



Technische Universität Graz
Fakultät für Bauingenieurwissenschaften



Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Masterarbeit

Schallabsorptionspotential urbaner Fassadensysteme

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplomingenieurs der Studienrichtung Bauing.wiss.-Konstruktiver Ingenieurbau unter der
Leitung von

Univ.-Prof. Mag. Dipl.-Ing. Dr.iur. Dr.techn. Kautsch Peter
(Institut für Hochbau und Bauphysik der TU Graz)

Prof. Dr.-Ing. Philip Leistner
(Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP Stuttgart)

eingereicht an der Technischen Universität Graz
Fakultät für Bauingenieurwissenschaften von

Selina Karen Kirchsteiger, BSc
Matr.-Nr.: 1030842
(Mühlaustraße 3, A-8501 Lieboch)

Graz, 9. Jänner 2017

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

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

Datum

Unterschrift

Danksagung

Diese Seite meiner Arbeit, in der Sie gerade schmökern, möchte ich – gerade weil es eine der ersten ist – nutzen um all jenen, die mich in den letzten Jahren und Monaten fachlich und persönlich unterstützt haben, „Danke“ zu sagen.

Beginnen möchte ich mit Herrn Univ.-Prof. Kautsch und Herrn Prof. Leistner, die diese Arbeit nicht nur erst möglich gemacht haben, sondern auch stets bereit waren mir bei der inhaltlichen Bearbeitung meiner Arbeit – in Form von Anregungen, Ratschlägen und dergleichen mehr – beizustehen. Herzlichen Dank!

Auch ist es mir ein Anliegen mich in besonderer Weise bei allen Verantwortlichen des Fraunhofer IBP für das Ermöglichen der experimentellen Untersuchungen am Institut in Stuttgart zu bedanken. Im Speziellen möchte ich Mark Koehler, Xiaoru Zhou und Roman Wack für ihre geduldige und verständnisvolle Betreuung ein ganz besonderes • 谢谢你们! • aussprechen.

An dieser Stelle darf natürlich ein Dankeschön an die „TU Graz - Bibliothekarin meines Vertrauens“ Sara nicht fehlen, die mir nicht nur mit der benötigten Fachliteratur, sondern auch in so mancher germanistischen Frage zur Seite gestanden ist.

Last, aber gewiss nicht least gilt mein Dank meinen Eltern, die mir in all den Jahren materiell und emotional unterstützt haben. And not to forget to give a big “Thank you“ to Daniel who always showed understanding and backed me during the last months.

Lieboch am 06.01.2017, Selina Kirchsteiger

Kurzfassung

Bei der Lärminderung und Ruhevorsorge im urbanen Raum handelt es sich um integrale und interdisziplinäre Aufgaben. In Bezug auf den Beitrag den Fassaden hierfür leisten können, wird zumeist an deren Wirkung am Ausbreitungsweg als Schallschirm oder am Immissionsort als Schalldämmelement gedacht. Die Zielsetzung dieser Masterarbeit besteht in der Analyse des Akustik-Potentials von Fassaden hinsichtlich ihres Schallabsorptionsvermögens. Dazu werden Fassadensysteme und technische Schallabsorber gegenübergestellt, um gemeinsame Gestaltungsmerkmale und -optionen zu finden.

Zur Evaluierung der Schallabsorptionswirkung von Hüllkonstruktionen und Wärmedämmstoffen wurden Messungen des Absorptionsgrades in einem quadratischen Impedanzrohr und des Strömungswiderstandes mithilfe des Luftwechselstromverfahrens durchgeführt. Die so gewonnenen Messdaten werden mit dem Ergebnis einer computergestützten Modellierung und dem Verkehrslärmspektrum verglichen. Für diese Berechnungen dienen die Modelle poröser Absorber, Platten-, Loch- und Schlitzplattenresonator als Grundlage.

Zu den beispielhaft untersuchten Dämmstoffen gehören Steinwolle, Holzweichfaser, Holzwolle, Blähperlit, Mineralschaum, Schaumglas, REAPOR®, EPS und PU-Schaum. Ferner werden die akustischen Eigenschaften von Wärmedämmverbundsystemen und von Konstruktionsbestandteilen mehrschaliger Fassadensysteme, wie z.B. Unterdeck- bzw. Unterspannbahnen, Lochbleche, mikroperforierte Bleche sowie Gabionen mit Schaumglasschotterfüllung, ermittelt.

Abschließend werden mögliche Maßnahmen zur Aktivierung oder Verbesserung der Absorption einzelner Systeme behandelt, sowie ein Ausblick auf weitere mögliche Systeme gegeben.

Schlagwörter: Schallabsorption, Verkehrslärm, Wärmedämmstoffe, Fassadensysteme

Abstract

Noise reduction in urban areas requires integral and interdisciplinary approaches. When it comes to the acoustic performance of facade systems, mostly their potential as sound barrier and sound insulator is considered. The objective of this master thesis is to analyze the acoustic potential of facades regarding sound absorption. Therefore facade systems and noise absorbers are compared to determine common design features and constructional options.

To evaluate the sound absorption of claddings and thermal insulation materials measurements of the absorption coefficient with a square impedance tube and of the flow resistance were performed. The measured data is contrasted with the results of computer modeling and the actual traffic noise spectrum. The acoustic models that serve as a basis for the calculations are porous absorber, panel resonator, perforated panel-, and slit panel absorber.

The exemplarily investigated thermal insulation materials include rock wool, wood fibers, wood wool, expanded perlite, foamed glass, cellular glass, REAPOR[®], expanded polystyrene and polyurethane foam. Furthermore, the acoustic characteristics of thermal insulation systems and construction elements of multi-layered facade systems such as underlays (flexible sheets for waterproofing), gabions with foam glass gravel, perforated and micro perforated metal plates are examined.

In conclusion potential measures for activating or improving the sound absorption characteristics of those constructions are mentioned and an outlook to other systems is given.

Keywords: sound absorption, traffic noise, thermal insulation materials, facade systems

Inhalt

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	3
Danksagung	5
Kurzfassung	7
Abstract	9
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Methodik, Vorgehensweise und Ziele.....	1
2 Urbane Umgebungsbedingungen - Verkehrslärmspektrum	3
2.1 Verkehrslärmspektrum am Straßenrand	3
2.2 Veränderung des Verkehrslärmspektrums am Ausbreitungsweg	4
2.2.1 <i>Luftabsorption</i>	4
2.2.2 <i>Schirmwirkung</i>	5
3 Theoretische Grundlagen technischer Schallabsorber	7
3.1 Schallabsorption bzw. -reflexion	7
3.1.1 <i>Absorptionsgrad α</i>	7
3.1.2 <i>Einzahl-Angabe zur Bewertung der Schallabsorption</i>	9
3.2 Arten von Schallabsorbern	10
3.2.1 <i>Poröse Absorber</i>	11
3.2.2 <i>Plattenresonatoren (Masse-Feder-Systeme)</i>	15
3.2.3 <i>Loch- und Schlitzplattenresonatoren (MPA)</i>	17
3.2.4 <i>Mehrschichtige Absorber</i>	21
3.3 Verwendete Messprinzipien und -einrichtungen	23
3.3.1 <i>Schallabsorptionsgrad α_0 bei senkrechtem Schalleinfall</i>	23
3.3.2 <i>Strömungswiderstandsmessung</i>	28
4 Fassadensysteme im Überblick	30
4.1 Allgemeine Anforderungen an Fassaden	30
4.2 Arten von Fassadensystemen	30
4.3 Einteilung von Fassadensystemen nach der Konstruktion.....	32
4.3.1 <i>Tragende und nicht tragende Gebäudehüllen</i>	32
4.3.2 <i>Schalen und Schichten</i>	33
4.4 Schallabsorbermodelle und Fassadensysteme im Vergleich.....	35
4.4.1 <i>Einschalige, einschichtige Fassadensysteme</i>	36
4.4.2 <i>Einschalige, mehrschichtige Fassadensysteme</i>	36
4.4.3 <i>Mehrschalige, ein- oder mehrschichtige Fassadensysteme</i>	37
5 Schallabsorptionsverhalten von Fassadendämmstoffen	38
5.1 Mineralwolle (Steinwolle SW und Glaswolle GW)	38
5.1.1 <i>Experimentelle Untersuchung</i>	39
5.1.2 <i>Modellierung</i>	43
5.1.3 <i>Akustikpotential und integrale Betrachtungen</i>	47
5.2 Holzweichfaserplatte (WF)	48
5.2.1 <i>Experimentelle Untersuchung</i>	49
5.2.2 <i>Modellierung</i>	50
5.2.3 <i>Akustikpotential und integrale Betrachtungen</i>	52
5.3 Holzwolle-Dreischicht-Dämmplatte (WW-C).....	52
5.3.1 <i>Experimentelle Untersuchung</i>	53
5.3.2 <i>Modellierung</i>	55
5.3.3 <i>Akustikpotential und integrale Betrachtungen</i>	56
5.4 Blähperltdämmplatten	57
5.4.1 <i>Experimentelle Untersuchung</i>	57
5.4.2 <i>Modellierung</i>	59

5.4.3	<i>Akustikpotential und integrale Betrachtungen</i>	60
5.5	Mineralschaumplatten	60
5.5.1	<i>Experimentelle Untersuchung</i>	60
5.5.2	<i>Modellierung</i>	62
5.5.3	<i>Akustikpotential und integrale Betrachtungen</i>	62
5.6	Schaumglasplatten (CG).....	62
5.6.1	<i>Experimentelle Untersuchung</i>	62
5.6.2	<i>Modellierung</i>	63
5.6.3	<i>Akustikpotential und integrale Betrachtungen</i>	64
5.7	REAPOR® – gesinterter Glasschaum	64
5.7.1	<i>Experimentelle Untersuchung</i>	64
5.7.2	<i>Modellierung</i>	66
5.7.1	<i>Akustikpotential und integrale Betrachtungen</i>	68
5.8	Expandiertes Polystyrol (EPS) bzw. Extrudiertes Polystyrol (XPS).....	69
5.8.1	<i>Experimentelle Untersuchung</i>	70
5.8.2	<i>Modellierung</i>	72
5.8.3	<i>Akustikpotential und integrale Betrachtungen</i>	73
5.9	Polyurethan-Hartschaum (PUR)	74
5.9.1	<i>Experimentelle Untersuchung</i>	74
5.9.2	<i>Modellierung</i>	75
5.9.3	<i>Akustikpotential und integrale Betrachtungen</i>	75
6	Schallabsorptionsverhalten von Wärmedämmverbundsystemen	76
6.1	Systembeschreibung	76
6.2	Wärmedämmung mit vollflächiger Armierung und Putzschicht	77
6.2.1	<i>Experimentelle Untersuchung</i>	77
6.2.2	<i>Modellierung</i>	79
6.2.3	<i>Akustikpotential und integrale Betrachtungen</i>	79
6.3	Steinwolle mit vollflächiger, gelochter oder geschlitzter Armierung.....	80
6.3.1	<i>Experimentelle Untersuchung</i>	80
6.3.2	<i>Modellierung</i>	83
6.3.3	<i>Akustikpotential und integrale Betrachtungen</i>	88
7	Schallabsorptionsverhalten mehrschaliger Konstruktionen	89
7.1	Systembeschreibung	89
7.2	Unterdeck- und Unterspannbahnen vor der Dämmebene.....	89
7.2.1	<i>Experimentelle Untersuchungen</i>	89
7.2.2	<i>Modellierung</i>	93
7.2.3	<i>Akustikpotential und integrale Betrachtungen</i>	95
7.3	Lochbleche und mikroperforierte Bleche vor der Dämmebene	96
7.3.1	<i>Experimentelle Untersuchungen</i>	96
7.3.2	<i>Modellierung</i>	98
7.3.3	<i>Akustikpotential und integrale Betrachtungen</i>	102
7.4	Gabione mit Schaumglasschotterfüllung vor der Dämmebene	103
7.4.1	<i>Experimentelle Untersuchungen</i>	103
7.4.2	<i>Modellierung</i>	104
7.4.3	<i>Akustikpotential und integrale Betrachtungen</i>	104
8	Zusammenfassung und Ausblick	105
9	Literaturverzeichnis	107
10	Verwendete Software und Randbedingungen	111
11	Tabellenverzeichnis	112
12	Abbildungsverzeichnis	114

1 Einleitung

1.1 Motivation

Sich in der Luft ausbreitende Druckschwankungen werden, sofern sie im Hörbereich des menschlichen Ohres liegen, als Schall wahrgenommen.

„Die Erschütterung der Luft wird erst Schall, wo ein Ohr ist.“

(Georg Christoph Lichtenberg)

Als Lärm wird Schall dann bezeichnet, wenn er als störend empfunden wird. Ferner wirkt er sich schädlich auf die Gesundheit aus, setzt die Leistungsfähigkeit herab und minimiert die Konzentrationsfähigkeit. Er beeinträchtigt somit die urbane Lebens- und Umweltqualität und gehört zu den gravierendsten Umweltbelastungen. [1]–[3]

Grundsätzlich können Lärmprobleme nach [1] behandelt werden durch:

- Primärmaßnahmen (Maßnahmen am Emissionsort),
- Lärmschutzmaßnahmen am Ausbreitungsweg,
- Lärmschutzmaßnahmen am Immissionsort sowie
- organisatorische bzw. straßenverkehrsplanerische Maßnahmen.

Wie diese Aufzählung zeigt, erfordert die Aufgabe der Lärminderung und Ruhevorsorge eine integrale und interdisziplinäre Herangehensweise. Die akustischen Betrachtungen von Fassaden beschränken sich zumeist auf deren Wirkung als Schallschirm am Ausbreitungsweg oder als Schalldämmelement am Immissionsort. Im Rahmen dieser Masterarbeit wird auf das Akustik-Potential von Fassaden hinsichtlich ihres Schallabsorptionsvermögens näher eingegangen. Dies erweitert die Funktionsanforderungen, wie z.B. Raumabschluss, Ästhetik, der Wärme-, Feuchte- und Witterungsschutz, Schalldämmung usw., die an Fassaden im Allgemeinen gestellt werden. [1], [4], [5]

1.2 Methodik, Vorgehensweise und Ziele

Da das Schallabsorptionsverhalten eines Materials eine frequenzabhängige Größe ist und der Straßenverkehr als ein Hauptverursacher der urbanen Lärmproblematik gilt [1], wird zunächst das Verkehrslärmspektrum untersucht. Anschließend werden verschiedene Fassadensysteme und technische Schallabsorber betrachtet und in einer Art Matrix gegenübergestellt, um „Schnittmengen“ zu finden. Zur Evaluierung des Schallabsorptionsvermögens von Hüllkonstruktionen und Wärmedämmstoffen werden Messergebnisse des Absorptionsgrades (im Impedanzrohr) und des Strömungswiderstandes

mit einem Berechnungsmodell verglichen. Auf Basis dieser Auswertungen wird ermittelt, wie man bestimmte Konstruktionen akustisch hinsichtlich Absorption aktivieren kann. Auch werden die integralen bauphysikalischen Auswirkungen einer solchen „akustischen Aktivierung“ analysiert. Abschließend werden untersuchte Konstruktionen mit hohem Schallabsorptionspotential zusammengefasst und es wird ein Ausblick auf weitere mögliche Systeme gegeben.

2 Urbane Umgebungsbedingungen - Verkehrslärmspektrum

2.1 Verkehrslärmspektrum am Straßenrand

Das Schallabsorptionsverhalten von urbanen Oberflächen ist eine frequenzabhängige Größe. Um die Absorptionseigenschaften eines Fassadensystems optimal an die vorhandenen Umgebungsbedingungen anpassen zu können, werden zunächst die Frequenzbereiche mit erhöhtem Absorptionsbedarf nach ÖNORM EN 1793-3: 1998-03 (bzw. DIN EN 1793-3: 1997-11) ermittelt. Tabelle 1 dieser Norm gibt die akustischen Eigenschaften des am Straßenrand auftretenden Verkehrslärms mithilfe eines standardisierten Verkehrslärmspektrums an. Bei diesem Spektrum handelt es sich um den A-bewerteten Schalldruckpegel L_i in dB für die Terzbänder mit der Mittenfrequenz f_i . Es wird zur Berechnung von Einzahl-Angaben von Lärmschutzeinrichtungen an Straßen benötigt. Anm.: Diese Norm ist nicht für hallige Umgebungsbedingungen anwendbar. [6]

Tab. 1: Standardisiertes Verkehrslärmspektrum gemäß ÖNORM/DIN EN 1793-3 [6]

Frequenz f_i [Hz]	100	125	160	200	250	315	400	500	630
L_i [dB]	-20	-20	-18	-16	-15	-14	-13	-12	-11
Frequenz f_i [Hz]	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
L_i [dB]	-9	-8	-9	-10	-11	-13	-15	-16	-18

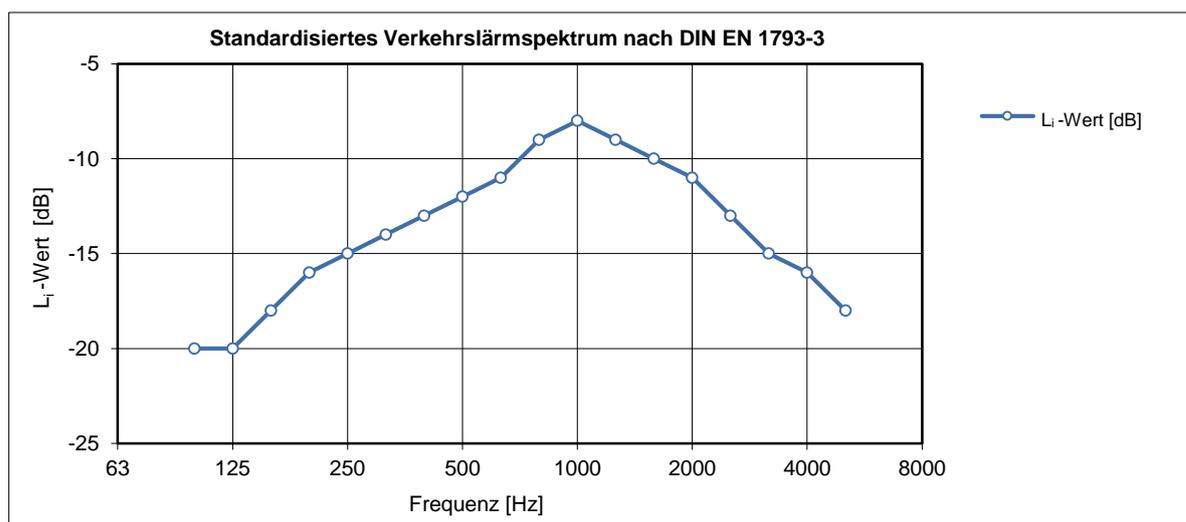


Abb. 1: L_i -Werte des standardisierten Verkehrslärmspektrums nach ÖNORM/DIN EN 1793-3 [6]

Der Frequenzverlauf der L_i -Werte laut Abb. 1 liefert eine gute Basis für den Verlauf des gewünschten Schallabsorptionsgrades einer straßennahen Konstruktion. Es ist ersichtlich,

dass eine A-bewertete Einzahl-Angabe der Schallabsorption vor allem durch hohe Absorptionsgrade im Bereich von ca. 500 bis 2000 Hz verbessert werden kann. Dies stimmt gut mit dem Ergebnissen der Frequenzanalyse von Straßenverkehrslärm an unterschiedlichen Fahrbahnbelägen, wie z.B. Beton und Asphalt, nach [7] überein (siehe Abb. 2). Diese Untersuchungen machen ebenfalls deutlich, dass im Bereich um 1000 Hz mit erhöhten Straßenverkehrsgeräuschen zu rechnen ist. Jene sind um rd. 10 dB höher als der Wert bei 160 Hz. Es ist jedoch zu beachten, dass Abb. 1 und Abb. 2 lediglich die grundsätzlichen Verläufe des Frequenzspektrums zeigen. Die exakten Werte sind von der jeweiligen Verkehrsdichte und –zusammensetzung sowie der Textur und Porosität der Straßenoberfläche abhängig. [6], [7]

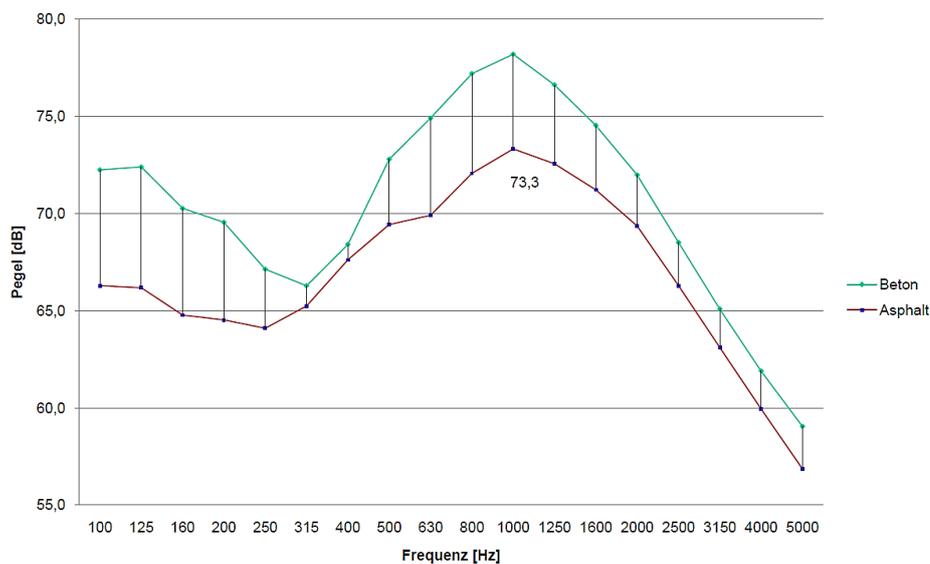


Abb. 2: Frequenzspektrum der Lärmpegel bei durchschnittlichem LKW-Anteil, Quelle: [7] S.1

2.2 Veränderung des Verkehrslärmspektrums am Ausbreitungsweg

In Abschnitt 2.1 wird auf das Frequenzspektrums des Verkehrslärms direkt an der Straße eingegangen. Dieses wird durch unterschiedliche Dämpfungsmechanismen am Ausbreitungsweg beeinflusst. Beispielsweise verändert sich das Spektrum für Häuser in zweiter oder dritter Reihe im Vergleich zu denen direkt an der Straße. Im Folgenden wird dieser Einfluss gemäß DIN ISO 9613-2: 1999-10 anhand von Beispielen für die Luftabsorption und die Schirmwirkung abgeschätzt (Anm.: Die geometrische Ausbreitungsdämpfung und der Bodeneffekt, unter der Annahme eines „harten Bodens“, sind nach dieser Norm frequenzunabhängig.). [8]

2.2.1 Luftabsorption

Tab. 2 zeigt nach [8] die Dämpfung einer Punktschallquelle infolge Luftabsorption für die Abstände 100 und 1000 m zur Schallquelle. Es ist zu erkennen, dass die innermolekulare Dissipation in Luft mit der Frequenz steigt. Diese Absorptionswirkung ist allerdings im

urbanen Bereich, bei dem die Abstände zur Straße (d.h. zur Quelle) meist gering sind, klein. So ist die Schallpegelreduktion infolge von Luftabsorption für einen Abstand von 100 m im Frequenzbereich bis 2 kHz weniger als 1 dB. Betrachtet man jedoch größere Distanzen (≥ 1 km), so wird das Frequenzspektrum durch die Luftabsorption vor allem für Frequenzen ≥ 100 Hz nennenswert verändert. [8]

Tab. 2: Luftabsorption für einen Abstand d [m] zur Schallquelle (20°C , rel. Luftfeuchte von 70%) [8]

Bandmittenfrequenz [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Dämpfung infolge Luftabsorption [dB]								
$d = 100$ m	0,01	0,03	0,11	0,28	0,5	0,9	2,29	7,66
$d = 1000$ m	0,1	0,3	1,1	2,8	5,0	9,0	22,9	76,6

2.2.2 Schirmwirkung

Zur Abschätzung der Veränderung des Frequenzspektrums aufgrund der Schirmwirkung der städtischen Bebauung, wird die Doppelbeugung für eine Punktquelle gemäß DIN ISO 9613-2: 1999-10 exemplarisch für zwei Fälle ermittelt. Beim Fall A wird ein Gebäude mit einer Höhe von 12 m über Geländeoberkante und beim Fall B ein Gebäude mit einer Höhe von 3 m über Geländeoberkante betrachtet. Nach Tab. 3 ist in beiden Fällen die Dämpfung infolge der Schirmwirkung bei 1000 Hz um ca. 11 bis 12 dB höher als bei 125 Hz. Ein Vergleich dieses Ergebnisses mit der Schalleinwirkung des Verkehrs an der Straße nach Abb. 2 lässt erkennen, dass die Schirmwirkung der berechneten Fälle A und B die Spitze des Straßenverkehrslärms im Bereich um 1000 Hz eliminiert (siehe Abb. 4). In Abb. 2 bleibt nur noch der Anstieg des Pegels bei tiefen Frequenzen (von 250 Hz bis 125 Hz) erhalten. Somit ist die Anforderung an das Absorptionsverhalten von Gebäudefassaden, die in zweiter Reihe angeordnet sind, anders als für solche, die sich direkt an der Straße befinden. Dies ist bei der Wahl des Absorbers zu berücksichtigen. [8]

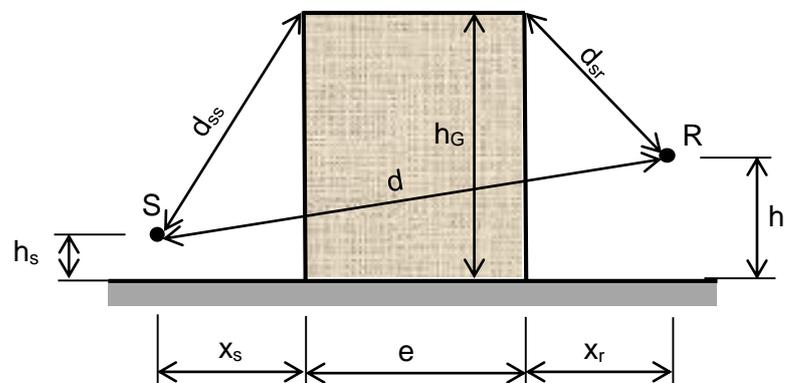


Abb. 3: Geometrische Größen zur Bestimmung des Schirmwertes bei Doppelbeugung [8]

Anm.: Bei diesen Vergleich wird nicht berücksichtigt (bzw. vernachlässigt), dass die Schirmwirkung nach Tab. 3 für eine Punktquelle ermittelt wird und der Verkehrslärm laut Abb. 2 von einer Linienquelle stammt. Des Weiteren wird das Frequenzspektrum des „Wohnlärms“, des „Kinderspielplatzes“ usw. nicht betrachtet.

Tab. 3: Berechnung der Schirmwirkung infolge Doppelbeugung (20°C, C₂ = 20) [8]

Bandmittenfrequenz [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Dämpfung infolge Schirmwirkung [dB]								
Fall A: x _s = 10; x _r = 10; h _G = 12; h _s = 0,5; h _r = 6; d = 30,5; e = 10; d _{ss} =15,24; d _{sr} =11,66 [m]	14,5	18,0	22,3	26,6	30,2	33,4	36,4	39,5
Fall B: x _s = 5; x _r = 5; h _G = 3; h _s = 0,5; h _r = 1,5; d = 20,0; e = 10; d _{ss} =5,59; d _{sr} =5,22 [m]	7,9	10,2	13,8	17,8	21,3	24,4	27,4	30,4

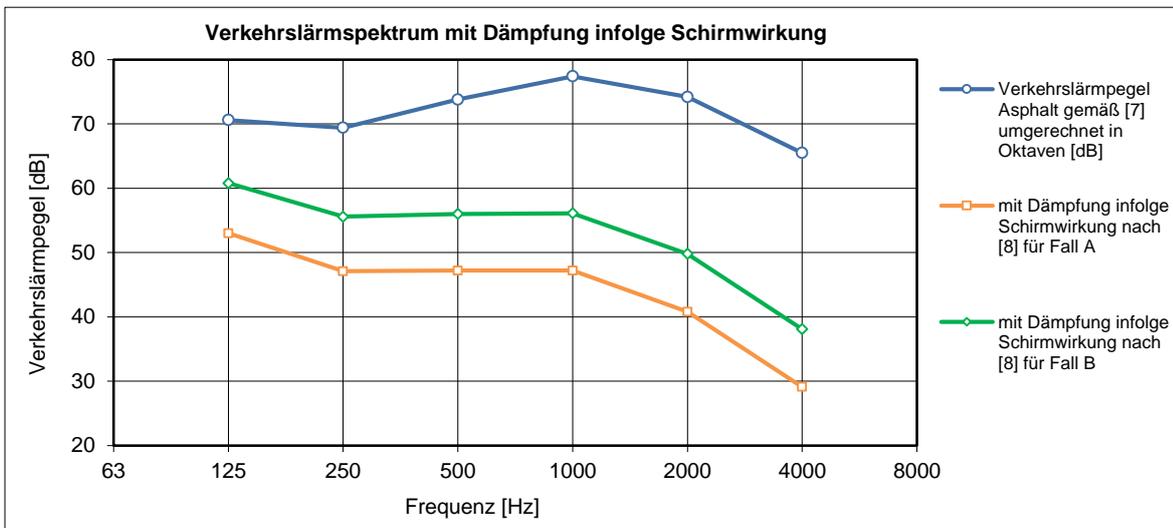


Abb. 4: Abschätzung des Verkehrslärmspektrums für Asphaltstraßen gemäß [7] mit Dämpfung infolge Schirmwirkung nach [8] (siehe Tab. 3)

3 Theoretische Grundlagen technischer Schallabsorber

Technische Schallabsorber werden vor allem in der Raumakustik zur Verbesserung der akustischen Eigenschaften einer gegebenen Raumsituation eingesetzt. Die Erhöhung der Schallabsorption erfolgt zumeist mithilfe von an Begrenzungsflächen angebrachten Schallabsorptionsverkleidungen. Zudem besteht die Möglichkeit spezielle Absorptionskörper anzuordnen bzw. vorhandene Hohlräume zu nutzen. [9]

Ein weiteres relevantes Einsatzgebiet für Schallabsorber sind Schallschutzwände. In der Praxis werden Lärmschutzwände oftmals auf der der Schallquelle zugewandten Seite absorbierend gestaltet. Dadurch werden Mehrfachreflexionen zwischen hohen Fahrzeugen und der Schallschutzwand verhindert bzw. reduziert. [10]

3.1 Schallabsorption bzw. -reflexion

3.1.1 Absorptionsgrad α

Trifft eine Schallwelle mit der Schalleistung W_1 auf ein im Vergleich zur Wellenlänge großes Hindernis (z.B. Wandfläche), so wird ein Teil der Schalleistung reflektiert (W_{refl}) und ein Teil absorbiert (W_{abs}). Die absorbierte Schalleistung W_{abs} entzieht dem auftreffenden Schall Energie und teilt sich in einen dissipierten (W_{dis}) und in einen transmittierten (W_2) bzw. über die Flanken fortgeleiteten (W_3) Anteil auf. Hierbei bezeichnet der Vorgang der Dissipation die Umwandlung der Schallenergie in Wärmeenergie durch Reibung im Bauteilinneren. [9], [11]

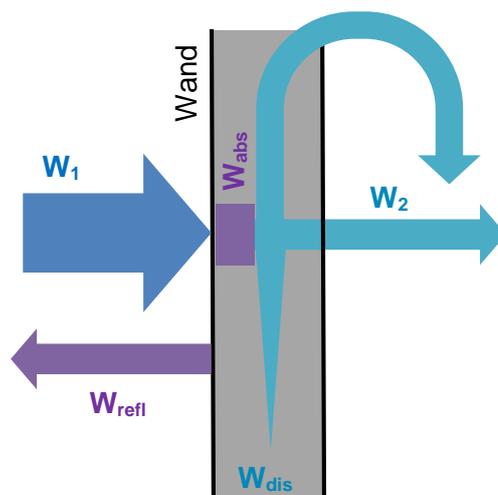


Abb. 5: Prinzipskizze der Schallabsorption einer Wandfläche [9]

Ist die Flächenmasse der Wand gegenüber der von der Schallwelle bewegten Luftmasse groß, so wird der Hauptteil der Schalleistung reflektiert und nur ein kleiner Anteil transmittiert bzw. fortgeleitet. Befindet sich vor der massiven („schallharten“) Wand ein Absorber, wird das Schallabsorptionsverhalten fast ausschließlich durch dessen Dissipation bestimmt. [11]

Für den Fall ebener Schallwellen lässt sich der Schallabsorptionsgrad α [-] gemäß [9] S. 66 bzw. [12] S.20 angeben mit

$$\alpha = \frac{W_{abs}}{W_1} = 1 - |r|^2 = 1 - \left(\frac{p_{refl}}{p_1}\right)^2, \quad (1)$$

wobei p_{refl} [Pa] den Schalldruck der reflektierten Welle, p_1 [Pa] den Schalldruck der einfallenden Welle, r [-] den komplexen Reflexionsfaktor und $|r|^2$ den Reflexionsgrad R [-] bezeichnet. Der komplexe Reflexionsfaktor r [-] einer ausgedehnten Wandfläche lässt sich als Funktion der komplexen Wandimpedanz \underline{Z}_1 [Ns/m³] und des Wellenwiderstandes der Luft Z_0 [Ns/m³] ausdrücken. Die komplexe Wandimpedanz $\underline{Z}_1 = Re\{\underline{Z}_1\} + j \cdot Im\{\underline{Z}_1\}$ [Ns/m³] gibt das Verhältnis von Schalldruck zu wandnormaler Schallschnelle an der Wandoberfläche an. Ist sie bekannt, so kann bei senkrechtem Schalleinfall der Absorptionsgrad nach [12] S. 24 mit

$$\alpha(0^\circ) = 1 - |r|^2 = 1 - \left(\frac{\underline{Z}_1 - Z_0}{\underline{Z}_1 + Z_0}\right)^2 = \frac{4 \cdot Z_0 \cdot Re\{\underline{Z}_1\}}{(Z_0 + Re\{\underline{Z}_1\})^2 + Im\{\underline{Z}_1\}^2} \quad (2)$$

berechnet werden. Der Wellenwiderstand der Luft Z_0 [Ns/m³] ist eine temperatur- und luftdruckabhängige Größe, welche mit dem Produkt aus der Luftdichte ρ_0 [kg/m³] und der Schallgeschwindigkeit in Luft c_0 [m/s] gebildet wird. Nach Formel (2) ist der Absorptionsgrad umso höher, je mehr sich die Wellenwiderstände Z_0 und \underline{Z}_1 gleichen, d.h. je besser die Anpassung des Wandwiderstandes an den Kennwiderstand der Luft ist. Dies bedeutet, dass bei gegebenem Realteil des Wandwiderstandes (Wirkwiderstand) die Absorption höher ist, je niedriger der Imaginärteil des Wandwiderstandes (Blindwiderstand) wird. [9], [12]

Messtechnisch kann der Schallabsorptionsgrad eines Materials durch eine Messung im Kundt'schen Rohr nach EN ISO 10534 oder durch eine Messung im Hallraum gemäß EN ISO 354 bestimmt werden. Bei der Messung im Hallraum wird ein möglichst diffuses Schallfeld erzeugt. Der Absorptionsgrad α_s wird aus der Messung der Nachhallzeit im Hallraum berechnet. Bei einer Messung im Kundt'schen Rohr wird der Absorptionsgrad α_0 für senkrechten Schalleinfall ermittelt. Aufgrund der unterschiedlichen Messbedingungen können der im Hallraum und im Kundt'schen Rohr ermittelte Absorptionsgrad nicht direkt miteinander verglichen werden. Jedoch können sie für eine Reihe von Fällen ineinander übergeführt werden. [13], [14]

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, einen Überblick über vorhandene und mögliche Fassadensysteme sowie deren akustisches Potential zu geben. Daher wurden die Absorptionsgradmessungen im Kundt'schen Rohr durchgeführt. Die Kundt'sche Rohrmessung zeichnet sich durch einen im Vergleich zur Hallraummessung schnelleren bzw. einfacheren Messprobeneinbau aus, wodurch es möglich wurde einen großen Umfang verschiedener Fassadenproben zu untersuchen. Die in der urbanen Umgebung vorhandene Schalleinfallssituation entspricht einem Übergang zwischen senkrechtem und diffusem Schalleinfall. Auf den verwendeten Messaufbau wird in 3.3.1 näher eingegangen.

3.1.2 Einzahl-Angabe zur Bewertung der Schallabsorption

Der frequenzabhängige Schallabsorptionsgrad α kann mithilfe des Bewertungsverfahrens nach ÖNORM EN 1793-1:2013-01 (bzw. DIN EN 1793-1:2013-04) als Einzahlwert DL_α angegeben werden. Die Absorption DL_α , die das standardisierte Verkehrslärmspektrum (gemäß Abschnitt 2.1) berücksichtigt, dient als Basis für die Einteilung von Lärmschutzwänden in die Absorptionsgruppen A1 bis A4, d.h. in „nicht absorbierend“, „absorbierend“ und „hoch absorbierend“ nach ZTV-Lsw 06. [15], [16]

Tab. 4: Einteilung von Lärmschutzwänden ZTV-Lsw 06: Tabelle 1 [15]

Gruppe	Absorption DL_a	
A1	< 4	nicht absorbierend
A2	4 - 7	absorbierend
A3	8 - 11	hoch absorbierend
A4	> 11	

Da die Umgebungsbedingungen urbaner Fassaden mit denen von Lärmschutzwänden vergleichbar sind, wird im Rahmen dieser Arbeit zusätzlich zum Frequenzverlauf der Absorption teilweise auch DL_α angegeben. Die Absorption DL_α berechnet sich gemäß [15] mit

$$DL_\alpha = -10 \cdot \lg \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 \cdot L_i}} \right) [dB], \quad (3)$$

wobei α_i ($\leq 0,99$) den Schallabsorptionsgrad des i -ten Terzbandes darstellt. Laut EN 1793-1 ist in Formel (3) der Absorptionsgrad einer Hallraummessung einzusetzen. Im Zuge dieser Untersuchung wird hierfür jedoch der Absorptionsgrad aus der Impedanzrohrmessung verwendet. Diese Werte wurden nach Anhang F von EN ISO 10534-2:2001 für ein diffuses Schallfeld umgerechnet. Diese Umrechnung ist unter der Annahme eines lokalen Absorbers, d. h. dass Schallausbreitung im Inneren nur normal zur Wandoberfläche erfolgt, gültig. Da

die Messwerte des Kundt'schen Rohres bis ca. 2500 Hz vorliegen, werden alle Werte > 2500 Hz dem Wert bei 2500 Hz gleichgesetzt. Die Werte für L_i sind in Tab. 1 angegeben. [13], [15]–[17]

3.2 Arten von Schallabsorbern

Grundsätzlich lassen sich die in der Praxis üblichen Absorber in poröse Absorber und Resonanzabsorber unterteilen. Auch Kombinationen dieser beiden Schallabsorberarten kommen zur Anwendung (siehe Abb. 6).

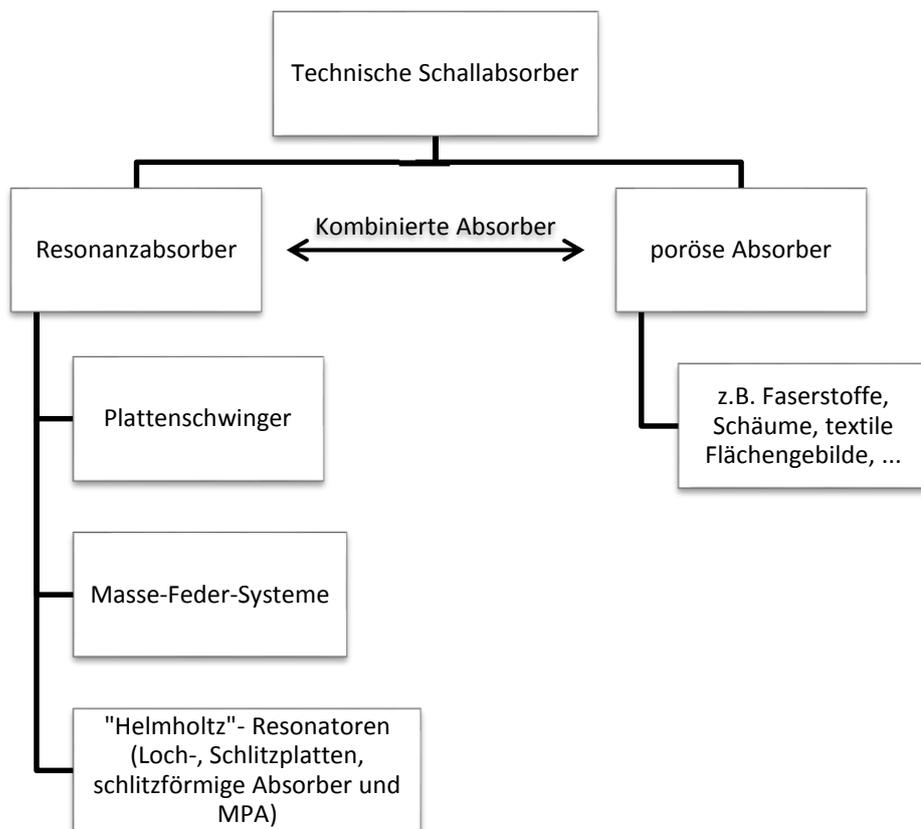


Abb. 6: Einteilung technische Schallabsorber

Wie aus Abb. 7 hervorgeht, besteht ein großer Unterschied im Absorptionsverhalten eines porösen Absorbers im Vergleich zu dem eines Resonanzabsorbers. Resonatoren weisen im Bereich der Resonanzfrequenz eine gute, jedoch schmalbandige Schallabsorption auf. Dieses Resonanzgebiet befindet sich meist im tiefen und mittleren Frequenzbereich. Beim porösen Absorber erhöht sich das Absorptionsvermögen mit der Frequenz, was ihn vor allem zur Absorption von mittleren und hohen Frequenzen einsetzbar macht. Liegt der Frequenzbereich der Störschallquelle nicht in einem dieser zwei Bereiche (tiefe und mittlere Frequenzen bzw. mittlere und hohe Frequenzen), d.h. wird eine gute Absorptionswirkung über einen sehr breiten Frequenzbereich gefordert, so ist es sinnvoll, eine Kombinationen dieser beiden Absorberarten zu verwenden. [9]

Nachfolgend werden die einzelnen Arten von Absorbern näher beschrieben und die für die theoretische Abschätzung des Schallabsorptionsgrades zu Grunde gelegten Berechnungsmodelle erläutert.

