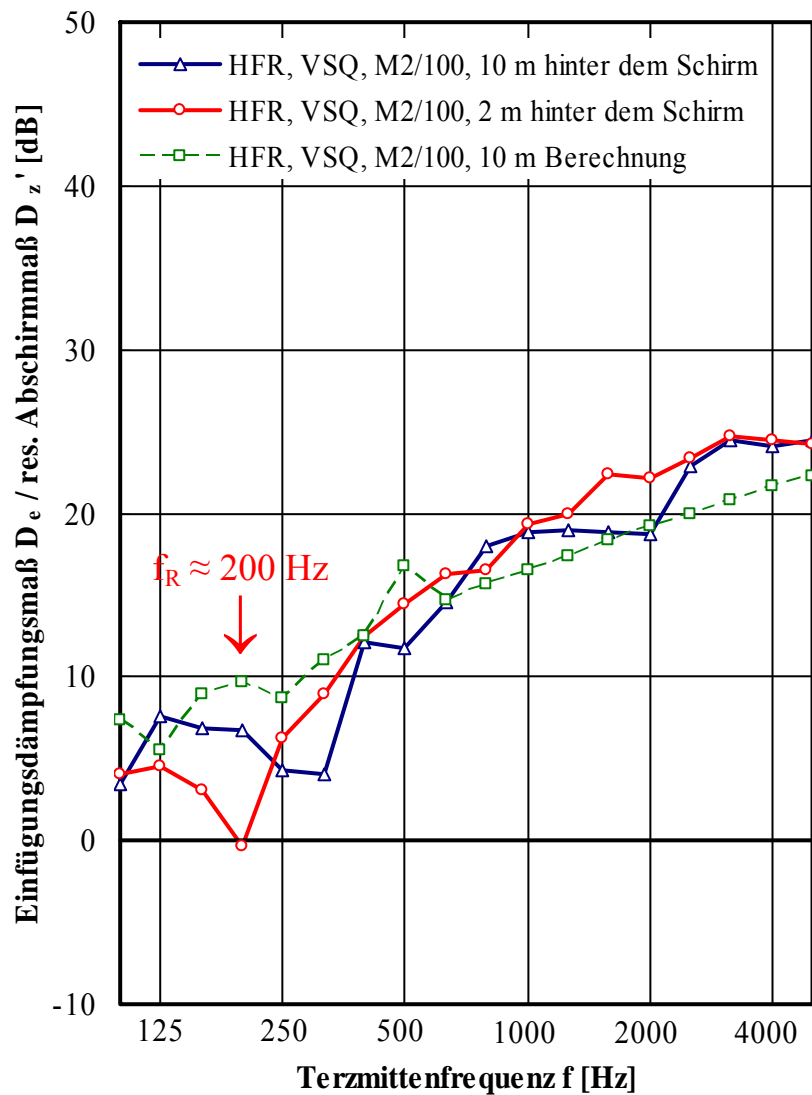


Abb. 13 Einfügungsdämpfungsmaß D_e und resultierendes Abschirmmaß D_z' an den Messpositionen 2 m (D_e) bzw. 10 m (D_e und D_z') hinter dem Schirm (Höhe jeweils 2 m) durch eine im Halbfreifeldraum (HFR) eingebaute zweischalige Membrankonstruktion (M2/100 nach Tab. 3) bei einer Vergleichsschallquelle (VSQ) als Emittenten.



Abb. 14 Ansicht der im Freien aufgebauten zweischaligen Membrankonstruktion (M2/100 nach Tab. 3).

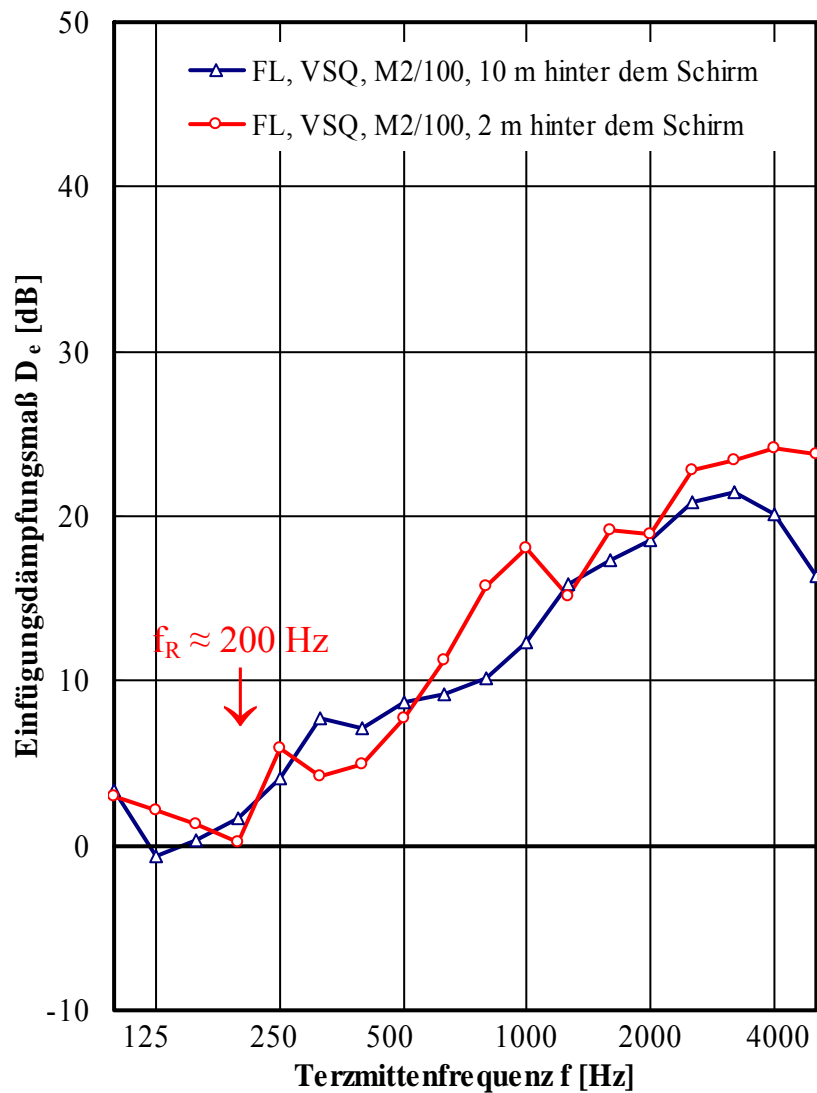


Abb. 15 Einfügungsdämpfungsmaß D_e an den Messpositionen 2 m bzw. 10 m hinter dem Schirm (Höhe jeweils 1,6 m) durch eine im Freien (FL) aufgebaute zweischalige Membrankonstruktion (M2/100 nach Tab. 3) bei einer Vergleichsschallquelle (VSQ) als Emittenten.

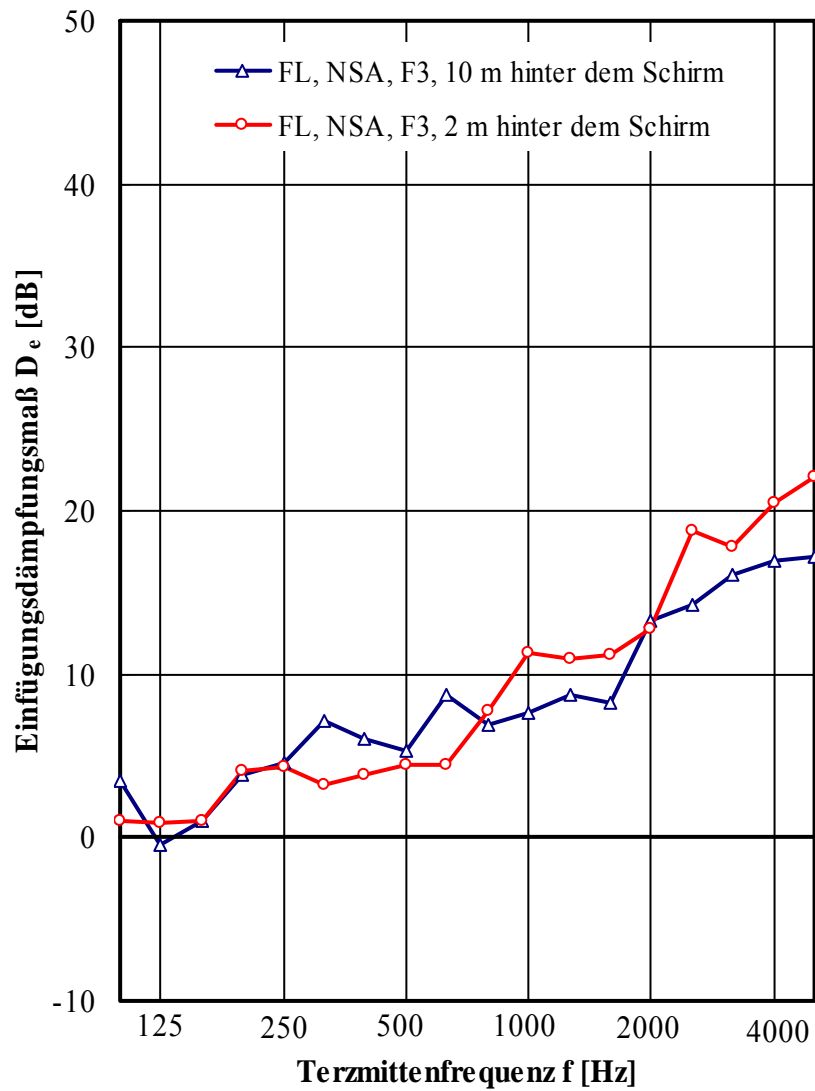


Abb. 16 Einfügungsdämpfungsmaß D_e an den Messpositionen 2 m bzw. 10 m hinter dem Schirm (Höhe jeweils 1,6 m) durch eine im Freien (FL) aufgebaute einlagige Folienkonstruktion (F3 nach Tab. 3) bei einem Notstromaggregat (NSA) als Emittenten.