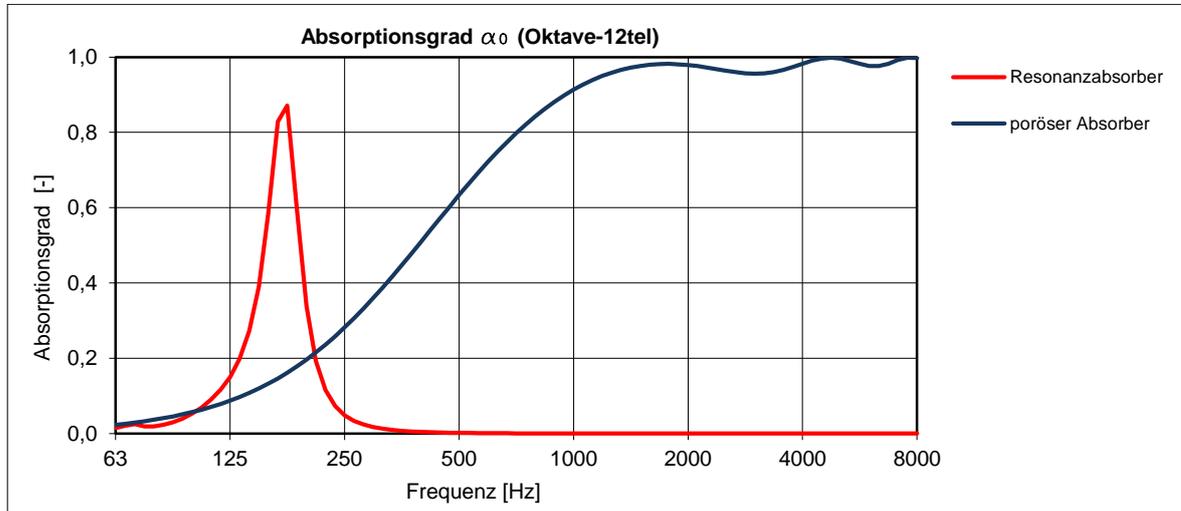


Abb. 7: Prinzipieller Frequenzverlauf des Schallabsorptionsgrades α eines porösen Absorbers und eines Resonators im Vergleich (gemäß [9] S.70 Bild 4.5 mithilfe von [A] modelliert)

3.2.1 Poröse Absorber

Definition und Materialien

Bei einem porösen Absorber entsteht die Absorption durch Reibungs- und Wärmeverluste während der Schallausbreitung im Inneren (d.h. in den Poren) des Absorbers. Hierfür muss zumindest ein Teil der Porenstruktur offen sowie tief und eng genug sein, sodass die Schallwellen in das Innere des Materials eindringen können und dieser Reibungsvorgang stattfindet. Das Schallabsorptionsvermögen wird von den Parametern Porosität σ , Strukturfaktor χ und Strömungswiderstand bzw. -resistenz Ξ eines Materials beeinflusst. [9], [18]

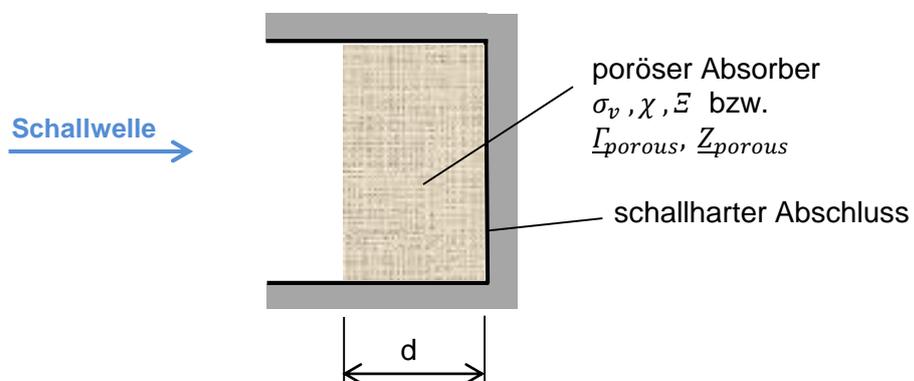


Abb. 8: Poröser Absorber

Poröse Absorber lassen sich in faserige Materialien, offenporige Schäume und haufwerksporige Absorber unterteilen. Übliche faserige Materialien sind Mineral- und Glaswolle. Als offenporige Schaumstoffe werden in der Raumakustik zumeist Polyurethan- und Melaminharzschaum eingesetzt. Vertreter der haufwerksporigen Absorber sind poröser Beton, Sandschüttungen, Sintermetalle usw. [18]

Verwendetes Berechnungsmodell

Maßgebende Parameter

Die **(Volumen-)Porosität** $\sigma_v [-]$ gibt das Verhältnis des nach außen offenen Porenvolumens $V_P [m^3]$ zum Gesamtvolumen des Absorbermaterials $V_A [m^3]$ an. Sie berechnet sich nach [18] S. 90 und S.104 zu

$$\sigma_v = \frac{V_P}{V_A} \approx 1 - \frac{\rho_A}{\rho_M} < 1. \quad (4)$$

Bei überwiegend offenzelligem Material kann die Porosität, wie in Formel (4) gezeigt wird, aus dem Verhältnis der Dichte des porösen Absorbers $\rho_A [kg/m^3]$ zur Dichte des kompakten Ausgangsmaterials zur Herstellung des Absorbers $\rho_M [kg/m^3]$ abgeschätzt werden. Hierbei ist gemäß [19] zu beachten, dass eine raue Oberfläche nicht unbedingt ein Maß für die Porigkeit eines Materials ist, bzw. auch ein Material mit einer glatten Oberfläche eine hohe Porosität haben kann. Des Weiteren wird bei der Porigkeit zwischen geschlossen- und offenporig unterschieden. Geschlossene Poren sind untereinander und mit der Oberfläche des Absorbermaterials nicht verbunden. Dies bedeutet, dass sie für die Luftschallabsorption wirkungslos sind, da die Schallenergie nicht eindringen kann und bereits an der Grenzfläche zwischen Luft und Absorber reflektiert wird. Aus diesem Grund wird für die Berechnung der Porosität σ_v nur das offene Porenvolumen betrachtet. Bei einem mineralischen Faserdämmstoff liegt der Wert der Porosität σ_v gemäß [9] üblicherweise im Bereich zwischen 0,9 und 1,0. [9], [18], [19]

Ein anderer Parameter der Theorie des homogenen Mediums eines porösen Absorbers ist der **Strukturfaktor** $\chi [-]$, der die Porenstruktur bewertet. Die Grunddefinition laut [18] S. 96 lautet

$$\chi = \frac{\sigma_V}{\sigma_S}, \quad (5)$$

wobei $\sigma_V [-]$ die zuvor beschriebene (Volumen-)Porosität und $\sigma_S [-]$ die Flächenporosität angibt. Die Flächenporosität berechnet sich aus dem Verhältnis der Porenfläche zur Gesamtfläche in einer zur Oberfläche des Absorbers parallelen Schnittebene durch das Absorptionsmaterial. Nach dieser Definition ist der Strukturfaktor eine Ortsfunktion, d.h. er

hängt von der Wahl der Schnittebene ab. Werden die Poren des Absorbers nur durch zur Oberfläche senkrecht stehende, parallele Kanäle gebildet, so folgt unabhängig von der Wahl der Schnittebene $\chi = 1$. Sind jedoch auch zur Oberfläche parallele Porenkanäle vorhanden, so ist der Strukturfaktor einer Schnittebene, die nicht durch eine oberflächenparallele Kapillare läuft, gemäß Formel (5) > 1 . Der für den Strukturfaktor zu verwendende Wert hängt allerdings nicht nur von der Formulierung nach Formel (5) ab. Er wird zusätzlich als Korrekturfaktor für Vereinfachungen verwendet, die bei der Berechnung des Absorptionsgrades nach der Theorie des homogenen Mediums getroffen werden (siehe [18] S. 97). [18]

Bei den in der Raumakustik verwendeten Dämmstoffen liegt der Strukturfaktor χ laut [9] üblicherweise zwischen 1,0 und 2,0. Eine Ausnahme bilden hierbei einige Schaumkunststoffe, die Strukturfaktoren bis ca. 10 aufweisen. Um eine hohe Absorptionswirkung zu erzielen, sind eine hohe Porosität und ein niedriger Strukturfaktor anzustreben. Die maximale Porosität beträgt 1,0 und der minimale Strukturfaktor 1,0. [9], [20]

Der **längenbezogene Strömungswiderstand (äußere Strömungsresistenz) ε [Ns/m^4]** eines Absorbers berechnet sich nach [18] S. 96 aus dem Druckabfall Δp [Pa] bei gleichmäßigem Durchströmen eines Absorbers der Dicke d [m] mit der Strömungsgeschwindigkeit vor der Schicht v_{ex} [m/s] zu

$$\varepsilon = -\frac{\Delta p}{v_{ex} \cdot d} \left[\frac{N \cdot s}{m^4} \triangleq \frac{Pa \cdot s}{m^2} \right]. \quad (6)$$

Dieser Widerstand ist von der Poren- bzw. Fasergeometrie des Absorbers abhängig. Vergleicht man beispielsweise zwei Materialien gleichen Porenvolumens und Strukturfaktors, so setzen sie einer gleichmäßigen Durchströmung unterschiedlichen Widerstand entgegen, wenn ihre Porenquerschnitte verschieden groß sind. Das Material mit den engeren Kanälen bietet beim langsamen Durchströmen mit Luft einen größeren Widerstand als das mit den weiteren. Ähnliches gilt auch für den Widerstand den das Material den eindringenden Schallwellen entgegensetzt. Die in der Raumakustik verwendeten Absorber haben gemäß [9] einen längenbezogenen Strömungswiderstand im Bereich von 0,5 bis 500 $kPa \cdot s/m^2$. [9], [18]

Anm.: Ein weiterer Schallabsorptionsmechanismus eines porösen Absorbers sind Skelettschwingungen (z.B. nach Biot [18]). Diese werden beim Berechnungsmodell dieser Masterarbeit nicht berücksichtigt. Um den Einfluss dieses Effekts dennoch abschätzen zu können, wird in 5.1.2 das Ergebnis eines anderen Berechnungsmodells für Vergleichszwecke herangezogen.

Berechnungsmodell

Die Ausbreitungskonstante $\underline{\Gamma}_{porous}$ und die Kennimpedanz \underline{Z}_{porous} eines porösen Absorbers sind komplexe Zahlen und berechnen sich nach der Theorie des homogenen Mediums gemäß [18] S.101 mit

$$\frac{\underline{\Gamma}_{porous}}{k_0} = j \cdot \sqrt{\frac{\kappa + j \cdot E_{eff}/E_0}{1 + j \cdot E_{eff}/E_0} \left(\chi - j \cdot \frac{\sigma_v}{2 \cdot \pi \cdot E_{eff}} \right)} \quad (7)$$

und

$$\frac{\underline{Z}_{porous}}{Z_0} = \frac{1}{\sigma_v} \cdot \sqrt{\frac{1 + j \cdot E_{eff}/E_0}{\kappa + j \cdot E_{eff}/E_0} \left(\chi - j \cdot \frac{\sigma_v}{2 \cdot \pi \cdot E_{eff}} \right)} \quad (8)$$

mit der Absorbervariable

$$E_{eff} = \rho_0 \cdot f / \varepsilon . \quad (9)$$

Dabei ist:

- $\underline{\Gamma}_{porous}$... Ausbreitungskonstante des Absorbers [1/m];
- k_0 ... Wellenzahl der Luft [1/m];
- \underline{Z}_{porous} ... Kennimpedanz des Absorbers [Ns/m³];
- Z_0 ... Schallkennimpedanz der Luft = $\rho_0 \cdot c_0$ [Ns/m³];
- κ ... Adiabatenexponent für Luft [-];
- E_{eff} ... Absorbervariable [-];
- E_0 ... Absorbervariable bei der Relaxationskreisfrequenz [-];
- χ ... Strukturfaktor [-];
- σ_v ... Volumenporosität des Absorberrmaterials [-];
- ρ_0 ... Dichte der Luft [kg/m³];
- f ... Frequenz [Hz];
- ε ... längenspezifischer Strömungswiderstand des Absorberrmaterials [Ns/m⁴].

Daraus kann laut [17] S. 41 die Wandimpedanz \underline{Z}_1 eines vor einer schallharten Wand angeordneten, porösen, homogenen Absorberrmaterials der Dicke d [m] bei senkrechtem Schalleinfall mit

$$\underline{Z}_1 = \underline{Z}_{porous} \cdot \coth(\underline{\Gamma}_{porous} \cdot d) \quad (10)$$

ermittelt werden. Eingesetzt in Formel (2) folgt daraus der Schallabsorptionsgrad.

3.2.2 Plattenresonatoren (Masse-Feder-Systeme)

Definition und Materialien

Ein (einschichtiger) Plattenresonator bzw. -schwinger kann in physikalischer Hinsicht als Masse-Feder-System aufgefasst werden, bei dem aufgrund der Biegesteifigkeit der Platte Platteneigenschwingungen auftreten. Die in einem Abstand vor der schallharten Wand angeordnete dünne, aber dichte Platte stellt die Masse dar und der dahinter liegende, schallhart abgeschlossene Luftraum die Feder. Wird dieses System durch das Schallfeld mit seiner Resonanzfrequenz angeregt, so wird dem Schallfeld besonders viel Energie entzogen und die Anordnung erreicht ihre maximale Schallabsorption. [9], [21], [22]

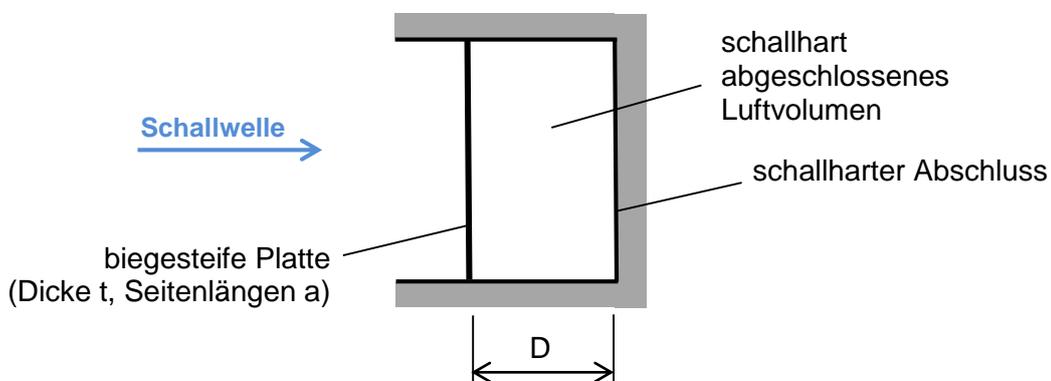


Abb. 9: Einschichtiger Plattenresonator [21]

Übliche Materialien für Plattenschwinger sind Gipskarton-, Sperrholz-, Holzspan- und Holzfaserplatten, Holzverkleidungen, Glasscheiben sowie steife Folien. Diese Platten werden mithilfe von Ständerkonstruktionen aus Holz oder Metallprofilen vor der schallharten Wand angebracht. Durch die Einhaltung von Mindestabständen muss gewährleistet werden, dass die Platte frei schwingen kann. Um die Schallabsorptionswirkung zu erhöhen bzw. den Resonanzbereich zu verbreitern, kann in den Luftraum zwischen Platte und Wand ein faseriger oder offenporiger Dämmstoff lose eingebaut werden. [9]

Verwendetes Berechnungsmodell

Plattenschwinger

Die Wandimpedanz \underline{Z}_1 [Ns/m^3] eines einschichtigen Plattenresonators, der aus einer biegesteifen quadratischen Platte vor einem schallhart abgeschlossenen Luftvolumen besteht, kann laut [21] mithilfe der „Additionsregel für Impedanzen“ (d.h. einer Reihenschaltung) für senkrechten Schalleinfall mit

$$\underline{Z}_1 = \underline{Z}_P + \underline{Z}_T \quad (11)$$

berechnet werden. Hierbei beschreibt $\underline{Z}_P [Ns/m^3]$ die Wirkung aus den Platteneigenschwingungen und die Transferimpedanz $\underline{Z}_T [Ns/m^3]$ den Impedanzanteil des Luftvolumens vor schallhartem Wandabschluss am Ort der schwingenden Platte. Bei diesem Berechnungsmodell nach [21] ergibt sich die Transferimpedanz aus

$$\underline{Z}_T = -j \cdot Z_0 \cdot \cot\left(\frac{\omega \cdot D}{c_0}\right) \quad (12)$$

und die Parallelschaltung der einzelnen Platteneigenschwingungen \underline{Z}_{mn} wird mit

$$\underline{Z}_P = \frac{1}{\sum_m \sum_n \frac{1}{\underline{Z}_{mn}}} \quad m, n = 1, 3, 5, \dots \quad (13)$$

ermittelt. Die einzelnen Platteneigenschwingungen \underline{Z}_{mn} errechnen sich zu

$$\underline{Z}_{mn} = \frac{B' \cdot B_{mn} \cdot g_{mn}}{\omega \cdot a^4} + j \cdot \left[\omega \cdot m' \cdot A_{mn} - \frac{B' \cdot B_{mn}}{\omega \cdot a^4} \right] \quad (14)$$

mit

$$B' = \frac{E \cdot t^3}{12 \cdot (1 - \mu_P^2)} \quad (15)$$

Da von senkrechtem Schalleinfall ausgegangen wird, können sich nur symmetrische Moden (mit ungeradem m und n) ausbilden. [21]

Dabei ist:

- B' ... „Biegesteifigkeit“ der Platte (ohne Berücksichtigung der Seitenlänge a der Platte) $[Nm]$;
- A_{mn}, B_{mn} ... von der Plattenlagerung abhängige Konstanten $[-]$ (siehe [23]; Beispielsweise gilt für die momentenfrei aufgestützte Platte: $A_{mn} = m^2 \cdot n^2 \cdot \pi^4 \cdot \frac{1}{64}$ und $B_{mn} = A_{mn} \cdot \pi^4 \cdot (m^2 + n^2)^2$ [22]);
- g_{mn} ... Verlustfaktor der Moden m, n $[-]$;
- a ... Seitenlängen der quadr. Platte $[m]$;
- m' ... flächenbezogene Masse der Platte $[kg/m^2]$;
- E ... Elastizitätsmodul der Platte $[N/m^2]$;
- t ... Plattendicke $[m]$;
- μ_P ... Poisson'sche Querkontraktionszahl $[-]$.

Nach [21] kann die Resonanzfrequenz f_{mn} unter der Voraussetzung, dass sich die einzelnen Plattenmoden nicht gegenseitig beeinflussen, berechnet werden. Dabei wird der Imaginärteil von $\underline{Z}_{mn} + \underline{Z}_T$ zu Null gesetzt. Es folgt

$$f_{mn} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{m' \cdot A_{mn}} \left(\frac{B' \cdot B_{mn}}{a^4} + \frac{\rho_0 \cdot c_0^2}{D} \right)} \quad [\text{Hz}]. \quad (16)$$

Masse-Feder-Systeme

Im vorhergehenden Abschnitt wird angenommen, dass die „Platte“ biegesteif ist. Betrachtet man jedoch den Grenzfall einer schlaffen, ungespannten Folie mit sehr geringer Biegesteifigkeit, so vereinfacht sich laut [22] Formel (14) zu

$$\underline{Z}_P = j \cdot \omega \cdot m'. \quad (17)$$

Grenzt ein schallhart abgeschlossenes Luftvolumen an die biegeweiche Folie, so ergibt sich \underline{Z}_1 aus der Reihenschaltung analog zu den Formeln (11) und (12), woraus die Beschreibung eines einfachen Masse-Feder-Systems (ohne Reibungsverluste) folgt. Befindet sich hingegen zwischen der (biegeweichen oder biegesteifen) „Platte“ und der schallharten Wand ein poröser Absorber, so berechnet sich gemäß [22] diese Reihenschaltung mithilfe von Formel (10) zu

$$\underline{Z}_1 = \underline{Z}_P + \underline{Z}_A = \underline{Z}_P + \underline{Z}_{porous} \cdot \coth(\Gamma_{porous} \cdot D_{porous}). \quad (18)$$

3.2.3 Loch- und Schlitzplattenresonatoren (MPA)

Definition und Materialien

Wie beim Plattenresonator handelt es sich bei Schlitz- und Lochplattenresonatoren um verlustbehaftete Masse-Feder-Systeme. Der prinzipielle Aufbau besteht aus einer geschlitzten oder gelochten Platte, die in einem Abstand zur schallharten Wand angebracht wird. Die schwingende Masse des Systems wird von der in den Löchern bzw. Schlitzfenstern vorhandenen Luftmasse gebildet, die auf dem dahinter liegenden Luftraum (zwischen Platte und schallharter Wand), der die Feder darstellt, schwingt. Dies entspricht dem physikalischen Grundprinzip eines Helmholtz-Resonators. [9], [21]

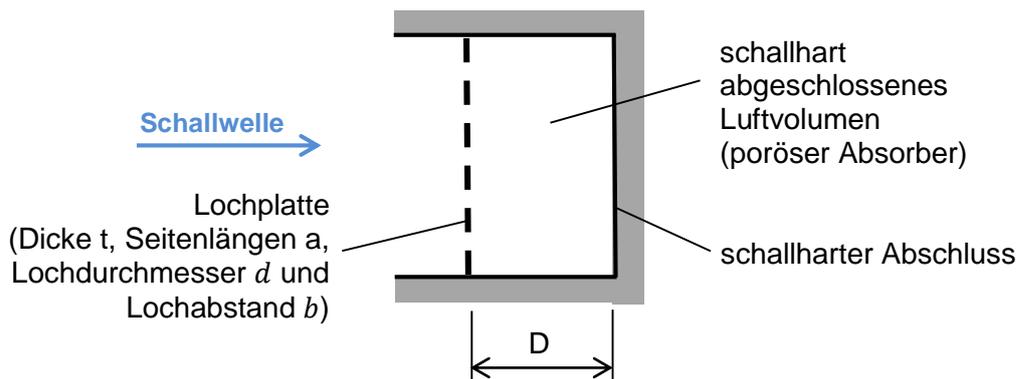


Abb. 10: Einschichtiger Plattenresonator

Dieses System weist nur dann einen beachtenswerten Absorptionsgrad auf, wenn die Lochgeometrie im Größenbereich der akustischen Grenzschicht liegt. Dies ist bei mikroperforierten Absorbern (MPA) der Fall. Die aus der kleinen Lochgröße folgende hohe inhärente Dämpfung kommt durch viskose Reibungskräfte der Luftströmungsschicht über den gesamten Lochquerschnitt und durch die Verluste der nicht-adiabaten Zustandsänderungen im Nahbereich der Lochwänden zustande. Ist die Lochgeometrie größer als die von der akustischen Grenzschicht eingenommene Fläche, so kann durch den Einbau eines faserigen oder offenporigen Dämmstoffes im Zwischenraum das Absorptionsverhalten verbessert werden. Eine weitere Möglichkeit besteht im Aufspannen eines Strömungswiderstandes, beispielsweise eines Gewebes oder Vlieses, unmittelbar vor oder hinter der Schlitz- bzw. Lochplatte. [9], [20], [21]

Verwendetes Berechnungsmodell

Lochplatten (MPA)

Wie beim Plattenresonator ergibt sich die Wandimpedanz \underline{Z}_1 eines Lochplattenresonators aus einer Reihenschaltung der Impedanz der Lochplatte \underline{Z}_L und der Transferimpedanz \underline{Z}_T , der dahinter liegenden schallhart abgeschlossenen Luftschicht. Es folgt gemäß [21] analog zu Formel (11)

$$\underline{Z}_1 = \underline{Z}_{LP} + \underline{Z}_T . \quad (19)$$

Die Transferimpedanz \underline{Z}_T wird nach Formel (12) berechnet. Befindet sich anstatt der Luftschicht ein poröser Absorber im Zwischenraum, so wird in Formel (19) \underline{Z}_T durch \underline{Z}_A von Formel (10) ersetzt.

Unter der Annahme, dass die Biegesteifigkeit der Platte durch die Lochung nicht verändert wird, ergibt sich die komplexe Impedanz einer schwingungsfähigen Lochplatte \underline{Z}_{LP} laut [21] zu

$$\underline{Z}_{LP} = \frac{\underline{Z}_P \cdot \underline{Z}_H}{\underline{Z}_P + \underline{Z}_H} \quad (20)$$

Dies entspricht einer Parallelschaltung der Impedanz \underline{Z}_H der Löcher und der Impedanz \underline{Z}_P einer schwingfähigen quadratischen Platte laut Formel (13). Die Impedanz der Luftpropfen in den Löchern (inkl. Mündungskorrekturfaktoren) lässt sich nach [21] abschätzen mit

$$\underline{Z}_H \approx \rho_0 \cdot c_0 \cdot \left[\frac{32 \cdot \mu}{\varepsilon \cdot c_0} \cdot \frac{t}{d^2} \left(\sqrt{1 + \frac{x^2}{32} + \frac{x \cdot \sqrt{2}}{8} \cdot \frac{d}{t}} \right) + j \cdot \frac{\omega \cdot t}{\varepsilon \cdot c_0} \right] \cdot \left(1 + \frac{1}{\sqrt{9 + \frac{x^2}{2}}} + 0,85 \cdot \frac{d}{t} \right) \quad (21)$$

wobei das Maß für den Lochradius x [-] und der Lochflächenanteil ε [-] gegeben sind mit

$$x = \sqrt{\frac{\omega \cdot \rho_0}{\eta}} \cdot \frac{d}{2} = \sqrt{\frac{\omega}{\mu}} \cdot \frac{d}{2} \quad \text{und} \quad \varepsilon = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{d^2}{b^2}.$$

Der erste Term von \underline{Z}_H entspricht dem Reibanteil und der zweite der schwingenden Masse der Luftpropfen. Die „Federsteifigkeit“ des Masse-Feder-Systems wird in Formel (19) mit \underline{Z}_T berücksichtigt. Die Formelzeichen in Formel (21), welche nicht in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben sind, lauten:

- d ... Durchmesser der Löcher [m];
- b ... Lochabstand [m];
- η ... dynamische Viskosität der Luft [kg/(m · s)];
- μ ... kinematische Zähigkeit der Luft = η/ρ_0 [m²/s].

Besteht die Platte aus einem gut wärmeleitenden Material, wie beispielsweise einem Metall, so können die daraus resultierenden, zusätzlichen Verluste mit einer Anhebung der kinematischen Zähigkeit in Formel (21) $\mu \rightarrow \mu + \Delta\mu$ einbezogen werden. In der vorliegenden Arbeit wird, wie in [21] angegeben, für $\mu = 1,56 \cdot 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$ und für Metall $\Delta\mu = 2 \cdot 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$ verwendet. Des Weiteren werden für die Mündungskorrekturen die Werte nach [18] S.685 angesetzt. [21]

Für die Helmholtz-Resonanzfrequenz f_H für ein nicht mitschwingendes, „vollkommen starres“ Plattenmaterial folgt laut [21]

$$f_H = \frac{c_0}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon}{t \cdot \left(1 + \frac{1}{\sqrt{9 + \frac{x^2}{2}}} + 0,85 \cdot \frac{d}{t}\right)} \cdot D} \quad [Hz]. \quad (22)$$

Dieses Berechnungsverfahren kann nach [24] auch für Werte von x zwischen 1 und 10 mit einem max. Fehler zur Lösung der Impedanz nach Crandall von rd. 6% verwendet werden. Bei Werten für $x < 1$ und > 10 stimmen die Lösungen von Crandall und Maa gut überein. Somit können mit dieser Theorie auch „normale“ Lochplatten (d.h. ohne Mikroperforierung) modelliert werden.

Schlitzförmige Absorber

Zur Berechnung eines schlitzförmigen Absorbers wird ein Modell gewählt, das eine Schlitzplatte der Dicke t mit dahinter liegender, poröser Absorbenschicht der Dicke D_{porous} vor schallharter Rückwand beschreibt. Der Schlitzabstand sei mit b und die Schlitzbreite mit d gegeben. Bei parallelen Schlitzern ergibt sich der Perforationsgrad ε aus dem Quotienten d/b . Bei diesem Berechnungsmodell wird berücksichtigt, dass es erst wieder nach einer gewissen Laufstrecke der Schallwelle im porösen Absorber zu einer ebenen Wellenausbreitung kommt. Dies lässt sich auf das annähernd linienförmige Schalleindringen und die Einschnürung im Bereich der Schlitzze zurückführen. Es ist mit dem Verhalten einer ebenen Welle hinter einem Beugungsgitter vergleichbar. [22]

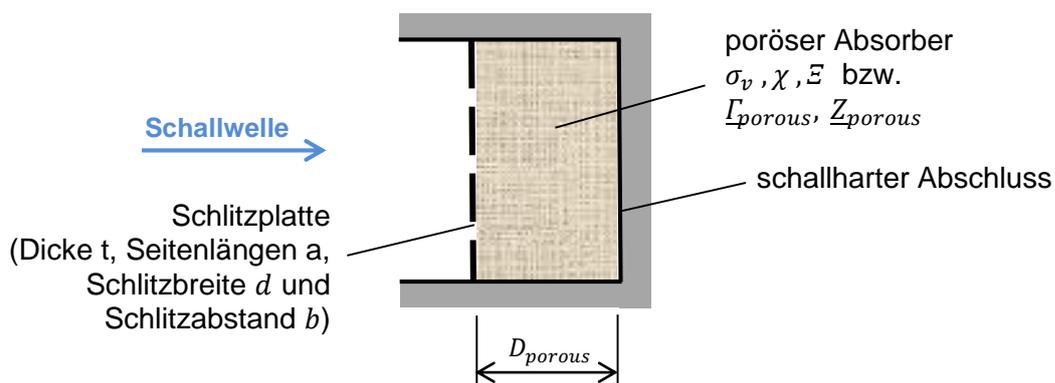


Abb. 11: Schlitzförmiger Absorber [22]

Die auf die gesamte Wandoberfläche bezogene Wandimpedanz \underline{Z}_1 berechnet sich laut [22] mit

$$\underline{Z}_1 = \underline{Z}_A + \underline{Z}_S \quad (23)$$

Die Impedanz der Absorberschicht \underline{Z}_A , die die ebene Wellenausbreitung im Absorber beschreibt, ergibt sich aus Formel (10) zu

$$\underline{Z}_A = \underline{Z}_{porous} \cdot \coth(\underline{\Gamma}_{porous} \cdot D_{porous}) \quad (24)$$

Die durch die Schlitze, die als in bestimmten Abständen angeordnete Linienquellen wirken, erzeugte Schallausbreitung wird gemäß [22] mit der Impedanz

$$\underline{Z}_S = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \left[\frac{b^2}{d \cdot \pi^3} \cdot \underline{Z}_{porous} \cdot \underline{\Gamma}_{porous} \cdot \left(\sin \left(\frac{\pi \cdot d}{b} \right) \right)^{\frac{3}{2}} + j \cdot \omega \cdot m_s'' \right] \quad (25)$$

ermittelt. m_s'' betrachtet die pro Schlitz schwingende Luftmasse mit ihrer zugehörigen Mündungskorrektur, welche jedoch hier nur einseitig (auf der schallzugewandten Seite) angesetzt wird. Für diese Arbeit folgt sie aus [18] S. 684f. Formel (25) gibt eine Näherung für Schichtdicken $D_{porous} > 10\text{mm}$ an. [22]

3.2.4 Mehrschichtige Absorber

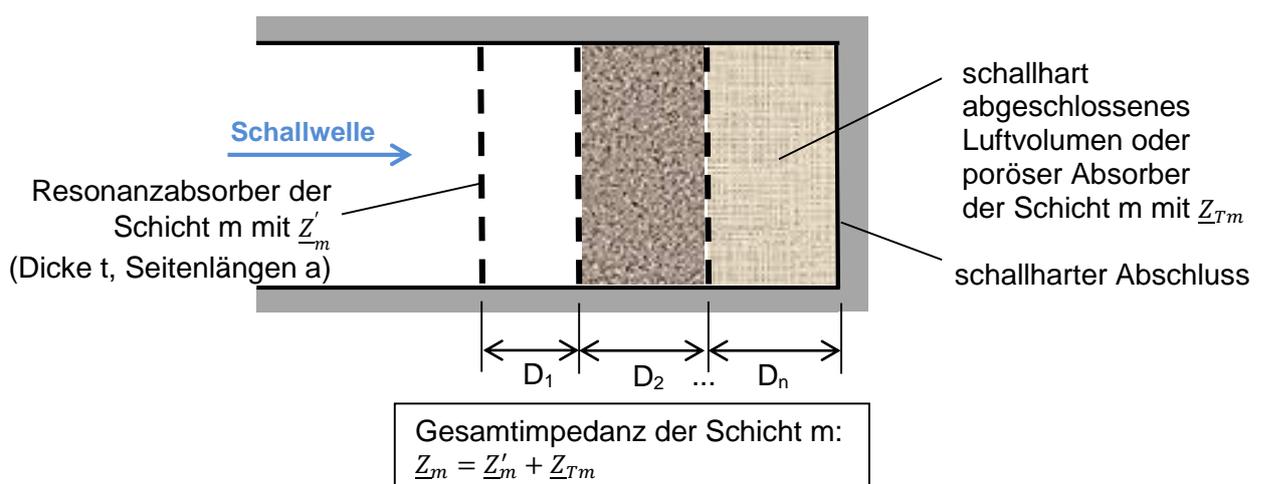


Abb. 12: Mehrschichtiger Absorber [21]

Um die Impedanz eines mehrfach geschichteten Absorbers gemäß [21] mit n Schichten zu ermitteln, werden zunächst die Trennimpedanzen \underline{Z}'_m der einzelnen Resonanzabsorberschichten nach Formel (13) für eine Platte, nach Formel (20) für eine schwingungsfähige Lochplatte, nach Formel (21) für eine starre Lochplatte oder nach Formel (25) für eine starre Schlitzplatte berechnet. Wie aus Abb. 12 hervorgeht, wird angenommen, dass jede einzelne Schicht aus einem Luftvolumen oder einer porösen Absorberschicht mit davor angeordnetem Resonanzabsorber (d.h. einer Platte) besteht. [21]

Die Berechnung eines mehrschichtigen Absorbers erfolgt rekursiv. Die Transferimpedanz für die an der schallharten Wand gelegene Schicht $m = n$ wird berechnet nach Formel (12), wenn es sich um ein schallhart abgeschlossenes Luftvolumen handelt, oder nach Formel (10), wenn es eine poröse Absorber-Schicht ist. Anschließend wird durch Addition der Transferimpedanz der Schicht $m = n$ mit der Trennimpedanz des Resonanzabsorbers der Schicht $m = n$ nach Formel (26) die Impedanz \underline{Z}_n ermittelt, die die Randbedingung für die Transferimpedanz der Schicht $m = n - 1$ darstellt. Nach [21] folgt

$$\underline{Z}_m = \underline{Z}'_m + \underline{Z}_{Tm} , \text{ mit } m = n \text{ bis } m = 1 . \quad (26)$$

Hierbei ist die Transferimpedanz der Schicht $m = n - 1$ gemäß [21] gegeben mit

$$\underline{Z}_{Tm} = \rho_0 \cdot c_0 \cdot \frac{-j \cdot \cot\left(\frac{\omega \cdot D_m}{c_0}\right) \cdot \underline{Z}_{m+1} + \rho_0 \cdot c_0}{-j \cdot \rho_0 \cdot c_0 \cdot \cot\left(\frac{\omega \cdot D_m}{c_0}\right) + \underline{Z}_{m+1}} , \quad (27)$$

wenn ein schallhart abgeschlossenes Luftvolumen die Zwischenschicht bildet. Handelt es sich um einen porösen Absorber, so sind in Formel (27) $\Gamma_{porous,m}$ und $D_{porous,m}$ zu berücksichtigen, bzw. der \coth zu verwenden. Die Transferimpedanz der Schicht $m = n - 1$ wird nach Formel (26) zur Trennimpedanz des Resonanzabsorbers der Schicht $m = n - 1$ addiert und bildet somit die Randbedingung für Schicht $m = n - 2$ usw... Diese Rekursion wird bis $m = 1$ durchgeführt, womit die Gesamtwandimpedanz des geschichteten Absorbers mit \underline{Z}_1 gegeben ist. [17], [21]

3.3 Verwendete Messprinzipien und -einrichtungen

3.3.1 Schallabsorptionsgrad α_0 bei senkrechtem Schalleinfall

Messaufbau

Die Messungen des Schallabsorptionsgrades α_0 [–] wurden bei senkrechtem Schalleinfall im Kundt'schen Rohr (Impedanzrohr) mithilfe des „Ein-Mikrophon-Verfahrens“ nach EN ISO 10534-2: 2001-06 durchgeführt. Der Prüfaufbau, wie in Abb. 13 dargestellt, besteht aus einem Rohr, an dessen einem Ende sich ein Lautsprecher und am anderen der eingebaute Prüfkörper vor schallhartem Abschluss befindet. Mithilfe eines Rauschgenerators werden im Rohr ebene Wellen erzeugt. Der Schalldruck des generierten Interferenzfeldes wird an zwei Mikrophonorten im Rohr gemessen (Mikropos. 1 und Mikropos. 2) und mithilfe eines digitalen Frequenzanalyse-Systems (FFT) ausgewertet. Die für die Signalverarbeitung verwendeten Einstellungen sind in Tab. 5 gegeben. Daraus berechnet sich die komplexe akustische Übertragungsfunktion bzw. der Schallabsorptionsgrad α_0 bei senkrechtem Schalleinfall. [13]

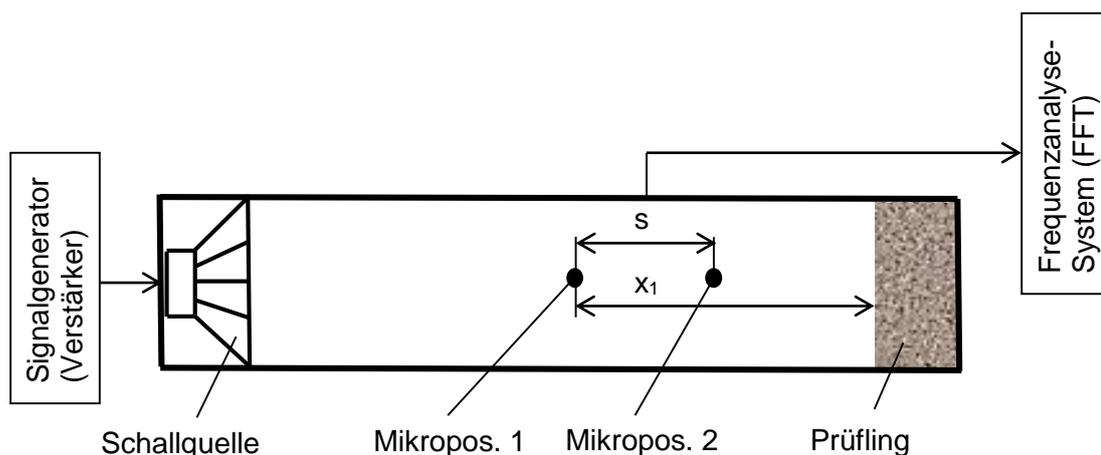


Abb. 13: Messaufbau Schallabsorptionsgrad - Systemskizze [13]

Tab. 5: Verwendete Einstellungen der Signalverarbeitung

Software: ImpAKT 1.0.92	
FFT	8192
automatisch:	
Abtastfrequ.	4000 Hz für Teilmessung 1 ($s_1 = 0,20 \text{ m}$) 8000 Hz für Teilmessung 2 ($s_2 = 0,05 \text{ m}$)
Mittelungen	20
Intervalle	1/12-Oktaven

Nach EN ISO 10534-2: 2001-06 ist die untere Arbeitsfrequenz f_l durch die Messgenauigkeit der Signalverarbeitung begrenzt. Obwohl f_l nach dieser Forderung für das gegebene Messsystem < 100 Hz ist, werden für diese Arbeit die Messergebnisse ab ca. 100 Hz als aussagekräftig betrachtet, da der Frequenzbereich $< \text{rd. } 100$ Hz (nach [25] < 125 Hz) beim Einbau von schlecht absorbierenden Materialien fast ausschließlich von der „Restabsorption“ des Rohres bestimmt wird. Das Impedanzrohr aus Stahl hat einen quadratischen Querschnitt mit einer Seitenlänge von $a_{\text{Rohr}} = 200\text{mm}$ (innen), somit ergibt sich gemäß EN ISO 10534-2 die obere Arbeitsfrequenz f_u zu

$$f < f_u = 0,5 \cdot \frac{c_0 \text{ bei } 24^\circ\text{C}}{a_{\text{Rohr}}} \rightarrow 0,5 \cdot \frac{346 \text{ [m/s]}}{0,20 \text{ [m]}} = 865 \text{ Hz.} \quad (28)$$

Um diesen nutzbaren Frequenzbereich zu erweitern, wurden je Mikrofonposition vier Mikrophone angeordnet. Dadurch werden die Quermoden q , wie in [26] beschrieben, bis einschließlich der dritten ausgeblendet und die obere Arbeitsfrequenz erhöht sich, in Anlehnung an [10] Formel (6.2) auf

$$f_u = \frac{q \cdot c_0 \text{ bei } 24^\circ\text{C}}{2 \cdot a_{\text{Rohr}}} \rightarrow \frac{3 \cdot 346 \text{ [m/s]}}{2 \cdot 0,20 \text{ [m]}} = 2595 \text{ Hz} \approx 2500 \text{ Hz.} \quad (29)$$

Da auch der Abstand der Mikrophone die obere Arbeitsfrequenz f_u begrenzt, wurden jeweils zwei Messungen mit verschiedenen Mikrofonabständen durchgeführt. Für die erste Teilmessung wurde ein Abstand $s_1 = 0,20 \text{ m}$ für den Frequenzbereich $100 \leq f_1 < 400 \text{ Hz}$ und für die zweite ein Abstand $s_2 = 0,05 \text{ m}$ für den Frequenzbereich $400 \leq f_2 \leq 2500 \text{ Hz}$ gewählt. Dies erfüllt die Forderungen von EN ISO 10534-2 mit

$$f_{u,1} = 400 \text{ Hz} < 0,45 \cdot \frac{c_0 \text{ bei } 24^\circ\text{C}}{s_1} \rightarrow 0,45 \cdot \frac{346 \text{ [m/s]}}{0,20 \text{ [m]}} = 779 \text{ Hz,} \quad (30)$$

$$f_{u,2} = 2500 \text{ Hz} < 0,45 \cdot \frac{c_0 \text{ bei } 24^\circ\text{C}}{s_2} \rightarrow 0,45 \cdot \frac{346 \text{ [m/s]}}{0,05 \text{ [m]}} = 3114 \text{ Hz,} \quad (31)$$

$$s_1 = 0,20\text{m} > 0,05 \cdot \frac{c_0 \text{ bei } 24^\circ\text{C}}{f_{l,1}} \rightarrow 0,05 \cdot \frac{346 \text{ [m/s]}}{100 \text{ [1/s]}} = 0,17 \text{ m} \quad (32)$$

und
$$s_2 = 0,05\text{m} > 0,05 \cdot \frac{c_0 \text{ bei } 24^\circ\text{C}}{f_{l,2}} \rightarrow 0,05 \cdot \frac{346 \text{ [m/s]}}{400 \text{ [1/s]}} = 0,04 \text{ m.} \quad (33)$$

Damit Nahverzerrungen des akustischen Feldes im Bereich des Probekörpers nicht die Messung des Schalldruckes beeinflussen, wird für nicht strukturierte Prüfmaterialien nach dieser Norm ein Mindestabstand von $0,5 \cdot a_{\text{Rohr}} = 0,5 \cdot 0,20 \text{ m} = 0,10 \text{ m}$ vorgeschlagen. Bei einem gegebenen Abstand von $x_1 - s = 0,281 \text{ m}$ (siehe Abb. 13) wurde die maximal einbaubare Probentiefe auf $0,15\text{m} < 0,281 - 0,10 = 0,18 \text{ m}$ begrenzt. [10], [13], [26]

Der Randanschluss der Prüflinge mit einer Abmessung von 199 auf 199 mm wurde mit Terostat (Plastizin) und der Rohrdeckel mit Vaseline abgedichtet. Prüfmaterialien mit geringer Materialdichte, wie z.B. EPS, wurden mithilfe von doppelseitigem Klebeband mit der Rückwand verklebt, um unerwünschte Luftspalte und Schwingbewegungen zu verhindern.

Anm.: Von denen in EN ISO 10534-2 Anhang A festgelegten Vorprüfungen wurden vom Verfasser dieser Arbeit lediglich die in A.1.2 und A.1.3 beschriebenen Messungen der Temperatur und des Luftdruckes vor jeder Messreihe ausgeführt. Auch wurde teilweise nur ein Prüfling eines Fassadensystems ohne Wiederholungsmessung unter gleichen Montagebedingungen untersucht. [13]

Validierung der Messungen

Zur Validierung der Messungen bzw. zur Überprüfung auf systematische und zufällige Fehler wurden drei verschiedene Methoden angewandt, die im Folgenden näher beschrieben werden.

Leerrohrmessung

Vor jeder Messreihe wurde eine Schallabsorptionsgrad-Messung des leeren Rohres mit schallhartem Abschluss zur Bestimmung der „Restabsorption“ vorgenommen. Diese gibt unter anderem Auskunft über die Dichtigkeit des Rohres, womit ein solcher systematischer Fehler ermittelt bzw. durch zusätzliche Abdichtungsmaßnahmen begrenzt werden kann. Abb. 14 zeigt die Leerrohrmessungen von vier verschiedenen Messreihen in Terzen.

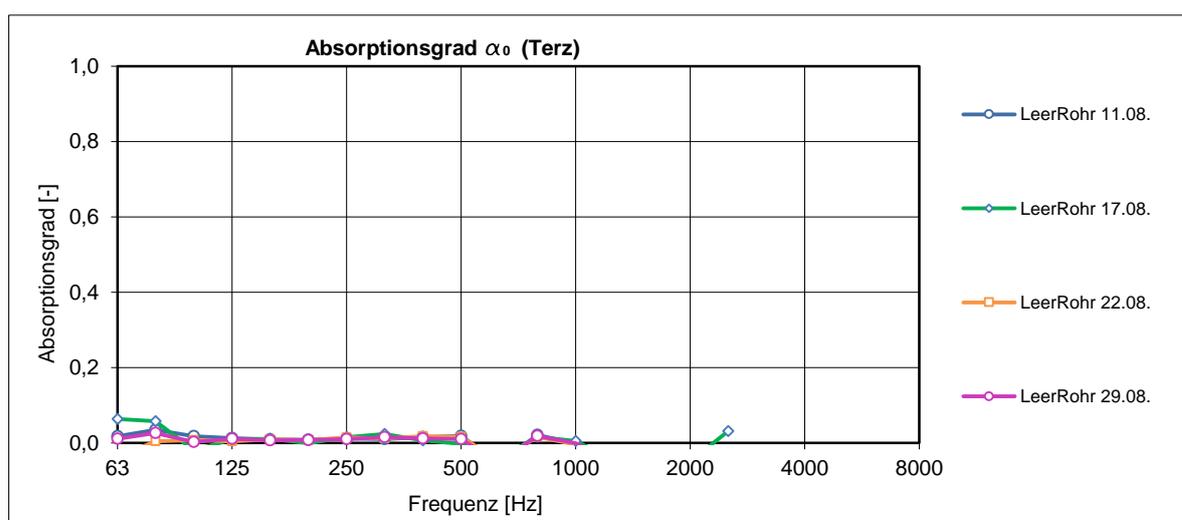


Abb. 14: Leerrohrmessung in Terz (22-26°C, 96300-97600 Pa)

Wiederholungsmessung

Zur Überprüfung der Wiederholungsmessgenauigkeit wurde für drei Proben verschiedenen Materials eine zweite Messung im Zuge einer anderen Messreihe durchgeführt. Abb. 15 zeigt die Ergebnisse für eine unbeschichtete Steinwolle-Putzträgerplatte, eine Steinwolle-Lamellenplatte und eine EPS-Probe. Durch den zweimaligen Einbau derselben Probe können Materialstreuungen ausgeschlossen werden und etwaige Abweichungen der Messergebnisse sind auf den Probeneinbau bzw. zufällige Fehler des Messsystems zurückzuführen. Wie aus Abb. 15 hervorgeht, stimmen die Ergebnisse der beiden Messungen von hoch absorbierenden Materialien, wie z.B. Steinwolle, sehr gut überein. Für geschlossenzelliges EPS, das nicht als poröser Absorber wirkt, sind die Abweichungen größer, da die Einbausituation die Resonanzfrequenz der „Plattenschwingung“ nennenswert beeinflusst. In Bezug auf die seitliche Lagerung wird zwischen gleitend und geklemmt unterschieden, wobei die reale Einbaubedingung zumeist dazwischen liegt.

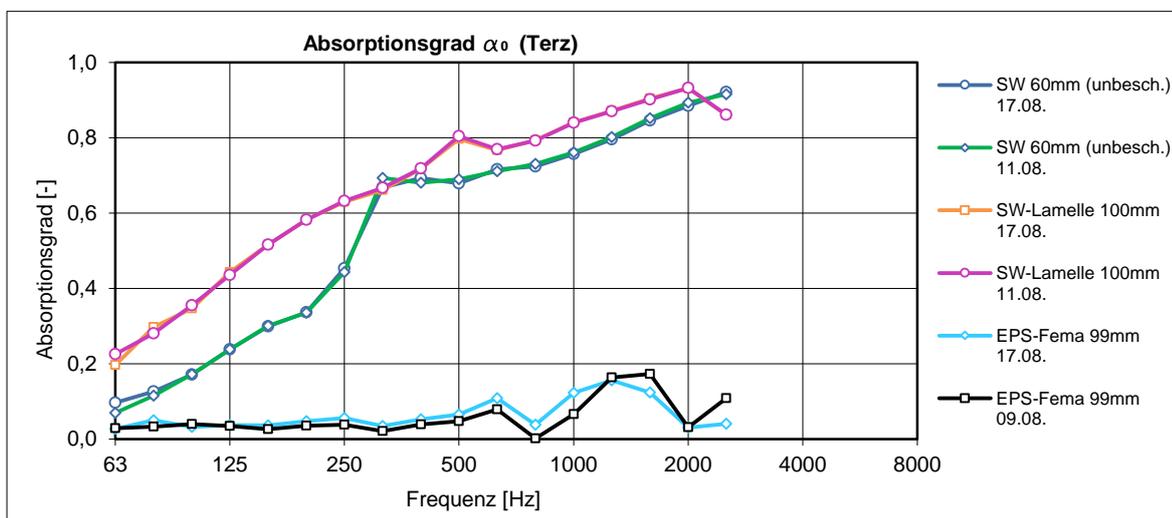


Abb. 15: Wiederholungsmessung mit verschiedenen Materialien (23-24°C, 96300-97400 Pa)

Vergleichsmessung

Um systematische Fehler des verwendeten Messsystems zu detektieren, wurde für ein ausgewähltes Material eine Vergleichsmessung in einem anderen, runden Impedanzrohr mithilfe des „Zwei-Mikrophon-Verfahrens“ (matched pair) nach EN ISO 10534-2: 2001-06 gemacht. Die Randbedingungen für die Messung im runden Impedanzrohr mit einem Durchmesser von 100 mm und einem Mikrophon je Mikrophonposition sind in Tab. 6 zusammengefasst.

Tab. 6: Verwendete Randbedingungen der Vergleichsmessung im runden Rohr

Software: ImpAKT	
FFT	8192
Arbeitsfrequenzber. Rohr	100 bis rd. 2000 Hz
Abstand der Mikrophone von der Probenoberfläche:	
Teilmessung 1 (100 bis 1000 Hz)	$x_1 = 0,34 \text{ m}; x_2 = 0,20 \text{ m}$ → $s_{\text{Messung 1}} = 0,14 \text{ m}$
Teilmessung 2 (1001 bis 1998 Hz)	$x_1 = 0,27 \text{ m}; x_2 = 0,20 \text{ m}$ → $s_{\text{Messung 2}} = 0,07 \text{ m}$
Mittelungen	20
Intervalle	Herz

Die quadratische und die kreisförmige Probe stammen aus derselben Platte. Die beiden Prüflinge wurden jedoch aus unterschiedlichen Plattenbereichen herausgeschnitten, womit Materialstreuungen nicht auszuschließen sind. Die größte Abweichung der beiden Messergebnisse liegt bei 800 Hz mit einem Unterschied des Absorptionsgrades von $\Delta\alpha = 0,09 [-]$ bei 24 mm dicker und $\Delta\alpha = 0,05 [-]$ bei 65 mm dicker REAPOR®-Plattenprobe.

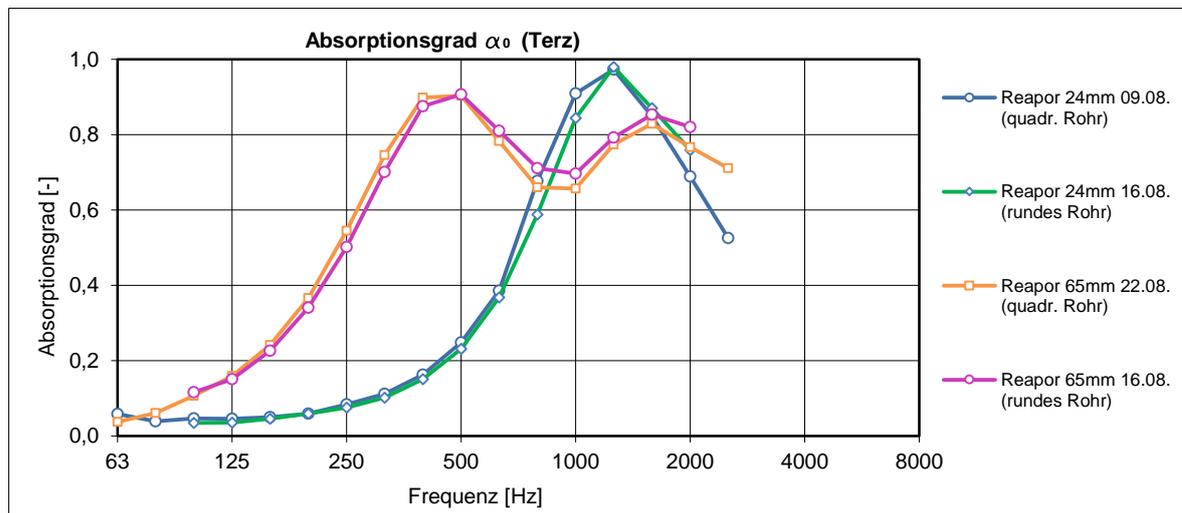


Abb. 16: Vergleichsmessung REAPOR® quadr. Rohr mit rundem Rohr (quadr. Rohr: 24°C, 97000-97600 Pa)

3.3.2 Strömungswiderstandsmessung

Messaufbau

Die Ermittlung des längenbezogenen Strömungswiderstandes (der Strömungsresistenz) Ξ [Ns/m^4] wurde mithilfe des „Luftwechselstromverfahrens“ gemäß ÖNORM EN 290253: 1993-08 (bzw. DIN EN 290253: 1993-05) durchgeführt. Bei dieser Messung wird der Prüfling mit einem langsam wechselnden Luftvolumenstrom durchströmt. Dieser Luftwechselstrom wird von einem mit ca. 2 Hz schwingenden Kolben ausgelöst. Gemessen wird dabei der Wechselanteil des Druckes im Volumen V , welches vom Prüfling und Kolben begrenzt wird. Der längenspezifische Strömungswiderstand ist somit eine Funktion der gemessenen Druckdifferenz zwischen dem abgeschlossenen Volumen V und der Umgebung sowie des durch den Probekörper strömenden Luftvolumens q_v [m^3/s]. Der Prüfaufbau ist in Abb. 17 und Abb. 18 dargestellt. [27]

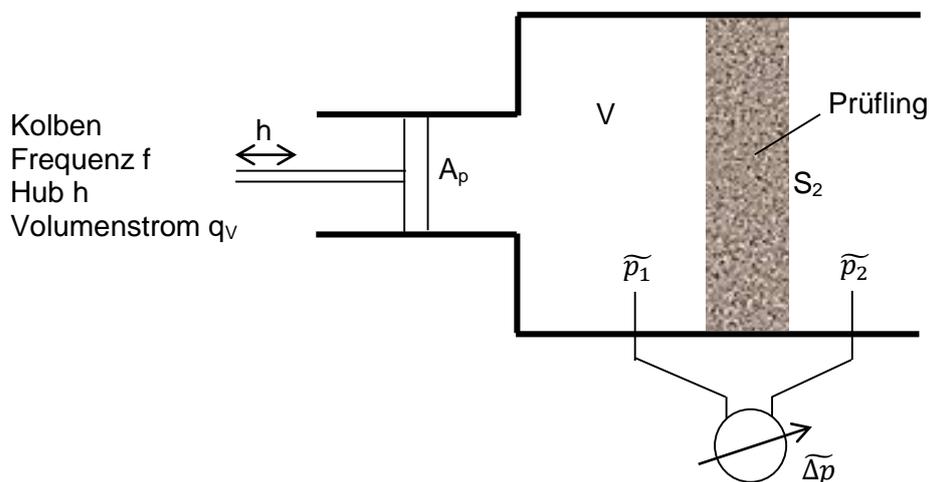


Abb. 17: Messaufbau Strömungswiderstand - Systemskizze [27]

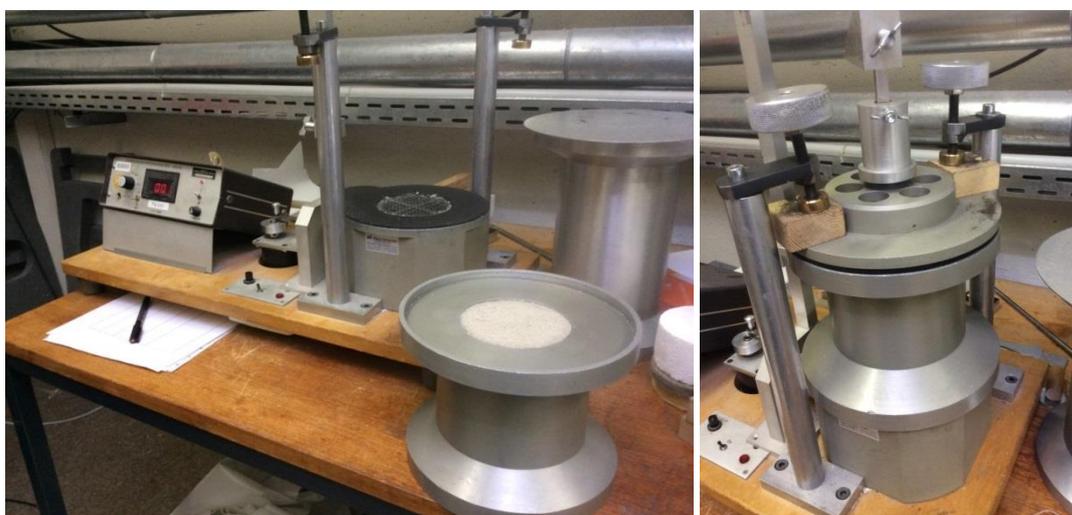


Abb. 18: Messaufbau des Strömungswiderstandes vor Ort, Messgerät: Strömungswiderstandsmesser AFM 80

Im Zuge der Messungen dieser Arbeit wurde ein zylindrischer Messbehälter mit einem Durchmesser von 100 mm verwendet. Die Seitenflächen des Prüfkörpers wurden mit Vaseline abgedichtet. Von der Forderung laut ÖNORM EN 290253, dass mind. 3 Probekörper mit jeweils je 3 Proben zu prüfen sind, wurde abgewichen. Die verwendete Probenanzahl wurde der Streuung der Materialeigenschaften angepasst und ist den Prüfberichten zu entnehmen. [27]

Validierung der Messungen

Kalibrierung

Vor jeder Messreihe wurde eine Kalibrierung der „Sensitivity“ des Mikrophones mithilfe eines definierten, abgeschlossenen Volumens ohne Prüfling durchgeführt.

Wiederholungsmessung

Für Prüfkörper mit stark streuenden Materialeigenschaften wurden Wiederholungsmessungen vorgenommen.

4 Fassadensysteme im Überblick

Als Fassade wird das äußere Erscheinungsbild, d.h. die äußere Hülle eines Gebäudes, bezeichnet. Im Gegensatz zu einem Fenster handelt es sich bei einer Fassade um ein geschoßhohes oder geschoßübergreifendes Strukturelement. [5]

Anm.: Teilweise in der Literatur und auch im Rahmen dieser Masterarbeit werden massive, einschichtige Wandkonstruktionen (wie z.B. aus Ziegelmauerwerk) als „Mauerwerks“-Fassade bezeichnet, was streng genommen nicht richtig ist, da es sich hierbei entsprechend den Baunormen um Außenwände handelt. [28]

4.1 Allgemeine Anforderungen an Fassaden

Die an eine Fassade gestellten Anforderungen ergeben sich aus der Nutzung, der Konstruktion und den formalen Aspekten. Zu den nutzungsspezifischen und bauphysikalischen Anforderungen gehören im Allgemeinen die raumabschließende Funktion, die Versorgung der Räume mit Tageslicht und Frischluft, der Sicht- und Blendschutz, der Schutz vor Witterungseinflüssen, sowie der Wärme-, Feuchte-, Schall- und Brandschutz.[5]

Das Aufgabengebiet einer Fassade beschränkt sich nicht nur auf die Klimaverbesserung im Rauminnen. Es ergeben sich auch konstruktive Anforderungen, wie das Abtragen von angreifenden Lasten. Des Weiteren sollen die Fertigung, Montage, Wartung und der Abbruch am Ende der Lebensdauer ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten folgen. [5]

Neben diesen technischen Aspekten bietet von allen Bauteilen vor allem die Fassade einen großen architektonischen Gestaltungsspielraum. Diese Funktion wird schon durch den Begriff Fassade deutlich, der sich „...auf dem Umweg über das französische »façade« vom lateinischen »facies...«“ [29] S.10 ableitet. Die Fassade bildet sozusagen das „Gesicht“ eines Bauwerkes und bestimmt damit wie das Gebäude nach außen hin wahrgenommen wird. Die sorgfältige Wahl des Oberflächenmaterials und der Farbe einer Gebäudehülle trägt also maßgebend zu einem ansprechenden Erscheinungsbild bei. [5], [29]

4.2 Arten von Fassadensystemen

Fassadensysteme lassen sich nach verschiedensten Gesichtspunkten einteilen, wie beispielsweise dem Konstruktionsaufbau (ein- oder mehrschalig, ein- oder mehrschichtig, Lage der Fassade zur tragenden Konstruktion,...), nach Gestaltungsmerkmalen (Loch-, Stützen-, Band-, Pfosten- Riegel-, Elementfassade, ausgefachte Fassade,...), sowie nach der Art des Wärmedämmsystems (Warm-, Kalt-, Kalt-Warm-Fassade) und vielem mehr. [5]

In der nachstehenden Grafik werden einige Charakteristika, nach denen Fassaden eingeteilt werden können, dargestellt.

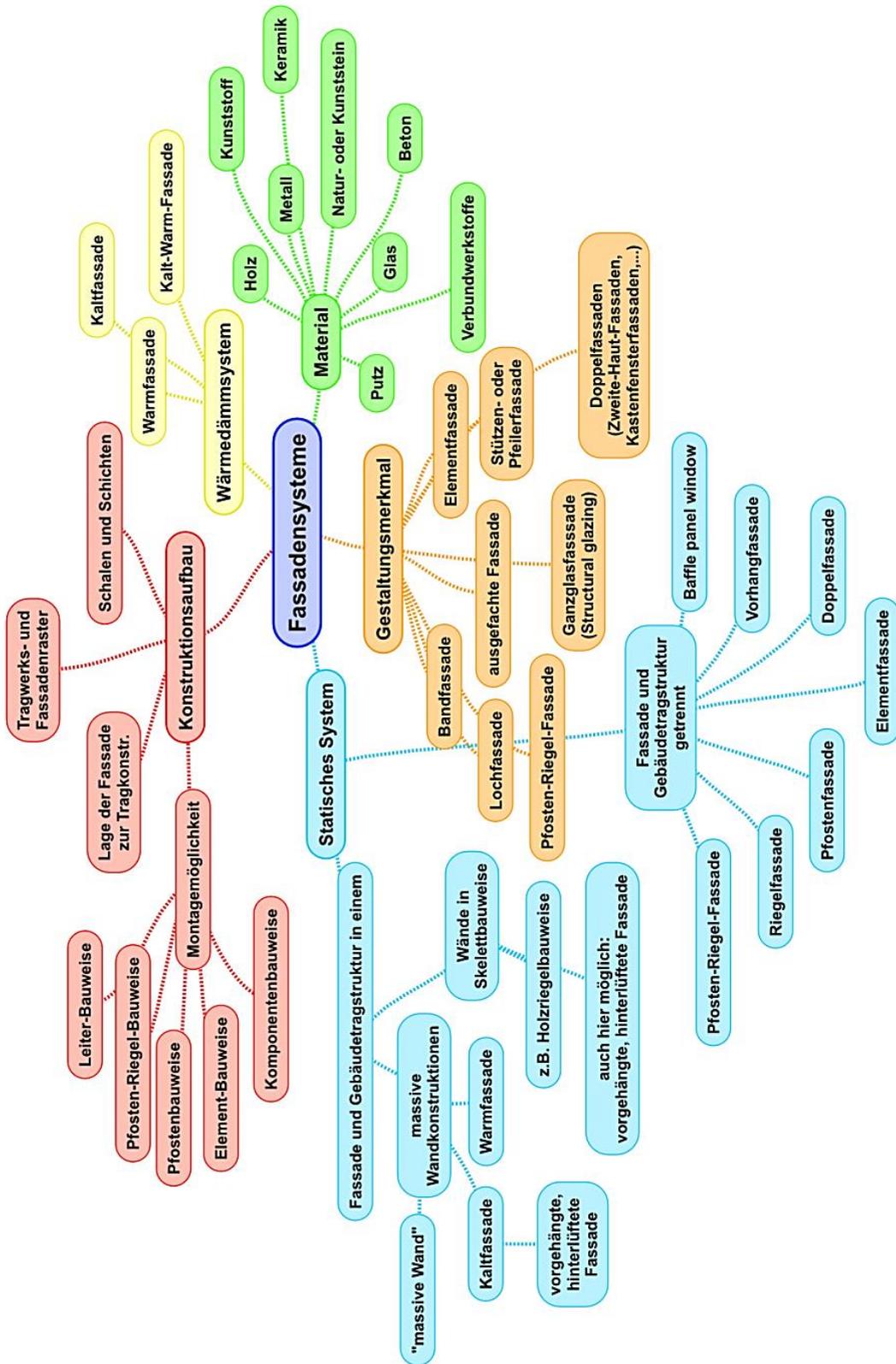


Abb. 19: Einteilung von Fassadensystemen gemäß [5], [29], [30] mit [C] erstellt

Weiterfolgend wird näher auf die Einteilung der Fassaden nach der Konstruktion eingegangen, da diese maßgeblich das Schallabsorptionsvermögen bzw. die Art der Schallabsorption beeinflusst.

4.3 Einteilung von Fassadensystemen nach der Konstruktion

4.3.1 Tragende und nicht tragende Gebäudehüllen

Konstruktiv kann man Fassaden in Wandbauweisen und leichte (skelettartige) Außenhülle einteilen. Bei der **Wandbauweise** handelt es sich um schwere, **massive Wandkonstruktionen**, die raumabschließend sind sowie Gebäudelasten aufnehmen. Bei aufgelösten Wandkonstruktionen (Skelettbauten) wird die Aufgabe der Lastabtragung von einer skelettartigen Tragstruktur und der Raumabschluss von einer **leichten Außenhaut** übernommen. Beispielsweise sind Holzriegelbauten so aufgebaut. Heutzutage werden auch Konstruktionen ausgeführt, bei denen in der Ebene der Außenhaut keine Gebäudetragelemente integriert sind, wie z.B. Curtain walls. Bei diesen Systemen ist die Tragstruktur des Bauwerkes hinter der Fassadenfläche angeordnet. [31]

Massive Wandkonstruktionen (aus Ziegelmauerwerk, Stahlbeton, Natur- oder Kunststein, Stampflehm,...) können einschalig als sogenannte **Warmfassaden** ausgeführt werden. Im Allgemeinen wird hierbei direkt auf die massive Tragkonstruktion eine Wärmedämmung aufgebracht, die zusammen mit einem geeigneten Oberflächenmaterial eine sogenannte Putzfassade bildet (Wärmedämmverbundsystem WDVS). Es gibt jedoch auch einschichtige Konstruktionen bei denen das tragende Wandbauteil nicht gedämmt wird. Bei einer **Kaltfassade** handelt es sich um eine mehrschalige Konstruktion. Zwischen Wärmedämmschicht und der Witterungsschutzschicht befindet sich eine Hinterlüftungsebene. Eine Konstruktionsvariante einer Kaltfassade ist eine sogenannte **vorgehängte hinterlüftete Fassade**. Dabei wird die äußere Hülle auf einer Unterkonstruktion vorgehängt. Für die Wetterschutzschicht werden witterungsbeständige Materialien, wie z.B. Holz, Natur- und Kunststein, Metallprofile und -bleche, sowie Verbundwerkstoffe eingesetzt. [32]

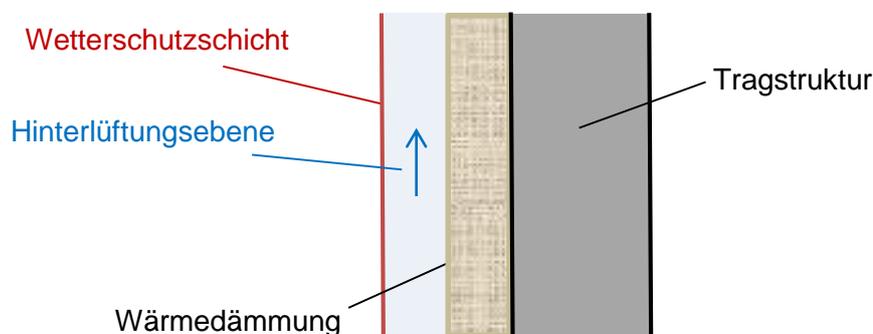


Abb. 20: Prinzipskizze einer Kaltfassade

Anm.: Die Unterscheidung von Warm- und Kaltfassaden gilt auch für leichte Fassadenkonstruktionen.

Ausführungsvarianten für leichte, einschalige Fassadenkonstruktionen sind **Pfosten-, Riegel- bzw. Pfosten-Riegel- und Elementfassaden**. Bei einer Pfosten-Riegel-Fassade handelt es sich um ein geschoßhohes System, welches aus vertikalen Pfosten und horizontalen Riegeln besteht, die auf der Baustelle zusammengefügt werden. Als Füllelemente dieser Sprossenkonstruktion kann eine Verglasung oder ein opakes Element eingesetzt werden. Bei einer Pfosten- bzw. Riegelfassade wird die Konstruktion aus den vertikalen Pfosten oder den horizontalen Riegeln gebildet. Elementfassaden bestehen aus geschoßhohen, vorgefertigten Fassadenelementen, die vor Ort nur noch miteinander verbunden werden müssen. Auch **Structural-Sealant-Glazing-Fassaden**(SSG) gehören zu den leichten, einschaligen Fassadensystemen. Sie weisen ein nicht sichtbares Halterungssystem auf, da die Verglasung verklebt wird. [5], [33]

Eine **Doppelfassade** ist eine zweischalige Fassadenkonstruktion mit hohem Glasanteil. Die äußere Haut bildet den Wind- und Witterungsschutz. Die innere Schale übernimmt die raumabschließende Funktion und den Wärmeschutz. Auch wird der Schallschutz durch die Anordnung einer zweiten Schale verbessert. Es wird je nach Be- und Entlüftungssystem bzw. Art der Fassadenzwischenraumunterteilung in Puffer-, Abluft-, oder Zweite-Hautfassaden (Schacht-, Korridor- und Kastenfensterfassade) unterschieden. Des Weiteren gibt es kombinierte Systeme bei denen ein- und mehrschalige Fassadenbereiche wechselweise angeordnet sind. [5], [33], [34]

4.3.2 Schalen und Schichten

Fassadensysteme werden auch hinsichtlich der Anzahl der Schalen und Schichten unterschieden. Eine Schicht besteht überwiegend aus einem einheitlichen Material. Eine Schale besteht aus einer oder mehreren fest aneinandergefügten Schichten. Bei mehrschaligen Bauteilen sind die einzelnen Schalen nicht starr miteinander verbunden. So bilden Konstruktionen mit einer Hinterlüftungsebene einen mehrschaligen Bauteil. [5]

Tab. 7: Beispiele für ein- und mehrschalige bzw. ein- und mehrschichtige Konstruktionen [5]

Bezeichnung	Ausführungsbeispiel tragend	Ausführungsbeispiel nicht tragend
einschalig, einschichtig (nicht hinterlüftet)	tragendes Sichtmauerwerk aus Klinker	Trapezblechfassade auf Skelettragstruktur
einschalig, mehrschichtig (nicht hinterlüftet)	Mauerwerk + Wärmedämmverbundsystem	Paneel-Fassade auf Skelettragstruktur
mehrschalig, mehrschichtig (hinterlüftet)	Mauerwerk + Wärmedämmung + Hinterlüftungsebene + Fassadentafeln	Trapezblech auf Skelettragstruktur + Wärmedämmung + Hinterlüftungsebene + Trapezblech

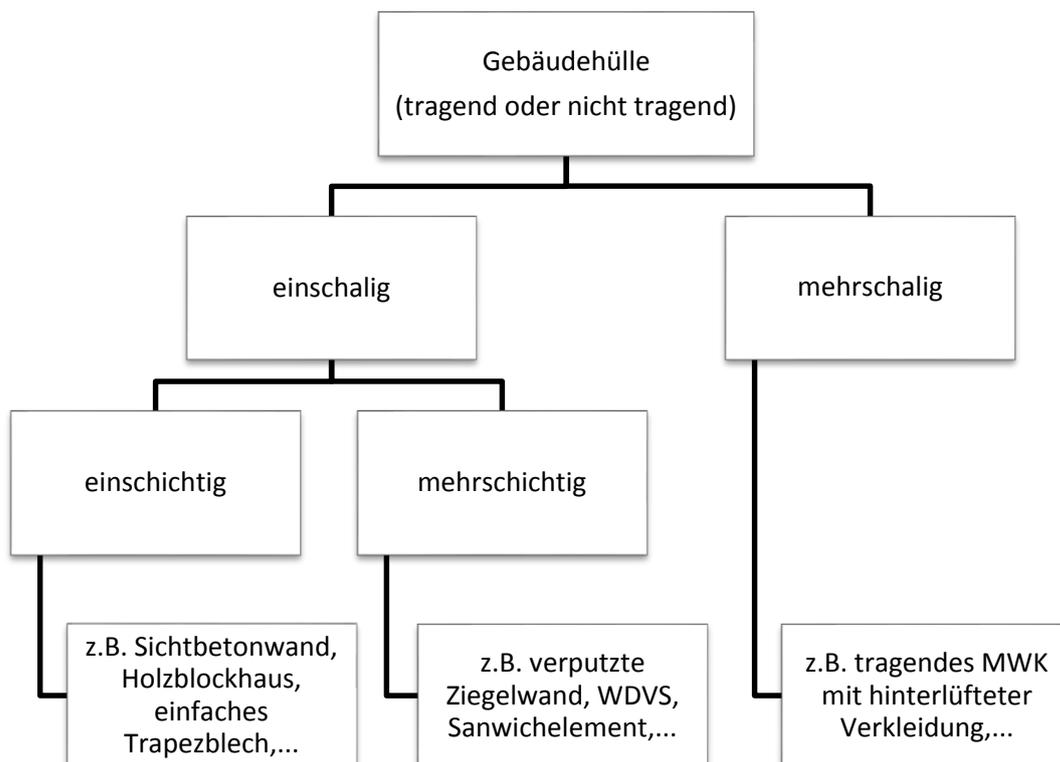
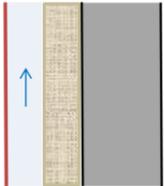


Abb. 21: Einteilung von Gebäudehüllen nach der Anzahl der Schalen und Schichten [5]

4.4 Schallabsorbermodelle und Fassadensysteme im Vergleich

In Abschnitt 3.2.1 bis 3.2.4 werden die Arten von technischen Schallabsorbern und in 4.1 bis 4.3 übliche Fassadensysteme beschrieben. Im Folgenden wird auf die Kompatibilität verschiedener Fassadentypen mit den betrachteten Absorbern untersucht. Die „Matrix“ von Tab. 8 gibt einen Überblick über mögliche Kombinationen, die in den folgenden Kapiteln 4.4.1 bis 4.4.3 näher behandelt werden.

Tab. 8: Schallabsorbermodelle und Fassadensysteme im Vergleich

	poröser Absorber	Platten-Resonator	Loch- und Schlitzplatten-resonator, MPA	mehrschichtige Absorber
einschalig, einschichtig  z.B. Sichtmauerwerk, -beton, Blockbohlenwand, Trapezblechfassade,...	o	-	-	-
einschalig, mehrschichtig  z.B. Mauerwerk + WDVS, Paneel-Fassade,...	o	✓	o	o
mehrschalig, jeweils ein- oder mehrschichtig  z.B. vorgehängte hinterlüftete Fassade,...	✓	✓	✓	✓

Legende: ✓ ... geeignet; o ...bedingt geeignet; - ...nicht geeignet

4.4.1 Einschalige, einschichtige Fassadensysteme

Einschalige, einschichtige Gebäudehüllen bestehen aus Sichtmauerwerk, -beton, Blockbohlenwänden, Trapezblechfassaden usw. [5]. Wird diese homogene Schicht von einem offenporigen Material gebildet, so kann ein poröser Absorber hergestellt werden. Im Anwendungsfall ist jedoch zu prüfen, inwieweit ein gewähltes poröses Material die Lastenabtragungsfunktion, den Schutz vor Regenwasser und Veralkung erfüllen kann.

Grundsätzlich wirken auch dünne, einschichtige Gebäudehüllen als „Plattenresonatoren“. Allerdings fällt der Transferimpedanzanteil bei der Berechnung der Wandimpedanz weg, da es keine Luftfeder gibt. Dadurch wird die Absorptionswirkung bedeutend herabgesetzt. Das folgende Berechnungsbeispiel zeigt dies am Beispiel einer einschichtigen Trapezblechfassade. Für das Blech wird eine Dicke von $t = 0,6 \text{ mm}$ und ein „Abstand“ zur schallharten Wand von 5 m angesetzt. Die Resonanzfrequenz lässt sich nach [9] (mit der Dichte für Stahl laut [35]) abschätzen mit

$$f_0 \approx 51 \cdot \frac{1}{\sqrt{m' \cdot D}} = 51 \cdot \frac{1}{\sqrt{7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 0,0006\text{m} \cdot 5\text{m}}} \cong 10,5 \text{ Hz} . \quad (34)$$

Dabei wird angenommen, dass die gegenüberliegende Wand, die sich in einem Abstand von 5 m befindet, den schallharten Abschluss des Plattenresonatorsystems bildet. Beträgt hingegen der Abstand lediglich 2 cm , so folgt für die Resonanzfrequenz

$$f_0 \approx 51 \cdot \frac{1}{\sqrt{m' \cdot D}} = 51 \cdot \frac{1}{\sqrt{7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 0,0006\text{m} \cdot 0,02\text{m}}} \cong 166,2 \text{ Hz},$$

womit sie im bauakustisch interessanten Frequenzbereich zu liegen kommt. Somit kann die Plattenresonatorwirkung einschichtiger Systeme mit großem Abstand zum schallharten Abschluss für die bautechnische Anwendung vernachlässigt werden. Ähnliches gilt auch für Loch- und Schlitzplattenresonatoren. Auch ist der Witterungsschutz des damit umschlossenen Raumes durch die kleinen Öffnungen bei einschichtiger Ausführung nicht gegeben.

4.4.2 Einschalige, mehrschichtige Fassadensysteme

Ein Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem, eine Paneel-Fassade und dergleichen gehören zu den einschaligen, mehrschichtigen Fassadensystemen. Handelt es sich bei der äußersten Schicht um eine vollflächige, gelochte oder geschlitzte „Platte“ (z.B. um eine Putzschicht), bildet diese mit der dahinterliegenden Dämmschicht ein Resonatorsystem.