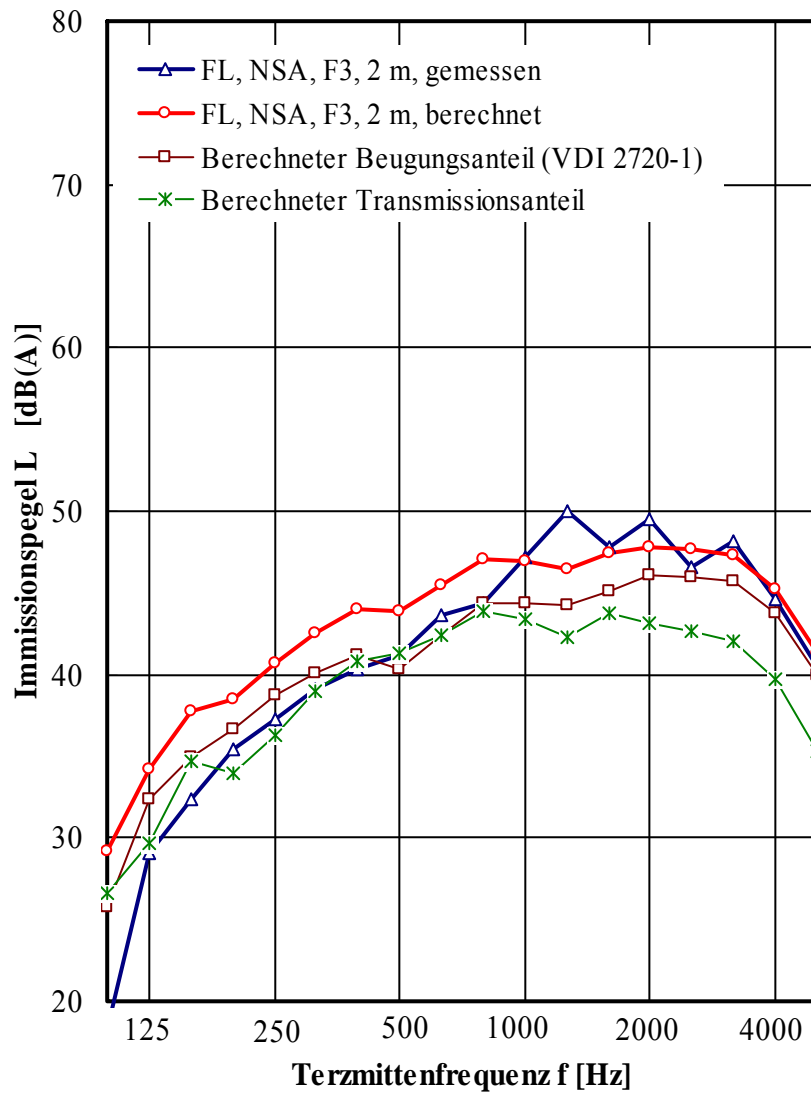


Abb. 17 Gemessener (L_m) und berechneter ($L_{s,D}'$) Gesamt-Immissionspegel an der Messpositionen 2 m hinter dem Schirm (Höhe 1,6 m) durch eine im Freien (FL) aufgebaute einlagige Folienkonstruktion (F3 nach Tab. 3) bei einem Notstromaggregat (NSA) als Emittenten. Der berechnete Pegel $L_{s,D}'$ setzt sich aus dem entsprechend VDI 2720-1 ermittelten Beugungsanteil ($L_{s,D}$) sowie dem Transmissionsanteil ($L_{s,T}$) zusammen.

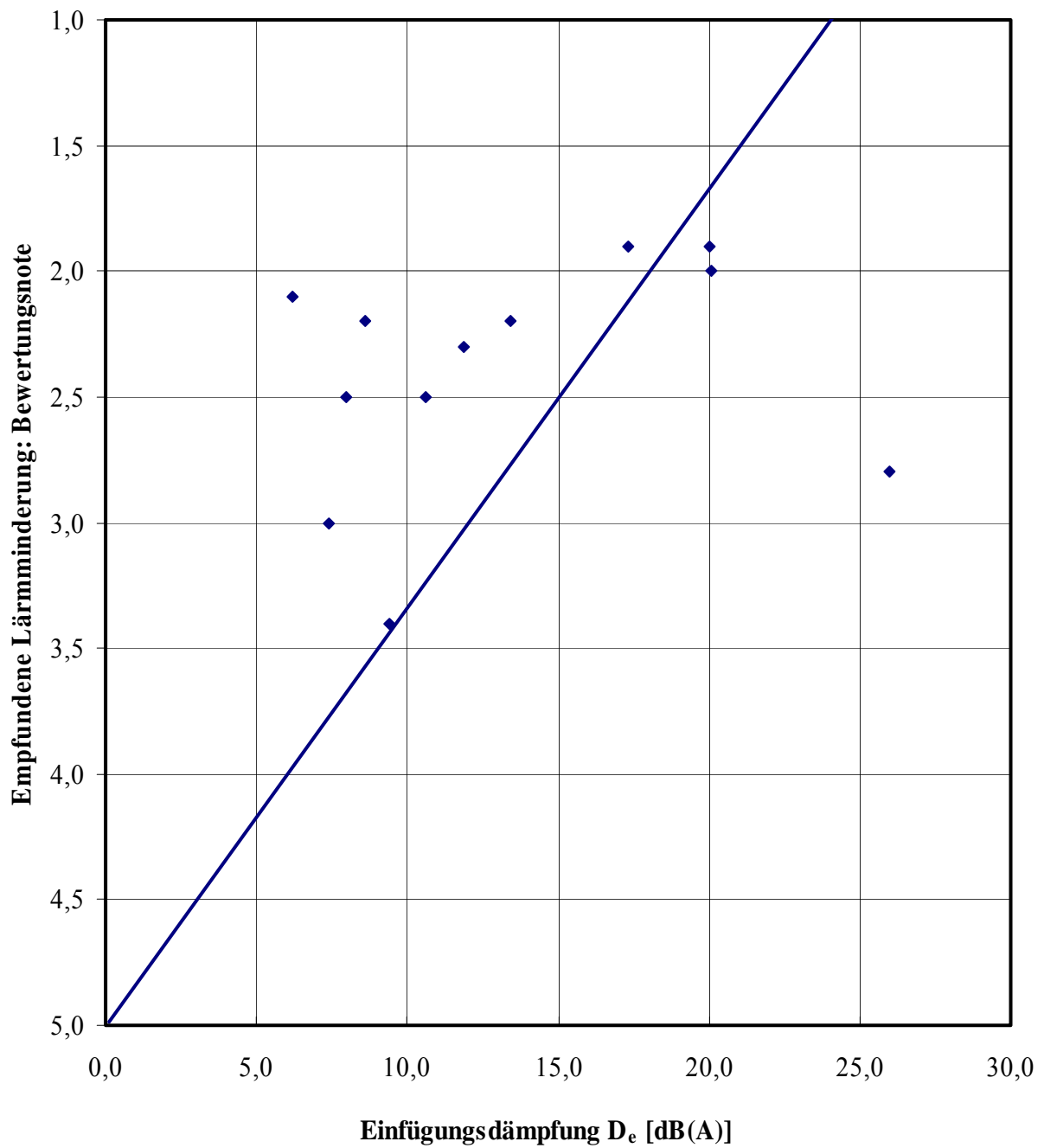


Abb. 18 Abweichung zwischen empfundener und gemessener Lärminderung: Die Punkte geben die jeweilige Lärmsituation nach (Tab. 7) wieder. Der Abstand zur Regressionsgerade verdeutlicht die Differenz zwischen Messung und Empfindung.

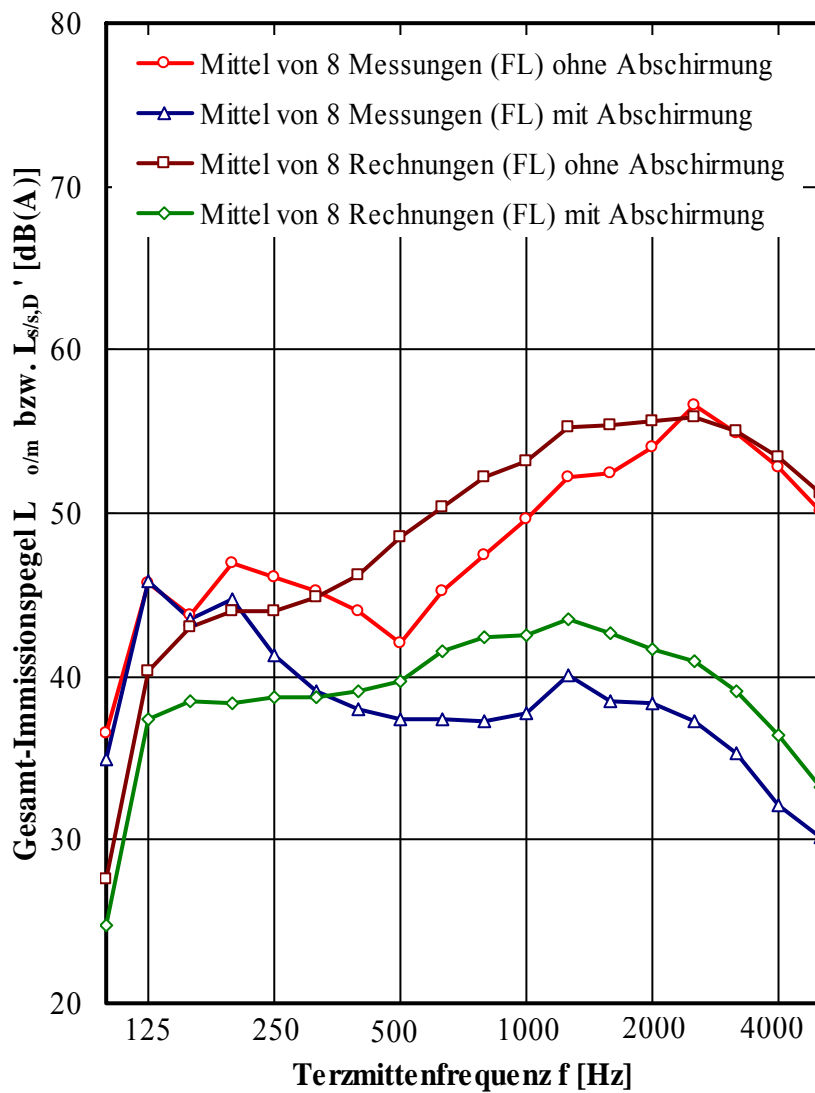


Abb. 19 Arithmetisches Mittel von 8 gemessenen und berechneten Schalldruckpegeln L an verschiedenen Messpositionen, unterschiedlichen Abschirmmaterialien und unterschiedlichen Emittenten mit und ohne Abschirmung an der freien Luft. In den Einzahlwerten betragen die Mittel: Messung / Rechnung ohne Abschirmung: 63,1 / 64,5 dB(A), Messung / Rechnung mit Abschirmung: 52,5 / 52,6 dB(A)