Hierbei wirkt die Dämmung als Feder. Ist die äußerste Schicht im relevanten Frequenzbereich akustisch „transparent“ ausgeführt, so kann der dahinterliegende Dämmstoff als poröser Absorber genutzt werden. Es ist auch denkbar ein Fassadenpaneel einzusetzen, welches selbst als poröser Absorber fungiert, wie beispielsweise schallabsorbierende Paneele aus porösem Aluminium [36]. Da sich bei einschaligen Konstruktionen hinter der Platte keine Hinterlüftungsebene befindet, ist bei geschlitzten, gelochten und porösen Platten die Witterungsbeständigkeit des dahinterliegenden Dämmstoffes zu prüfen bzw. durch geeignete Maßnahmen herzustellen.

Um eine hohe Absorptionswirkung über einen besonders breiten Frequenzbereich zu erzeugen, kann ein Resonanzabsorber mit einem porösen Absorber kombiniert werden. Ein möglicher Konstruktionsaufbau für so einen mehrschichtigen Absorber, wie er sinngemäß [9] zu entnehmen ist, lautet: Massivwand, Dämmebene 1, Platte, Dämmebene 2, akustisch abgestimmte Bahn/Folie (als Riesel- und Witterungsschutz), akustisch „transparente“ Lochplatte. Bei dieser Konstruktion bildet die Dämmebene 2 einen porösen Absorber und die Platte zusammen mit der Dämmebene 1 einen Plattenschwinger.

4.4.3 Mehrschalige, ein- oder mehrschichtige Fassadensysteme

In akustischer Hinsicht das größte Potential bieten mehrschalige Fassadensysteme, wie z.B. vorgehängte hinterlüftete Fassaden. Durch die Hinterlüftungsebene ist auch eine geschlitzte, gelochte oder mikroperforierte äußerste Schale denkbar, ohne dass der Schutz vor Witterungseinflüssen des dahinterliegenden Dämmstoffes allzu sehr beeinträchtigt wird. So kann je nach Lochflächenanteil eine akustisch „transparente“ Außenhülle oder ein Loch- bzw. Schützplattenresonator konstruiert werden.

5 Schallabsorptionsverhalten von Fassadendämmstoffen

Das Schallabsorptionsverhalten verschiedener Fassadendämmstoffe wird anhand von Messergebnissen (Kundt'sches Rohr) und theoretischen Modellierungen untersucht.

5.1 Mineralwolle (Steinwolle SW und Glaswolle GW)

Mineralwolle, die als Stein- oder Glaswolle vorliegt, ist ein Dämmmaterial, das aus Brandschutzgründen vorrangig für Hochhausbauten (> 22 m über Geländeoberkante) sowie im hochwertigen Objektbereich zur Anwendung kommt. [37]

Tab. 9: Physikalische Eigenschaften von Mineralwolle [38]: Tab. S. 23

Dichte [kg/m ³]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	Wasserdampfdiffusions- widerstandszahl [-]	Strömungsresistenz Ξ [kNs/m ⁴]
15 - 200	0,035 – 0,045	1 - 2	6 - 43

Tab. 10: Berechnungsparameter für Mineralfaserabsorber [18]: Tab. 6.1 und Bild 6.3

Porosität σ_v [-]	Strömungsresistenz Ξ [kNs/m ⁴]	Strukturfaktor χ [-]
0,92 bis 0,99	ca. 2 bis 200	1,3

Stein- und Glaswolle wirken als Faserabsorber und können mithilfe des Modells „poröser Absorber“ abgebildet werden. Die Parameter für die Schallabsorptionseigenschaften von Mineralfasern nach [18] sind in Tab. 10 angegeben. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass diese für Mineralfasern, die auch in der Raumakustik zur Anwendung kommen, gelten und nicht für die im WDVS-Bau verwendeten Mineralwolle-Putzträgerplatten bzw. -lamellen (Produktart: MW-PT gemäß ÖNORM B 6000). Putzträgerplatten und -lamellen weisen eine spezielle Oberflächenbehandlung oder Struktur auf, um die Belastung der Putzschicht aufnehmen zu können. Hierbei ist zwischen Systemen mit und ohne hoch verdichteter Oberlage und mit und ohne Beschichtung (Silikatgrundierung) zu unterscheiden. Bei Putzträgerlamellen ist im Gegensatz zu Putzträgerplatten die Wollstruktur senkrecht zur Bauteiloberfläche ausgerichtet. Nachfolgend wird der Einfluss dieser Oberflächenbehandlung auf die Schallabsorption näher betrachtet. [37], [39]

5.1.1 Experimentelle Untersuchung

Putzträgerplatte

Die untersuchte Putzträgerplatte ist in Tab. 11 beschrieben. Es wurden 4 verschiedene Plattenstärken vom selben Material bzw. Hersteller untersucht. Alle Proben stammen aus demselben Pack, jedoch teilweise aus unterschiedlichen Platten. Der Mittelwert von 5 Messungen des Strömungswiderstandes der 120 mm dicken Platte mit einer Dichte von ca. 114 kg/m³ inkl. einseitiger Beschichtung beträgt rd. 47 kN s/m⁴ (siehe Tab. 12).

Tab. 11: Materialbeschreibung der gemessenen Steinwolle-Putzträgerplatte



Material	Steinwolle einseitig (auf der Putzseite) anorganisch beschichtet (WDVS-Platte)			
Hersteller	Isover			
Produktbezeichnung	Sillatherm WVP 1-035			
Untersuchte Dicken [mm]	60	80	100	120
Gemessene Dichte [kg/m ³]	135	121	116	114

Um den Einfluss der Oberflächenbeschichtung zu untersuchen, wurde eine Probe in Teilbereiche zerlegt und deren Strömungswiderstand getrennt bestimmt. Wie die Messungen zeigen, hat der Rand der unbeschichteten Seite mit ca. 40 kN s/m⁴ (für eine rd. 20 mm dicke Probe) den geringsten Strömungswiderstand. Die Messung einer rd. 20 mm dicken Probe des beschichteten Randes ergab einen durchschnittlichen Strömungswiderstand von ca. 64 kN s/m⁴. Der Strömungswiderstand des Kerns (ohne beide Ränder) wurde mit ca. 46 kN s/m⁴ gemessen. Es kann somit gezeigt werden, dass die Beschichtung dieser Putzträgerplatte den Strömungswiderstand um ca. 20 kN s/m⁴ erhöht. Die Ursache hierfür ist entweder die mineralische Beschichtung selbst oder eine stärkere Verdichtung der Oberfläche durch den Beschichtungsprozess.

Dasselbe gilt für die 60 mm dicke Platte mit einem durchschnittlichen Strömungswiderstand von rd. 56 kN s/m⁴. Ihr gesamter Strömungswiderstand ist größer als der der 120 mm dicken Platte, da auch die Dichte dieser Platte mit ca. 135 kg/m³ höher ist und der Strömungswiderstand im Allgemeinen mit der Dichte zunimmt. Bei der Modellierung wird der

über die Dicke veränderliche Strömungswiderstand berücksichtigt. Nach [18] S. 113 Bild 6.3 beträgt der Strömungswiderstand von Basaltwolle mit einer Dichte von 115 bis 135 kg/m³ rd. 45 bis 65 kN s/ m⁴. Dies zeigt eine gute Übereinstimmung mit den Messwerten.

Tab. 12: Gemessener Strömungswiderstand der Steinwolle-Putzträgerplatte

Datum	originale Plattendicke [mm]	Probenbez.	untersuchter Probenteil [mm]	gemessener Strömungswiderstand [kN s/m ⁴]
09.08.	60	Probe 1	gesamte Plattendicke	60,7
			47 mm vom unbesch. Rand	58,3
			35 mm Kern	61,1
09.08.	120	Probe 2	gesamte Plattendicke	45,8
			105 mm vom unbesch. Rand	43,8
			61 mm Kern	46,9
15.08.	120	Probe 3	gesamte Plattendicke	44,1
23.08.	60	Probe 4	gesamte Plattendicke	51,5
			49 mm vom besch. Rand	54,3
			40 mm Kern	50,8
23.08.	120	Probe 5	gesamte Plattendicke	46,1
			102 mm vom unbesch. Rand	44,5
			41 mm Kern	47,8
29.08.	120	Probe 6	gesamte Plattendicke	50,0
			19 mm vom unbesch. Rand	40,5
			18,5 mm vom besch. Rand	69,2
			60 mm vom Kern	45,5
29.08.	120	Probe 7	gesamte Plattendicke	47,3
			20 mm vom unbesch. Rand	40,5
			19,5 mm vom besch. Rand	59,5
			80 mm vom Kern	46,3

Das Ergebnis der Absorptionsgradmessung ist in Abb. 22 als Terzband dargestellt. Es zeigt den Absorptionsverlauf eines porösen Absorbers, bei dem der Absorptionsgrad mit zunehmender Schichtdicke steigt bis die „akustisch unendlich“ wirkende Grenzsichtdicke erreicht wird. Der berechnete Einzah-Wert der Absorption DL_{α} , der das Verkehrsspektrum berücksichtigt, ist für die unbeschichtete Seite dieser Putzträgerlamelle um rd. 1dB(A) höher als für die beschichtete. Auch kann bereits mit einer 60 mm dicken (unbeschichteten)

Steinwolleplatte die Anforderung der Kategorie „hoch absorbierend“ nach ZTV-Lsw 06 erfüllt werden. Auffallend ist die Absorptionsspitze im Bereich von 250 Hz. Auf diese wird im Abschnitt Modellierung näher eingegangen.

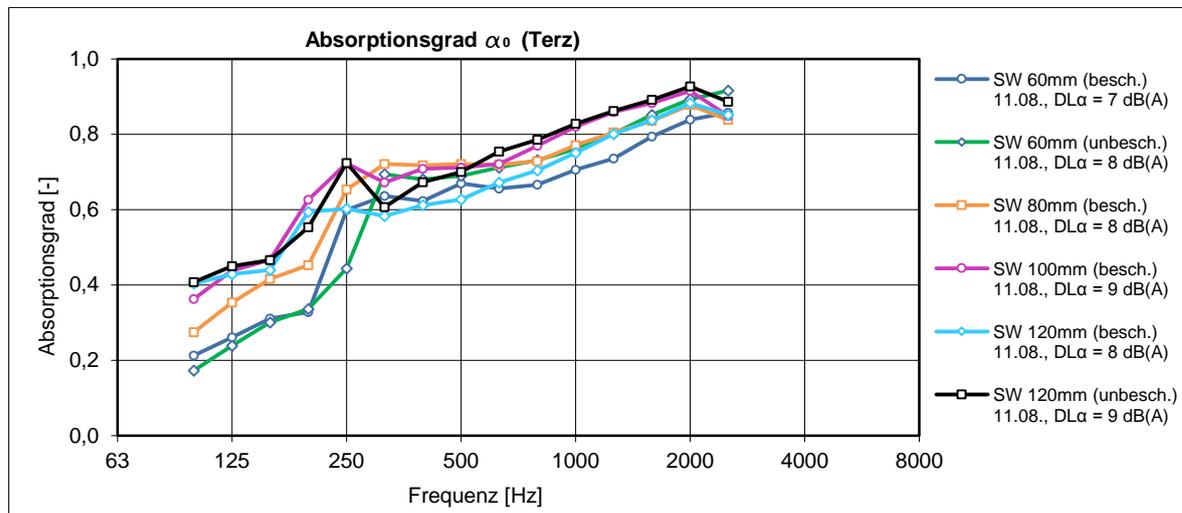


Abb. 22: Gemessener Absorptionsgrad der Steinwolle-Putzträgerplatte (Messwerte: 23°C, 97400 Pa)

Putzträgerlamelle

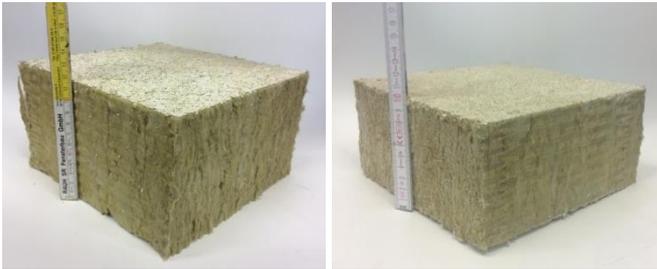
Der durchschnittliche, d.h. über beide untersuchten Plattenstärken gemittelte, Strömungswiderstand der Putzträgerlamelle mit einer Dichte von 85 kg/m³ nach Tab. 13 beträgt rd. 27 kN s/m⁴, wobei im Rahmen der Messgenauigkeit kein Unterschied im Ergebnis der Messung mit und ohne Beschichtung erkennbar ist. Tatsächlich zeigt eine visuelle Untersuchung der Beschichtung der Lamelle eine sehr offenporige, strukturierte Oberfläche. Im Vergleich dazu weist die Beschichtung der untersuchten Putzträgerplatte eine gleichmäßige, „vliesartige“ Struktur auf, die den Strömungswiderstand nennenswert beeinflusst. Somit kann eine Putzträgerbeschichtung durchaus so ausgeführt werden, dass sie den Strömungswiderstand und damit die Schallabsorption nicht merkbar verändert.

Gemäß [18] S. 113 Bild 6.3 beträgt der Strömungswiderstand von Basaltwolle mit einer Dichte von 85 kg/m³ ca. 29 kN s/m⁴, was gut mit dem gemessenen Wert von 27 kN s/m⁴ übereinstimmt.



Abb. 23: Beschichtete Oberfläche der Putzträgerplatte (links) und der Lamelle (rechts)

Tab. 13: Materialbeschreibung der gemessenen Steinwolle-Putzträgerlamelle

	
Material	Steinwolle – Putzträgerlamelle beidseitig mineralisch beschichtet (WDVS-Platte)
Hersteller	Rockwool®
Produktbezeichnung	Speedrock® II
Untersuchte Dicken [mm]	(98 bis) 100 (118 bis) 120
Gemessene Dichte [kg/m³]	86 83

Tab. 14: Gemessener Strömungswiderstand der Steinwolle-Putzträgerlamelle

Datum	originale Plattendicke [mm]	Probenbez.	untersuchter Probenteil [mm]	gemessener Strömungswiderstand [kN s/m ⁴]
09.08.	~98	Probe 1	gesamte Plattendicke	28,0
09.08.	119	Probe 2	gesamte Plattendicke	26,5
			43 mm Kern	24,9
23.08.	118	Probe 3	gesamte Plattendicke	26,9
			70 mm Kern	26,9
23.08.	98,5	Probe 4	gesamte Plattendicke	27,9
			61 mm Kern	27,8

Gemäß Abb. 24 liegt der Absorptionsgradverlauf der Putzträgerlamelle „SW Lamelle 118 mm“ etwas über dem der Putzträgerplatte „SW 120 mm“. Dies lässt sich mit der um ca. 13 kN s/m⁴ niedrigeren Strömungsresistenz (zur schallzugewandten Seite) der Lamelle begründen. Die Resonanzspitzen der Lamelle und der Putzträgerplatte liegen bei unterschiedlichen Frequenzen. Im Bereich der tiefen Frequenzen ist die Absorption der 120 mm dicken SW Lamelle höher als die der 100 mm dicken, da für diesen Frequenzbereich die „akustisch unendlich dicke“ Schicht noch nicht erreicht wird (siehe Erklärung S. 44 [9], [12], [40]).

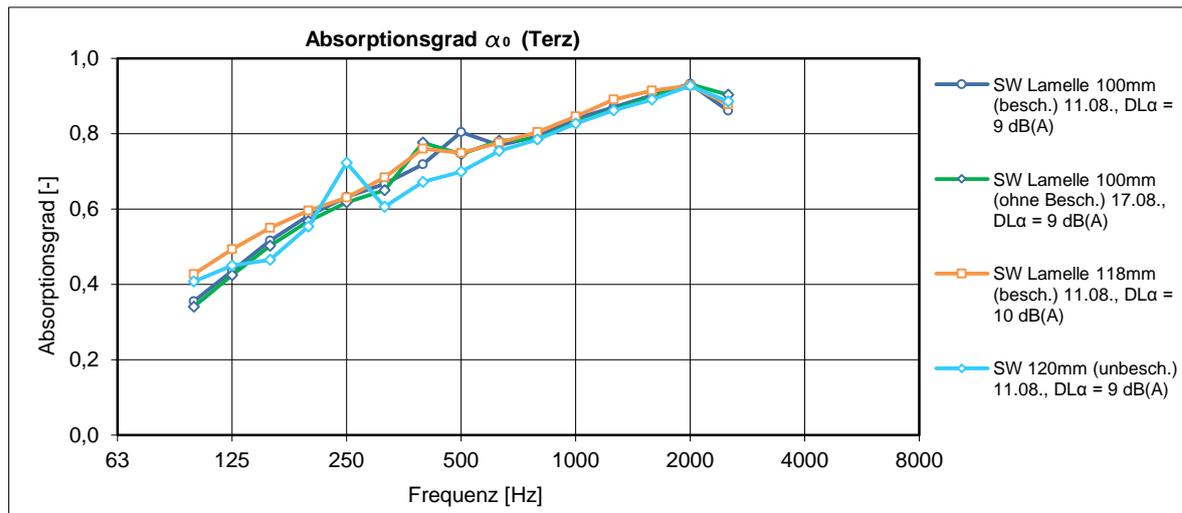


Abb. 24: Gemessener Absorptionsgrad der Steinwolle-Putzträgerlamelle (Messwerte: 22-24°C, 96300-97400 Pa)

5.1.2 Modellierung

Die theoretische Modellierung wird mit [A] durchgeführt. Ausnahme bildet hier Abb. 26, deren Basis [B] ist. Die Messwerte wurden in einer Frequenzauflösung von Octave/12tel gemessen. Diese Auflösung wird für die Vergleiche mit den theoretischen Modellierungen verwendet. Hingegen werden für die experimentellen Untersuchungen, bei Betrachtung mehrerer Absorptionsgradmessungen in einer Grafik (wie z.B. für Abb. 24), die Messergebnisse zu Terzen zusammengefasst. Dies entspricht der Darstellung laut ÖNORM EN ISO 11654:1997-09 [41].

Putzträgerplatte

Der gemessene, über die Dicke veränderliche Strömungswiderstand der Putzträgerplatte wird mit drei Schichten verschiedenen Strömungswiderstandes modelliert. Zur Abschätzung der Massivität wird angenommen, dass das gesamte Porenvolumen der Steinwolle offen und miteinander verbunden ist. Somit ergibt sich die Massivität aus dem Quotienten der Dichte des Dämmstoffes und der Dichte des zur Dämmstoffherstellung verwendeten Ausgangsmaterials, die hier für Steinwolle mit 2900 kg/m^3 (z.B. Dichte von Dolomit nach [35] S. 185) angenommen wird. Für die Absorbervariable bei der Relaxationskreisfrequenz E_0 schlägt [18] S. 554 für Mineralwolle einen Wert $0,07 \leq E_0 \leq 0,15$ vor. Für diese Masterarbeit wird $E_0 = 0,10$ verwendet. Für den Strukturfaktor wird aus Gründen der besseren Anpassung an die Messkurve für Steinwolle nicht 1,3, wie oft in der Literatur vorgeschlagen [18], sondern 2 angesetzt.

Tab. 15: Eingangsdaten Modellierung der Putzträgerplatte 120mm

	Schicht 1 (vor harter Rückwand)	Schicht 2	Schicht 3 (Richtung Schallquelle)
Schichtdicke D [m]	0,02	0,06	0,04
längenspez. Strömungswiderst. $\underline{\underline{\xi}}$ [Ns/m ⁴]	64000	46000	40000
Massivität $mu = 1 - \sigma_v$ [-]	0,04		
Strukturfaktor χ [-]	2		
Absorbervariable bei der Relaxationskreisfrequenz E_0 [-]	0,100		

Tab. 16: Eingangsdaten Modellierung der Putzträgerplatte 60mm

	Schicht 1 (Richtung Schallquelle)
Schichtdicke D [m]	0,06
längenspez. Strömungswiderst. $\underline{\underline{\xi}}$ [Ns/m ⁴]	56000
Massivität $mu = 1 - \sigma_v$ [-]	0,05
Strukturfaktor χ [-]	2
Absorbervariable bei der Relaxationskreisfrequenz E_0 [-]	0,100

In Abb. 25 sind zusätzlich zu den Modellierungen der experimentell untersuchten Schichtstärken die Absorptionsgradverläufe der „akustisch unendlich dicken“ Schichten der jeweiligen Materialien dargestellt. Hierfür wird eine Schichtdicke $\geq 2 m$ in der Berechnung verwendet. Ein Vergleich der beiden Verläufe der „akustisch unendlich dicken“ Schichten zeigt, dass das Material mit der niedrigeren Strömungsresistanz (hier die 120 mm dicke Platte) die höhere Schallabsorption erreicht, da die Schallwellen leichter in dieses Material eindringen können. Des Weiteren erreicht die 60 mm dicke Platte aufgrund ihrer geringen Schichtstärke trotz des höheren Strömungswiderstandes ihre „akustisch unendliche Schichtdicke“ bei einer viel höheren Frequenz als die 120 mm dicke Platte. [9], [12], [40]

Anm.: Allgemein kann gesagt werden, dass (je nach Schichtdicke und betrachteter Frequenz) bei Nichterreichen der „akustisch unendlich dicken“ Schicht ein Material mit einer höheren Strömungsresistanz eine höhere Schallabsorption aufweisen kann als eines mit

einer niedrigeren, da beim Material mit dem größeren Strömungswiderstand die Dämpfung höher ist. [9], [12], [40]

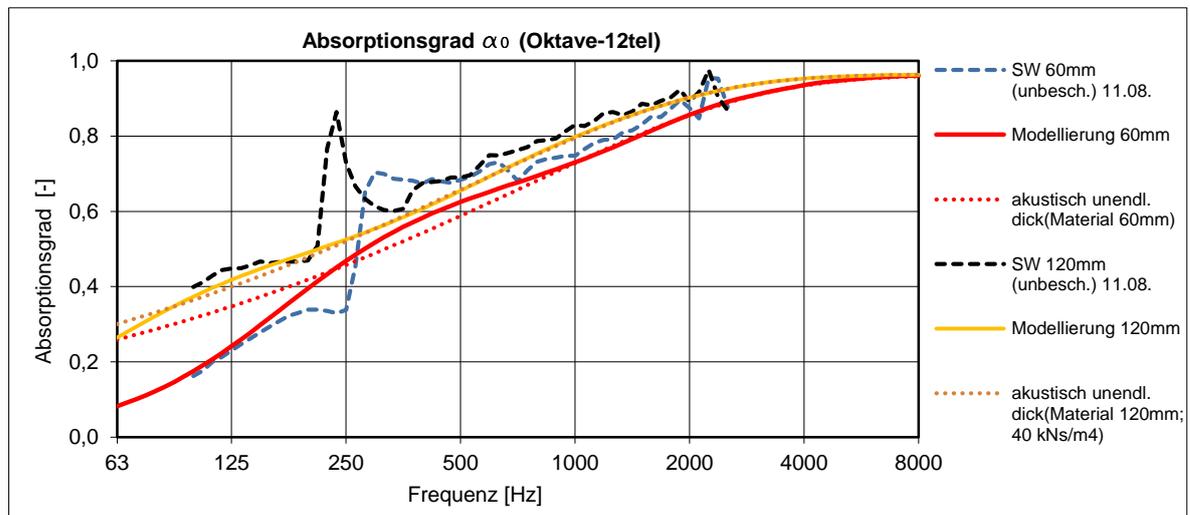


Abb. 25: Modellierung Putzträgerplatte mit dem Modell poröser Absorber mithilfe von [A]

Die Absorptionsgradspitze der 120 mm dicken Platte bei ca. 200 Hz nach Abb. 25 lässt sich nicht mithilfe des Modells „Theorie des homogenen Mediums“ für poröse Absorber laut [18] abbilden. Wie das Ergebnis der Berechnung mittels [B] gemäß dem Modell von Biot nach [18] in Abb. 26 zeigt, handelt es sich hierbei um eine Resonanz der Skelettschwingungen des Materials.

Tab. 17: Eingangsdaten Biot-Johnson-Allard-Modell

offene Volumenporosität [-]	0,9
längenspez. Strömungswiderst. [Pa s/m ²]	44000
Tortuosität [-]	1,6
char. viskose Länge [m]	$65 \cdot 10^{-6}$
char. thermische Länge [m]	$2 \cdot 65 \cdot 10^{-6}$
Absorberdicke [m]	0,12
Poisson-Zahl [-]	0,33
Elastizitätsmodul [N/m ²] Re{E}	$8,0 \cdot 10^5$
η_- [-] für $E = \text{Re}\{E\} + j \cdot \eta_- \cdot \text{Re}\{E\}$	0,12
Kompressionsmodul Matrixmaterial [N/m ²]	$4,5 \cdot 10^{10}$
Raumgewicht [kg/m ³]	114,2

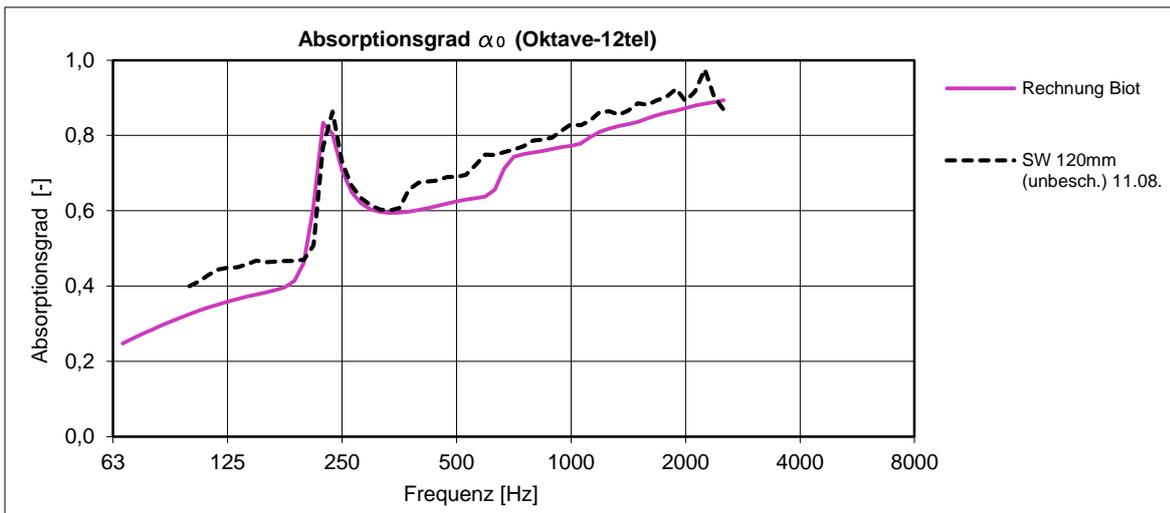


Abb. 26: Modellierung der Steinwolle mit Skelettschwingungen mithilfe von [B]

Putzträgerlamelle

Die Skelettschwingungen der Putzträgerlamelle nach Abb. 27 sind weit weniger ausgeprägt als die der Putzträgerplatte. Auch kann die Lamelle mit einer Schicht konstanter Strömungsresistenz gut abgebildet werden.

Tab. 18: Eingangsdaten Modellierung der Putzträgerlamelle 118 mm

	Schicht 1 (Richtung Schallquelle)
Schichtdicke D [m]	0,118
längenspez. Strömungswiderst. $\underline{\underline{\xi}}$ [Ns/m ⁴]	27000
Massivität $mu = 1 - \sigma_v$ [-]	0,03
Strukturfaktor χ [-]	2
Absorbervariable bei der Relaxationskreisfrequenz E_0 [-]	0,100

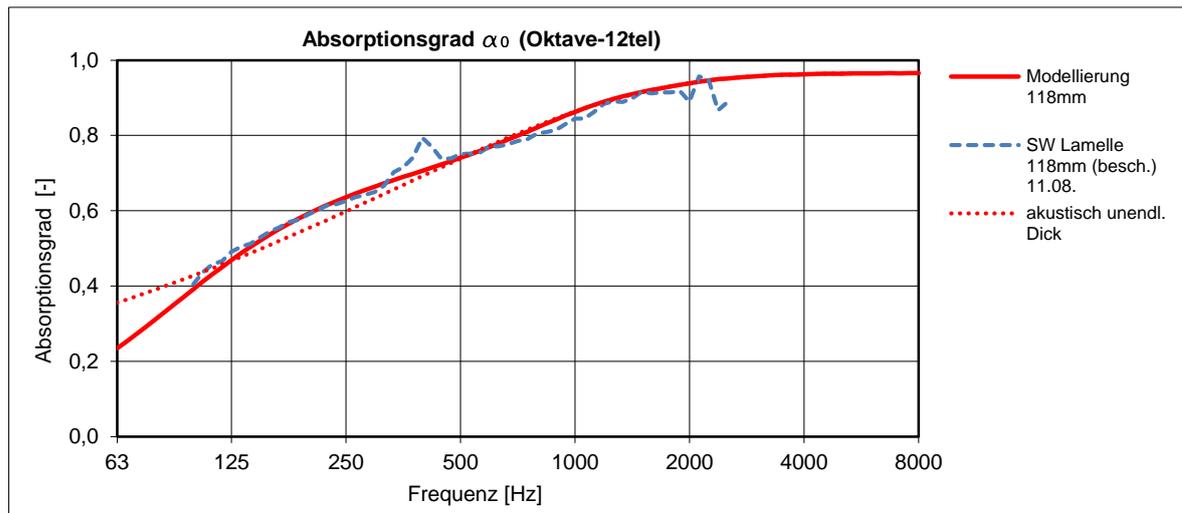


Abb. 27: Modellierung Putzträgerlamelle mit dem Modell poröser Absorber mithilfe von [A]

5.1.3 Akustikpotential und integrale Betrachtungen

Im Allgemeinen sollte der längenspezifische Strömungswiderstand \mathcal{E} eines porösen Absorbers der Dicke D so dimensioniert werden, dass eine gute Anpassung an den Schallkennwiderstand Z_0 der Luft gegeben ist. Dadurch wird das Eindringen des Schalls in den Absorber ermöglicht. Andererseits sollte der Strömungswiderstand nicht zu klein gewählt werden, damit noch eine ausreichende Dämpfung der Schallwelle im Absorber erfolgt. In [20] wird daher der „optimale“ Strömungswiderstand mit

$$2 < \mathcal{E} \cdot D / Z_0 < 6 \quad (35)$$

bzw. in [40] mit

$$1 < \mathcal{E} \cdot D / Z_0 < 2 \quad (36)$$

angegeben. Dies bedeutet für eine Steinwollendämmung, die nach wärmetechnischen Gesichtspunkten auf beispielsweise 12 cm Dicke bemessen wurde, dass ihr „optimaler“ spezifischer Strömungswiderstand (für 20°C mit $Z_0 = \rho_0 \cdot c_0 = 1,19 \cdot 344 \cong 409 \text{ Ns/m}^3$ nach [42] S.180,187) im Bereich $1 \cdot Z_0 / D = 1 \cdot 409 / 0,12 = 3408 \text{ Ns/m}^4$ bis $6 \cdot Z_0 / D = 6 \cdot 409 / 0,12 = 20450 \text{ Ns/m}^4$ liegt. Für die untersuchten Putzträgerplatten mit einem Strömungswiderstand von rd. 40000 N s/m^4 ergibt sich aus dieser Bedingung eine „optimale“ Schichtdicke im Bereich von $1 \cdot Z_0 / \mathcal{E} = 1 \cdot 409 / 40000 = 0,01 \text{ m}$ bis $6 \cdot Z_0 / \mathcal{E} = 6 \cdot 409 / 40000 = 0,06$. Hierbei ist zu beachten, dass die untersuchten Putzträgerplatten und Lamellen für Mineralwolle verhältnismäßig hohe Dichten von 83-135 kg/m^3 (siehe Tab. 9: Wertebereich Mineralwolle von 12 - 200 kg/m^3) aufweisen, da sie ihr Eigengewicht inkl. Putzschicht und äußeren Lasten (wie z.B. Wind) sicher abtragen müssen.

Mineralwolleplatten, die in eine Rahmenkonstruktion geklemmt werden, haben zumeist Dichten $\leq 40 \text{ kg/m}^3$ [43]. Aus dieser im Vergleich zur Putzträgerplatte niedrigeren Dichte folgen auch eine höhere Porosität und ein geringerer Strömungswiderstand, wodurch bei Schichtstärken um 12 cm eine bessere Anpassung an den Schallkennwiderstand der Luft gegeben ist. [9], [20], [40]

Wird ein hoher Absorptionsgrad $\geq 80\%$ ab einer bestimmten Frequenz f gefordert, so berechnet sich die minimale Schichtdicke nach [20] zu $d \geq 42,5 \cdot 10^3 / f \text{ [mm]}$. Für die für den Verkehrslärm relevanten 1000 Hz bedeutet dies eine Mindestschichtstärke von $d \geq 42,5 \cdot 10^3 / 1000 = 42,5 \text{ mm}$. Diese Forderung wird in der Regel mit den nach wärmetechnischen Gesichtspunkten dimensionierten Dämmstoffen eingehalten. [9], [20]

Um den Schlagregen- und Windschutz von (porösen) Dämmstoffen zu gewährleisten, sind diese mit Putzen bzw. bei vorgehängten Fassaden mit Unterdeck- und Unterspannbahnen oder ähnlichem abzudecken [38], [44], [45]. Auf den Einfluss solcher Systemelemente auf das Schallabsorptionsverhalten poröser Dämmungen wird in den Abschnitten 6 und 7 näher eingegangen.

5.2 Holzweichfaserplatte (WF)

Holzweichfaserplatten werden je nach Produktionsprozess mit oder ohne chemische Bindemittel aus Weich- oder Hartholzfasern hergestellt. Beim nassen Produktionsprozess dienen die holzeigenen Harze (ev. in Kombination mit anderen Additiven) als Bindemittel, wohingegen beim trockenen Prozess beispielsweise Latex zur Verbindung der einzelnen Fasern verwendet wird. Um die Feuchtigkeitsbeständigkeit zu erhöhen, werden gegebenenfalls auch Hydrophobierungsmittel wie Harz oder Bitumen hinzugegeben. [38]

Tab. 19: Physikalische Eigenschaften von Holzweichfaserplatten [38]:Tab. S. 45

Dichte [kg/m ³]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	Wasserdampfdiffusions- widerstandszahl [-]
40 - 270	0,040 – 0,090	5 -10

Tab. 20: Berechnungsparameter für Holzweichfaserplatten [18]:Tab. 6.1 und 6.3

Porosität σ_v [-]	Strömungsresistenz Ξ [kNs/m ⁴]
0,65 bis 0,80	3500 - 26000

Holzfaserplatten wirken als Faserabsorber und können wie Mineralwolle als „poröser Absorber“ abgebildet werden.

5.2.1 Experimentelle Untersuchung

Wie die im Vergleich zur Steinwolle etwas höhere Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl nach Tab. 19 vermuten lässt, ist der Strömungswiderstand der Holzweichfaserplatte höher als der der Steinwolle. Die Messung für eine 35,5 mm dicke Plattenprobe ergab einen Wert von 224,8 kN s/m⁴. Dies weicht vom Wertebereich gemäß [18] (siehe Tab. 20) ab, allerdings schlägt [12] S. 157 für „grobporige Holzfasern“ einen Wert von 11 kN s/m⁴ vor.

Tab. 21: Materialbeschreibung der gemessenen Holzweichfaserplatte



Material	Wärmedämmplatte aus hydrophobierten Holzweichfasern (WDVS-Platte)
Hersteller	Sto
Produktbezeichnung	Weichfaserplatte M 042
Untersuchte Dicken [mm]	120
Gemessene Dichte [kg/m ³]	149

Tab. 22: Gemessener Strömungswiderstand der Holzweichfaserplatte

Datum	originale Plattendicke [mm]	Probenbez.	untersuchter Probenteil [mm]	gemessener Strömungswiderstand Der [kN s/m ⁴]
09.08.	120	Probe 1	gesamte Plattendicke	nicht messbar
			35,5 mm Teilstück	224,8

Zur Bestimmung der Absorptionseigenschaften der Holzweichfaserplatte wurde der Absorptionsgrad beider Plattenseiten gemessen. Wie Abb. 28 zeigt, weichen die Absorptionsgrade der beiden Plattenseiten um bis zu 0,2 [-] voneinander ab. Eine visuelle Untersuchung der Oberflächenbeschaffenheit der Platte ergab für „Seite 1“ eine glatte und für „Seite 2“ eine raue (bzw. wie durch Pressung mithilfe eines Gitters strukturierte) Oberfläche. Tatsächlich hat die Messung der „Seite 2“ niedrigere Absorptionsgradwerte als

Ergebnis, was darauf schließen lässt, dass die Oberfläche dieser Seite stärker verdichtet ist als die der „Seite 1“.

Aufgrund der geringeren Porosität und der höheren Strömungsresistenz ist das Absorptionsvermögen der Holzweichfaserplatte nicht so hoch wie das der Steinwolle. Beispielsweise beträgt der Absorptionsgrad der untersuchten 120 mm dicken Steinwolle bei 1000 Hz (siehe Verkehrslärmspektrum) ca. 0,8 [-] und von der gleich dicken Holzweichfaserplatte ca. 0,5 [-]. Die betrachtete 120 mm dicke Holzweichfaserdämmung erreicht die Kategorie „absorbierend“ nach ZTV-Lsw 06 [15].

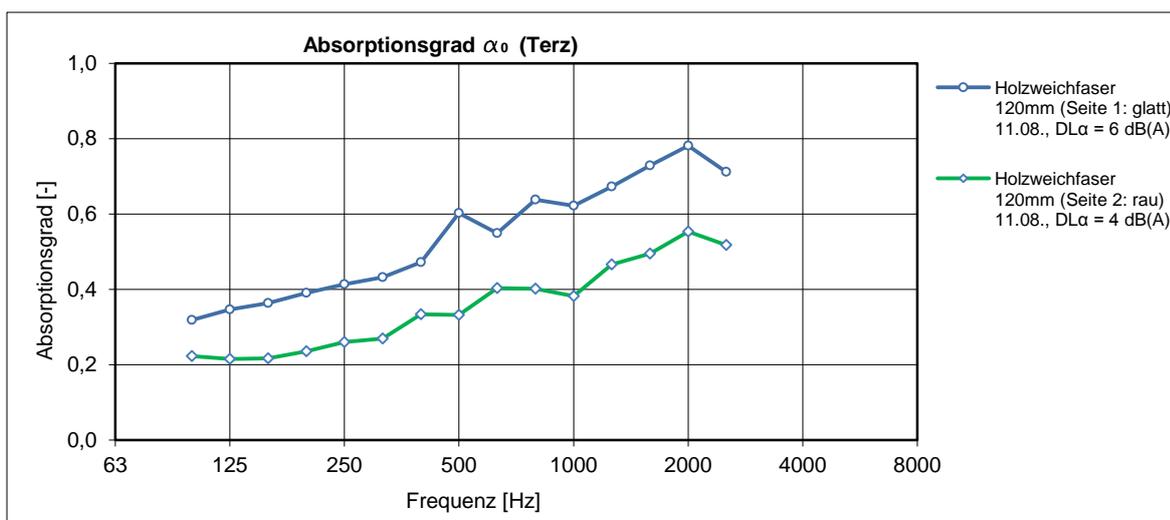


Abb. 28: Gemessene Absorptionsgrade der Holzweichfaserdämmplatte (22°C, 97300 Pa)

5.2.2 Modellierung

Die beiden Plattenseiten der Holzweichfaserplatte wurden getrennt modelliert. Die Berechnung mithilfe des Modells „poröser Absorber“ für „Seite 2“ ergibt mit dem gemessenen Strömungswiderstand von 224,8 kN s/m⁴ eine gute Anpassung an die Messergebnisse. Für „Seite 1“ wurde der Strömungswiderstand iterativ ermittelt, sodass die Messkurve gut angenähert wird. Wie aus Abb. 29 hervorgeht, erreicht eine 120 mm dicke Schicht für dieses Material in etwa die „akustisch unendliche Dicke“.