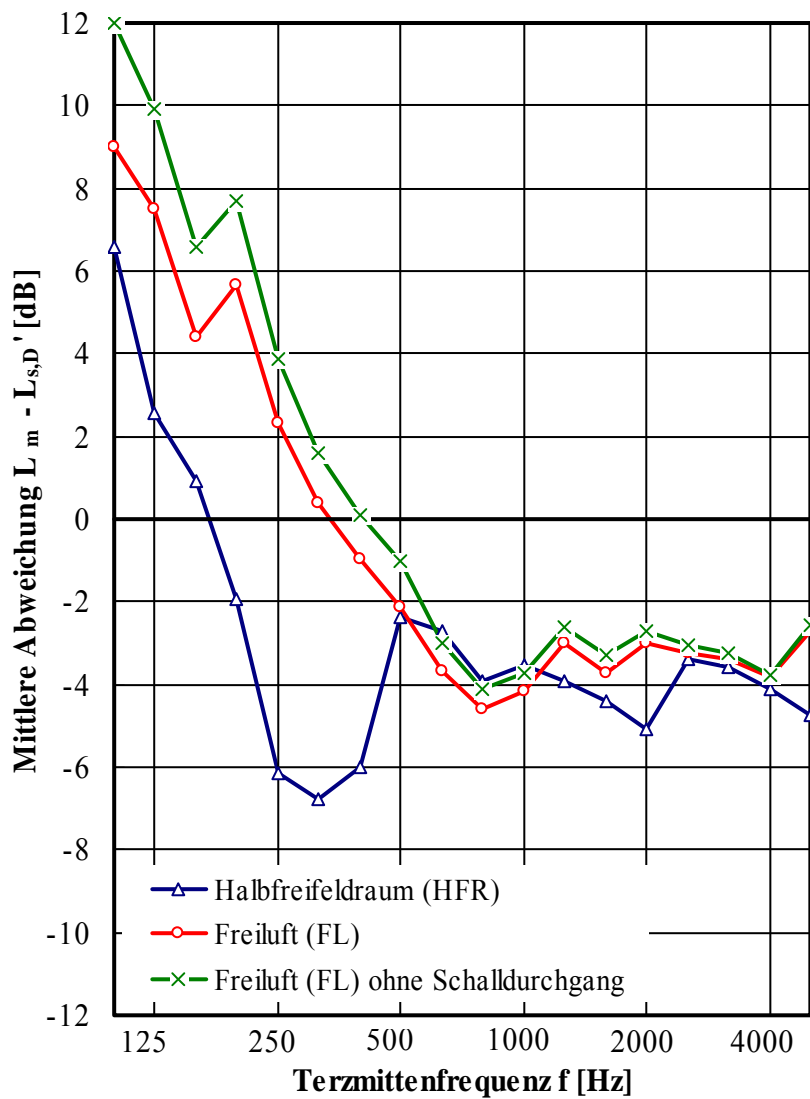


Abb. 20 Über mehrere Untersuchungsfälle gemittelte Abweichung zwischen gemessenen (L_m) und berechneten ($L_{s,D}'$) Gesamt-Immissionspegeln für Messungen im Halbfreifeldraum, im Freien bzw. im Freien entsprechend VDI 2720-1 ohne den berechneten Transmissionsanteil ($L_{s,D}$).

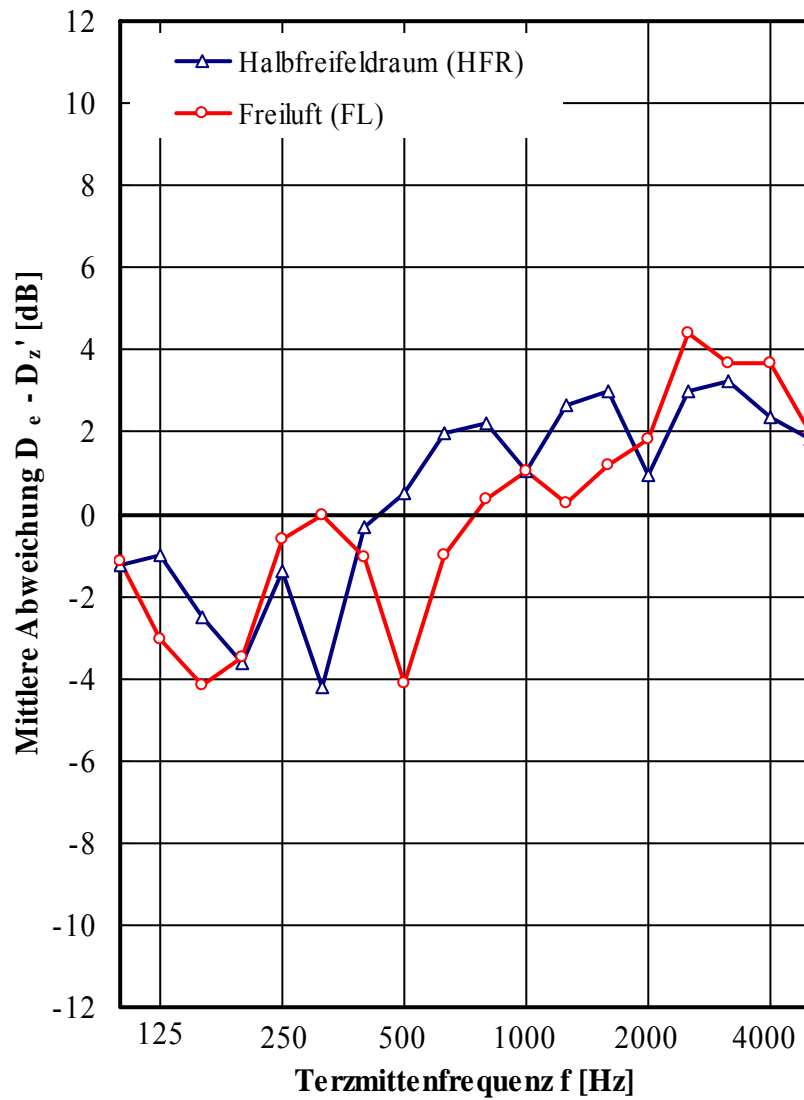


Abb. 21 Über mehrere Untersuchungsfälle gemittelte Abweichung zwischen gemessenem Einfügungsdämpfungsmaß D_e und berechnetem resultierendem Abschirmmaß D_z' für Messungen im Halbfreifeldraum und im Freien.



Abb. 22 Pragschule / Kindertagesstätte Neubau: Blick von der Schule zur Baustelle (oben) und Blick von der Baustelle zur Schule (unten). Abschirmungen im Bereich des Bauzaunes sind problemlos möglich.



Abb. 23 Sonderschulzentrum Hengstäcker / Erweiterung der Bodelschwingschule: Blick von der Schule zur Baustelle und der dahinter liegenden Wohnbebauung (oben) und Blick von der Baustelle zur Schule (unten). Abschirmungen im Bereich zwischen Baustelle und Wohnbebauung sind problemlos möglich, aber auch zwischen Baustelle und Schule umsetzbar.



Abb. 24 Leuze-Bad / Parkhaus-Neubau: Blick von Baustelle zur umliegenden Wohnbebauung (oben) und Blick auf den Erdwall zwischen Baustelle und Wohnbebauung (unten). Abschirmungen auf dem Erdwall sind möglich und sollten in gesamter Erdwall-Länge ausgeführt werden.



Abb. 25 Friedrich-Eugens-Gymnasium / Mensa-Anbau: Blick von der Schule zur Baustelle und der dahinter liegenden Wohnbebauung (oben) und Blick von der Baustelle zur Schule (unten). Abschirmungen im Bereich zwischen Baustelle und Wohnbebauung sind trotz beengter Platzverhältnisse möglich.



Abb. 26 Ansicht eines Stellwand-Elementes: 4,2 m x 3,4 m x 0,15 m (Breite x Höhe x Dicke), etwa 40 Kilogramm Gewicht, bestehend aus zwei Membranschichten, die durch 15 cm lange, flexible Kunststoffstege miteinander verbunden sind. Drei zweilagige Membranbahnen von je 1,4 m Breite sind an den Stößen miteinander vernäht, sodass sich die Element-Gesamtbreite von 4,2 m ergibt.