Tab. 23: Eingangsdaten Modellierung der Holzweichfaserplatte 120mm „Seite 1“

	Schicht 1 (Richtung Schallquelle)
Schichtdicke D [m]	0,12
längenspez. Strömungswiderst. $\underline{\underline{\epsilon}}$ [Ns/m ⁴]	68000
Massivität $mu = 1 - \sigma_v$ [-]	0,2
Strukturfaktor χ [-]	1
Absorbervariable bei der Relaxationskreisfrequenz E_0 [-]	0,100

Tab. 24: Eingangsdaten Modellierung der Holzweichfaserplatte 120mm „Seite 2“

	Schicht 1 (Richtung Schallquelle)
Schichtdicke D [m]	0,12
längenspez. Strömungswiderst. $\underline{\underline{\epsilon}}$ [Ns/m ⁴]	224800
Massivität $mu = 1 - \sigma_v$ [-]	0,2
Strukturfaktor χ [-]	1
Absorbervariable bei der Relaxationskreisfrequenz E_0 [-]	0,100

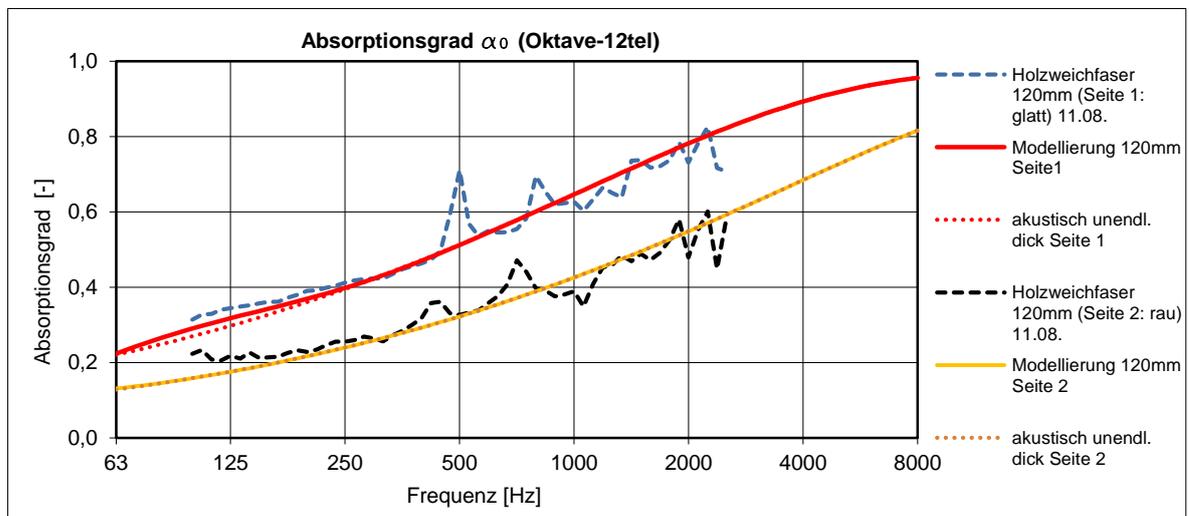


Abb. 29: Modellierung Holzweichfaserplatte mit dem Modell poröser Absorber mithilfe von [A]

5.2.3 Akustikpotential und integrale Betrachtungen

Um die Forderung einer guten Anpassung des porösen Absorbers an den Kennwiderstand der Luft bzw. genügender Dämpfung der Schallwelle im Absorberinneren nach Formel (35) und (36) zu erfüllen, liegt die „optimale“ Dicke einer Holzweichfaserplatte mit einem Strömungswiderstand von 68 kN s/m^4 im Bereich von 0,006 bis 0,036 m. Dennoch erreicht die 120 mm dicke gemessene Platte für „Seite 1“ bei 1000 Hz einen relativ hohen Schallabsorptionsgrad von rd. 0,6 [-].

In Bezug auf den Schlagregen- und Windschutz sind die Anmerkungen von Abschnitt 5.1.3 zu beachten.

5.3 Holzwolle-Dreischicht-Dämmplatte (WW-C)

Bei Holzwolle-Dreischicht-Dämmplatten handelt es sich um einen Kompositwerkstoff, der aus zwei Holzwolleplatten, die über einen Dämmstoffkern aus Mineralwolle oder EPS verbunden sind, besteht. Bei Verwendung einer Holzwolle-Dreischicht-Dämmplatte für ein Wärmedämmverbundsystem übernimmt die Holzwolle-Deckschicht die Aufgabe des Putzträgers. [38]

Bei der Herstellung von Holzwolleplatten wird zement- oder magnesitgebundene Holzwolle zu Platten gepresst. [46]

Tab. 25: Physikalische Eigenschaften von Holzwolleplatten (WW) [38]:Tab. S. 45

Dichte [kg/m ³]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	Wasserdampfdiffusions- widerstandszahl [-]	Strömungsresistenz Ξ [kNs/m ⁴]
350 - 600	0,090	2 - 5	9 - 100

Tab. 26: Berechnungsparameter für Holzwolleplatten (WW) [18]:Tab. 6.1 und 6.3

Porosität σ_v [-]	Strömungsresistenz Ξ [kNs/m ⁴]
0,50 bis 0,65	0,1 - 1

Holzwolleplatten werden im Zuge dieser Masterarbeit als „poröser Absorber“ modelliert.

5.3.1 Experimentelle Untersuchung

Der Schichtaufbau der betrachteten Holzwolle-Dreischicht-Dämmplatte ist in Abb. 30 dargestellt. Der Mittelwert der Dichte aus Messungen mehrerer Proben der Holzwolleschicht beträgt rd. 500 kg/m^3 . Die untersuchte Holzwolleplatte ist über eine dünne Bindemittelschicht mit dem Steinwollekern verbunden, wobei auf einer Seite der Platte in die Bindemittelschicht ein Vlies eingearbeitet ist.

Die ermittelten Dicken der Bindemittelschichten der betrachteten Platten betragen durchschnittlich:

- Bindemittel + Vlieskaschierung: 2,0 mm;
- nur Bindemittel: 0,6 mm.

Wie die Abbildung in Tab. 27 vermuten lässt, ist die Streuung der einzelnen Schichtdicken dieses Materials sehr groß. Aus diesem Grund wurden für die Ermittlung des Strömungswiderstandes mehrere Proben untersucht, um einen Mittelwert bilden zu können. Da der Strömungswiderstand der gesamten Dreischichtplatte für eine Messung zu groß war, wurden die Platten in ihre drei Schichten zerlegt. Es wurde versucht, die Bindemittelschicht so gut wie möglich von den Holzwolleplatten abzuschleifen. Wie Abb. 30 zeigt, konnte jedoch das Bindemittel nicht vollständig entfernt werden, was den Strömungswiderstand maßgeblich beeinflusst. Das Ergebnis der Strömungsresistenz der Holzwolleplatte ist somit nicht sehr aussagekräftig und streut sehr stark. Die Steinwollschicht der rd. 50 mm dicken Dreischichtplatte hat eine Dichte von ca. 190 kg/m^3 und einen Strömungswiderstand von ca. $123,8 \text{ kN s/m}^4$. Der Strömungswiderstand der Steinwollschicht der rd. 100mm dicken Dreischichtplatte mit einer Dichte von rd. 120 kg/m^3 beträgt ca. 53 kN s/m^4 .

Tab. 27: Materialbeschreibung der gemessenen Holzwolle-Dreischicht-Dämmplatte

	
Material	Holzwolle-Dreischicht-Dämmplatte: beidseitige Holzwolle-Deckschicht (Faserbreite 2mm) und SW-Platte mit einseitiger Vlieskaschierung
Hersteller	Knauf
Produktbezeichnung	Tektalan
Untersuchte Dicken [mm]	50 bis 52 103 bis 105
Gemessene Dichte [kg/m^3]	336 205

Tab. 28: Gemessener Strömungswiderstand der Holzwolle-Dreischichtplatte

Datum	originale Plattendicke [mm]	Probenbez.	untersuchter Probenteil [mm]	gemessener Strömungswiderstand [kN s/m ⁴]
25.08.	50	Probe 1	Steinwollerschicht	128,9
25.08.	102,5	Probe 2	Steinwollerschicht	49,7
28.08.	51,5	Probe 3	Holzwolleschicht Seite 1: t Ø 6,6 mm (Bindemittelschicht größtenteils abgeschliffen)	16,8
Anm.: Diese Probe wurde im Kundt'schen Rohr gemessen.			Holzwolleschicht Seite 2: t Ø 6,2 mm (Bindemittelschicht größtenteils abgeschliffen)	22,0
			Steinwollerschicht (gem. Dichte: 187 kg/m ³)	118,7
28.08.	104,5	Probe 4	Holzwolleschicht Seite 1: t Ø 7,3 mm (Bindemittelschicht größtenteils abgeschliffen – „Löcher“ sichtbar)	6,0
Anm.: Diese Probe wurde im Kundt'schen Rohr gemessen.			Holzwolleschicht Seite 2: t Ø 8,2 mm (Bindemittelschicht größtenteils abgeschliffen)	11,8
			Steinwollerschicht (gem. Dichte: 118 kg/m ³)	57,0



Abb. 30: Schichtaufbau der Holzwolle-Dreischicht-Platte

Obwohl die Ausgangsmaterialien Steinwolle und Holzwolle jeweils gute Schallabsorptionseigenschaften aufweisen, ist die betrachtete Dreischichtplatte der Kategorie „nicht absorbierend“ nach ZTV-Lsw 06 zuzuordnen (siehe Abb. 31). Dies kann mit der „Plattenwirkung“ der dünnen Bindemittelschichten zwischen dem Steinwollekern und den Holzwolledeckschichten begründet werden. Aufgrund von unterschiedlich dicken Bindemittelschichten, der einseitig eingearbeiteten Vlieslage und sonstigen Materialstreuungen beträgt der Absorptionsgradunterschied der beiden Plattenseiten für die 103 mm dicke Platte ca. 0,25 [-] (siehe Abb. 31).

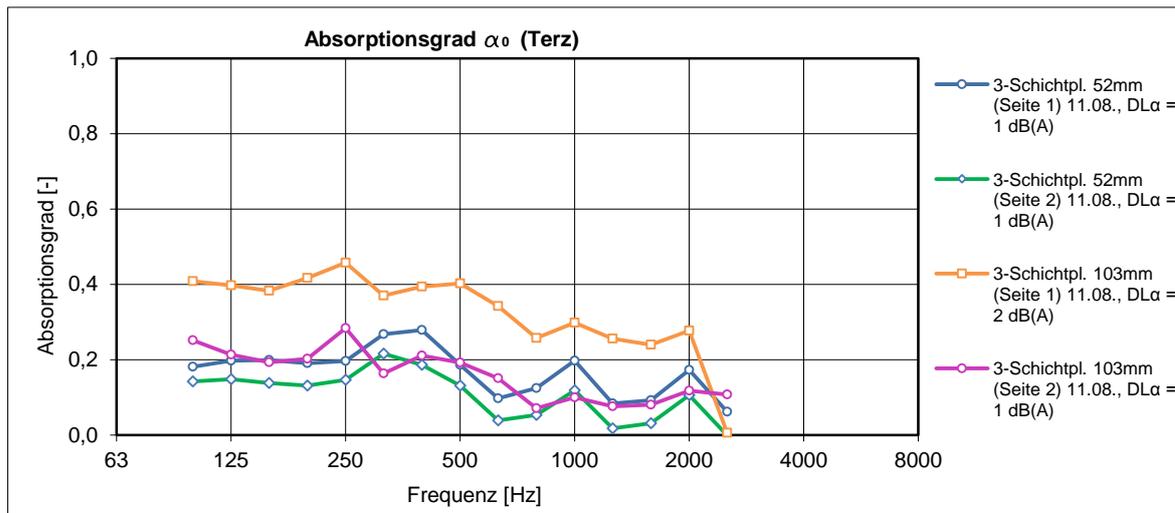


Abb. 31: Gemessene Absorptionsgrade der Holzwolle-Dreischicht-Dämmplatte (22°C, 97300 Pa)

5.3.2 Modellierung

Bei der Modellierung werden die Bindemittelschichten als „Platten“ berücksichtigt. Das einseitige Vlies wird nicht modelliert. Für den E-Modul, die Querkontraktionszahl und die Dichte der „Platten“ werden die Werte für Zementstein nach [47] angenommen. Für die Verlustfaktoren der Plattenmoden werden Erfahrungswerte nach [21] verwendet.

Tab. 29: Eingangsdaten Modellierung der Holzwolle-Dreischichtplatte 52 mm

	Schicht 1 (vor harter Rückwand)	Schicht 2	Schicht 3 (Richtung Schallquelle)
Poröser Absorber ([18]: festes Skelett)			
Schichtdicke D [m]	0,006	0,037	0,006
längenspez. Strömungswiderst. $\underline{\underline{\epsilon}}$ [Ns/m ⁴]	20000	124000	20000
Massivität $\mu u = 1 - \sigma_v$ [-]	0,65	0,066	0,65
Strukturfaktor χ [-]	1		
Absorbervariable bei der Relaxationskreisfrequenz E_0 [-]	0,100		
Platte			
Plattendicke t [m]	0,002	0,0006	-
Plattenlänge aa [m]	0,20	0,20	-
Plattenbreite bb [m]	0,20	0,20	-

E-Modul [N/m^2]	$30 \cdot 10^9$	$30 \cdot 10^9$	-
Plattendichte [kg/m^3]	1800	1800	-
Querkontraktionszahl Poisson [-]	0,2	0,2	-
Verlustfaktor der Plattenmoden:			
g11	0,3	0,3	-
g13, g31	0,1	0,1	-
g15, g51, g35, g53, g55	0,1	0,1	-
Lagerungsbedingung (eingespannt = 1; gelenkig = 0)	1	1	-
Platte haftend (ja = 1; nein = 0)	1	1	-

Laut Abb. 32 stimmen die Resonanzspitzen der Modellierung und der Messung gut überein, allerdings haben die Messwerte eine stärkere Dämpfung als für die Rechnung angenommen wurde.

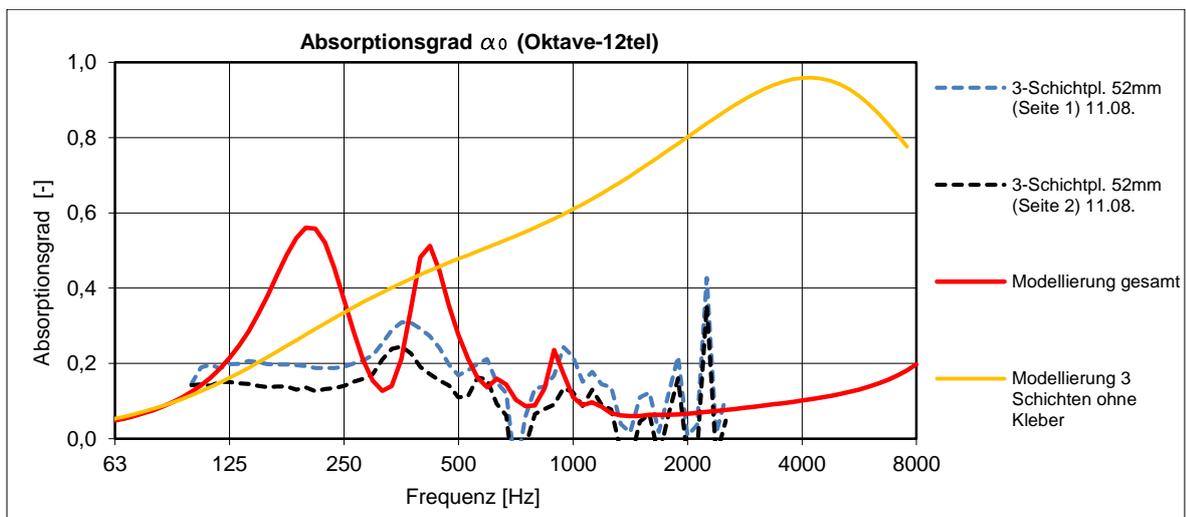


Abb. 32: Modellierung der Holzwolle-Dreischicht-Dämmplatte mithilfe von [A]

5.3.3 Akustikpotential und integrale Betrachtungen

Der gelbe Verlauf in Abb. 32 zeigt die Modellierung der Dreischichtplatte ohne Bindemittelschichten, bei der die „Plattenwirkung“ entfällt. Wäre es möglich den Produktionsprozess der Dreischichtplatten so zu gestalten, dass es an der Grenzschicht Holzwolle-Steinwolle zu keinem Absetzen des Zements und somit zur „Plattenbildung“ kommt, so würde der Absorptionsverlauf der gelben Linie folgen. Hierfür

könnte man beispielsweise eine bereits ausgehärtete Holzwolleplatte punktuell mit einer Steinwolleplatte verkleben.

Hinsichtlich des Schlagregen- und Windschutzes sei auf die Anmerkungen von Abschnitt 5.1.3 verwiesen.

5.4 Blähperlitedämmplatten

Bei Perliten handelt es sich um expandiertes, kristallwasserhaltiges Vulkangestein. Für die Herstellung von Dämmplatten wird der gemahlene Blähperlithit mit Zellulosefasern und Stärke vermischt und in Form gepresst. Es besteht die Möglichkeit einer zusätzlichen Hydrophobierung mit Kunstharzen oder Bitumen. [38], [48]

Tab. 30: Physikalische Eigenschaften von Perlitedämmplatten [38]:Tab. S. 30

Dichte [kg/m ³]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	Wasserdampfdiffusions- widerstandszahl [-]
150 - 210	0,045 – 0,070	3 - 5

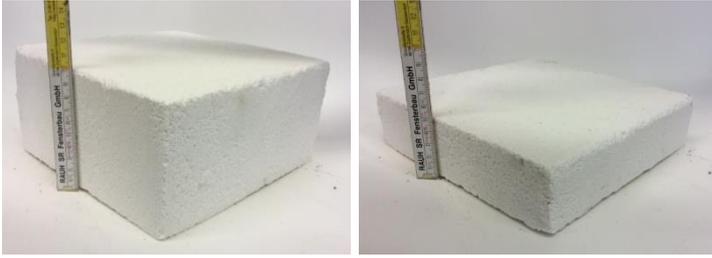
Blähperlithitplatten können aufgrund ihrer Haufwerksporigkeit als „poröser Absorber“ modelliert werden.

5.4.1 Experimentelle Untersuchung

Der gemessene Strömungswiderstand bei einer Dichte von 93 kg/m³ beträgt rd. 260 kN s/m⁴. Der Verlauf des Absorptionsgrades nach Abb. 33 folgt dem eines porösen Absorbers und ist ähnlich dem Verlauf der Holzweichfaserplatte (siehe Abb. 28). Mit einer Absorption von $DL_{\alpha} = 3 \text{ dB}$ wird die Kategorie „nicht absorbierend“ nach ZTV-Lsw 06 erreicht.

Anm.: Es wurde eine „Indoor“-Platte untersucht, jedoch werden im Allgemeinen Blähperlithitplatten auch im Fassadenbau eingesetzt [38].

Tab. 31: Materialbeschreibung der gemessenen Blähperlitplatte

	
Material	Blähperlitplatte
Hersteller	Knauf
Produktbezeichnung	TecTem® Insulation Board Indoor
Untersuchte Dicken [mm]	50 100
Gemessene Dichte [kg/m³]	93 94

Tab. 32: Gemessener Strömungswiderstand der Blähperlitplatte

Datum	originale Plattendicke [mm]	Probenbez.	untersuchter Probenteil [mm]	gemessener Strömungswiderstand [kN s/m ⁴]
09.08.	50	Probe 1	gesamte Plattendicke	nicht messbar → > 200
23.08.	50	Probe 2	30 mm	250,0
			18 mm	267,2

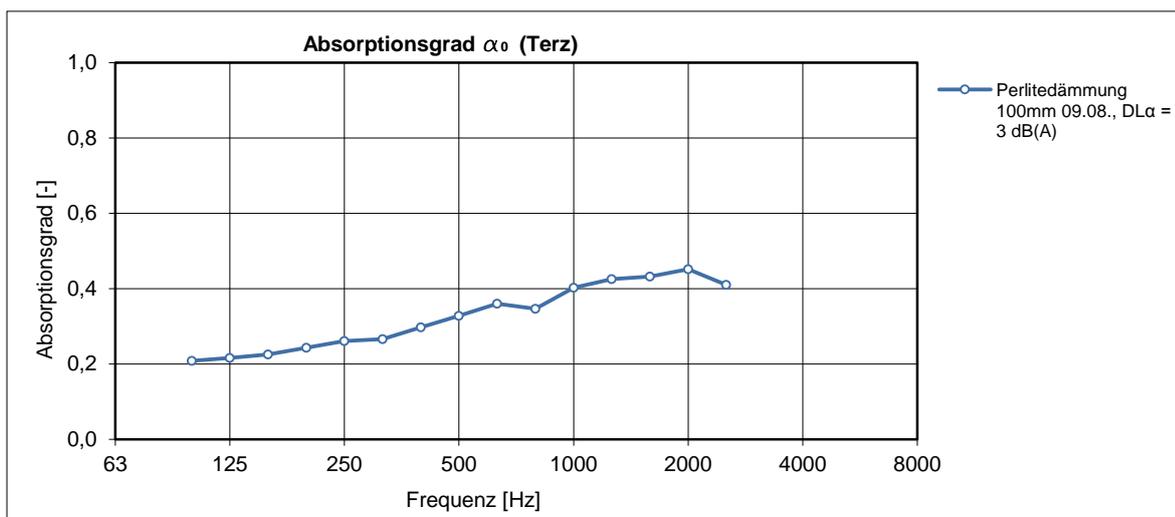


Abb. 33: Gemessener Absorptionsgrad der Blähperlitplatte (24-25°C, 96400 - 97000 Pa)

5.4.2 Modellierung

Für die Abschätzung der Volumenporosität (bzw. Massivität) kann im Gegensatz zur Steinwolle nicht angenommen werden, dass alle Poren offen und untereinander verbunden sind. Für die Porosität wird der Wert 0,85 [-] für Bimsschüttung gemäß [18] Tabelle 6.1 verwendet.

Wie Abb. 34 zeigt, kann der Absorptionsverlauf gut mit dem Modell „poröser Absorber mit festem Skelett“ laut [18] angenähert werden. Aufgrund der hohen Strömungsresistenz von 260 kN s/m^4 wird bereits für eine 100 mm dicke Platte die „akustisch unendliche Dicke“ erreicht.

Tab. 33: Eingangsdaten Modellierung der Blähperlitplatte 100 mm

	Schicht 1 (Richtung Schallquelle)
Schichtdicke D [m]	0,10
längenspez. Strömungswiderst. $\underline{\underline{\xi}}$ [Ns/m ⁴]	260000
Massivität $mu = 1 - \sigma_v$ [-]	0,15
Strukturfaktor χ [-]	1
Absorbervariable bei der Relaxationskreisfrequenz E_0 [-]	0,100

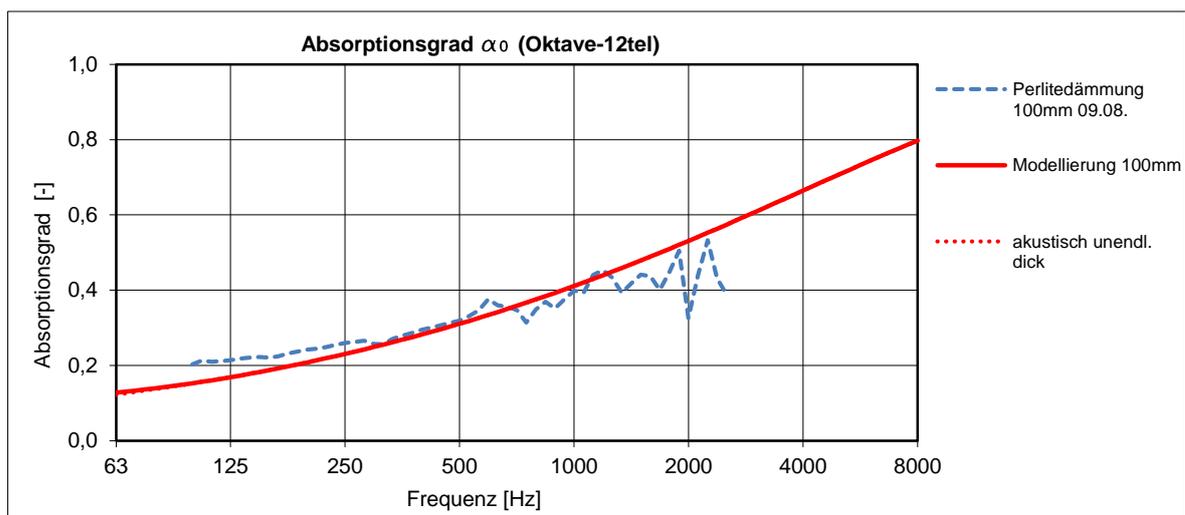


Abb. 34: Modellierung Blähperlitplatte als porösen Absorber mithilfe von [A]

5.4.3 Akustikpotential und integrale Betrachtungen

Die untersuchte 100 mm dicke Blähperlitedämmung erreicht bei 1000 Hz einen Absorptionsgrad von ca. 0,4 [-]. Es ist denkbar, wie beim Material REAPOR® (siehe Abschnitt 5.7), durch gezielte Abstimmung der verwendeten Korngrößen die Haufwerksporigkeit zu steuern und damit die Absorptionswirkung zu verbessern [49].

Der Feuchteschutz, den die Platten selbst aufweisen, ist von deren Art der Hydrophobierung abhängig. Blähperlitedämmplatten werden beispielsweise unter Putz sowie für hinterlüftete Fassadenkonstruktionen eingesetzt. [38]

5.5 Mineralschaumplatten

Als Rohstoffe für die Produktion von Mineralschaumplatten werden Kalk, Zement, Quarzsand und Zuschlagsstoffe verwendet. Beim Herstellungsprozess werden die fein gemahlene Rohmaterialien zusammen mit Wasser und einem Treibmittel zur Porenbildung vermischt. Nach einer Dampfhärtung folgt eine Hydrophobierung der Platten. Mineralschaumplatten sind nicht brennbar, feuchtebeständig sowie diffusionsoffen. [50]

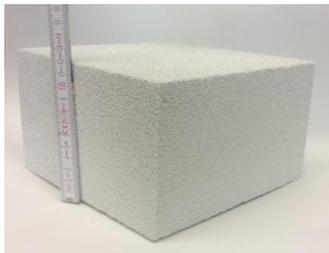
Tab. 34: Physikalische Eigenschaften von Mineralschaumplatten [50]

Dichte [kg/m ³]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	Wasserdampfdiffusions- widerstandszahl [-]
90 bis 115	0,042 – 0,047	2 - 3

5.5.1 Experimentelle Untersuchung

Wie die Messergebnisse des Schallabsorptionsgrades nach Abb. 35 zeigen, kann die untersuchte Mineralschaumplatte als „nicht absorbierend“ betrachtet werden. Dies stimmt mit dem Ergebnis von Tab. 36 überein, wonach der Strömungswiderstand für eine 57 mm dicke Probe außerhalb des Messbereichs liegt. Somit kann die Mineralschaumplatte trotz ihrer Diffusionsoffenheit als akustisch geschlossenporig angesehen werden (siehe Abb. 36).

Tab. 35: Materialbeschreibung der gemessenen Mineralschaumplatte



Material	Mineralschaumplatte
Hersteller	Sto
Produktbezeichnung	Sto-Mineralschaumplatte WLG 045
Untersuchte Dicken [mm]	120
Gemessene Dichte [kg/m ³]	129

Tab. 36: Gemessener Strömungswiderstand der Mineralschaumplatte

Datum	originale Plattendicke [mm]	Probenbez.	untersuchter Probenteil [mm]	gemessener Strömungswiderstand [kN s/m ⁴]
09.08.	57	Probe 1	gesamte Plattendicke	nicht messbar

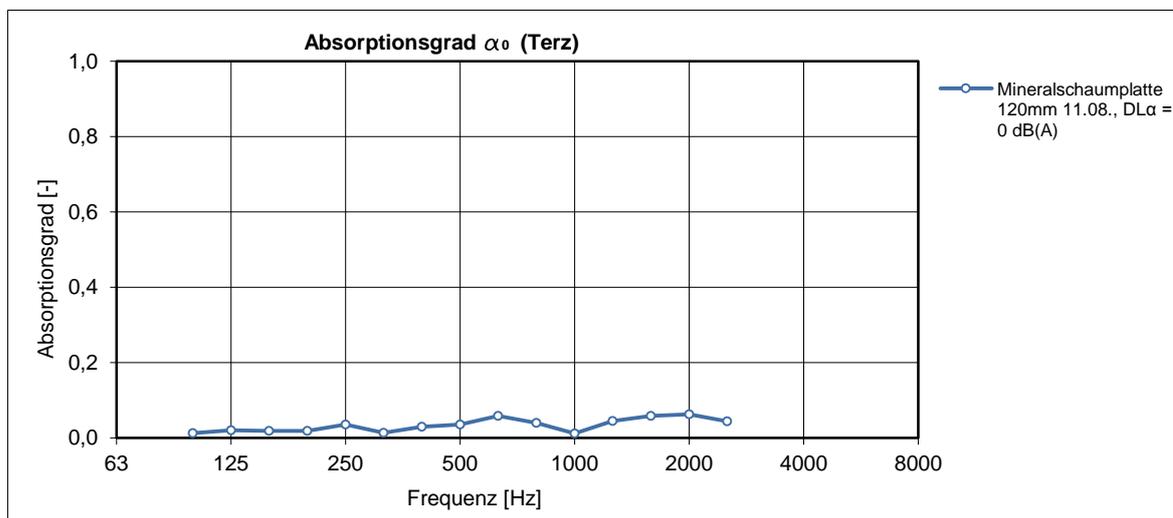


Abb. 35: Gemessener Absorptionsgrad der Mineralschaumplatte (23°C, 97400 Pa)



Abb. 36: Makroporenstruktur Mineralschaumplatte, Quelle: Sto [51] S.2

5.5.2 Modellierung

Auf eine Modellierung wird aufgrund der geringen Absorptionswirkung verzichtet.

5.5.3 Akustikpotential und integrale Betrachtungen

Die untersuchte Mineralschaumplatte zeigt kein Schallabsorptionspotential.

5.6 Schaumglasplatten (CG)

Für die Herstellung von Schaumglasplatten wird Quarzsand, Dolomit, Kalzium- und Natriumkarbonat zu Glas geschmolzen. Daraus wird Glaspulver erzeugt, welches erneut erhitzt wird und mithilfe von Kohlenstoff als Treibmittel aufgeschäumt wird. Daraus entsteht ein geschlossenzelliges, dampfdichtes sowie nicht brennbares Material. [38]

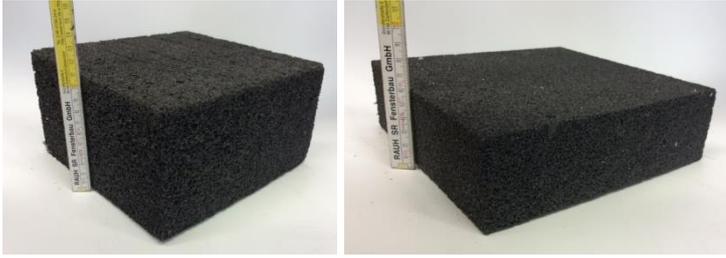
Tab. 37: Physikalische Eigenschaften vom Schaumglasplatten [38] S.25

Dichte [kg/m ³]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	Wasserdampfdiffusions- widerstandszahl [-]
115- 220	0,040 – 0,060	∞ (infinite)

5.6.1 Experimentelle Untersuchung

Aufgrund ihrer geschlossenzelligen Struktur sind Schaumglasplatten im akustischen Sinn als „nicht absorbierend“ zu betrachten. Dies wird von den Messergebnissen des Schallabsorptionsgrades laut Abb. 37 bzw. des Strömungswiderstandes gemäß Tab. 39 bestätigt.

Tab. 38: Materialbeschreibung der gemessenen Schaumglasplatten

	
Material	Schaumglasplatte
Hersteller	-
Produktbezeichnung	-
Untersuchte Dicken [mm]	60 108
Gemessene Dichte [kg/m ³]	136 110

Tab. 39: Gemessener Strömungswiderstand Schaumglasplatte

Datum	originale Plattendicke [mm]	Probenbez.	untersuchter Probenteil [mm]	gemessener Strömungswiderstand [kN s/m ⁴]
09.08.	60	Probe 1	gesamte Plattendicke	nicht messbar → > 167

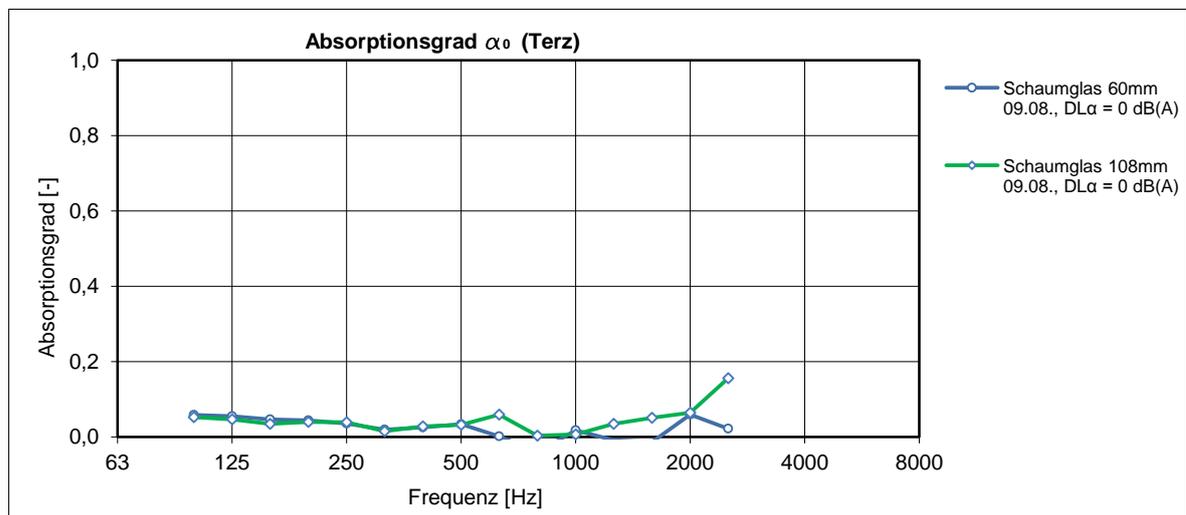


Abb. 37: Gemessener Absorptionsgrad Schaumglasplatten (24°C, 97000 Pa)

5.6.2 Modellierung

Auf eine Modellierung des geschlossenzelligen Plattenmaterials wird verzichtet.

5.6.3 Akustikpotential und integrale Betrachtungen

Wie die Messungen zeigen, ist die betrachtete Schaumglasplatte als Schallabsorber nicht geeignet. Jedoch wird in Abschnitt 7.4 auf das akustische Verhalten von Schaumglasschüttungen, die eine gewisse Haufwerksporigkeit aufweisen, eingegangen.

5.7 REAPOR® – gesinterter Glasschaum

REAPOR®-Glasschaum ist ein anorganisches, faserfreies, poröses, nicht brennbares Material. REAPOR®-Platten werden aus einem thermisch geblähten Glasgranulat hergestellt, das nach der Formgebung gesintert wird. Dieses Material weist eine haufwerksförmige, offenzellige Glasschaumstruktur auf (siehe Abb. 38), wodurch sich gute Schallabsorptionseigenschaften ergeben. [49], [52]

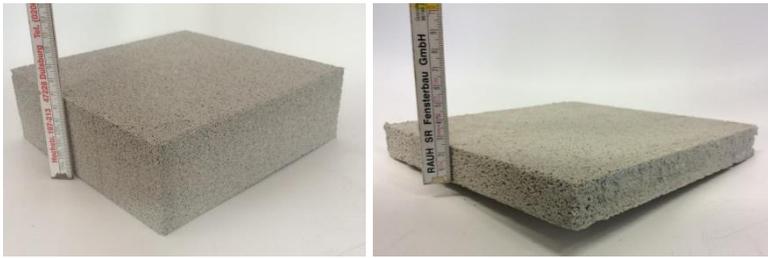
Tab. 40: Physikalische Eigenschaften von REAPOR®- Glasschaum [53]

Dichte [kg/m ³]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	Wasserdampfdiffusions- widerstandszahl [-]	Strömungsresistenz Ξ [kNs/m ⁴]
270 ± 10%	0,08	3,5 – 4,0	10 - 20

5.7.1 Experimentelle Untersuchung

Der gemessene Strömungswiderstand beträgt bei einer Dichte von rd. 280 kg/m³ durchschnittlich 16 kN s/m⁴. Bei Proben gleicher Körnung und Dichte sind die Streuungen der akustischen Parameter vergleichsweise klein [52].

Tab. 41: Materialbeschreibung REAPOR®

		
Material	gesinterte Glasschaumplatte	
Hersteller	Liapor	
Produktbezeichnung	REAPOR®	
Untersuchte Dicken [mm]	24	65
Gemessene Dichte [kg/m ³]	281	284

Tab. 42: Gemessener Strömungswiderstand REAPOR®

Datum	originale Plattendicke [mm]	Probenbez.	untersuchter Probenteil [mm]	gemessener Strömungswiderstand [kN s/m ⁴]
09.08.	24	Probe 1	gesamte Plattendicke	17,3
16.08.	24	Probe 2	gesamte Plattendicke	15,4
16.08.	65	Probe 3	gesamte Plattendicke	15,7

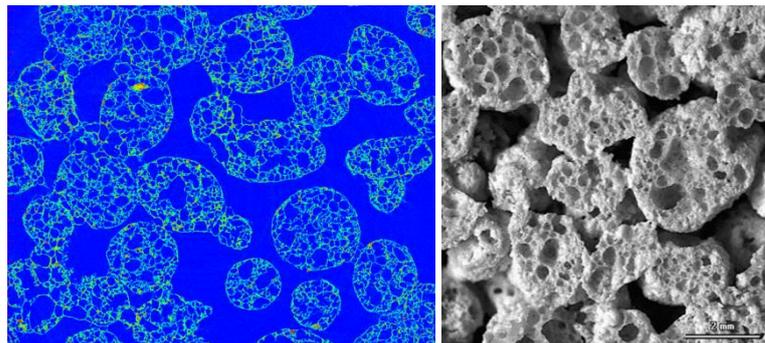


Abb. 38: Mikroskopische Aufnahme des Glasschaum-Gefüges, Quelle: Fraunhofer IBP

Das erste Maximum des Absorptionsgradverlaufes von REAPOR®-Glasschaum (siehe Abb. 39) liegt bei einer tieferen Frequenz als das eines gleich dicken Mineralfaserdämmstoffes. Im mittleren Frequenzbereich nimmt die Absorption ab und steigt zu hohen Frequenzen wieder an, wobei der Absorptionsgrad bei hohen Frequenzen stets niedriger ist als der einer gleich dicken Mineralfaser. [52]

Nach Abb. 39 verschiebt sich das erste Absorptionsmaximum mit steigender Plattendicke zu tieferen Frequenzen hin. Die 24 mm dicke Platte hat ihr Maximum im Bereich der Verkehrslärmspitze an der Straße bei 1000 Hz, fällt jedoch zu höheren und tieferen Frequenzen hin sehr stark ab, wodurch der Wert DL_{α} bei einer 65 mm dicken Platte um rd. 3 dB höher ist als bei einer 24 mm dicken.

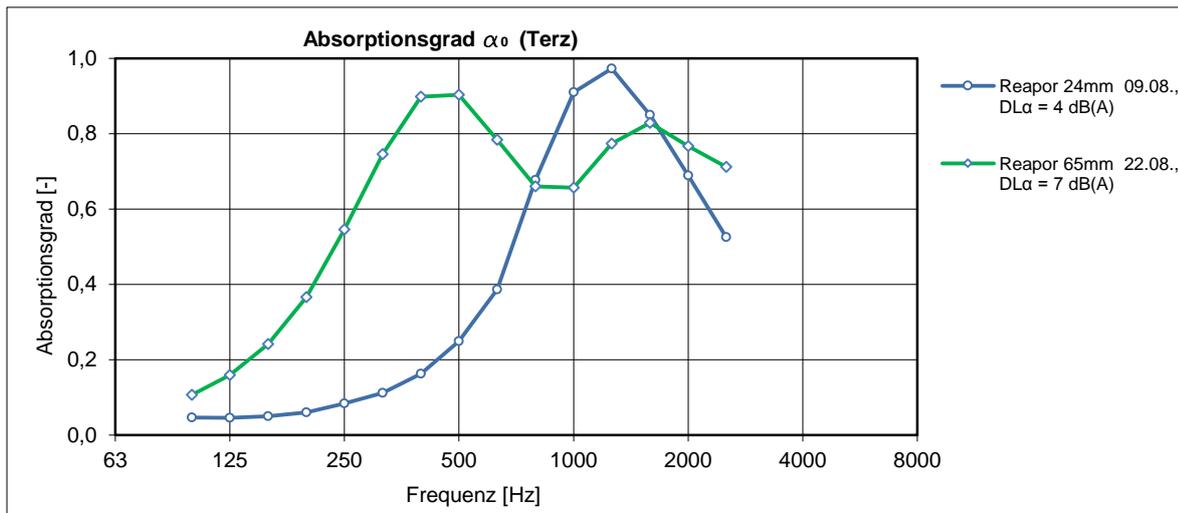


Abb. 39: Gemessener Absorptionsgrad REAPOR® (24°C, 97000-97600 Pa)

5.7.2 Modellierung

Aufgrund der speziellen Porenstruktur (mehrfachporosität) von REAPOR® ist gemäß [52] bei einer Modellierung mithilfe eines homogenen Strömungsabsorber-Modells die starke Frequenzabhängigkeit der Strömungsresistenz dieses Materials zu berücksichtigen. Der Strömungswiderstand kann hierfür linear mit der Frequenz ansteigend angesetzt werden. Es werden die beiden „Grenzwerte“ des Strömungswiderstandes untersucht, wobei für tiefe Frequenzen der gemessene mit 16 kN s/m^4 und für hohe ein mit der Modellierung iterierter Wert angesetzt wird. Wie bereits in Abb. 39 gezeigt, liegt das erste Maximum der 65 mm dicken Platte bei einer tieferen Frequenz als das der 24 mm dicken. Daher wird, um dieses erste Maximum gut zu modellieren, der Strömungswiderstand für hohe Frequenzen für die dickere Platte niedriger angesetzt.

Der Quotient der Dichte des Absorbers durch das Ausgangsmaterial der Herstellung (für Glas laut [35] S. 163: $2500\text{-}3000 \text{ kg/m}^3$) beträgt $(280\text{kg/m}^3)/(2700 \text{ kg/m}^3) \cong 0,10$. Hingegen wird für die Massivität von REAPOR® mit $0,20 [-]$ angenommen, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass alle Poren offen sind.

Nach [9] kann der Strukturfaktor für geschäumte Absorber Werte bis 10 annehmen. Für diese Modellierung wird eine gute Anpassung an die Messwerte mit einem Strukturfaktor von 6,5 erzielt.

Tab. 43: Eingangsdaten Modellierung REAPOR® 24 mm

	Schicht 1 (Richtung Schallquelle)
Schichtdicke D [m]	0,024
längenspez. Strömungswiderst. $\underline{\underline{\xi}}$ [Ns/m ⁴]	16000 und 40000
Massivität $mu = 1 - \sigma_v$ [-]	0,20
Strukturfaktor χ [-]	6,5
Absorbervariable bei der Relaxationskreisfrequenz E_0 [-]	0,100

Tab. 44: Eingangsdaten Modellierung REAPOR® 65 mm

	Schicht 1 (Richtung Schallquelle)
Schichtdicke D [m]	0,065
längenspez. Strömungswiderst. $\underline{\underline{\xi}}$ [Ns/m ⁴]	16000 und 22000
Massivität $mu = 1 - \sigma_v$ [-]	0,20
Strukturfaktor χ [-]	6,5
Absorbervariable bei der Relaxationskreisfrequenz E_0 [-]	0,100

Eine Untersuchung mithilfe von [A] ergab eine gute Anpassung an die „akustisch unendlich dicke“ Schicht mit rd. 0,2 m bei einer Strömungsresistenz von 16 kN s/m⁴ und rd. 0,13 m bei einer Strömungsresistenz von 40 kN s/m⁴.

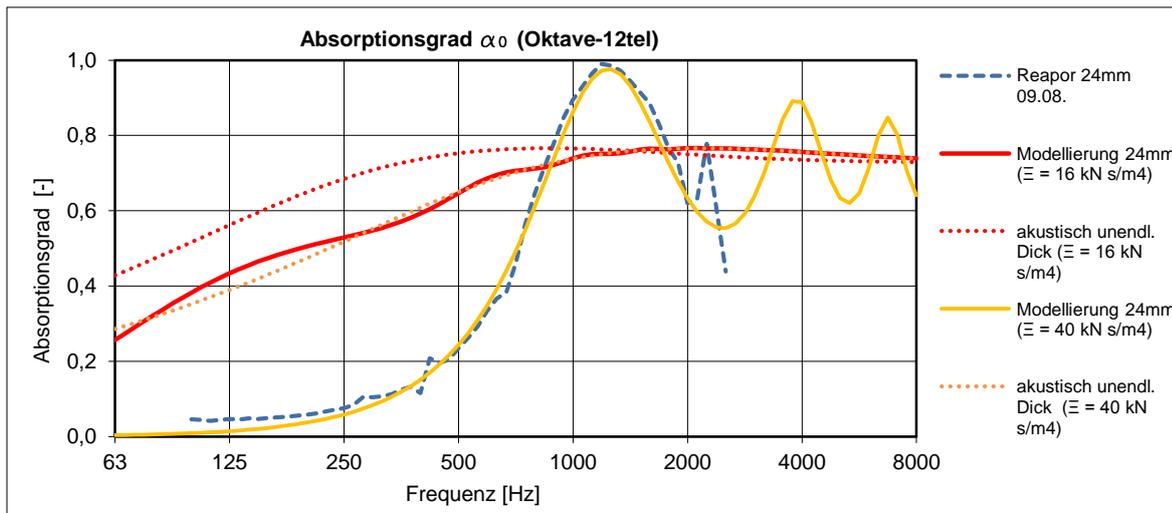


Abb. 40: Modellierung 24 mm dicke REAPOR®-Platte mithilfe von [A]

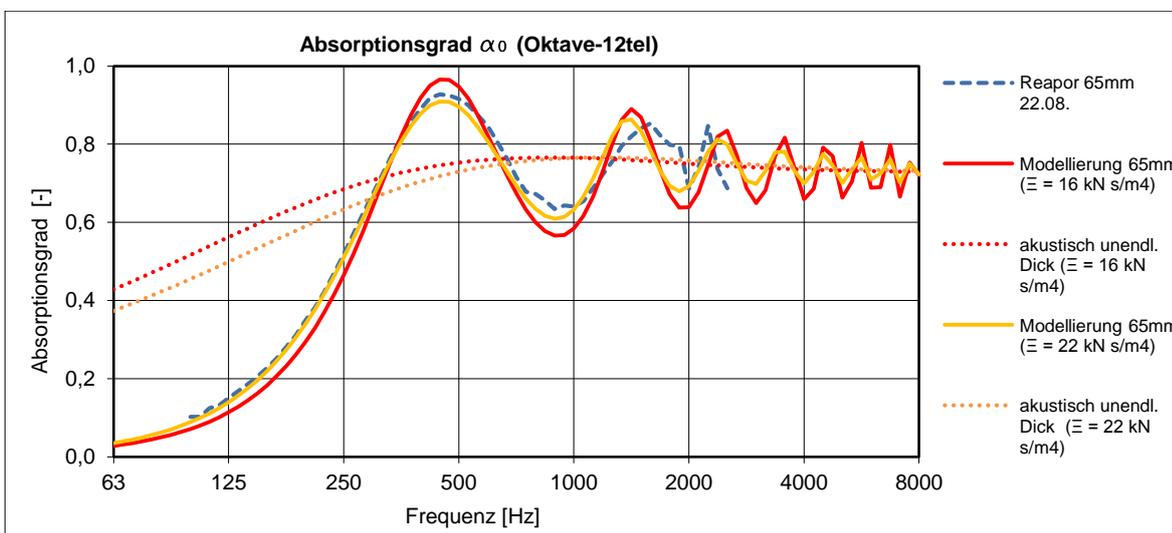


Abb. 41: Modellierung 65 mm dicke REAPOR®-Platte mithilfe von [A]

5.7.1 Akustikpotential und integrale Betrachtungen

Die Oberfläche von REAPOR® ähnelt dem Aussehen nach dem von Naturstein. Es ist ein witterungs- und UV-beständiges Material und kann in Plattenform für Außenwände ohne zusätzliche Schutzschicht eingesetzt werden. Allerdings kann es zu temporären Ausblühungen kommen, die sich durch Abspritzen mit Wasser oder das abrinnde Regenwasser entfernen lassen. Bei Anwendung an der Außenwand sollte die oberste Platte konstruktiv vor Regenwasser geschützt werden. Dies kann beispielsweise durch eine Metallkappe bzw. –schürze erfolgen. Das bodennahe Paneel sollte mit einer freien Tropfkante ausgestattet werden. [54]

Da die Wärmedämmeigenschaften von REAPOR® (siehe Tab. 40: $\lambda = 0,08 \text{ W}/(\text{mK})$) schlechter sind als die von Mineralwolle (siehe Tab. 9: $\lambda \approx 0,04 \text{ W}/(\text{mK})$), werden beim

Einsatz von REAPOR® als Außendämmung größere Dämmstärken benötigt. Für Wände gegen Außenluft ist nach OIB-RL 6: 2015-03 ein U-Wert von 0,35 W/(m²K) nicht zu überschreiten. Daraus ergibt sich eine minimale Dämmstoffdicke von ca. 11 cm bei Mineralwolle und ca. 23 cm bei REAPOR®. Somit scheint der Einsatz von REAPOR® als alleinige Außendämmung eher unwirtschaftlich zu sein. Es ist allerdings denkbar die Dicke der REAPOR®- Schicht akustisch zu dimensionieren und die Wärmedämmwirkung durch die Kombination mit einem anderen Dämmstoff zu erzielen. [55]

5.8 Expandiertes Polystyrol (EPS) bzw. Extrudiertes Polystyrol (XPS)

Den Ausgangsstoff für die Erzeugung von Expandiertem Polystyrol (EPS) bildet Polystyrolgranulat. Dieses wird durch die Polymerisation von Styrol hergestellt. Außerdem wird ein Treibmittel, wie z.B. Pentan, zugegeben. Anschließend werden diese Granulat-„Perlen“ durch Wärmebehandlungen expandiert und miteinander verbunden. Das Endprodukt ist eine harter Schaumstoffplatte mit geschlossenzelliger Oberfläche. [38]

Sonderformen bilden elastifizierte und diffusionsoffene EPS-Platten. Elastifiziertes EPS wird durch starkes Pressen von EPS-Blöcken hergestellt. Dabei wird die EPS-Struktur gewandelt und es entsteht ein weiches, federelastisches Material. Dieser Produktionsschritt erhöht das Luftschall-Dämmmaß. Bei diffusionsoffenem EPS werden normal zur Plattenebene Löcher angeordnet. Inwieweit sich die Elastifizierung oder die Lochung auf die Schallabsorptionseigenschaften auswirkt, wird weiterfolgend untersucht. [56], [57]

Extrudiertes Polystyrol (XPS) wird in einem Extruder aus Polystyrolgranulat unter der Zugabe von Treibmitteln aufgeschäumt. Als Treibmittel wird unter anderem CO₂ eingesetzt. Es entsteht eine homogene Struktur, deren Poren zu rd. 98 % geschlossen sind. [38]

Tab. 45: Physikalische Eigenschaften von EPS [38]:Tab. S. 35

Dichte [kg/m ³]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	Wasserdampfdiffusions- widerstandszahl [-]
15 - 30	0,032 – 0,040	20 - 100

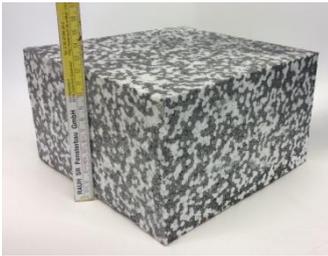
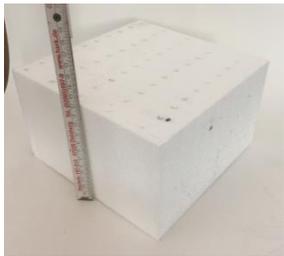
Tab. 46: Physikalische Eigenschaften von XPS [38]:Tab. S. 37

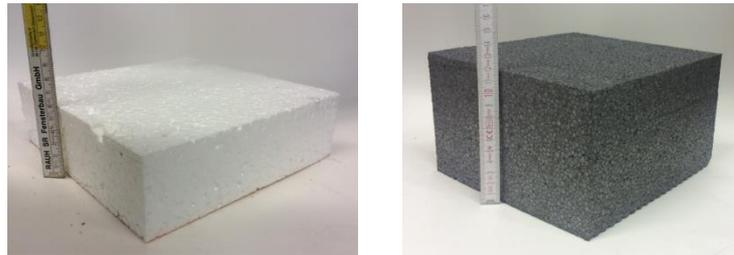
Dichte [kg/m ³]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	Wasserdampfdiffusions- widerstandszahl [-]
25 - 45	0,030 – 0,040	80 - 200

5.8.1 Experimentelle Untersuchung

Im Zuge der experimentellen Untersuchung wurden verschiedene Arten von EPS-Platten betrachtet. Aufgrund der überwiegend geschlossenzelligen Zellstruktur von herkömmlichen EPS-Platten, liegt deren Strömungswiderstand außerhalb des Messbereichs des verwendeten Messgeräts. Hingegen konnte für elastifiziertes EPS, dessen Struktur im Zuge der Herstellung „aufgebrochen“ wird, ein Wert von rd. 50-60 kN s/m⁴ gemessen werden.

Tab. 47: Materialbeschreibung der gemessenen EPS-Platten

				
Material	EPS		EPS mit Waffelstruktur	
Hersteller	Alsecco		Saint Gobain Weber	
Produktbezeichnung	-		Weber.therm Speedy EPS – WLG 035	
verwendete Kurzbez.	EPS Alsecco		EPS Weber	
Untersuchte Dicken [mm]	40	118	100	
Gemessene Dichte [kg/m ³]	14	14	26	
				
Material	EPS		diffusionsoffenes EPS (Loch-DN rd. 5mm; Abstände: 20/40 mm)	
Hersteller	Fema		Baumit	
Produktbezeichnung	Weiss-Blau EPS 035		open®	
verwendete Kurzbez.	EPS Fema		EPS open Baumit	
Untersuchte Dicken [mm]	100	120	119	
Gemessene Dichte [kg/m ³]	19		22	



Material	elastifiziertes EPS	elasifiziertes EPS
Hersteller	-	Saint Gobain Weber
Produktbezeichnung	-	Weber.therm Speedy EPSe – WLG 032 grau
verwendete Kurzbez.	EPS elast. weiß	EPS elast. Weber
Untersuchte Dicken [mm]	58	120
Gemessene Dichte [kg/m ³]	8	16

Tab. 48: Gemessener Strömungswiderstand EPS elastisch

Datum	originale Plattendicke [mm]	Probenbez.	untersuchter Probenteil [mm]	gemessener Strömungswiderstand [kN s/m ⁴]
23.08.	58	Probe 2	„EPS elast. weiß“ - gesamte Plattendicke	58,6
23.08.	58	Probe 3	„EPS elast. weiß“ - gesamte Plattendicke	48,9
23.08.	120	Probe 4	„EPS elast. Weber“- gesamte Plattendicke	nicht messbar

Wie das Ergebnis der Impedanzrohrmessung nach Abb. 42 zeigt, ist EPS aufgrund seiner überwiegenden Geschlossenporigkeit als „schallhart“ anzusehen. Allerdings kommt es in einem schmalen Frequenzbereich zu einer Resonanzspitze der Absorption, bei der die akustischen Schwingungen in mechanische des Dämmmaterials umgewandelt und in großem Maße dissipiert werden. Die Dissipation erfolgt aufgrund von Strukturdämpfung sowie thermischen Verlusten [58].

Vergleicht man die Absorptionsgrad-Verläufe für „EPS Alsecco 40 mm“ und „EPS Alsecco 118 mm“, so steigt die Resonanzfrequenz eines bestimmten geschlossenzelligen Materials mit abnehmender Dicke. Beispielsweise liegt die Resonanzfrequenz einer rd. 100 mm dicken EPS-Platte bei ca. 1250 Hz.

Die Gegenüberstellung der Absorptionsverläufe von „EPS Fema 120 mm“ und „EPS elast. Weber 120 mm“ lässt erkennen, dass die Elastifizierung des EPS-Materials eine Verschiebung der Resonanz zu tieferen Frequenzen hin bewirkt. Auch ist das Gesamtabsorptionsverhalten eines elastifizierten Polystyrols besser als das von herkömmlichen EPS. Dies korreliert gut mit den Ergebnissen der Strömungswiderstandsmessung.

Auch bei der diffusionsoffenen Variante „EPS open Baunit 120 mm“ lassen sich im Vergleich zu herkömmlichen EPS-Platten etwas höhere Absorptionsgrade erzielen.

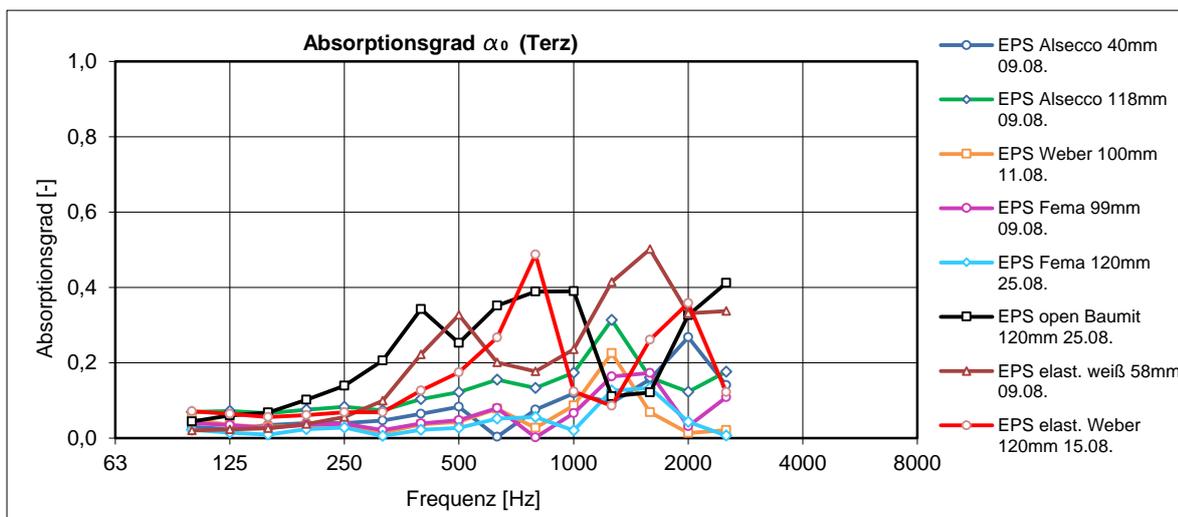


Abb. 42: Gemessene Absorptionsgrade der EPS-Platten (23-24°C, 96800-97400 Pa)

5.8.2 Modellierung

Expandiertes Polystyrol kann aufgrund seiner überwiegenden Geschlossenporigkeit nicht als „poröser Absorber“ modelliert werden. Chevillotte F. und Panneton R. geben in [58] eine Methode zur Berechnung des Kompressions- und E-Moduls, der Poisson'schen Querkontraktionszahl sowie des Dämpfungsfaktors eines isotropen, geschlossenzelligen Schaumes an. Diese Berechnung basiert auf den Daten einer Impedanzrohrmessung. Hierbei wird zwischen den Lagerungsbedingungen eingespannt und gleitend unterschieden. In beiden Fällen ist der Schaumstoff fest mit der schallharten Rückwand des Rohres verbunden. Handelt es sich um eine Einspannung, so wird bei der Berechnung zusätzlich zur Probendicke ein Strukturfaktor berücksichtigt, der das Verhältnis Probendurchmesser zu Dicke angibt. Für die gleitende Lagerung wird als geometrische Randbedingung nur die Probendicke benötigt. [58]

Im Zuge dieser Masterarbeit wird auf eine theoretische Modellierung von EPS und XPS verzichtet. Gründe hierfür sind die nur schwer zu realisierende, gleitende Lagerungsbedingung beim Versuchsaufbau und die sehr geringe bzw. überwiegend nicht vorhandene Schallabsorption.

5.8.3 Akustikpotential und integrale Betrachtungen

Wie die theoretischen und experimentellen Betrachtungen zeigen, sind EPS und XPS aufgrund ihrer überwiegend geschlossenzelligen Oberfläche als Schallabsorber nicht sehr aussichtsreich. Im Vergleich dazu werden mit elastifizierten und diffusionsoffenen EPS-Platten etwas höhere Absorptionsgrade erreicht. Hierzu ist anzumerken, dass der Lochdurchmesser von „EPS open Baunit“ rd. 5 mm misst. Um beispielsweise für 1000 Hz die „Zähigkeits-Grenzschichtdicke“ zu erreichen, dürfte der maximale Porendurchmesser

$$d_{Pore,max} \stackrel{!}{=} \lambda_{Zähigkeitswelle} = \frac{2 \cdot \pi}{k} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \mu}{\omega}} = \quad (37)$$

$$= 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,56 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}}{2 \cdot \pi \cdot 1000 \text{ rad/s}}} \cong 0,44 \cdot 10^{-3} [\text{m}]$$

betragen ($\mu = 1,56 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ aus [59]). [12], [18]

Anm.: In dieser Formel wird die Wellenzahl k der Zähigkeitswelle nach [12] S. 135,136 bzw. [18] S. 231 $k = \sqrt{\omega \cdot \rho_0 / 2 \cdot \eta} = \sqrt{\omega / 2 \cdot \mu}$ verwendet. Die Umrechnung von der Wellenzahl k auf die Wellenlänge erfolgt mit dem allgemeinen Zusammenhang $k = 2 \cdot \pi / \lambda$ nach [12] S. 12.

Das Ergebnis von Formel (37) lässt erkennen, dass der vorhandene Lochdurchmesser von 5 mm für den relevanten Frequenzbereich viel zu groß ist, um als „enger Kanal“ (mit großen Zähigkeitskräften und daraus folgend hoher Absorption) wirken zu können [12]. Es ist vorstellbar das Schallabsorptionsverhalten von EPS durch die Herstellung einer sehr feinen Lochung mit Durchmessern < 1 mm sowie hohem Lochflächenanteil zu verbessern. Ob dies im Zuge des Produktionsprozesses machbar ist, müsste weiteren Untersuchungen unterzogen werden.

Auch eine Elastifizierung beeinflusst, durch das teilweise Aufbrechen der geschlossenzelligen Struktur, die Schallabsorptionseigenschaften positiv.

Aus bautechnisch-konstruktiver Sicht ist zu beachten, dass EPS- und XPS-Platten vor UV-Einflüssen geschützt werden müssen [38]. Daher werden sie meist in Wärmedämmverbundsystemen oder hinterlüfteten Fassadenkonstruktionen eingesetzt. Wie sich solche geschichteten Aufbauten auf die Absorption auswirken, wird in den Kapiteln 6 und 7 behandelt.

5.9 Polyurethan-Hartschaum (PUR)

Die zwei Produktions-Hauptbestandteile von Polyurethan (PUR) sind Polyalkohol (aus Erdöl, Zuckerrüben, Mais oder Kartoffeln) und Polyisocyanat. Als Treibmittel wird unter anderem Pentan eingesetzt. Zur Herstellung von Polyurethan-Hartschaumplatten wird ein Gemisch aus Polyurethan (PUR) und Polyisocyanurat (PIR) verwendet. Es wird zwischen zwei Produktionsmethoden unterschieden. Beim „Laminierungs“-verfahren wird das PUR/PIR-Gemisch auf ein Transportband verteilt, wo es aufschäumt und sich mit der oberen und unteren Deckschicht (Vliese, Bitumenbahnen, Metallfolien usw.) verbindet. Das andere Herstellungsverfahren ist das sogenannte Blockschaumverfahren. Dabei wird das PUR/PIR-Gemisch in eine Blockform eingebracht, wo es aufschäumt. Diese Blöcke werden anschließend zugeschnitten. Polyurethan-Hartschaumplatten sind schwerentflammbar. Die Poren von PUR sind zu mehr als 90% geschlossen. [38]

Tab. 49: Physikalische Eigenschaften von Polyurethan-Hartschaum [38]:Tab. S. 39

Dichte [kg/m ³]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	Wasserdampfdiffusions- widerstandszahl [-]
30 - 100	0,024 – 0,030	30 - 100 (ohne Deckschicht) ∞ (mit Deckschicht)

5.9.1 Experimentelle Untersuchung

Für die experimentellen Untersuchungen stand ein geschlossenzelliger PU-Hartschaum ohne Deckschichten zur Verfügung. Der Verlauf des gemessenen Schallabsorptionsgrades gemäß Abb. 43 ist mit dem von EPS-Platten vergleichbar. Daraus folgt, dass es sich auch ohne Deckschichten um ein „schallhartes“ Material handelt.

Tab. 50: Materialbeschreibung des gemessenen PU-Schaumes



Material	geschlossenzelliger PU-Schaum
Hersteller	-
Produktbezeichnung	-
Untersuchte Dicken [mm]	82
Gemessene Dichte [kg/m ³]	36

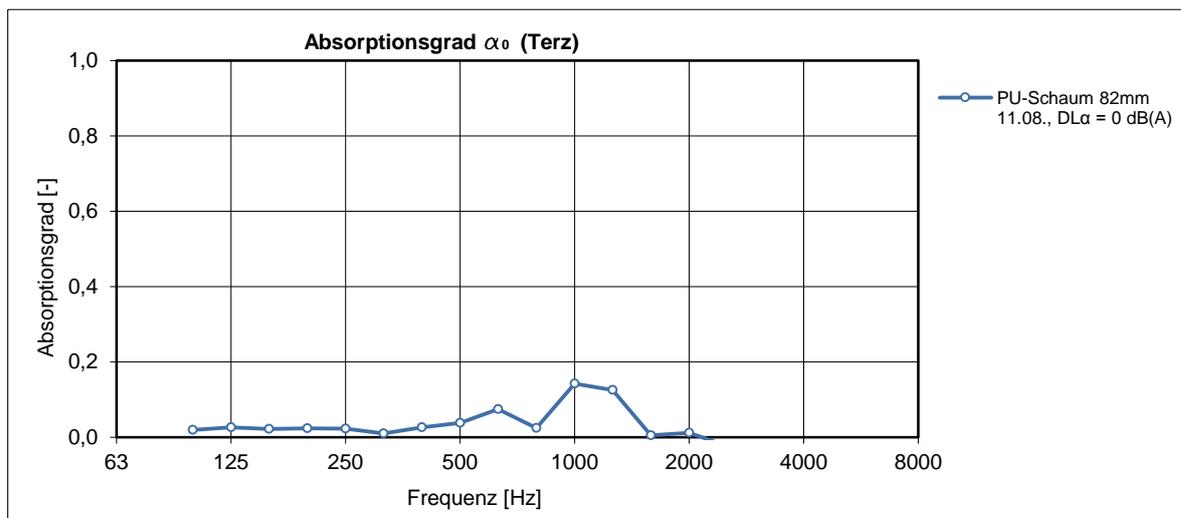


Abb. 43: Gemessener Absorptionsgrad der PU-Schaumplatte (23°C, 97400 Pa)

5.9.2 Modellierung

Auf eine Modellierung des geschlossenzelligen PU-Schaumes wird verzichtet. Es wird auf die Erläuterungen in Abschnitt 5.8.2 verwiesen.

5.9.3 Akustikpotential und integrale Betrachtungen

Wie die Betrachtungen in Abschnitt 5.9.1 ergeben, eignet sich PU-Hartschaum mit und ohne Deckschichten nicht als Schallabsorber. Auch ist PU-Schaum im Allgemeinen nicht UV-beständig und muss daher konstruktiv, wie EPS, geschützt werden [38]. Hingegen ist bekannt, dass weicher offenporiger PU-Schaum in der Raumakustik als Absorber eingesetzt wird. [18] gibt hierfür die in Tab. 51 gezeigten Eigenschaften an.

Tab. 51: Berechnungsparameter von PU-Weichschaum [18]:Tab. 6.1 und 6.3

Porosität σ_v [-]	Strömungsresistenz Ξ [kNs/m ⁴]	Strukturfaktor χ [-]
0,95 bis 0,995	ca. 5 bis 30	1,44 (für offenzellige „Skelett-Schäume“ [18] S.107)

Auch andere Schäume, wie beispielsweise Basotect®-Melaminharzschaum, der die Brandschutzklasse B1 nach DIN 4102 erfüllt und UV-beständig ist, sind gute Schallabsorber [60]. Der Einsatz dieser „weichen“ Schäume für ein Wärmedämmverbundsystem ist aufgrund ihrer niedrigen Dichte und geringen mechanischen Beanspruchbarkeit nicht denkbar. Die Anwendbarkeit für mehrschalige Fassadenkonstruktionen wäre weiterführend zu überprüfen.

6 Schallabsorptionsverhalten von Wärmedämmverbundsystemen

6.1 Systembeschreibung

Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) werden bei Neubauten und zur thermischen Sanierung von Wohnbauten verwendet. Der Systemaufbau besteht aus einer mit dem Rohbau verklebten Dämmstoffschicht, die mit einer Deckschicht versehen wird. Diese Deckschicht setzt sich aus einem mineralischen, kunststoffmodifizierten oder organischen Unterputz inklusive Textilglasgitterarmierung (zur Minimierung der Rissgefährdung infolge thermischer Dehnungen), einem Oberputz und eventuell einem Anstrich zusammen. Als Oberputzmaterial kommen Kunstharzputze, silikat- und silikonharzgebundene Putze, mineralische Dickputze, aber auch Sonderformen wie Spritzfolienbeschichtungen und lackierte Fassaden zur Anwendung. [37], [61], [62]



Abb. 44: Systemaufbau WDVS gemäß [61]: Abb. 130.3-01

Für WDV-Systeme wird in Österreich zurzeit hauptsächlich expandiertes Polystyrol(EPS) als Dämmstoff eingesetzt. Weitere Dämmstoffarten sind Mineralwolle(MW), expandierter Kork(ICP), Holzfaser(WF), gebundene Holzwole(WW) extrudiertes Polystyrol(XPS), Mineralschaum, Phenolharz-Hartschaum(PF), Polyurethan-Hartschaum(PU), Schilfrohrdämmplatten, Solarwaben und Vakuum-Isolationspaneelle(VIP). Die Montage des Dämmstoffes auf den Baukörper (Rohbau) erfolgt über eine Verklebung, die mithilfe der Randwulst-Punkt-Methode oder vollflächig ausgeführt werden kann. Je nach Qualität des Untergrundes müssen WDVS zusätzlich mit Dübeln mechanisch befestigt werden. Eine dritte Variante ist die mechanische Befestigung über Tragschienen. Die Art der Befestigung hängt von der Untergrundbeschaffenheit, der Dämmstoffart und der Einbauhöhe über der Geländeoberfläche ab. [37], [61]–[64]

6.2 Wärmedämmung mit vollflächiger Armierung und Putzschicht

6.2.1 Experimentelle Untersuchung

Für die experimentelle Untersuchung des Schallabsorptionsverhaltens von Wärmedämmverbundsystemen wurden auf verschiedene Dämmstoffproben eine ca. 1,3-2,4 mm dicke Armierungsmörtelschicht sowie ein ca. 1,1-1,4 mm dicker Oberputz aufgebracht. Die Strömungsresistenz solcher Systemaufbauten kann „unendlich groß“ angenommen werden und wurde daher messtechnisch nicht untersucht. Armierungs- bzw. Putzschichten können akustisch als „Plattenschwinger“ angesehen werden, deren Eigenfrequenzen nicht nur von den Platteneigenschaften, sondern auch von den Lagerungsbedingungen bzw. Probenabmessungen abhängig sind. Der dahinterliegende Dämmstoff wirkt als Systemfeder. Tab. 52 gibt das verwendete Armierungsmörtel und das (Ober-)Putzmaterial an.

Tab. 52: Verwendetes Armierungsmörtel- und (Ober-)Putzmaterial

	
Armierungsmörtel	
Material	WDV-System Klebe- und Armierungsmörtel
Hersteller	Fema
Produktbezeichnung	THERM-Pulverkleber grau
Trockenrohdichte [kg/m ³]	[65]: ca. 1400
Armierungsgewebe	
Material	Glasseidengittergewebe
Hersteller	Fema
(Ober-)Putzmaterial	
Material	Dispersionsputz mit Kratzputzstruktur
Hersteller	Fema
Produktbezeichnung	FEMA-LIT-Scheibenputz MK+
Trockenrohdichte [kg/m ³]	[66]: ca. 1700 - 1900

Abb. 45 bis Abb. 47 zeigen den gemessenen Schallabsorptionsgradverlauf verschiedener Wärmedämmmaterialien ohne und mit Armierung sowie inkl. Oberputz. Für EPS und PU-Hartschaum verschiebt sich durch die zusätzlich aufgebrachte Masse in Form der Armierung (oder der gesamten Putzschicht) die Resonanzfrequenz zu tieferen Frequenzen hin. Allerdings wird das Schallabsorptionsvermögen solcher „schallharter“ Materialien an und für sich nicht nennenswert verändert. Hingegen ist bei gut schallabsorbierenden Dämmstoffen, wie Steinwolle oder Holzweichfasern, eine deutliche Verschlechterung des Absorptionsverhaltens erkennbar. Dies wird in Abschnitt 6.3 betrachtet.

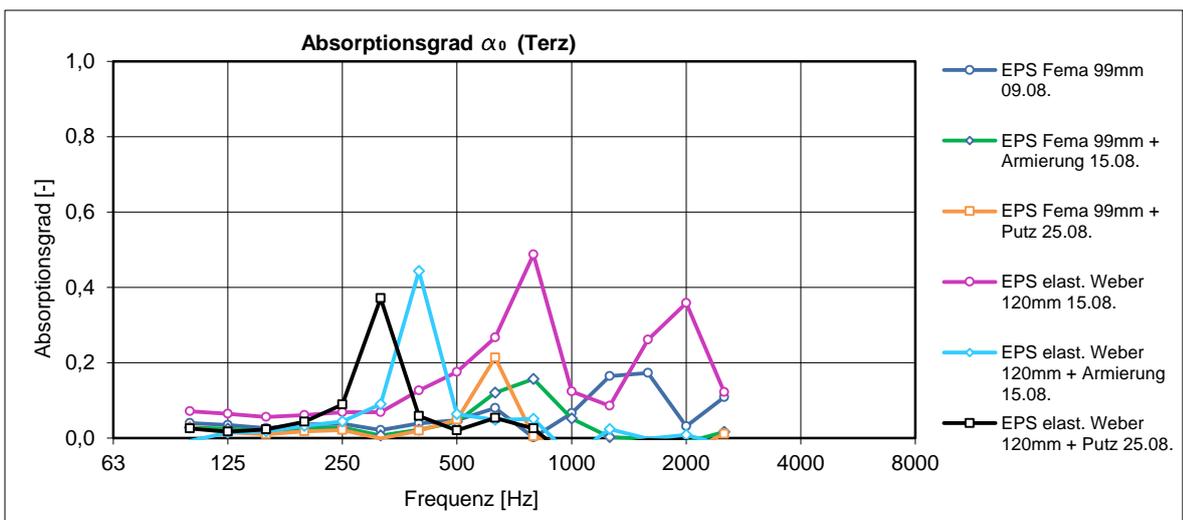


Abb. 45: Gemessene Absorptionsgrade von vollflächigen Armierungen (23-25°C, 96800-97200 Pa)

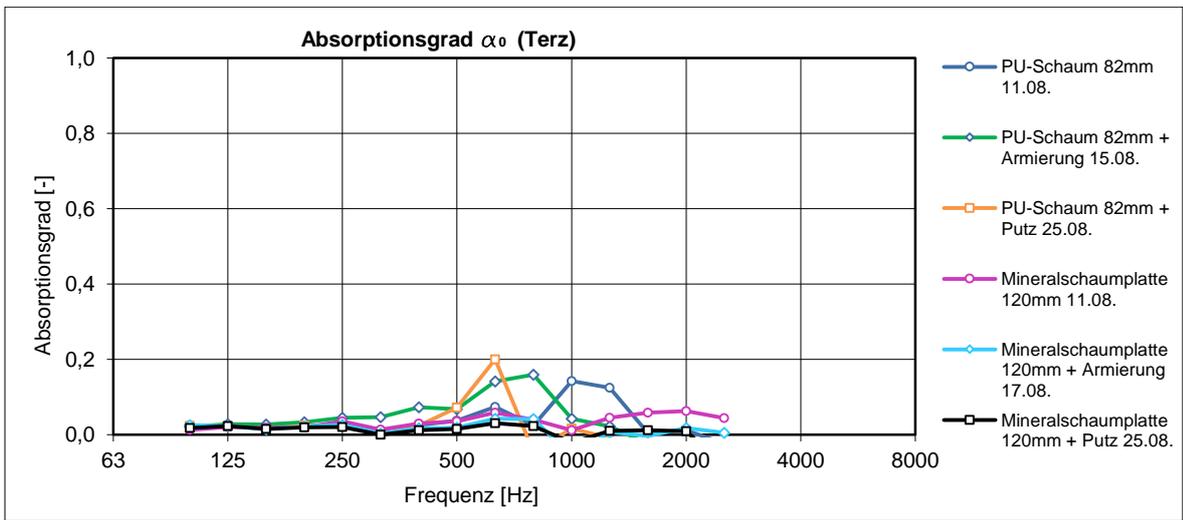


Abb. 46: Gemessene Absorptionsgrade von vollflächigen Armierungen (23-24°C, 96300-97400 Pa)

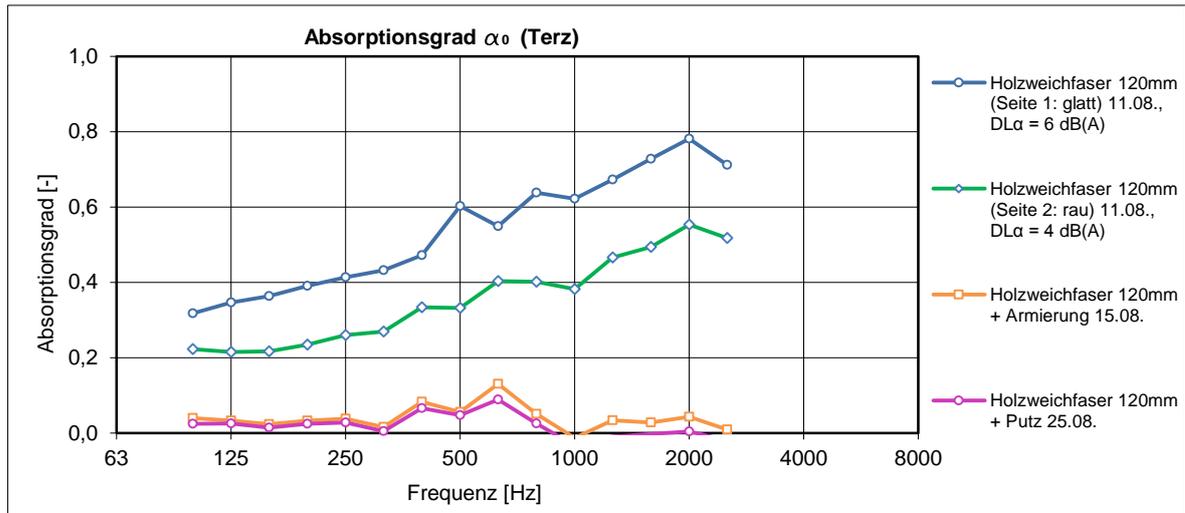


Abb. 47: Gemessene Absorptionsgrade von vollflächigen Armierungen (22-24°C, 96800-97300 Pa)

6.2.2 Modellierung

Auf die Modellierung eines Wärmedämmverbundsystems mit unterschiedlichen Armierungsarten in Kombination mit einer Steinwollendämmung wird in Abschnitt 6.3.2 eingegangen.

6.2.3 Akustikpotential und integrale Betrachtungen

Durch das Aufbringen handelsüblicher WDVS-Armierungs- und Putzschichten wird der Dämmstoff mit einer „schallharten“ Platte abgedeckt. Diese Platte zeigt lediglich im Bereich ihrer Resonanzfrequenzen eine schmalbandige Absorption. Die Lage der Resonanzfrequenzen wird von der dahinterliegenden Dämmung beeinflusst, die sozusagen als Feder wirkt.

Um auch mit Putzschicht eine möglichst breitbandige Absorptionswirkung zu erzielen, müsste diese selbst offenporig sein oder eine gelochte bzw. geschlitzte Struktur aufweisen. Wirkt die Putzschicht selbst als poröser Absorber, kann der Untergrund auch schallhart ausgeführt werden (z.B. mit EPS-Platten). Handelt es sich hingegen um ein grundsätzlich „schallhartes“ Putzmaterial, so kann der Schall durch integrierte Löcher oder Schlitzte in eine dahinterliegende poröse Absorbierschicht weitergeleitet werden.

Poröse Akustikputze finden bereits im Bereich der Raumakustik Anwendung. Es gibt ein System, bei dem eine Vorbeschichtung aus Blähglasgranulat auf Mineralwolleplatten aufgebracht wird. Die fugenfreie, glatte Oberfläche wird vor Ort mithilfe eines Marmorsand-Fertigputzes hergestellt. Dieser Aufbau soll laut Hersteller auch für den Außenbereich beschränkt einsetzbar sein, wie beispielsweise für Balkonuntersichten. Für besonders

exponierte Stellen kann ein zusätzlicher Oberflächenschutz in Form eines dünnen Schutzfilms appliziert werden. [67]

Ein anderes System, welches zur Pufferung von Feuchteschwankungen der Raumluft entwickelt wurde, ist Putz mit porösem Vycor-Glas®. Bei diesem porösen Glas lassen sich bei der Produktion die Porengröße, das Porenvolumen und die Partikelform gezielt einstellen, was für die Konzipierung eines porösen Absorbers sicherlich vorteilhaft wäre. [68]

Inwieweit solche Systeme den Witterungseinflüssen, denen eine Fassade ausgesetzt ist, standhalten können und welche Verbesserungsmöglichkeiten bestehen, müsste weiteren Untersuchungen unterzogen werden. Herausforderungen von porösen Putzen sind sicherlich das Eindringen von Regenwasser (kapillares Saugen), die Veralgung der Oberfläche sowie das Ansetzen von Staubpartikeln.

Nachfolgend werden eine geschlitzte und eine gelochte Armierungsschicht mit dahinterliegender poröser Absorberschicht in akustischer Hinsicht experimentell und theoretisch untersucht.