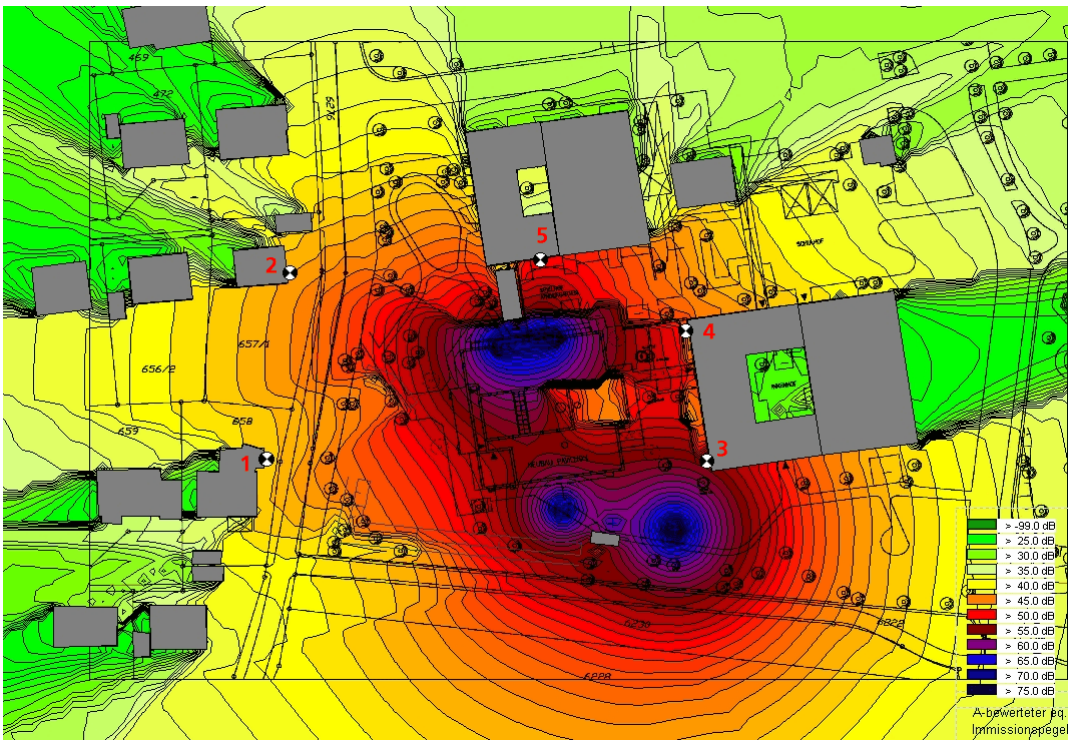
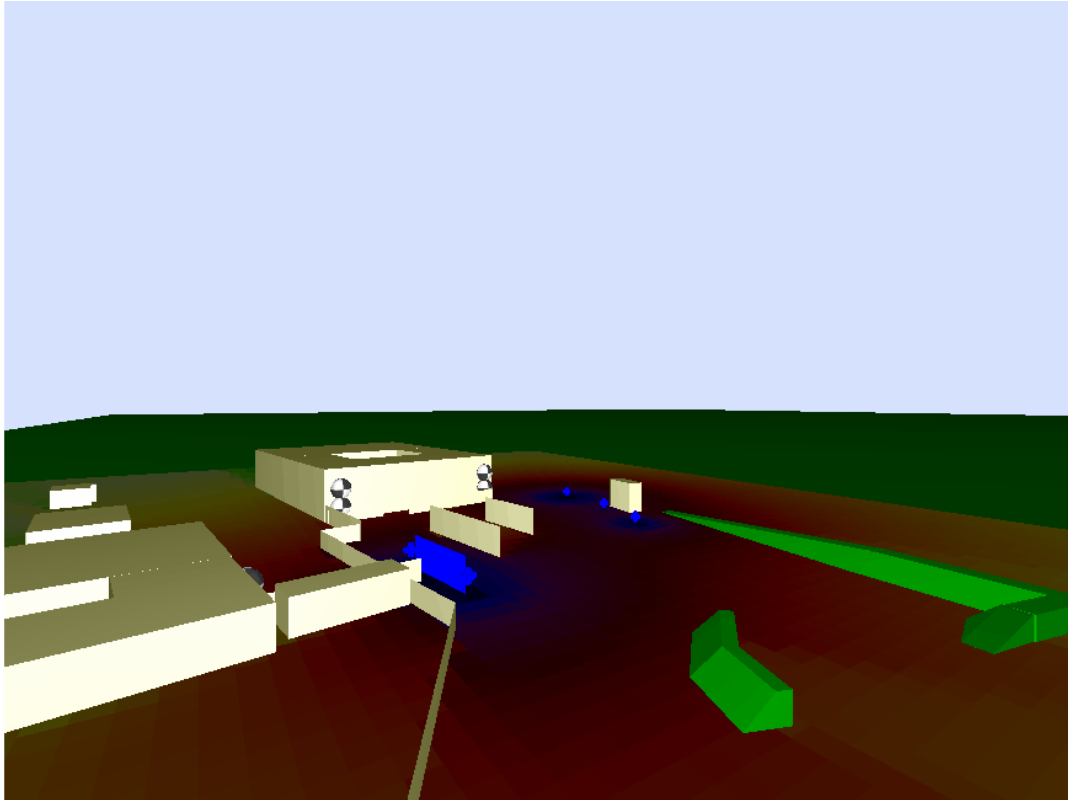


Abb. 27 Sonderschulzentrum Hengstäcker / Erweiterung der Bodelschwingschule: 3-D-Ansicht einer Baustellensituation mit verschiedenen Emittenten ohne Abschirmung (oben) und Verteilung des A-bewerteten Beurteilungspegels in 1,5 m Höhe über dem Gelände (unten).

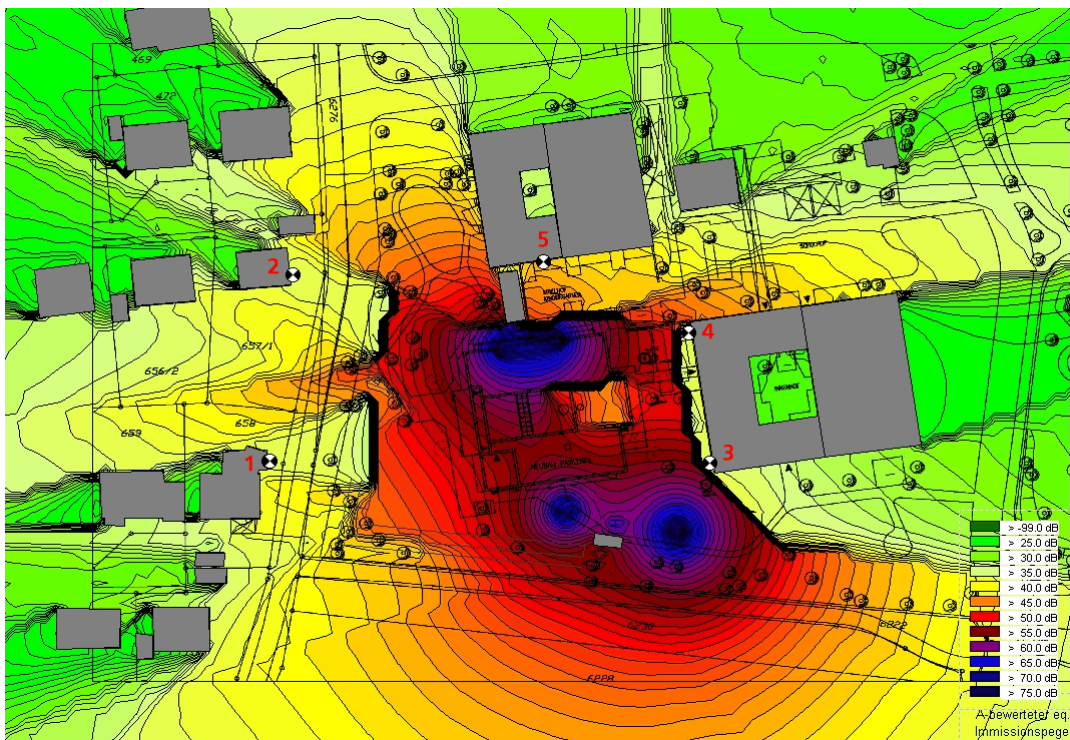
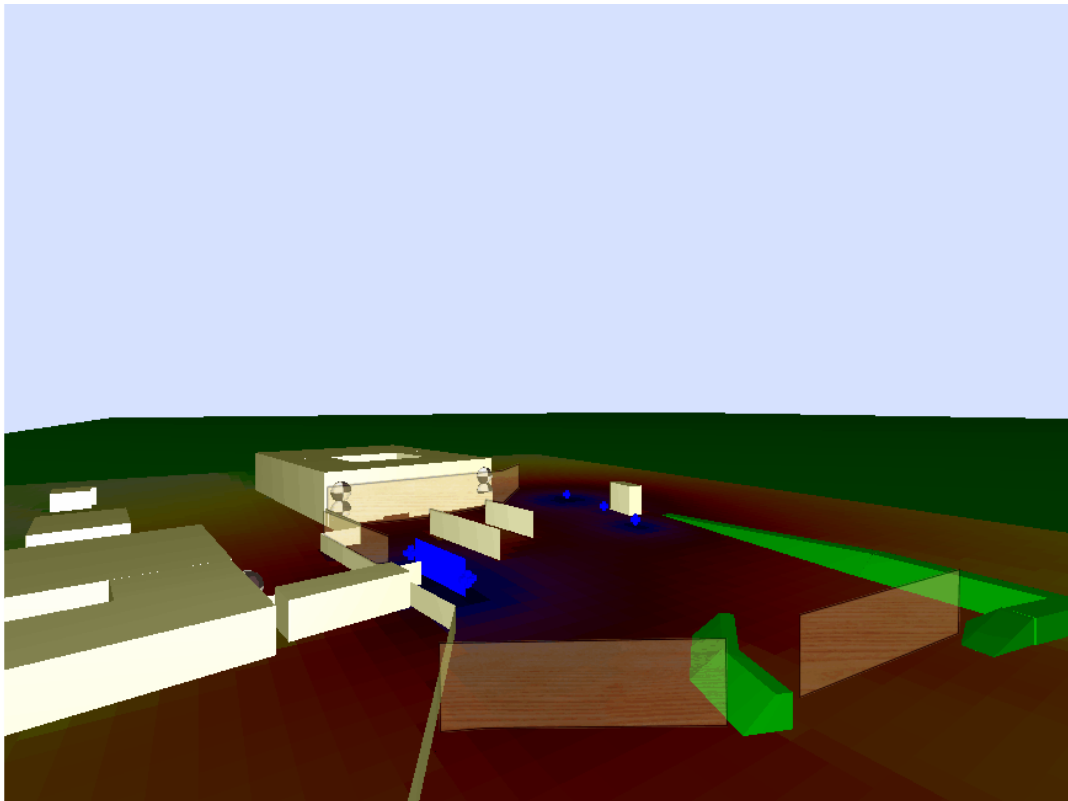


Abb. 28 Sonderschulzentrum Hengstäcker / Erweiterung der Bodelschwingschule: 3-D-Ansicht einer Baustellensituation mit verschiedenen Emittenten bei globaler Abschirmung (oben) und Verteilung des A-bewerteten Beurteilungspegels in 1,5 m Höhe über dem Gelände (unten).

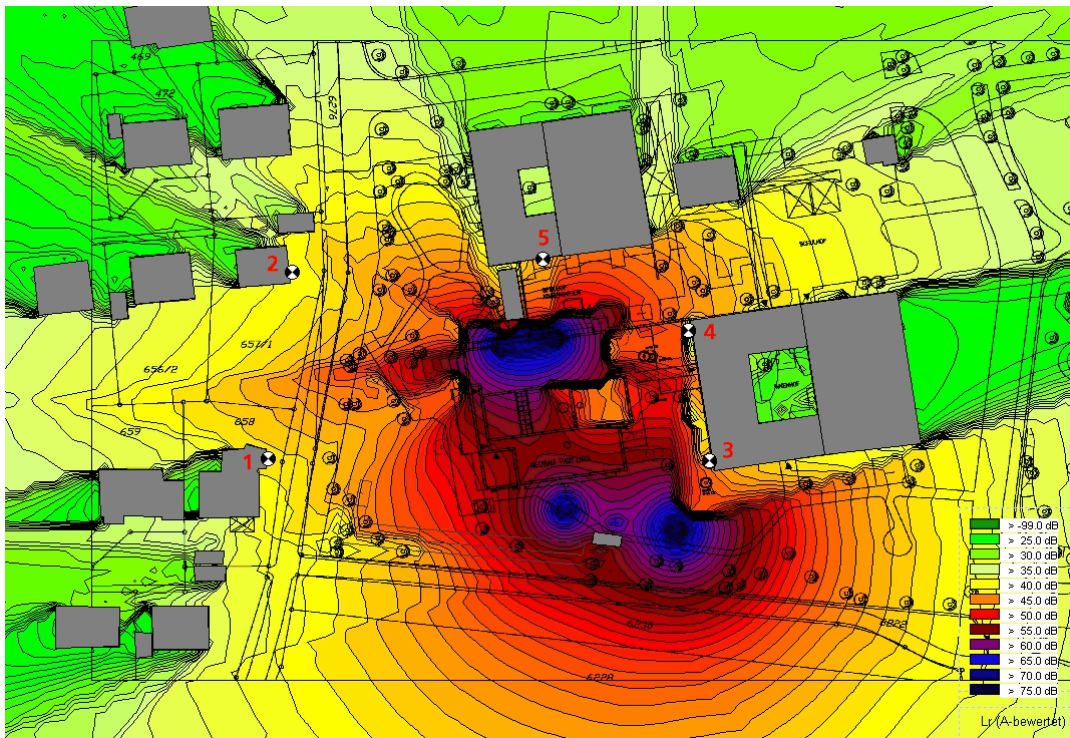
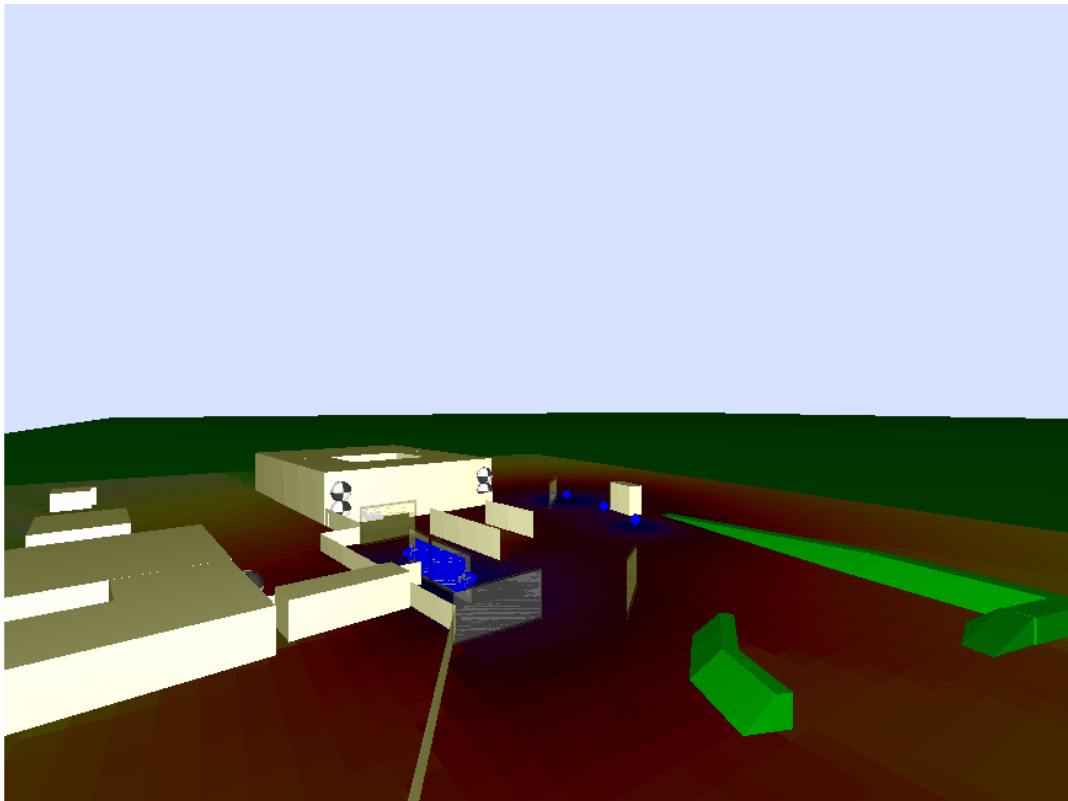


Abb. 29 Sonderschulzentrum Hengstäcker / Erweiterung der Bodelschwingschule: 3-D-Ansicht einer Baustellensituation mit verschiedenen Emittenten bei lokalen Abschirmungen (oben) und Verteilung des A-bewerteten Beurteilungspegels in 1,5 m Höhe über dem Gelände (unten).

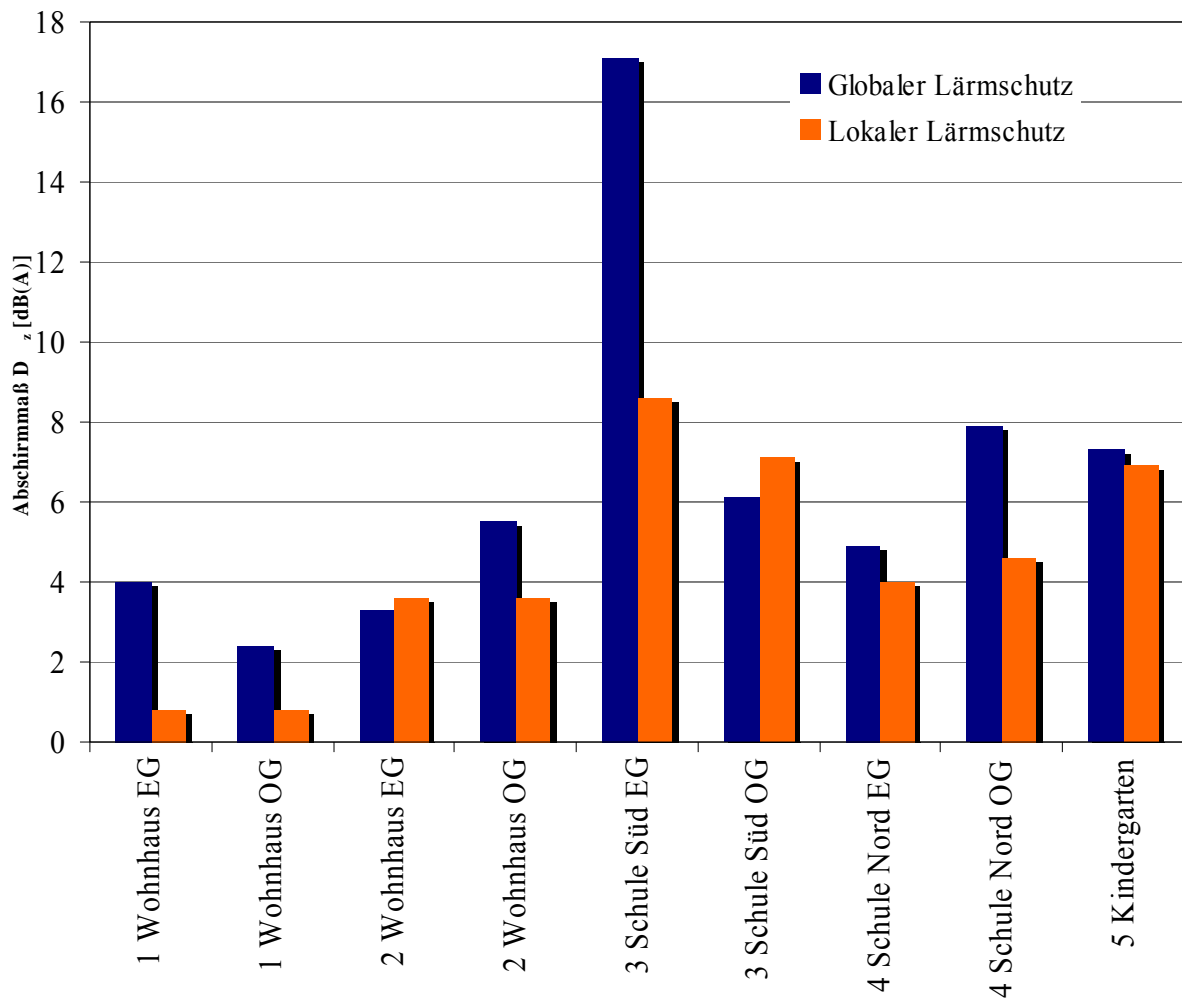


Abb. 30 Sonderschulzentrum Hengstäcker / Erweiterung der Bodelschwingschule: Prognostizierte Minderung des A-bewerteten Beurteilungspegels (Abschirmmaß D_z) für eine Baustellensituation mit verschiedenen Emittenten bei globalen bzw. lokalen Abschirmmaßnahmen gegenüber der Situation ohne Abschirmeinrichtungen an verschiedenen Emissionsorten.



Abb. 31 Leuze-Bad / Parkhaus-Neubau: Bilder vom Baustelleneinsatz aufblasbarer Abschirmungen. Lärmschutz der anliegenden Wohnbebauung vor Profilarbeiten mit einem Kettenbagger (oben) und Ansicht der Abschirmung aus Richtung der Immissionsorte (unten).



Abb. 32 Friedrich-Eugens-Gymnasium / Mensa-Anbau: Bilder vom Baustelleneinsatz aufblasbarer Abschirmungen. Lärmschutz der anliegenden Wohnbebauung vor Sägearbeiten mit einer Tischkreissäge (oben) und Ansicht der Abschirmung aus Richtung der Immissionsorte (unten).