6.3 Steinwolle mit vollflächiger, gelochter oder geschlitzter Armierung

6.3.1 Experimentelle Untersuchung

Zur Ermittlung des akustischen Verbesserungspotentials von Armierungs- und Putzschichten wurden verschiedene gelochte und geschlitzte Armierungsformen auf Steinwolle-Putzträgerplatten und -lamellen hergestellt. Eine detaillierte Beschreibung der betrachteten Varianten ist Tab. 53 und Tab. 54 zu entnehmen.

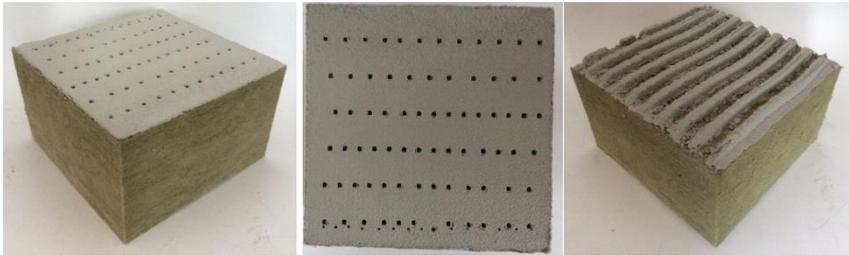
Perforierte Abdeckungen ermöglichen für einen bestimmten Frequenzbereich das Eindringen des Schalls in die dahinterliegende poröse Absorberschicht, was das Schallabsorptionsvermögen im Vergleich zu einer vollflächigen Armierung deutlich verbessert. In der Literatur wird meist auf Lochflächenanteile zwischen 10 und 30 % verwiesen, ab denen im bauakustisch interessanten Frequenzbereich von einer „akustisch transparenten“ Schicht gesprochen werden kann und das „Lochblech“ lediglich dem mechanischen Schutz der Dämmung dient [18], [20]. Ist der Perforationsgrad niedriger, entspricht nach dieser Forderung das System dem Modell eines Schlitz- bzw. Lochplattenabsorbers.

Gemäß Abb. 48 stimmen die gemessenen Absorptionsverläufe der gezahnten Armierung und der Steinwolle-Putzträgerplatte ohne Armierung gut überein. Dies ist auf den hohen Perforationsgrad mit rd. 55 % zurückzuführen, der die Pulverkleberschicht über den interessierenden Frequenzbereich weitgehend „akustisch transparent“ macht. Des Weiteren

kommt es durch die aufgebrachte Armierungs-Zahnung im Frequenzbereich 125 bis 250 Hz zu einer Erhöhung des Absorptionsgrades um bis zu 0,2 [-].

Die gelochte Variante nach Abb. 48 mit einem Lochflächenanteil von rd. 2,6 % zeigt im tiefen Frequenzbereich bis ca. 500 Hz eine Reduktion des Absorptionsgrades von max. 0,10 [-]. Über 500 Hz nimmt der Absorptionsgrad (bei logarithmischer Frequenzachse) annähernd linear ab. Für die „Lochplatte“ mit kleineren Lochdurchmessern und einem Lochflächenanteil im Bereich von 0,6 bis 5,5 % gemäß Abb. 49 tritt diese Abnahme bereits ab 250 Hz auf.

Tab. 53: Gemessene Armierungs- und Putzvarianten der Steinwolle-Putzträgerplatte

	
Dämmstoff	120 mm Steinwolle-Putzträgerplatte (siehe Abschnitt 5.1.1)
Armierungsmörtel	siehe Tab. 52
Oberputz	siehe Tab. 52
auf die unbeschichtete Seite aufgebracht	
Armierung vollflächig	Plattendicke $t = \text{ca. } 2,0 \text{ bis } 2,4 \text{ mm}$
Armierung gelocht	76 quadratische Löcher Seitenlänge ca. 3,3 bis 3,8 mm in einem durschn. Abstand von 29,3/13,3 mm → Lochflächenanteil ca. 2,1 bis 2,6 % Plattendicke $t = \text{ca. } 2,1 \text{ bis } 2,5 \text{ mm}$
Armierung gezahnt	Schlitzabstand rd. 20 mm Schlitzbreite rd. 11 mm → Lochflächenanteil rd. 55 % Plattendicke $t = \text{ca. } 7,0 \text{ bis } 8,0 \text{ mm}$

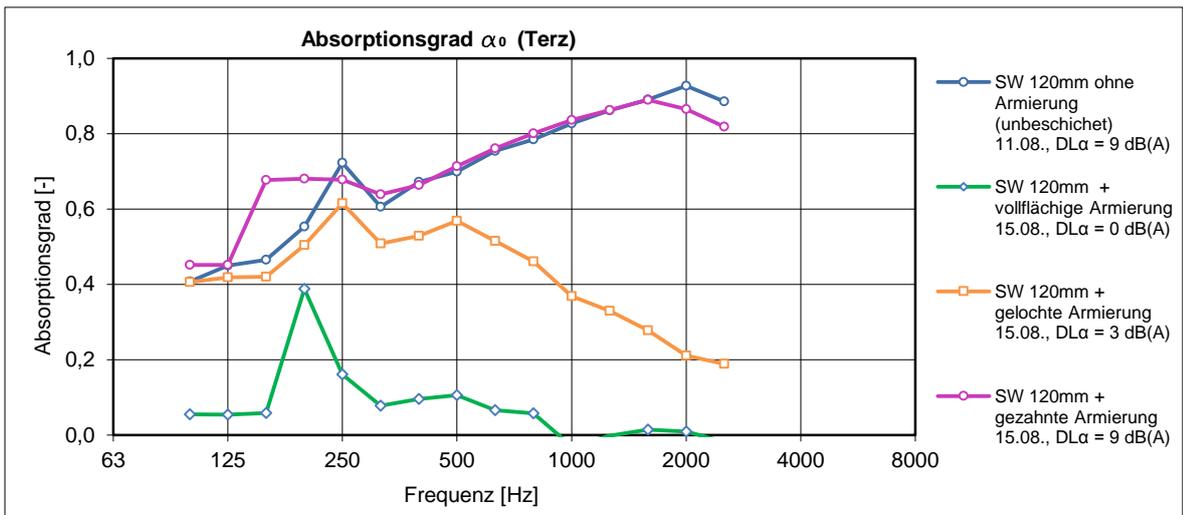
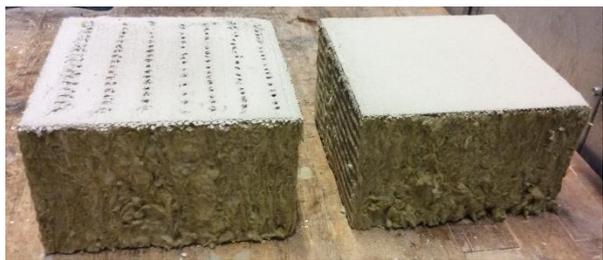


Abb. 48: Gemessene Absorptionsgrade der Steinwolle-Putzträgerplatte mit Armierung (23-24°C, 97200- 97400 Pa)

Tab. 54: Gemessene Armierungs- und Putzvarianten der Steinwolle-Putzträgerlamelle



Dämmstoff	100 und 118 mm Steinwolle- Putzträgerlamelle (siehe Abschnitt 5.1.1)
Armierungsmörtel	siehe Tab. 52
Oberputz	siehe Tab. 52
auf die beschichtete Seite aufgebracht	
Armierung vollflächig	100 mm dicke Dämmung: Plattendicke t = ca. 2,0 bis 2,4 mm 118 mm dicke Dämmung: Plattendicke t = ca. 2,1 bis 2,9 mm
Armierung gelocht	118 mm dicke Dämmung: ca. 110 runde Löcher - Durchmesser ca. 1 bis 3 mm in einem durchschn. Abstand von 25/ca. 5 bis 11 mm → Lochflächenanteil 0,6 bis 5,5 % Plattendicke t = ca. 3,1 bis 3,8 mm

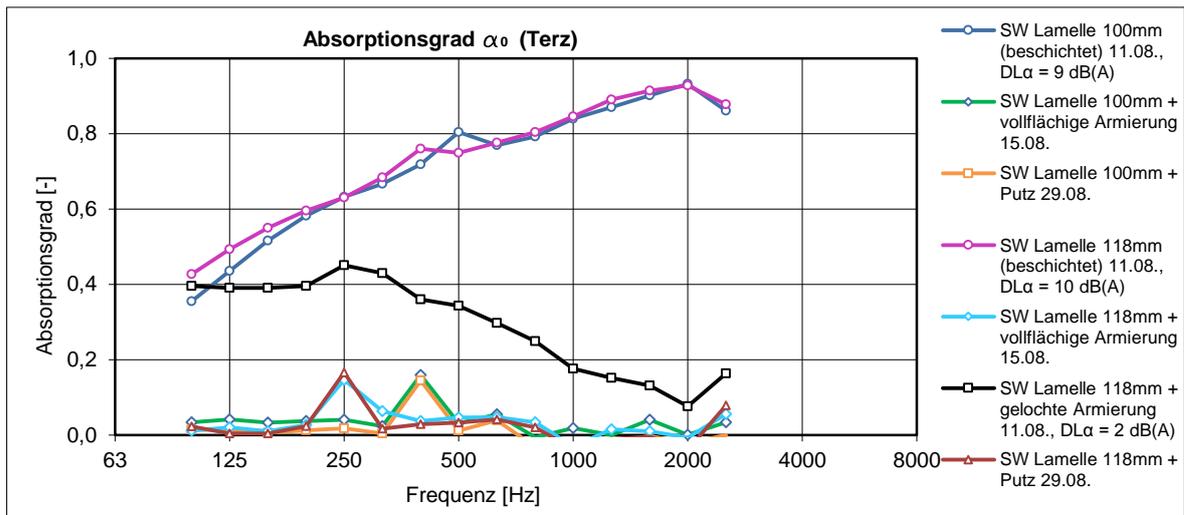


Abb. 49: Gemessener Absorptionsgrad Steinwolle-Putzträgerlamelle mit Armierung und Putz (23-26°C, 96800-97400 Pa)

Wie die Messungen erkennen lassen, wird bei vollflächiger Armierung bzw. Putzschicht der Absorptionsgrad, bis auf den schmalbandigen Resonanzfrequenzbereich, auch bei porösen Dämmstoffen auf nahezu Null herabgesetzt.

6.3.2 Modellierung

Die Armierungsschicht der Messung „SW 120 mm + vollflächige Armierung 15.08.“ wird als Plattenresonator und der Messung „SW 120 mm + gelochte Armierung 15.08.“ bzw. „SW 120 mm + gezahnte Armierung 15.08.“ als „schlitzförmiger Absorber“ modelliert. Die hinter der Armierung liegende Steinwolle-Putzträgerplatte wird analog zu Abschnitt 5.1.2 als poröser Absorber nach [18] berechnet. Für den E-Modul der „Platte“ wird $10 \cdot 10^9 \text{ [N/m}^2\text{]}$ für Leichtbeton und für die Querkontraktionszahl 0,20 [-] für Mörtel laut [47] angenommen. Die Plattendichte folgt aus dem Produktblatt [65] des Pulverklebers. Für die Verlustfaktoren der Plattenmoden $> g_{11}$ werden Erfahrungswerte gemäß [21] verwendet.

Tab. 55: Eingangsdaten Modellierung der SW-Putzträgerplatte 120 mm + vollflächige Armierung

	Schicht 1 (vor harter Rückwand)	Schicht 2	Schicht 3 (Richtung Schallquelle)
Poröser Absorber ([18]: festes Skelett)			
siehe Tab. 15: SW-Putzträgerplatte 120 mm			
Platte			
Plattendicke t [m]	-	-	0,0024
Plattenlänge aa [m]	-	-	0,20
Plattenbreite bb [m]	-	-	0,20

Schallabsorptionsverhalten von Wärmedämmverbundsystemen

E-Modul [N/m^2]	-	-	$10 \cdot 10^9$
Plattendichte [kg/m^3]	-	-	1400
Querkontraktionszahl Poisson [-]	-	-	0,2
Verlustfaktor der Plattenmoden:			
g11	-	-	0,1
g13, g31	-	-	0,1
g15, g51, g35, g53, g55	-	-	0,1
Lagerungsbedingung (eingespannt = 1; gelenkig = 0)	-	-	Grenzwertuntersuchung 1 und 0
Platte haftend (ja = 1; nein = 0)	-	-	1

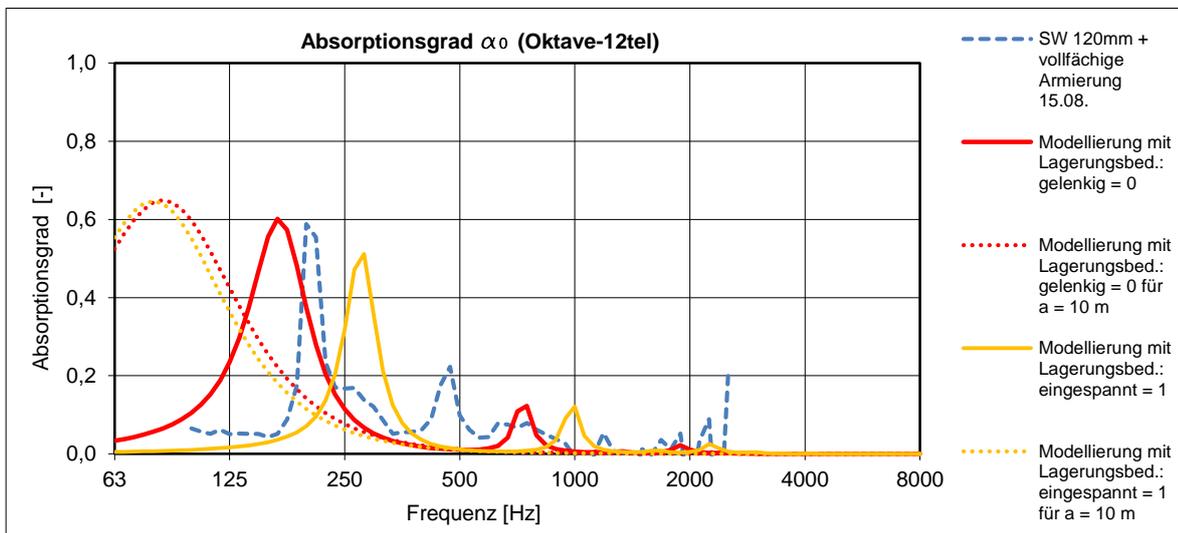


Abb. 50: Modellierung der SW-Putzträgerplatte 120 mm + vollflächige Armierung mithilfe von [A]

Abb. 50 zeigt die Modellierungsergebnisse für das Systems mit vollflächiger Armierung. Die beiden Grenzfälle gelenkige und eingespannte Lagerung der Platte werden getrennt dargestellt. Die Resonanzfrequenz der rd. 20/20 cm großen Probe liegt bei gelenkiger Lagerung bei ca. 167 Hz und bei eingespannter bei ca. 281 Hz. Die Einspannung erhöht die Steifigkeit des Systems, wodurch die Resonanzfrequenz höher wird. Wie die erste Resonanz des Messergebnisses, liegt auch die tatsächliche Einbaubedingung der Probe zwischen den Grenzfällen gelenkig und eingespannt. Um abschätzen zu können wie sich baupraktische Abmessungen auf die Resonanzfrequenz auswirken, sind in Abb. 50 zusätzlich die Modellierungsergebnisse für quadratische Platten mit der Abmessung 10/10 m dargestellt. Mit Zunahme der Plattengröße sinkt die Resonanzfrequenz und der Einfluss der Lagerungsbedingung verringert sich. Vergleicht man diese Ergebnisse mit dem Verkehrslärmspektrum, so ist ersichtlich, dass sich herkömmliche

Wärmedämmverbundsysteme (auch in Kombination mit einer Steinwolle­dämmung) nicht wirklich als Absorber eignen. Einerseits kann eine bestimmte Resonanzfrequenz durch gezielte Abstimmung der Abmessungen und Steifigkeiten erzielt werden, andererseits ist der Frequenzbereich mit Absorptionswirkung schmal.

Eine Möglichkeit zur Verbreiterung des Frequenzbereiches in dem Absorption stattfindet besteht in der Perforation der Platte. Das Modellierungsergebnis der gelochten Variante als „schlitzförmiger Absorber“ ist in Abb. 51 dargestellt. Dieses Berechnungsmodell ist für „Loch- bzw. Schlitzplatten“ mit direkt dahinterliegendem porösen Absorber ohne Hinterlüftungsebene abgestimmt. Hierbei wird die Mündungskorrektur nur einseitig berücksichtigt. Die Modellierung nach Abb. 51 zeigt keine exakte Übereinstimmung der ersten Resonanzfrequenz mit der Messung, was unter anderem auf die tatsächlich vorhandene Lagerungsbedingung im Rohr zurückzuführen ist. Bei der zweiten Resonanzfrequenz ist das Ergebnis der Modellierung um ca. 500 Hz höher als das der Messung, wobei die Steilheit der Absorptionsgradabnahme zu hohen Frequenzen hin eine gute Übereinstimmung zeigt. Auf den Einfluss der einzelnen Parameter wie z.B. Perforationsgrad, Lochdurchmesser, Plattendicke usw. wird in Abschnitt 7.3.3 eingegangen.

Tab. 56: Eingangsdaten Modellierung der SW-Putzträgerplatte 120 mm + gelochte Armierung

	Schicht 1 (vor harter Rückwand)	Schicht 2	Schicht 3 (Richtung Schallquelle)
Poröser Absorber ([18]: festes Skelett)			
siehe Tab. 15: SW-Putzträgerplatte 120 mm			
Platte			
Plattendicke t [m]	-	-	0,0023
Plattenlänge aa [m]	-	-	0,20
Plattenbreite bb [m]	-	-	0,20
E-Modul [N/m^2]	-	-	$10 \cdot 10^9$
Plattendichte [kg/m^3]	-	-	1400
Querkontraktionszahl Poisson [-]	-	-	0,2
Verlustfaktor der Plattenmoden:			
g11	-	-	0,1
g13, g31	-	-	0,1
g15, g51, g35, g53, g55	-	-	0,1

Schallabsorptionsverhalten von Wärmedämmverbundsystemen

Lagerungsbedingung (eingespannt = 1; gelenkig = 0)	-	-	1
Platte haftend (ja = 1; nein = 0)	-	-	1
Löcher nach dem Modell „schlitzförmiger Absorber“			
Schlitzbreite d [mm]	-	-	3,30
Schlitzlänge [mm]	-	-	3,30
Schlitzabstand b [mm]	-	-	14,00 auf 29,00
zusätzl. Verluste Metall $\Delta\mu$ [mm ² /s]	-	-	0
Mündungskorrektur (einseitig!) nach [18] S. 685 [mm]	-	-	1,163

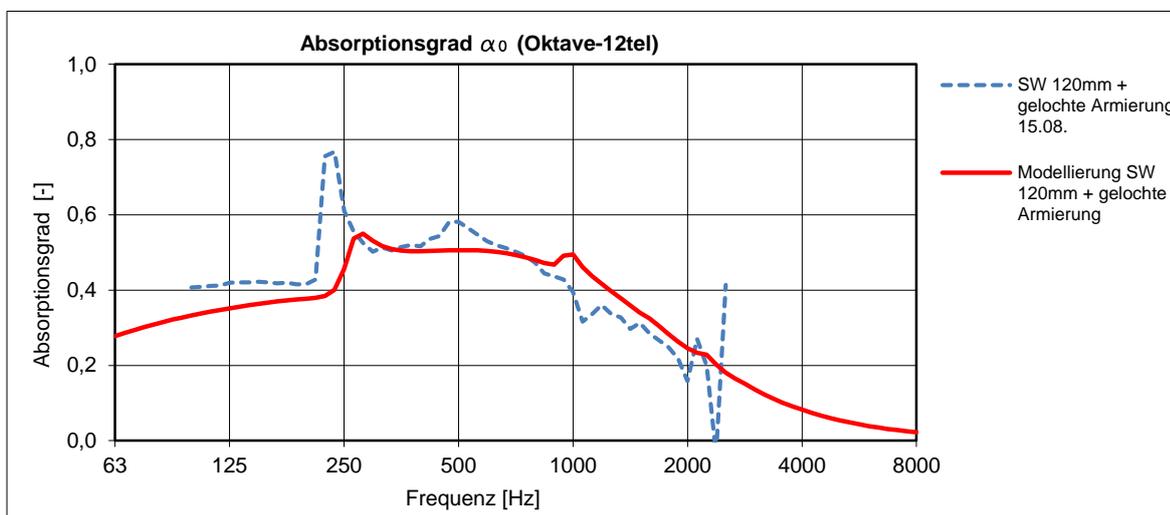


Abb. 51: Modellierung der SW 120 mm + gelochte Armierung mithilfe von [A]

Die Nachrechnung der Messergebnisse der gezahnten Armierungsvariante gemäß Abb. 52 ergibt, dass der Verlauf des Absorptionsgrades der 120 mm dicken Steinwolleddämmung durch die streifenförmige Armierung bis 2000 Hz nicht nennenswert beeinflusst wird. Aufgrund des hohen Lochflächenanteils von rd. 55 % wirkt die Armierungsschicht für Frequenzen < 2000 Hz „akustisch transparent“.

Schallabsorptionsverhalten von Wärmedämmverbundsystemen

Tab. 57: Eingangsdaten Modellierung der SW-Putzträgerplatte 120 mm + gezahnte Armierung

	Schicht 1 (vor harter Rückwand)	Schicht 2	Schicht 3 (Richtung Schallquelle)
Poröser Absorber ([18]: festes Skelett)			
siehe Tab. 15: SW-Putzträgerplatte 120 mm			
Platte			
Plattendicke t [m]	-	-	0,0075
Plattenlänge aa [m]	-	-	0,20
Plattenbreite bb [m]	-	-	0,20
E-Modul [N/m^2]	-	-	$10 \cdot 10^9$
Plattendichte [kg/m^3]	-	-	1400
Querkontraktionszahl Poisson [-]	-	-	0,2
Verlustfaktor der Plattenmoden:			
g11	-	-	0,1
g13, g31	-	-	0,1
g15, g51, g35, g53, g55	-	-	0,1
Lagerungsbedingung (eingespannt = 1; gelenkig = 0)	-	-	1
Platte haftend (ja = 1; nein = 0)	-	-	1
Löcher nach dem Modell „schlitzförmiger Absorber“			
Schlitzbreite d [mm]	-	-	11,00
Schlitzlänge [mm]	-	-	200,00
Schlitzabstand b [mm]	-	-	20,00 auf 200,00
zusätzl. Verluste Metall $\Delta\mu$ [mm^2/s]	-	-	0
Mündungskorrektur (einseitig!) nach [18] S. 685 [mm]	-	-	1,360

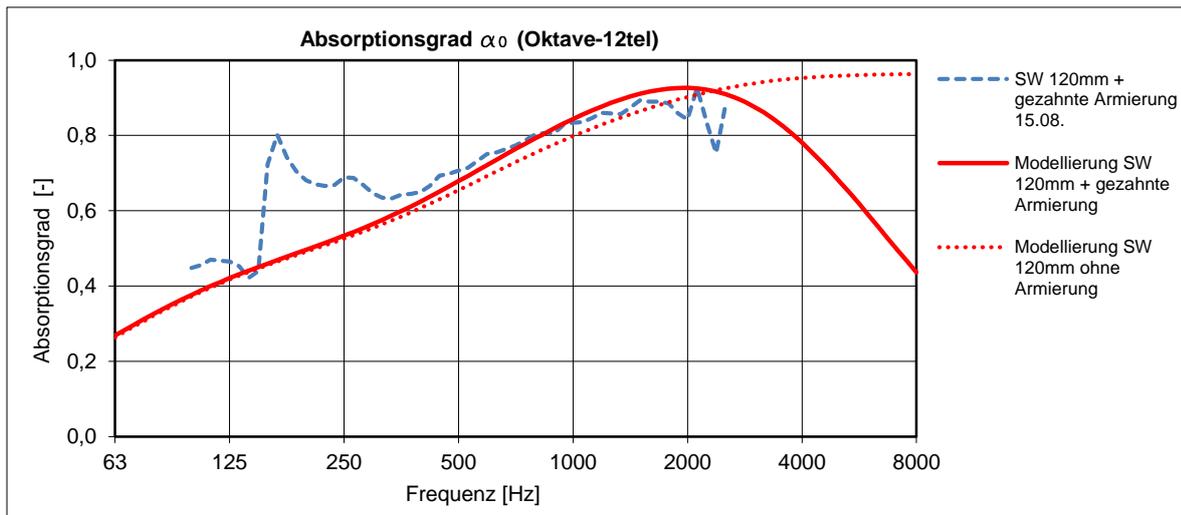


Abb. 52: Modellierung der SW 120 mm + gezahnte Armierung mithilfe von [A]

6.3.3 Akustikpotential und integrale Betrachtungen

Wie die Modellierungsergebnisse der gelochten und gezahnten Armierungen in Kombination mit einer gut absorbierenden Steinwolle dämmung erkennen lassen, kommt es durch die Perforierung zu einer maßgeblichen Erhöhung des Schallabsorptionsverhaltens eines ansonsten „schallharten“ Wärmedämmverbundsystems. Jedoch vermindern derartige Löcher bzw. Schlitzte den Witterungsschutz der dahinterliegenden Dämmung. Des Weiteren kann bei Wärmedämmverbundsystemen die in die Dämmung eindringende Feuchtigkeit nicht in einer Hinterlüftungsebene abgeführt werden. Eventuelle Schutzmaßnahmen der porösen Dämmung durch Imprägnierung oder Komprimierung der Oberfläche zur Verminderung des Kapillarsaugens usw. müssten weiterfolgend untersucht werden [69]. Generell sind solche Systeme im Hinblick auf den Feuchte- und Windschutz als äußerst kritisch zu betrachten.

7 Schallabsorptionsverhalten mehrschaliger Konstruktionen

7.1 Systembeschreibung

Mehrschalige Fassadensysteme setzen sich aus mindestens zwei Schalen zusammen, die nicht starr aneinandergesetzt sind. Hierzu gehören z.B. vorgehängte hinterlüftete Fassaden, wie sie in Abb. 20 dargestellt sind. [5]

Konstruktionen mit mehreren Schalen haben in Bezug auf die Schallabsorption ein hohes akustisches Potential, da sich mit ihnen poröse Absorber (bei akustisch transparenter Witterungsschicht), Plattenschwinger, Loch- bzw. Schlitzplattenresonatoren (inkl. MPA) als auch mehrschichtige Absorber realisieren lassen (siehe Tab. 8). Als Wetterschale kommen Metallbleche, Beton-, Ton- und Natursteine sowie Glas-, Holz- und Kunststoffelemente zur Anwendung [29]. Einige dieser Materialien eignen sich zur Perforation oder können selbst als poröser Absorber ausgeführt werden. Eine weitere Art der Gestaltung von mehrschaligen Fassaden bilden Gabionen, die mit verschiedensten Materialien befüllt werden können [70].

Es wird im Speziellen das akustische Verhalten von Unterdeck- und Unterspannbahnen, Lochblechen, mikroperforierten Blechen und Gabionen mit Schaumglasschotterfüllung betrachtet.

7.2 Unterdeck- und Unterspannbahnen vor der Dämmebene

Nach (DIN) EN 13859-2 handelt es sich bei Unterdeck- bzw. Unterspannbahnen für Wände um diffusionsoffene Bahnen, die sich hinter der äußeren Verkleidung der Fassade befinden. Sie werden aus Kunststoff, Gummi, Bitumen usw. hergestellt. Sie dienen dem Wind-, Staub- und Feuchtigkeitsschutz der Dämmung. [45], [71]

7.2.1 Experimentelle Untersuchungen

Um Einfluss von Unterdeck- und Unterspannbahnen sowie eines Akustikvlieses auf das Schallabsorptionsverhalten eines als poröser Absorber wirkenden Dämmstoffes zu ermitteln, wurden verschiedene Bahnen im Kundt'schen Rohr untersucht. Hierbei wurden die Folien und Vliese auf eine 120 mm dicke Steinwolle-Putzträgerplatte gemäß Abschnitt 5.1.1 aufgebracht. Nur ein schmaler Randbereich der Bahnen wurde mithilfe eines doppelseitigen Klebandes mit der Dämmung verklebt. Eine Ausnahme bildet der Einbau der dünnen LDPE-Folie, bei dem die Bahn um die Dämmung gewickelt wurde und dadurch eine geringe Vorspannung erhielt.

Schallabsorptionsverhalten mehrschaliger Konstruktionen

Die Flächendichte der Bahnen beträgt 7,6 bis 346 g/m² und deren Dicke liegt zwischen 0,01 und 0,6 mm (siehe Tab. 58). Der Strömungswiderstand der Unterdeck- bzw. Unterspannbahnen (wie z.B. Isover Stopvap, SOLITEX FRONTA usw.) konnte mit dem verwendeten Strömungswiderstandsmessgerät nicht bestimmt werden.

Anm.: Es ist zu beachten, dass nicht alle untersuchten Folien und Vliese für den Einsatz als Unterdeck- und Unterspannbahn einer Fassadenkonstruktion zugelassen oder geeignet sind. Beispielsweise weist das Produkt Isover Stopvap einen hohen Dampfdiffusionswiderstand auf und entspricht somit einer Dampfsperre, da es für die Anwendung im Innenbereich konzipiert ist. Auch die LDPE-Folie (Malerfolie) ist aufgrund ihres hohen Strömungswiderstandes und ihrer geringen Dicke nicht als Unterdeck- bzw. Unterspannbahn verwendbar.

Tab. 58: Gemessene Folien und Vliese

	
Material	LDPE - Folie
Hersteller	-
Produktbezeichnung	Malerfolie
verwendete Kurzbez.	Malerfolie LDPE
mittlere Dicke: gemessen / lt. Hersteller	~ 0,01 / - mm
Flächendichte: gemessen / lt. Hersteller	- / 7,6 g/m ²
Material	Akustikvlies
Hersteller	-
Produktbezeichnung	-
verwendete Kurzbez.	Akustikvlies
mittlere Dicke: gemessen / lt. Hersteller	~ 0,16 / - mm
Flächendichte: gemessen / lt. Hersteller	~ 48 / - g/m ²

Schallabsorptionsverhalten mehrschaliger Konstruktionen

Material	Luftdurchlässige Polypropylen-Bahn mit Dampfsperrfunktion
Hersteller	Isover
Produktbezeichnung	Membrane STOPVAP
verwendete Kurzbez.	Isover Stopvap
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke lt. Hersteller [72]	> 18 m
mittlere Dicke: gemessen / lt. Hersteller	~ 0,37 / - mm
Flächendichte: gemessen / lt. Hersteller	~ 109 / - g/m ²
Material	Unterdeck- und Unterspannbahn aus Polypropylen
Hersteller	Isover
Produktbezeichnung	ECRAN INTEGRA
verwendete Kurzbez.	Isover Ecran Integra
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke lt. Hersteller [73]	0,10 m
mittlere Dicke: gemessen / lt. Hersteller [73]	~ 0,45 / 0,50 mm
Flächendichte: gemessen / lt. Hersteller [73]	~ 160 / 165 g/m ²
Material	feuchteaktive Wandschalungsbahn mit monolithischer TEEE-Membran
Hersteller	pro clima®
Produktbezeichnung	SOLITEX FRONTA® QUATTRO
verwendete Kurzbez.	SOLITEX FRONTA
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke lt. Hersteller [74]	0,05 ± 0,02 m
mittlere Dicke: gemessen / lt. Hersteller [74]	0,55 / 0,60 ± 0,10 mm
Flächendichte: gemessen / lt. Hersteller [74]	~170 / 180 ± 5 g/m ²

Material	Unterdeck- und Unterspannbahn aus Polyestervlies mit Spezialbeschichtung
Hersteller	WÜRTH
Produktbezeichnung	WÜTOP® Thermo ND PLUS
verwendete Kurzbez.	WÜTOP Thermo ND
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke lt. Hersteller [75]	0,13 m
mittlere Dicke: gemessen / lt. Hersteller [75]	~ 0,52 / - mm
Flächendichte: gemessen / lt. Hersteller [75]	~ 222 / 230 g/m ²
Material	ETFE - Folie
Hersteller	-
Produktbezeichnung	-
verwendete Kurzbez.	ETFE
mittlere Dicke: gemessen / lt. Hersteller	~ 0,23 / - mm
Flächendichte: gemessen / lt. Hersteller	~ 346 / - g/m ²

Wie die Absorptionsgradmessungen nach Abb. 53 erkennen lassen, sinkt die Absorptionswirkung der Gesamtkonstruktion bei Frequenzen > 500 Hz mit steigender Dichte der Bahnen. Eine Ausnahme bildet hierbei das Akustikvlies, da dieses selbst als dünner, poröser Absorber wirkt und in Bezug auf andere Materialeigenschaften, wie beispielsweise dem Strömungswiderstand und der Faserzusammensetzung, nicht direkt mit den Unterdeck- bzw. Unterspannbahnen vergleichbar ist. Gemäß Abb. 53 entspricht der Absorptionsgradverlauf der Malerfolie und des Akustikvlieses in etwa dem der Steinwolle ohne Folie. Zwar kann der Strömungswiderstand der Malerfolie mit unendlich angenommen werden, jedoch ist sie so dünn, dass die akustischen Schwingungen gut an den dahinterliegenden porösen Absorber abgegeben werden. Dies macht sie im betrachteten Frequenzbereich „akustisch transparent“. Die ETFE-Folie hat mit rd. 346 g/m² die höchste Flächendichte und dadurch ab ca. 500 Hz den niedrigsten Absorptionsgrad.

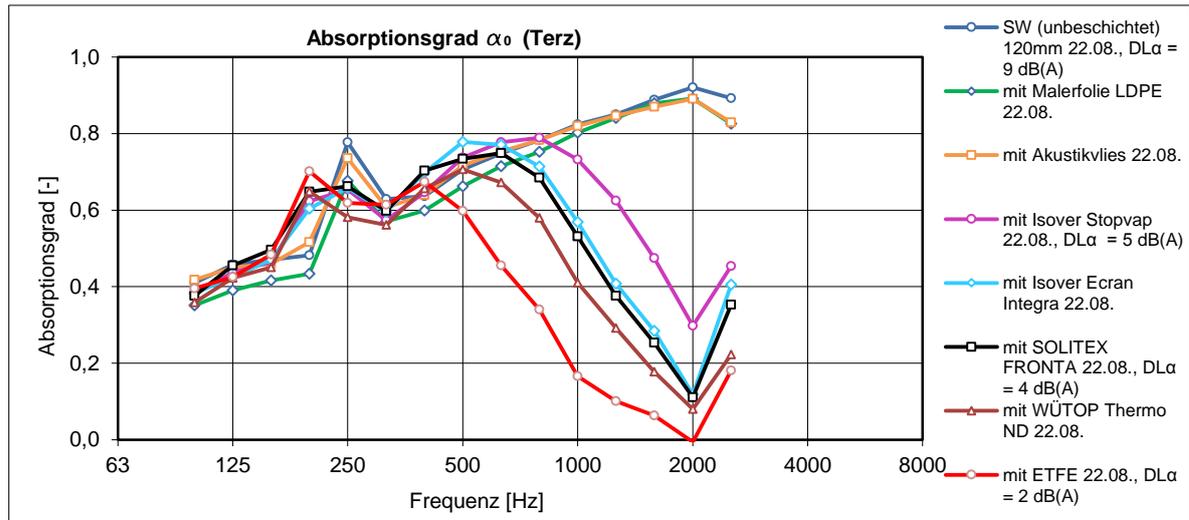


Abb. 53: Gemessener Absorptionsgrad der SW-Putzträgerplatte 120 mm mit Folien und Vliesen (24°C, 97600 Pa)

7.2.2 Modellierung

Die Wirkung einer Folie mit und ohne dahinterliegende Dämmung wird anhand der ETFE-Folie (bei Annahme \gg Strömungswiderstand) untersucht. Die Bahn wird als „Platten“-schwinger modelliert, bei dem aufgrund der geringen Biegesteifigkeit die Platteneigenschwingungen nahezu wegfallen, was die Berechnung auf ein einfaches Masse-Feder-System reduziert (siehe Abschnitt 3.2.2). Die Werte für den E-Modul, die Dichte und die Querkontraktionszahl von ETFE werden von [76] S.107 Tabelle 3.5 übernommen, wobei der Wert des statischen E-Moduls um den Faktor 10 zur Berücksichtigung der dynamischen Anregung erhöht wird. Die Verlustfaktoren der Plattenmoden werden gemäß [21] angenommen.

Tab. 59: Eingangsdaten Modellierung der ETFE-Folie

	Schicht 1 (vor harter Rückwand)	Schicht 2	Schicht 3 (Richtung Schallquelle)
Poröser Absorber ([18]: festes Skelett)			
siehe Tab. 15: SW-Putzträgerplatte 120 mm bzw. Luftschicht 120 mm			
Platte			
Plattendicke t [m]	-	-	0,00023
Plattenlänge aa [m]	-	-	0,20
Plattenbreite bb [m]	-	-	0,20
E-Modul [N/m^2]	-	-	$1,2 \cdot 10^{10}$

Plattendichte [kg/m^3]	-	-	[76]: 1720
Querkontraktionszahl Poisson [-]	-	-	[76]: 0,44
Verlustfaktor der Plattenmoden:			
g11	-	-	0,3
g13, g31	-	-	0,1
g15, g51, g35, g53, g55	-	-	0,1
Lagerungsbedingung (eingespannt = 1; gelenkig = 0)	-	-	1
Platte haftend (ja = 1; nein = 0)	-	-	0

Abb. 54 zeigt die Modellierung der Steinwolle-Putzträgerplatte 120 mm mit ETFE-Folie sowie der Folie ohne dahinterliegender Dämmung in einem Abstand von 120 mm zur schallharten Wand. Bei der Messung der Folie ohne Steinwolle wurde die Folie mithilfe eines Holzrahmens im Impedanzrohr gehalten (siehe Abb. 55). Die Verbindung Rahmen-Folie erfolgte mit einem doppelseitigen Klebeband und die Ränder Rahmen/Folie-Rohrwandung wurden mit Terostat schallhart abgeschlossen.

Die modellierte maximale Resonanzfrequenz der Folie (ohne dahinterliegender Steinwolle) bei rd. 220 Hz stimmt gut mit dem Messwerten überein. Diese Resonanzspitze ist auch beim Konstruktionsaufbau mit Steinwolle zu erkennen. Die Modellierung der „SW 120 mm + ETFE“ ergibt, dass die akustische Transparenz der Folie ab ca. 380 Hz abnimmt. In dem für den Verkehrslärm relevanten Bereich um 1000 Hz ist praktisch keine Absorptionswirkung mehr vorhanden. Um diesen Absorptionsabfall zu höheren Frequenzen hin zu verschieben, müsste die Foliendicke reduziert werden.

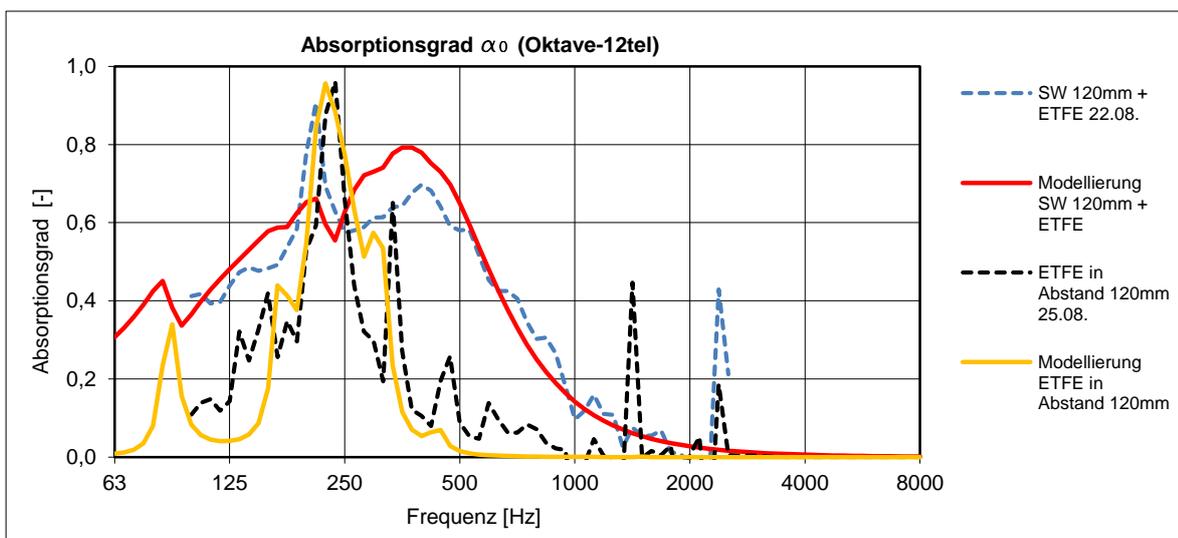


Abb. 54: Modellierung der ETFE-Folie mit und ohne SW 120 mm mithilfe von [A]



Abb. 55: Verwendeter Holzrahmen zum Einbau der Folie ohne Steinwolle

7.2.3 Akustikpotential und integrale Betrachtungen

Wie die Messungen und Modellierungen erkennen lassen, reduzieren die für den Dämmungsschutz aufgetragenen Folien das Absorptionsvermögen der Gesamtkonstruktion im Bereich hoher Frequenzen maßgeblich. Je geringer die Dicke einer applizierten Bahn ist, desto höher liegt die Frequenz ab der es zum Absorptionsabfall kommt. So bewirken Malerfolien mit Dicken von 0,01 mm praktisch keine Reduktion der Absorption eines dahinterliegenden porösen Absorbers. Hierbei ist jedoch zu bedenken, dass derartige Folien aufgrund ihrer Dünne die mechanischen Belastungen der Montage als Windbahn nicht standhalten können. Zudem wirken sie als Dampfsperre, womit sie sich nicht als Unterspannbahn eignen.