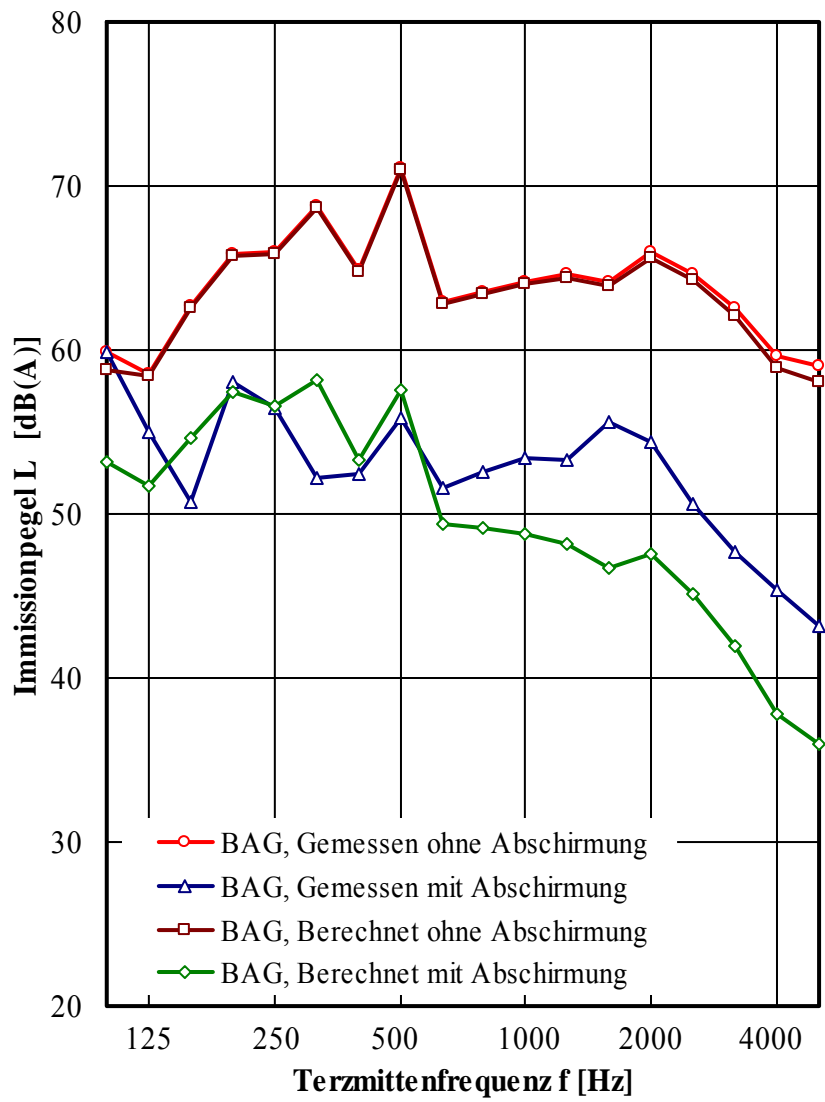


Abb. 33 Gemessener ($L_{o/m}$) und berechneter ($L_{s/s,D}$) Immissions-Schalldruckpegel vor und hinter der Abschirmung (Höhe 3,4 m) durch eine an der Baustelle Leuze-Bad Stuttgart aufgebaute zweilagige, aufblasbare Membrankonstruktion (M3/150 nach Tab. 3) bei einem bei einem Bagger (BAG) als Emittenten. Der berechnete Pegel für die Situation mit Abschirmung setzt sich aus dem entsprechend VDI 2720-1 ermittelten Beugungsanteil $L_{s,D}$ sowie dem Transmissionsanteil $L_{s,T}$ zusammen.

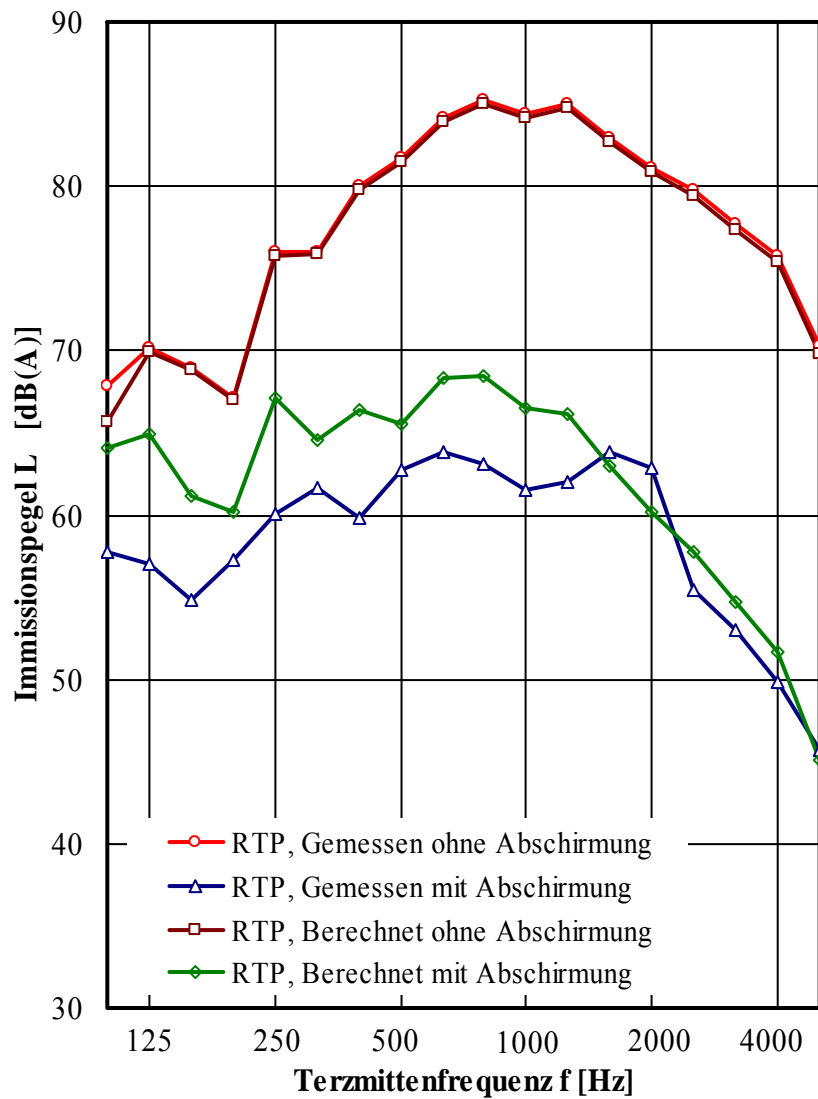


Abb. 34 Gemessener ($L_{o/m}$) und berechneter ($L_{s/s,D}$) Immissions-Schalldruckpegel vor und hinter der Abschirmung (Höhe 3,4 m) durch eine an der Baustelle Leuze-Bad Stuttgart aufgebaute zweilagige, aufblasbare Membrankonstruktion (M3/150 nach Tab. 3) bei einem bei einer Rüttelplatte (RTP) als Emittenten. Der berechnete Pegel für die Situation mit Abschirmung setzt sich aus dem entsprechend VDI 2720-1 ermittelten Beugungsanteil $L_{s,D}$ sowie dem Transmissionsanteil $L_{s,T}$ zusammen.

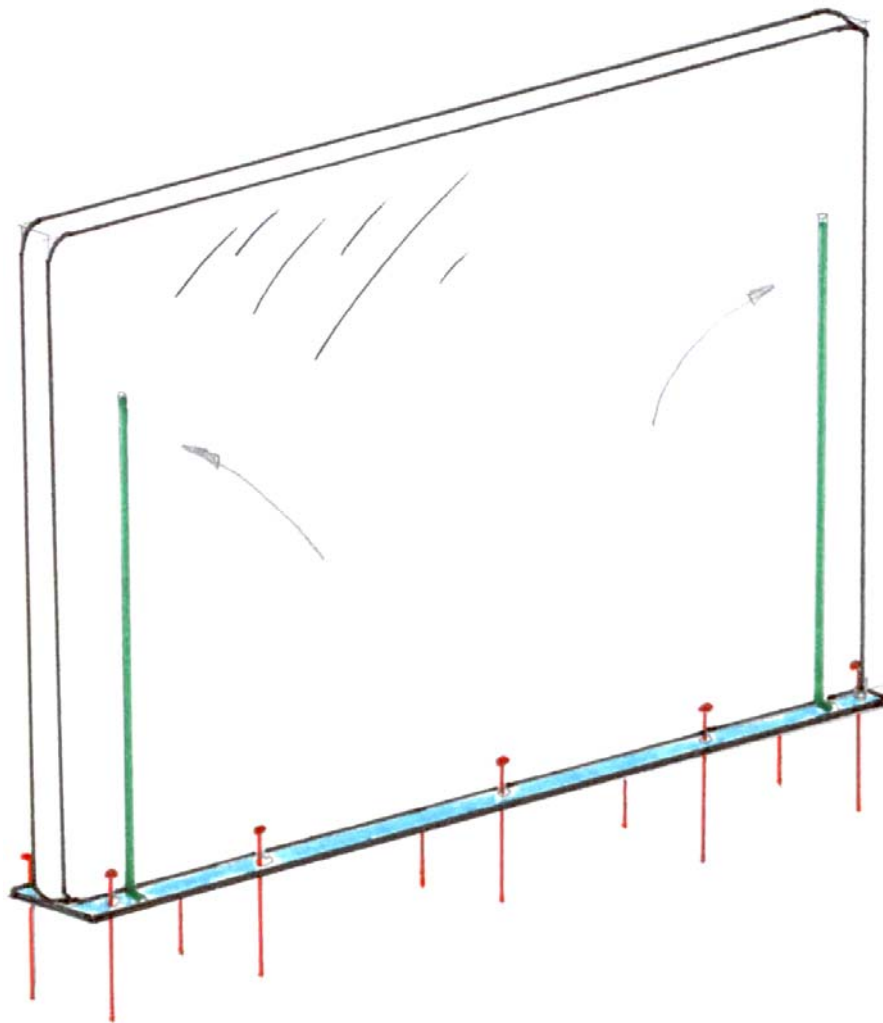


Abb. 35 Vorschlag zur Sicherung aufblasbarer Elemente gegen Windlasten: Aufklappbare Stahl- oder Aluminiumkonstruktion (blau), die im Boden fest verankert wird (rot) und welche die Schirme durch senkrechte Arme (grün) statisch sichert.

Anhänge

Die Anhänge sind im Folgenden beschrieben und können auf einem Datenträger beim Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Akustik, Nobelstraße 12 in 70569 Stuttgart kostenlos angefordert werden.

- Anhang A: Prognoseprogramm: „Pegelminderung durch Abschirmungen unter Berücksichtigung des Transmissionsanteils“ / Hinweise und Bedienungsanleitung
- Anhang B: Power-Point-Folien „Einführung in die Thematik: Baustellenlärm und seine Minderung“
- Anhang C: Power-Point-Folien „Voruntersuchung: Akustische Wirkung von Stellwänden aus Folien und Membranen in Hörbeispielen“
- Anhang D: Power-Point-Folien „Baustellengeräusche und akustische Wirkung von Stellwänden aus aufblasbaren Membranen in Hörbeispielen“
- Anhang E: Videofilm zur Situation auf der Baustelle Friedrich-Eugens-Gymnasium Stuttgart und zum Einsatz von Abschirmungen aus aufblasbaren Membranelementen
- Anhang F: Lichtbildersammlung von Abschirmungen aus aufblasbaren Membranelementen im Baustelleneinsatz

Anhang A

Prognoseprogramm: „Pegelminderung durch Abschirmungen unter Berücksichtigung des Transmissionsanteils“ / Hinweise und Bedienungsanleitung

A.1 Zweck des Programms

Für einfache Situationen der Schallausbreitung im Freien können mit einem auf MS-Excel basierenden Prognoseprogramm die Lärmpegelminderungen durch den Einsatz von Stellwänden, tunnel- oder wandartigen Abschirmungen sowie einseitig offenen Einhausungen überschlägig berechnet und somit verschiedene geometrische und konstruktive Ausbildungen von Abschirmungen für unterschiedliche Lärmsituationen simuliert werden. Dabei wird nicht nur der Anteil der Schallbeugung berücksichtigt, sondern auch der des Schalldurchganges.

Als Eingangswerte müssen die geometrischen Parameter der örtlichen Situation und der Abschirmung sowie die Schall-Leistung des Emittenten und die Schalldämmung der Abschirmung bekannt sein. Um einen Zielwert der Lärminderung bzw. des Immissionspegels zu erreichen, können die Eingangsparameter variiert werden. Ein Berechnungsvorgang ist nur für einen Emittenten, eine Abschirmung und einen Immissionsort - also eine bestimmte Abschirmsituation - möglich. Bei mehreren Einzelschallquellen sind entsprechend viele Rechnungen vorzunehmen und die Ergebnisse energetisch zusammen zu fassen. Durch Änderungen der Eingangsparameter können vielfältige Untersuchungen bzw. Optimierungsaufgaben relativ zügig durchgeführt werden.

Auch für den Betrachtungsfall „Emittent unterhalb der Abschirmunterkante“ (bspw. in einer Baugrube) ist eine Berechnung möglich. Für schwierige oder komplexe Gelände- und Abschirmsituationen ist das Programm allerdings nicht gedacht.

A.2 Bedienungsanleitung

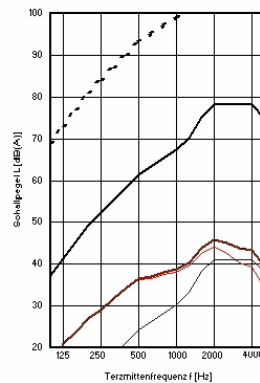
Benutzeroberfläche:

Eingabeparameter und Ergebnisse

Erdbodenhöhe Emittent h_{e0}	210,0 m ü. NN	
Erdbodenhöhe Stellwand h_{s0}	210,0 m ü. NN	
Erdbodenhöhe Immissionsort h_{i0}	210,0 m ü. NN	
Höhe Emittent über Erdboden h_e	1,0 m	
Höhe Immissionsort über Erdboden h_i	2,0 m	
Höhe Oberkante Stellwand über Erdboden H_S	3,0 m	
Überstand Stellwand links B_L	-4,0 m	Betrachtungsrichtung Emittent zu Stellwand
Überstand Stellwand rechts B_R	8,0 m	Betrachtungsrichtung Emittent zu Stellwand
Senkrechter Abstand Emittent / Stellwand s_{e0}	1,0 m	
Senkrechter Abstand Stellwand / Immissionsort s_{i0}	10,0 m	
Seitlicher Versatz Emissionsort / Immissionsort links (+) oder rechts (-)	0,0 m	Betrachtungsrichtung Emissionsort zu Immissionsort
Richtwirkungsmaß (gewöhnlich 0)	0,0 dB	
Verstärkung durch rücks. Reflexionen (analog K_{d1})	0,0 dB	bis 3 dB bei schallharter Fläche
Verstärkung durch Boden-Reflexionen am Emissionsort K_G	0,0 dB	bis 3 dB bei schallharter Fläche
Verstärkung durch Boden-Reflexionen Stellwand / Immissionsort K_G	0,0 dB	
Bewuchsdämpfungslänge Stellwand / Immissionsort s_p	0,0 m	
Seiten- und höhenbegrenzte Stellwand		Auswahl von einer der vier Möglichkeiten mit x treffen oder das Feld leer lassen
Unendlich breite Stellwand (Lärmschutzwand)		
Unendlich hohe Stellwand (Tunnel)		
Rückseitig offene Einhausung	x	

f [Hz]	Emittent		IO ohne $L_{p,10}$ [dB(A)]	Durchgang		Beugung		IO ges $L_{p,10}$ [dB(A)]
	L_w [dB(A)]	R [dB]		$L_{p,10}$ [dB(A)]	$L_{p,10}$ [dB(A)]	$L_{p,10}$ [dB(A)]	$L_{p,10}$ [dB(A)]	
50	16,5		-15,4					
63	23,6		-8,3					
80	42,2		10,3					
100	69,2	7,6	37,3				14,4	
125	73,2	4,9	41,3				4,2	21,0
160	77,2	6,1	45,3				8,2	23,8
200	81,2	6,9	49,3				12,2	27,1
250	84,2	7,9	52,3				15,2	29,1
315	87,2	8,3	55,3				18,2	31,7
400	90,2	8,6	58,3				21,2	34,4
500	93,2	9,6	61,3				24,2	36,5
630	95,2	11,2	63,3				26,2	37,0
800	97,2	12,3	65,3				28,2	38,0
1000	99,2	13,6	67,3				30,2	38,8
1250	102,2	15,3	70,3				33,2	40,4
1600	107,2	17,2	75,2				38,2	43,9
2000	110,2	18,7	78,2				41,2	45,8
2500	110,2	20,0	78,2				41,2	45,0
3150	110,2	22,2	78,2				41,1	43,8
4000	110,2	23,3	78,1				39,2	43,3
5000	107,2	25,0	75,0				38,1	39,6
L_p		R_w						
		14,0	85,5					52,8

Ergebnisse:	L_p ohne Abschirmung = 85,5 dB(A)
	Anteil Schalldurchgang: L_{D1} = 50,7 dB(A)
	Anteil Schallbeugung L_{D2} = 48,4 dB(A)
	Immissionspegel $L_{p,ges.}$ = 52,8 dB(A)



8	6	6	5	Höhe: 3,0 m
8	7	6	5	
8	7	6	5	
Breite: 4,0 m				Höhe: 3,0 m
Prozentuale Verteilung der auf die Schirmfront treffenden Schallenergie				

Die Benutzeroberfläche untergliedert sich in einen Eingabebereich mit grau schattierten Feldern für die Eingabewerte sowie einen tabellarischen und grafischen Ergebnisbereich.

Die für die Berechnung notwendigen Parameter werden in grau unterlegte Eingabefelder ① eingetragen: Angaben zur geometrischen Geländesituation in den geometrischen Beziehungen zwischen Emissionsort, Abschirmung und Immissionsort.

Als „Überstand Schirmfront rechts / links“ ist der Abstand einer der seitlichen Kanten einer Schirmfront von der direkten Verbindungslinie Emittent / Immissionsort zu verstehen. Einer der beiden Werte kann auch negativ sein (wenn die Schirmfront in Abstand versetzt zu dieser Verbindungslinie steht). Die in diesen Feldern eingetragenen Werte haben nur für die Abschirmvarianten „Stellwand“ und „Tunnel“ Bedeutung und bleiben in den anderen beiden Fällen unberücksichtigt.

Die „senkrechten Abstände“ zwischen Schirmfront und Emissionsort bzw. Immissionsort werden von der direkten Verbindungslinie Emittent / Immissionsort aufgenommen. Die Schirmfront muss orthogonal zu dieser Verbindungslinie stehen.

Die Eingabe akustischer Korrekturfaktoren ist möglich, kann jedoch für einfache Betrachtungsfälle bzw. bei kurzen Geländestrecken vernachlässigt werden.

Bei Auswahl einer Abschirmvariante wird das jeweilige Feld durch den Buchstaben x angekreuzt, die anderen Felder müssen leer bleiben. Als „Stellwand“ gilt die Schirmfrontfläche einer Abschirmung: bei einer Lärmschutzwand mit unendlicher Breite, bei einem Tunnel mit unendlicher Höhe und bei einer Einhausung die dem Immissionsort zugewandte Fläche, wobei eine Abschirmung seitlich und oben mit einer Tiefe angenommen wird, die doppelt so groß ist wie der Abstand Emittent / Schirmfront.

Durch Anklicken ② kann der Schall-Leistungspegel eines ausgewählten Emittenten und die Schalldämmung eines gewählten Abschirmmaterials importiert werden. Die Terzwerte werden tabellarisch ④, die Schall-Leistung ggf. auch grafisch ⑤ dargestellt. Diese Eingabeparameter können erweitert werden, indem auf die Datensammlung im Excel-Arbeitsblatt „Datenbank“ zugegriffen wird. Für eigene Eintragungen sind grau unterlegte Felder vorgesehen.

Die Grafik ③ zeigt die prozentuale Verteilung der Schall-Energie auf der Schirmfront vom Emissionspunkt aus an und kann ggf. zur Überprüfung der Schlüssigkeit der Emissions-, Gelände- und Abschirmsituation dienen.

In der tabellarischen Auswertung ④ werden die Immissionspegel

- ohne Abschirmung,
 - mit Abschirmung,
 - Beugungsanteil der Situation „mit Abschirmung“ sowie
 - Transmissionsanteil der Situation „mit Abschirmung“
- frequenzabhängig in Terzspektren dargestellt, unter ⑥ als Einzahlwerte.

Die grafische Darstellung dieser 4 Kurven sowie der Schall-Leistung erfolgt in dem Diagramm ⑤.

A.3 Funktionsweise der Ermittlung des Transmissionsanteils

Das Programm hat zur Ermittlung der ausbreitungsbedingten Schalldämpfung, des Beugungsanteils sowie der Berücksichtigung der Schallabstrahlungsrichtung folgende Berechnungsvorschriften zur Grundlage:

- DIN ISO 9613-2: Akustik - Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien. Berlin. Beuth-Verlag, Berlin, Oktober 1999
- VDI 2571: Schallabstrahlung von Industriebauten. VDI, Düsseldorf, August 1976.
- VDI 2714 Schallausbreitung im Freien. VDI, Düsseldorf, Januar 1988.
- VDI 2720-1: Schallschutz durch Abschirmung im Freien. VDI, Düsseldorf, Februar 1991.

Für die Ermittlung des Transmissionsanteils einer Abschirmung im Freien existieren keine Berechnungsvorschriften. Um den Schalldurchgang dennoch abschätzen zu können, muss zunächst von einigen Vereinfachungen ausgegangen werden:

- der Emittent wirkt als Punktschallquelle mit ungerichteter Schallabstrahlung,
- die Schallausbreitung erfolgt unter Freifeldbedingungen,
- der Schalleintrag und die Schallabstrahlung der Schirmwand sind senkrecht,
- es gibt keine rückseitigen Reflektionen der Abschirmung,
- die Schirmfront wird als Fläche mit praxisüblichen, begrenzten Höhen- und / oder Seitenabmessungen angenommen.

Folgende Vorgehensweise zur Ermittlung des Transmissionsanteils wurde ausgewählt:

- die Abschirmung wird in 16 (4 x 4) Einzelflächen unterteilt, für welche die Berechnungsschritte autonom durchgeführt werden,
- der Anteil der vom Emittenten abgestrahlten Hüllfläche, welche auf den jeweiligen Teil der Abschirmfläche trifft, wird ermittelt ③,
- unter Berücksichtigung der Entfernung zwischen dem Emissionsort und dem Mittelpunkt der jeweiligen Abschirmfläche und der dadurch bedingten Dämpfung durch die Schallausbreitung ergibt sich der auf die jeweilige Abschirmfläche auftreffende Schalldruck,
- die Schalldämmung wird subtrahiert,
- der auf den rückseitigen Abschirm-Teilflächen anliegende Schalldruck wird zu einem Gesamtschalldruck zusammen gefasst und dem geometrischen Bezug zwischen Emittent, Abschirmung und Immissionsort entsprechend als neue Abstrahlquelle (imaginäre Ersatzquelle) positioniert,
- die Dämpfung durch die Schallausbreitung zwischen dem Abstrahlpunkt auf der Schirmrückseite und dem Immissionsort ergibt den durch den Schalldurchgang erzeugten Immissionspegel.

Anhang B

Ein Vortrag als Power-Point-Präsentation mit dem Titel „Baustellenlärm und seine Minderung“ dient zur Einführung in die Thematik. Auf einer Navigationsseite können einzelne Themenbereiche ausgewählt werden, außerdem ist eine fortlaufende Ansicht des Vortrages möglich.

Dieser Vortrag gibt einen visuellen Überblick

- zur Besonderheit des Baulärms,
- zu grundsätzlichen Lärminderungsmöglichkeiten,
- zu verschiedenen Abschirmsystemen und ihren Einsatzgebieten,
- zur Schalldämmung von Folien und Membranen,
- zur wirksamen Dimensionierung von Abschirmungen,
- zum Zusammenhang zwischen Schalldurchgang und Schallbeugung bei Abschirmungen,
- zu Beispielbaustellen sowie
- zu Lärmschutzkonzepten und deren Wirkungspotenzial.

Anhang C

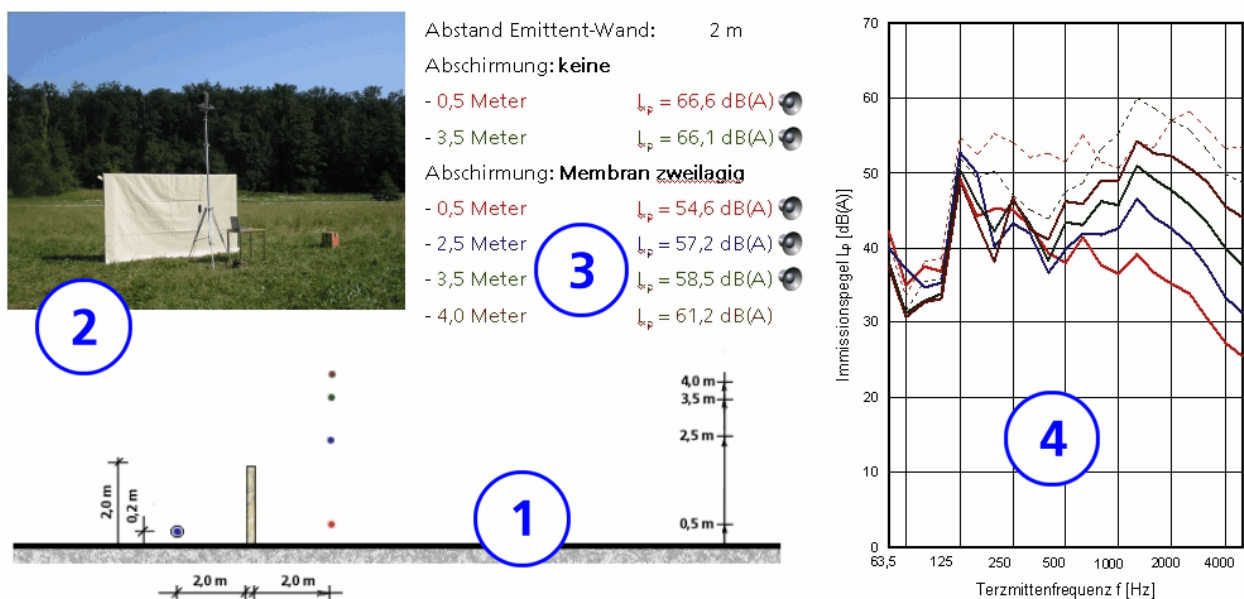
Mit der interaktiven Power-Point-Präsentation "Voruntersuchung: Akustische Wirkung von Stellwänden aus Folien und Membranen in Hörbeispielen" ist es möglich, die bei den Freiluft-Voruntersuchungen gemessenen Pegelminderungen als Geräuschaufnahmen nachzuvollziehen.

Folgende Vergleiche der Lärminderung sind dargestellt bzw. hörbar:

- Verwendung unterschiedlicher leichter Abschirmsysteme bei verschiedenen Emittenten,
- Messungen / Aufnahmen bei zunehmender Entfernung des Immissionsortes zur Abschirmung,
- Messungen / Aufnahmen bei zunehmender Höhe des Immissionsortes zur Abschirmung.

Benutzeroberfläche:

Vergleich verschiedener Höhen – Notstromaggregat



Die skizzierte Gelände- und Abschirmsituation (1) wird durch die Fotoaufnahme (2) verdeutlicht. Die gemessenen Immissionspegel sind als Einzahlwerte (3) und grafisch als Terzwerte in einem Diagramm (4) wieder gegeben. Durch Betätigen des Lautsprechersymbols (3) kann die Geräuschaufnahme angehört werden. Um die Wiedergabe abubrechen, ist die Taste ESC zu bedienen.

Anhang D

Mit der interaktiven Power-Point-Präsentation “Baustellengeräusche und akustische Wirkung von Stellwänden aus aufblasbaren Membranen in Hörbeispielen“ ist es möglich, die bei den Baustellenmessungen ermittelten Pegelminderungen als Geräuschaufnahmen nachzuvollziehen. Auf einer Navigationsseite können einzelne Messungen ausgewählt werden, außerdem ist eine fortlaufende Ansicht der Präsentation möglich.

Mit dieser interaktiven Ergebnispräsentation ist es möglich, die bei den Baustellenmessungen gemessenen Emissionspegel bzw. Pegelminderungen als Geräuschaufnahmen nachzuvollziehen. Folgende Geräusche und Geräuschkinderungen sind dargestellt bzw. hörbar:

1. Kettenbagger bei Profilierarbeiten,
2. Rüttelplatte beim Verdichten des Unterbaus einer Bodenplatte,
3. strombetriebener Druckluftkompressor,
4. Druckluftpistole,
5. Auflegen von Gerüstbohlen,
6. Fallenlassen von Bewehrungsmatten,
7. Fallenlassen eines Stahlrohres,
8. Hammerschläge auf Holzbohlen*,
9. Hammerschläge auf Stahlgerüst*.

* an unterschiedlichen Immissionsorten

Die gemessenen Immissionspegel vor und hinter der Abschirmung sind als Einzahlwerte und grafisch als Terzwerte in einem Diagramm wieder gegeben. Bei den Beispielen 4 bis 7 ist lediglich die Lärmsituation vor dem Schirm als Geräuschaufnahme abhörbar.

Der Aufbau und die Bedienung der Benutzeroberfläche sind analog wie in Anlage C beschrieben.

Anhang E

Ein kurzer Videofilm verdeutlicht die Situation auf der Baustelle Friedrich-Eugens-Gymnasium Stuttgart und den Einsatz von Abschirmungen aus aufblasbaren Membranmatratzen.

Anhang F

Eine Sammlung ausgewählter Lichtbilder verdeutlicht die Baustelleneinsätze mit Abschirmungen aus aufblasbaren Membranmatratzen. Auf einer Navigationsseite können einzelne Bilder ausgewählt werden. Durch Mausklick links auf die Folie ist eine Ansicht der Bilderfolge möglich.