Beim untersuchten Konstruktionsaufbau mit porösem Akustikvlies kommt es praktisch zu keiner Veränderung des Schallabsorptionsverlaufes der Steinwolle. Inwieweit Akustikvliese als Unterspannbahnen im Außenbereich im Hinblick auf UV-, Witterungs-, Windschutz usw. verwendbar sind, wäre weiterführend zu untersuchen.

Handelsübliche Unterdeck- bzw. Unterspannbahnen, wie beispielsweise Isover Ecran Integra, SOLITEX FRONTA und WÜTOP Thermo ND usw., sind bis ca. 500 Hz akustisch transparent. Über 500 Hz sinkt das Absorptionsvermögen (über eine logarithmische Frequenzachse aufgetragen) nahezu linear ab. So wird der Absorptionsgrad der betrachteten Steinwolle-Putzträgerplatte 120 mm bei 1000 Hz von rd. 0,8 [-] auf 0,4 bis 0,7 [-] reduziert. Daher sollten solche Bahnen für die akustische Optimierung so dünn wie möglich ausgeführt werden.

7.3 Lochbleche und mikroperforierte Bleche vor der Dämmebene

Metallbleche- und Profile, vor allem in Kombination mit großen Glasfenstern, bieten eine Vielfalt an architektonischen Gestaltungsmöglichkeiten, da sich damit komplexe Gebäudeformen realisieren lassen. Zudem kommen auch vorgefertigte Paneele und Sandwichelemente zur Anwendung. Für Fassadensysteme einsetzbare Materialien sind beschichteter Stahl, wetterfester Stahl (z.B. COR-TEN®), Edelstahl, Aluminium, Bronze, Titan, Zink, Kupfer usw. [29]

Metallfassadensysteme wirken im akustischen Sinn als Plattenschwinger bzw. mit Perforation als Lochplattenresonatoren. Es folgt eine Ermittlung des Akustikpotentials von Lochblechen.

7.3.1 Experimentelle Untersuchungen

Zur Untersuchung des akustischen Verhaltens von mehrschaligen Wandaufbauten wurde der Absorptionsgrad zweier Bleche mit unterschiedlicher Perforation vor einer Steinwollendämmung inkl. 2-3 cm „Hinterlüftungsebene“ im Impedanzrohr gemessen. Betrachtet werden ein Lochblech mit einem Lochflächenanteil von ca. 3,7 %, einem Lochdurchmesser von ca. 3,2 mm und einem Abstand der Löcher von durchschnittlich 14,7 mm sowie ein mikroperforiertes Blech mit einem Lochflächenanteil lt. Hersteller von 0,64 % [77], einem Lochdurchmesser von 0,5 mm und einem Abstand der Löcher von 5 mm. Diese Bleche wirken als Lochplattenresonatoren, deren Feder aus einer Serienschaltung von Luft und Steinwolle besteht. Tab. 60 gibt die wesentlichen geometrischen Eigenschaften der beiden untersuchten Bleche an.

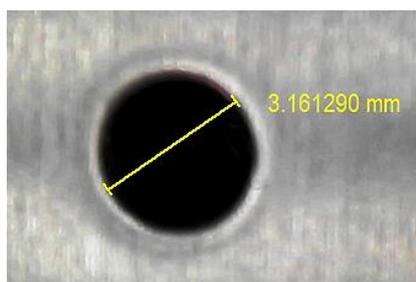


Abb. 56: Mikroskopische Aufnahme des Lochdurchmessers des Lochbleches

Tab. 60: Gemessene Lochbleche bzw. mikroperforierte Bleche

	
Material	Lochblech aus Stahl
Hersteller	-
Produktbezeichnung	-
verwendete Kurzbez.	Lochblech
Lochdurchmesser / Abstand	<p>runde Löcher mit einem Durchmesser von ca. 3,2 mm in einem durchschn. Abstand von ~14,7/14,7 mm</p> <p>→ Lochflächenanteil ca. 3,7 %</p> <p>Plattendicke $t = \text{ca. } 1,1 \text{ mm}$</p>
Material	mikroperforiertes Blech mit geradreihiger Rundlochung
Hersteller	gema Metalldecken von Armstrong®
Produktbezeichnung	Ultramicro® Perforation - Rg 0501
verwendete Kurzbez.	mikroperf. Blech
Lochdurchmesser / Abstand	<p>runde Löcher mit einem Durchmesser von 0,5 mm in einem Abstand von 5/5 mm [77]</p> <p>→ Lochflächenanteil lt. Hersteller: 0,64 % [77]</p> <p>berechnet: ca. 0,79 %</p> <p>Plattendicke $t = \text{ca. } 0,7 \text{ mm}$</p>

Die Messdatenauswertung nach Abb. 57 zeigt die Absorptionsverläufe des Lochbleches und des mikroperforierten Bleches. Die Anordnung mit Lochblech erreicht bei ca. 630 Hz ihren maximalen Absorptionsgrad nahe 1,0 [-], wohingegen die max. Absorption des mikroperforierten Bleches bei ca. 400 Hz nur rd. 0,8 [-] beträgt. Auch kommt die Frequenz, ab der der Absorptionsgrad (über eine logarithmische Frequenzachse aufgetragen) nahezu linear abnimmt, bei einer höheren Frequenz zu liegen als beim mikroperforierten Blech. Jedoch weisen beide Bleche im (für den Verkehrslärm relevanten) Bereich um 1000 Hz einen starken Abfall des Absorptionsgrades auf. Überdies wird durch die Anordnung eines Bleches die Skelettresonanz der Steinwolle zu etwas tieferen Frequenzen verschoben.

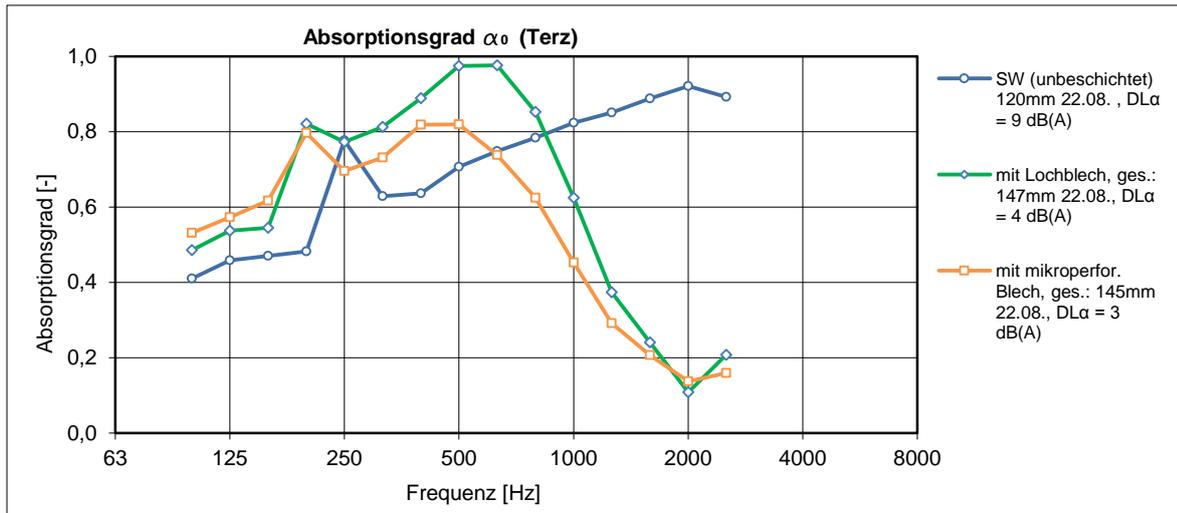


Abb. 57: Gemessener Absorptionsgrad der Steinwolle-Putzträgerplatte 120mm mit Blechen inkl. „Hinterlüftungs“-Ebene (24°C, 97600 Pa)

7.3.2 Modellierung

Für die Modellierung der beiden mehrschichtigen Systeme werden für die Steinwolle-Putzträgerplatte vereinfachend die Werte der Schicht 3 nach Tab. 15 für die gesamte Schichtdicke von 120 mm übernommen. Die „Hinterlüftungsebene“ ergibt sich aus der Dicke des Gesamtaufbaus für das Lochblech zu $147 - 120 - 1,1 = 25,9 \text{ mm}$ und für das mikroperforierte Blech zu $145 - 120 - 0,65 = 24,35 \text{ mm}$. Der Strukturfaktor für Luft wird mit 1 und der Strömungswiderstand bzw. die Massivität mit 0 [-] angenommen. Für den E-Modul und die Querkontraktionszahl der Bleche werden die Werte für Stahl nach [47] und für die Dichte laut [35] angesetzt. Die Verlustfaktoren der Plattenmoden richten sich nach den Erfahrungswerten gemäß [21]. Die aus den guten Wärmeleiteigenschaften des Bleches resultierenden, zusätzlichen Verluste werden mit einer Anhebung der kinematischen Zähigkeit um $\Delta\mu = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ berücksichtigt. Es wird das Berechnungsmodell für mikroperforierte Absorber gemäß Maa verwendet, wobei für die Mündungskorrekturen die Werte laut [18] S.685 eingesetzt werden. In Tab. 61 und Tab. 62 werden die verwendeten Berechnungsparameter definiert.

Tab. 61: Eingangsdaten Modellierung des Lochbleches

	Schicht 1 (vor harter Rückwand)	Schicht 2	Schicht 3 (Richtung Schallquelle)
Poröser Absorber ([18]: festes Skelett)			
Schichtdicke D [m]	-	0,12	0,02435
längenspez. Strömungswiderst. $\underline{\underline{\xi}}$ [Ns/m ⁴]	-	40000	0,00

Schallabsorptionsverhalten mehrschaliger Konstruktionen

Massivität $mu = 1 - \sigma_v$ [-]	-	0,04	0,00
Strukturfaktor χ [-]	-	2	1
Absorbervariable bei der Relaxationskreisfrequenz E_0 [-]	0,100		
Platte			
Plattendicke t [m]	-	-	0,0011
Plattenlänge aa [m]	-	-	0,20
Plattenbreite bb [m]	-	-	0,20
E-Modul [N/m^2]	-	-	$2,1 \cdot 10^{11}$
Plattendichte [kg/m^3]	-	-	7850
Querkontraktionszahl Poisson [-]	-	-	0,30
Verlustfaktor der Plattenmoden:			
g11	-	-	0,3
g13, g31	-	-	0,1
g15, g51, g35, g53, g55	-	-	0,1
Lagerungsbedingung (eingespannt = 1; gelenkig = 0)	-	-	1
Platte haftend (ja = 1; nein = 0)	-	-	0
Löcher nach Maa			
Lochdurchmesser d [mm]	-	-	3,20
Lochabstand (in beide Richtungen) b [mm]	-	-	14,70
zusätzl. Verluste Metall $\Delta\mu$ [mm^2/s]	-	-	20
Mündungskorrektur (zweiseitig) nach [18] S. 685 [mm]	-	-	3,686

Das Modellierungsergebnis des Konstruktionsaufbaus mit Lochblech nach Abb. 58 stimmt sehr gut mit den gemessenen Werten überein. Die grünpunktete Linie zeigt eine Modellierung des Bleches ohne Löcher und ohne Steinwollendämmung, wobei der Abstand zum schallharten Abschluss 145 -147 mm beträgt. Die grünpunkteten Resonanzspitzen entsprechen somit den Plattenresonanzen des Systems. Die erste Plattenresonanzfrequenz liegt bei rd. 250 Hz. Die blaupunktete Linie bildet die Helmholtz-Resonanzen der Löcher ab, die bei einer Frequenz von ca. 350 Hz ihr erstes Maximum aufweisen. Der rotpunktete Verlauf stellt die Absorption aus Parallelschaltung der Platten- und Helmholtz-Schwingungen

dar. Die Resonanzfrequenz liegt hierbei bei ca. 340 Hz. Ein Vergleich mit dem Absorptionsverhalten des Gesamtsystems lässt erkennen, dass sich das erste Resonanzmaximum durch den Einbau der Dämmung zu höheren Frequenzen hin verschiebt.

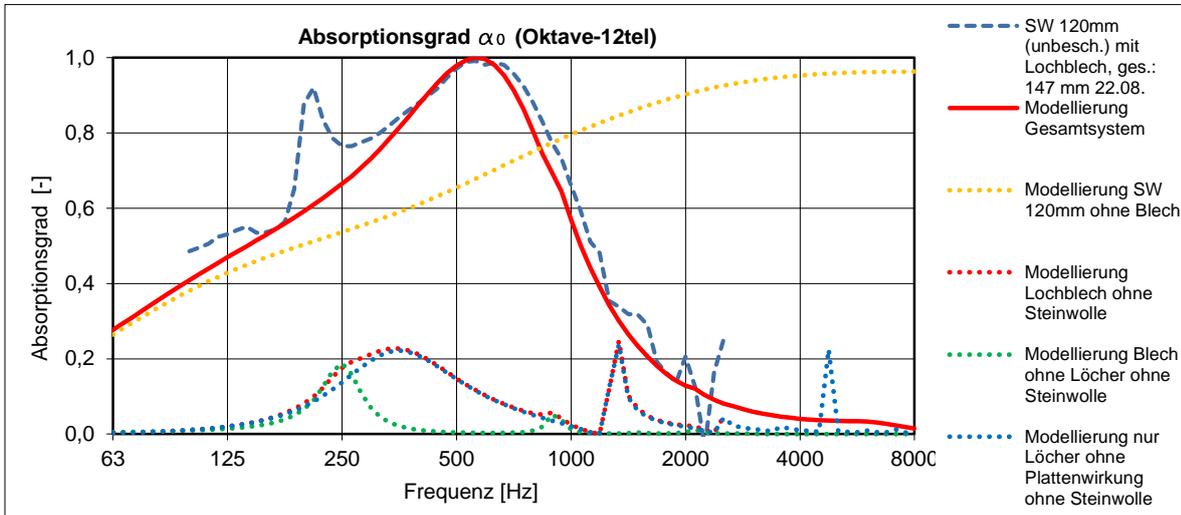


Abb. 58: Modellierung der SW 120 mm + Lochblech mithilfe von [A]

Tab. 62: Eingangsdaten Modellierung des mikroperforierten Bleches

	Schicht 1 (vor harter Rückwand)	Schicht 2	Schicht 3 (Richtung Schallquelle)
Poröser Absorber ([18]: festes Skelett)			
Schichtdicke D [m]	-	0,12	0,0244
längenspez. Strömungswiderst. \underline{E} [Ns/m ⁴]	-	40000	0,00
Massivität $mu = 1 - \sigma_v$ [-]	-	0,04	0,00
Strukturfaktor χ [-]	-	2	1
Absorbervariable bei der Relaxationskreisfrequenz E_0 [-]	0,100		
Platte			
Plattendicke t [m]	-	-	0,0007
Plattenlänge aa [m]	-	-	0,20
Plattenbreite bb [m]	-	-	0,20
E-Modul [N/m ²]	-	-	$2,1 \cdot 10^{11}$
Plattendichte [kg/m ³]	-	-	7850
Querkontraktionszahl Poisson [-]	-	-	0,30

Verlustfaktor der Plattenmoden:			
g11	-	-	0,3
g13, g31	-	-	0,1
g15, g51, g35, g53, g55	-	-	0,1
Lagerungsbedingung (eingespannt = 1; gelenkig = 0)	-	-	1
Platte haftend (ja = 1; nein = 0)	-	-	0
Löcher nach Maa			
Lochdurchmesser d [mm]	-	-	0,50
Lochabstand (in beide Richtungen) b [mm]	-	-	5,00
zusätzl. Verluste Metall $\Delta\mu$ [mm ² /s]	-	-	20
Mündungskorrektur (zweiseitig) nach [18] S. 685 [mm]	-	-	0,696

Wie die Modellierung des mikroperforierten Bleches gemäß Abb. 59 zeigt, erreichen mikroperforierte Bleche auch ohne poröse Absorberfüllung im Bereich ihrer Resonanzfrequenz hohe Absorptionsgrade. Dies ist auf die in Abschnitt 3.2.3 behandelten hohen inhärenten Dämpfungen, die sich aus der kleinen Lochgröße (in der Größenordnung der akustischen Grenzschicht) ergeben, zurückzuführen. Wird jedoch eine 120 mm dicke Steinwolle (in Kombination mit einer rd. 25 mm dicken „Hinterlüftungsebene“) eingebaut, so ist der maximale Absorptionsgrad des betrachteten Lochbleches höher als der des mikroperforierte Bleches.

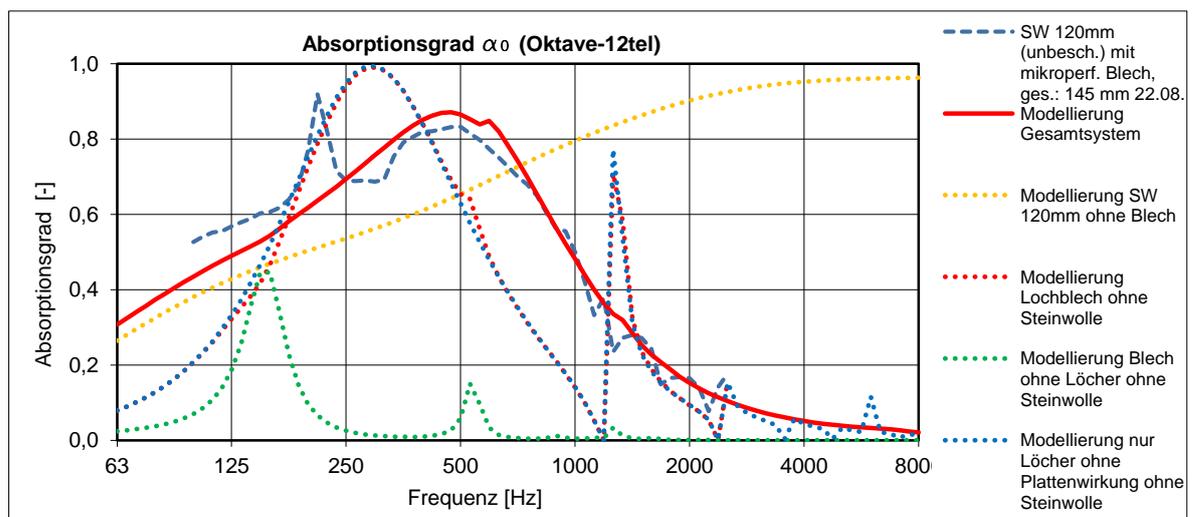


Abb. 59: Modellierung der SW 120 mm + mikroperforiertes Blech mithilfe von [A]

7.3.3 Akustikpotential und integrale Betrachtungen

Perforierte Bleche mit dahinterliegendem porösem Absorber erreichen im Bereich der tiefen und mittleren Frequenzen hohe Schallabsorptionsgrade. Die Resonanzfrequenz, -breite, und -höhe kann mit verschiedenen Parametern, wie beispielsweise dem Perforationsgrad, der Geometrie der Löcher, dem Abstand zur schallharten Wand usw., auf die akustische Umgebungssituation abgestimmt werden.

So wird die Resonanzfrequenz höher, wenn man die Feder steifer macht, d.h. den Abstand zwischen Platte und schallharter Wand verringert. Somit sollte, um möglichst nahe an die für den Verkehrslärm relevanten 1000 Hz zu kommen, die Hinterlüftungsebene nicht größer gemacht werden als aus feuchtetechnischer Sicht nötig ist. Nach ÖNORM B 3419: 2011 beträgt der Mindestquerschnitt des vertikalen Belüftungsspaltens $200 \text{ cm}^2/\text{m}$, wodurch sich eine erforderliche Hinterlüftungsschichtdicke von $\geq 2 \text{ cm}$ ergibt [78]. Auch bei Verkleinerung der wirksamen Lochmasse, z.B. durch die Wahl einer dünneren Platte oder durch die Vergrößerung des Perforationsgrades, wird die Resonanzfrequenz höher. [9]

Der vorhandene Witterungsschutz der Dämmebene ist von der Lochgeometrie und dem Perforationsverhältnis der Lochplatte abhängig. So muss gegebenenfalls zusätzlich zur Hinterlüftungsebene je nach Dämmmaterial ein entsprechendes Schutzvlies bzw. -folie vor der Dämmebene angebracht werden. Hierfür ist die Anordnung eines Akustikvlieses direkt auf der Lochplattenrückseite und/oder einer möglichst dünnen Folie direkt auf der Dämmung denkbar. Die Machbarkeit des Witterungsschutzes der Dämmung von Aufbauten ohne Hinterlüftungsebene und ohne Folie, z.B. in Kombination mit mikroperforierten Blechen, wäre weiterführend zu untersuchen.

Neben der Lochung von Blechen stehen noch weitere Möglichkeiten, wie beispielsweise Metallfaserabsorber und Metallschwämme, zur akustischen Aktivierung von Metallfassaden in Bezug auf ihre Absorptionswirkung zur Verfügung. Hierzu gehören Paneele aus zwischen Metallnetzten gepressten Aluminiumfasern, sowie Paneele aus gesintertem, porösem Aluminium. Diese Paneele weisen laut Hersteller auch ohne dahinterliegende Mineralwolle bei Ausführung mit „Hinterlüftungsebene“ gute Absorptionseigenschaften auf. [79]–[81]

7.4 Gabione mit Schaumglasschotterfüllung vor der Dämmebene

Unter dem Begriff Gabione versteht man einen mit Steinen befüllten Drahtkorb (aus Edelstahl, wetterfestem Stahl, verzinktem Stahl,...). Als Füllmaterial werden Natursteine, Glassteine, Schaumlava usw. verwendet. Gabionen finden beim Bau von Garten- und Stützmauern, Lärmschutzwänden, aber auch als Fassadenverkleidung Anwendung. So können schmale Gabionen in Form von vorgefertigten Wandkassetten als Systemelement von vorgehängten hinterlüfteten Fassaden eingesetzt werden. [70], [82]

Nachfolgend wird das Schallabsorptionsverhalten eines mit Schaumglasschotter befüllten Drahtkorbes untersucht.

7.4.1 Experimentelle Untersuchungen

Für die experimentellen Untersuchungen wurde im Kundt'schen Rohr Schaumglasschotter 10/50 hinter einem groben Drahtgitter, welches auf einem dünnen Holzrahmen befestigt wurde, lose (ohne Verdichten) eingebracht. Im Anschluss an die Schallabsorptionsradmessung wurde die Masse des Materials bestimmt, um die Schüttdichte abschätzen zu können. Die erzeugte Schüttdichte berechnet sich zu rd. 164 g/m^3 (siehe Tab. 63).

Anm.: Da das Schaumglasschottermaterial von einer Druckfestigkeitsprüfung stammte, lagen einige Körner in gebrochener Form vor.

Tab. 63: Gemessener Schaumglasschotter

	
Material	Schaumglasschotter 10/50
Hersteller	MISAPOR
Produktbezeichnung	MISAPOR Schaumglasschotter
Einbringung	lose: ~ 709 g (bei Einbaudicke 109 mm) ~ 679 g (bei Einbaudicke 105 mm) → Schüttdichte rd. 164 g/m^3

Bei Schaumglas, wie bereits in Abschnitt 5.6 beschrieben, handelt es sich grundsätzlich um ein „schallhartes“ Material. Allerdings wird durch das Einbringen in geschütteter Form eine gewisse Haufwerksporigkeit erzeugt, die je nach Beschaffenheit und betrachteter Frequenz „akustisch transparent“ oder selbst als eine Art „poröser Absorber“ wirkt (siehe Abb. 60).

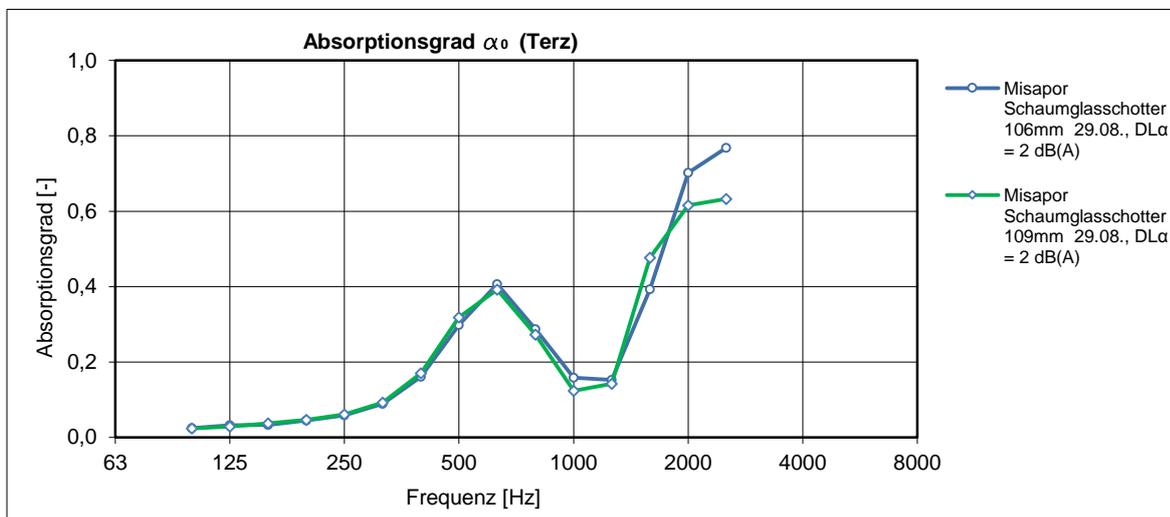


Abb. 60: Gemessene Absorptionsgrade der Misapor Schaumglasschotter-Gabione (26°C, 96800 Pa)

7.4.2 Modellierung

Auf eine Modellierung dieser haufwerksporigen Konstruktion wird im Rahmen dieser Masterarbeit verzichtet.

7.4.3 Akustikpotential und integrale Betrachtungen

Die Haufwerksporigkeit von Schüttungen lässt sich durch die Parameter Steingeometrie, -größe, Schüttdichte usw. gezielt beeinflussen. Daher kann auch bei Füllungen aus an und für sich nicht absorbierenden Materialien, wie z.B. Schaumglas, eine gewisse Absorptionswirkung erzeugt werden. Wird die Porigkeit so gestaltet, dass sie im relevanten Frequenzbereich überwiegend „akustisch transparent“ ist, so kann die Schallabsorption von einem dahinterliegenden porösen Dämmstoff erzeugt werden.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Wie die experimentellen und rechnerischen Auswertungen zeigen, können mit Fassadensystemen praktisch alle Arten von technischen Absorbern realisiert werden. An dieser Stelle sei nochmals auf die „Matrix“ von Tab. 8 verwiesen, die den einzelnen Hüllkonstruktionen mögliche Absorbertypen zuordnet. Wie bereits dort dargestellt, lassen sich mit mehrschaligen Fassaden Loch- bzw. Schlitzplattenresonatoren und mehrschichtige Absorber herstellen. In Kombination mit porösen Dämmstoffen und möglichst dünnen Unterdeck- bzw. Unterspannbahnen sind mit mehrschaligen Gebäudehüllen über einen breiten Frequenzbereich hohe Absorptionsgrade erzielbar.

Die Betrachtung der verschiedenen Dämmstoffarten ergibt hohe Schallabsorptionswerte für faserige Materialien, wie beispielsweise Mineralwolle, Holzfaser- und Holzwolle. Aber auch haufwerksporige Produkte, wozu Blähperlite gehören, eignen sich als Absorber. Dies gilt insbesondere dann, wenn ihr Korngemisch akustisch abgestimmt wird (wie z.B. bei REAPOR®). Keine oder eine nur sehr schlechte Eignung zeigen EPS-, PU-Hartschaum-, Schaumglas- und Mineralschaumplatten. Hiervon ausgenommen sind Schaumglasschotterfüllungen für Gabionen, die ein gewisses akustisches Potential zeigen.

Herkömmliche Wärmedämmverbundsysteme weisen keine bzw. eine nur sehr geringe Schallabsorption auf. Zur Aktivierung der Schallabsorption solcher Systeme sind poröse Putze oder Putze mit Perforierung vorstellbar. Allerdings sind solche Adaptionen im Hinblick auf den Witterungsschutz als äußerst kritisch zu betrachten und es wären weitere Untersuchungen der bauphysikalisch-integralen Machbarkeit zu führen.

Zu anderen, im Rahmen dieser Masterarbeit nicht behandelten, Gebäudehüllen mit akustischem Potential gehören begrünte Fassaden [83]. Zwar ist der Schallabsorptionsbeitrag der Vegetation selbst klein, jedoch wirkt die dahinterliegende Substratschicht als poröser Absorber, was solche Systeme für die Schallabsorption interessant macht [84]. Eine Gebäudehülle für gute Schallabsorption im mittleren Frequenzbereich bilden gelochte sowie geschlitzte Terrakotta-Fassadentafeln. Sie erreichen in Kombination mit porösen Dämmstoffen gemäß [85] eine Absorption DL_{α} von 7 bis 11 dB. Als Alternative zu Mineralwolleabsorbern können auch Metallfaser- und Metallschaumplatten eingesetzt werden [81], wie beispielsweise schallabsorbierende Paneele, die aus zwischen Metallnetzen gepressten Aluminiumfasern hergestellt werden [80]. Solche Paneele absorbieren vorrangig im mittleren und hohen Frequenzbereich. Wird eine Sichtbetonoberfläche als „Gesicht“ des Gebäudes gefordert, so wäre es denkbar, dass man diese mithilfe von offenporigem Beton [86] oder Holzleichtbeton [87] in Bezug auf die Schallabsorption aktiviert.

Wie diese Aufzählung, die sich mit Sicherheit noch erweitern ließe, zeigt, hat das „Bauteil“ Fassade aufgrund der Unzahl an Gestaltungsmöglichkeiten ein hohes Schallabsorptionspotential. Es gilt lediglich die aus der Raumakustik und der Planung von Lärmschutzwänden bekannten Konstruktionsprinzipien von technischen Absorbern beim Design einer Gebäudehülle anzuwenden.

9 Literaturverzeichnis

- [1] R. Thaler, H. Gartner, W. Gratt, und et al., *Handbuch Umgebungslärm, Minderung und Ruhevorsorge*. Wien: Bundesmin. f. Land- u. Forstwirtschaft, Umwelt u. Wasserwirtschaft, 2007.
- [2] „Zitat Georg Christoph Lichtenberg“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.gutzitiert.de/zitat_autor_georg_christoph_lichtenberg_839.html. [Zugegriffen: 28-Nov-2016].
- [3] C. Riccabona und T. Bednar, *Baukonstruktionslehre 4, Bauphysik*, 7. Aufl. Wien: MANZ Verlag Schulbuch, 2008.
- [4] P. Kautsch, P. Leistner, und et al., *bauphysiktagung2016: Bauphysik urbaner Oberflächen*. Graz: Institut für Hochbau Technische Universität Graz, 2016.
- [5] M. Gressmann, H.-J. Pahl, und A. Spaag, *Fenster-, Türen- und Fassadentechnik für Metallbauer und Holztechniker*, 4. Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel, 2012.
- [6] ÖNORM EN 1793-3: 1998-03, *Lärmschutzeinrichtungen an Straßen Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften, Teil 3: Standardisiertes Verkehrslärmspektrum*. .
- [7] H. Özkan, „Frequenzanalyse von Straßenverkehrslärm an unterschiedlichen Fahrbahnbelägen (Universität Stuttgart unter der Betreuung von Prof. Ressel W.)“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.isv.uni-stuttgart.de/sus/lehre/studentische_arbeiten/diplomarbeiten/downloads_abgeschlossen/504_Frequenzanalyse_Strassenlaerm.pdf. [Zugegriffen: 24-Sep-2016].
- [8] DIN ISO 9613-2: 1999-10, *Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren*. .
- [9] W. Fasold und E. Veres, *Schallschutz+Raumakustik in der Praxis*, 1. Aufl. Berlin: Verlag für Bauwesen GmbH, 1998.
- [10] M. Möser, *Technische Akustik*, 9. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2012.
- [11] G. Müller und M. Möser, *Handbook of Engineering Acoustics*. Berlin Heidelberg: Springer -Verlag, 2013.
- [12] L. Cremer, *Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik, Wellentheoretische Raumakustik*, Bd. 3. Leipzig: S. Hirzel Verlag, 1950.
- [13] EN ISO 10534-2: 2001-06, *Akustik - Bestimmung des Schallabsorptionsgrades und der Impedanz in Impedanzrohren, Teil 2: Verfahren mit Übertragungsfunktion*. .
- [14] ÖNORM EN ISO 354: 2003-11, *Akustik - Messung der Schallabsorption in Hallräumen*. .
- [15] ZTV-Lsw 06: 2006, *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Ausführung von Lärmschutzwänden an Straßen*. .
- [16] ÖNORM EN 1793-1:2013-01, *Lärmschutzvorrichtungen an Straßen - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften, Teil 1: Produktspezifische Merkmale der Schallabsorption*. .
- [17] F. P. Mechel, *Schallabsorber, Äußere Schallfelder, Wechselwirkungen*, Bd. 1. Stuttgart: S. Hirzel Verlag, 1989.
- [18] F. P. Mechel, *Schallabsorber, Innere Schallfelder, Strukturen*, Bd. 2. Stuttgart: S. Hirzel Verlag, 1995.
- [19] L. Cremer, *Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik, Statistische Raumakustik*, Bd. 2. Stuttgart: S. Hirzel Verlag, 1961.
- [20] H. Fuchs, *Schallabsorber und Schalldämpfer, Innovative akustische Konzepte und Bauteile mit praktischen Anwendungen in konkreten Beispielen*, 3. Berlin: Springer -Verlag, 2010.
- [21] X. Zhou, R. Heinz, und H. Fuchs, „Zur Berechnung geschichteter Platten- und Lochplatten-Resonatoren“, in *BAUPHYSIK, Wärme Energie Schall Brand Feuchte Licht Mikroklima*, Bd. Heft 3, Berlin: Verlag Ernst & Sohn, 1998, S. 87–95.
- [22] P. Leistner und H. Fuchs, „Schlitzförmige Schallabsorber“, in *BAUPHYSIK, Wärme Energie Schall Brand Feuchte Licht Mikroklima*, Bd. Heft 6, Berlin: Verlag Ernst & Sohn, 2001, S. 333–337.
- [23] X. Zhou und R. Heinz, „Vereinfachte Rechenverfahren für einfache und geschichtete Resonanzabsorber“, Stuttgart: Interner Bericht des Fraunhofer-IBP, 1996.
- [24] D.-Y. Maa, *Potential of microperforated panel absorber*. Beijing: Academia Sinica, 1998.
- [25] T. Plötzner, *Transparente, Schall absorbierende Lärmschutzwände: theoretische und experimentelle Untersuchungen*. Stuttgart: Diplomarbeit am Fraunhofer IBP, 2008.
- [26] W. Schneider, K. Bay, Leistner, und G. Babuke, „Multifunktionales Kundt'sches Rohr (Typ: WS 01)“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.schallmessung.com/images/stories/Norsonic/Datenblatt/ws01_de.pdf. [Zugegriffen: 26-Sep-2016].
- [27] ÖNORM EN 29053: 1993-08, *Akustik; Materialien für akustische Anwendungen; Bestimmung des Strömungswiderstandes (ISO 9053:1991)*. .
- [28] Baunetzwissen, „Fassade“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.baunetzwissen.de/glossarerbegriffe/Fassade-Fassade_1456987.html?bid=940439&index=F. [Zugegriffen: 25-Nov-2016].

- [29] T. Herzog, R. Krippner, und W. Lang, *Fassaden Atlas*, 1. Basel [u.a.]: Birkhäuser, 2004.
- [30] C. Schittich, *Im Detail: Gebäudehüllen, Konzepte - Schichten - Material*. Basel [u.a.]: Birkhäuser, 2001.
- [31] Baunetzwissen, „Arten von Fassadenkonstruktionen: Übersicht“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Fassade-Arten-von-Fassadenkonstruktionen-uebersicht_1451889.html. [Zugegriffen: 26-Nov-2016].
- [32] Baunetzwissen, „Fassadenarten: Außenwände“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Fassade-Arten-von-Fassaden-Massive-Wandkonstruktionen_1457539.html. [Zugegriffen: 26-Nov-2016].
- [33] Baunetzwissen, „Fassadenarten: Arten von Fassaenkonstruktionen: Leichte Konstruktionen“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Fassade-Arten-von-Fassaden-Leichte-Konstruktionen_1457549.html. [Zugegriffen: 26-Nov-2016].
- [34] Baunetzwissen, „Fassadenarten: Doppelfassaden: Einführung“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Fassade_Doppelfassaden_154419.html. [Zugegriffen: 26-Nov-2016].
- [35] T. Krapfenbauer, *Bautabellen*, 15. Wien: Jugend & Volk GmbH, 2006.
- [36] Sonogamma, „Technisches Datenblatt POAL“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.sonogamma.com/pdf/de/poal/germanPoalTF.pdf>. [Zugegriffen: 28-Nov-2016].
- [37] K. Schild, M. Weyers, und W. Willems, *Handbuch Fassadendämmsysteme*, 2. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2010.
- [38] M. Pfundstein, R. Gellert, M. Spitzner, und A. Rudolphi, *Insulating Materials; Principles Materials Application*. München: Birkhäuser Edition Detail, 2007.
- [39] Rockwool, „Produktkatalog: Wärmedämmverbundsystem Rockwool“. [Online]. Verfügbar unter: http://download.rockwool.at/media/342395/wdvs_produktkatalog_rwa2015-09.pdf. [Zugegriffen: 30-Sep-2016].
- [40] M. Heckl und Müller H.A., *Taschenbuch der Technischen Akustik*, 2. Berlin Heidelberg: Springer -Verlag, 1994.
- [41] ÖNORM EN ISO 11654: 1997-09, *Akustik - Schallabsorber für die Anwendung in Gebäuden - Bewertung der Schallabsorption*. .
- [42] P. Kurzweil, B. Frenzel, J. Eichler, und B. Schiewe, *Physik Aufgabensammlung, Für Ingenieure und Naturwissenschaftler*, 1. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner GWV Fachverlag GmbH, 2008.
- [43] Baubook, „Steinwolle-Dämmplatten“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.baubook.info/zentrale/>. [Zugegriffen: 05-Okt-2016].
- [44] dataholz, „Bauteile - Aussenwand - awrhh01a“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.dataholz.com/cgi-bin/WebObjects/dataholz.woa/1/wa/bauteil?language=de&kz=awrhh01a>. [Zugegriffen: 18-Dez-2016].
- [45] DIN EN 13859-2: 2010-11, *Abdichtungsbahnen - Definition und Eigenschaften von Unterdeck- und Unterspannbahnen - Teil 2: Unterdeck- und Unterspannbahnen für Wände*. .
- [46] Baunetzwissen, „Holzwolle-Leichtbauplatten“, 09-Jän-2017. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.baunetzwissen.de/glossar/h/holzwolle-leichtbauplatten-1112353>.
- [47] ibwk ETHZ rmf & stm, „Werkstoffeigenschaften“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.ifb.ethz.ch/education/bachelor_werkstoffe1/2011FS/Werkstoffeigenschaften_FS10.pdf. [Zugegriffen: 24-Sep-2016].
- [48] C. Riccabona, *Baukonstruktionslehre 1, Rohbauarbeiten*, 7. Aufl. Wien: MANZ Verlag Schulbuch, 2004.
- [49] H. Bornhöft und H. Schmid, „IBP-Mitteilung: Von der Platte zum Endlosstrang - REAPOR Glasschaum-Produktion“, 2002. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/de/documents/Publicationen/IBP-Mitteilungen-optimiert/423.pdf>. [Zugegriffen: 05-Okt-2016].
- [50] R. MATERIALARCHIV ZHAW, „Mineralschaumplatte“, 2013. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.materialarchiv.ch/detail/1502/Mineralschaumplatte#/detail/1502/mineralschaumplatte>. [Zugegriffen: 21-Okt-2016].
- [51] Sto, „Produktkatalog: Sto Therm Cell, Das natürliche Dämmsystem“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.nextproducts.at/broschuere-stotherm-cell-1058075/datei-files/Broschuere_Cell.pdf. [Zugegriffen: 21-Okt-2016].
- [52] R. Wack, H. Drotleff, und H. Schmid, „IBP-Mitteilung: Absorbermodell für einen gesinterten Glasschaum“, 2002. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/de/documents/Publicationen/IBP-Mitteilungen-optimiert/405.pdf>. [Zugegriffen: 05-Okt-2016].
- [53] Liaver GmbH & Co. KG, „Produktdatenblatt Reapor“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.liaver.com/fileadmin/user_upload/pdf/TechDatblatt_Reapor_2014.pdf. [Zugegriffen: 08-Jän-2017].

- [54] Pyrotek noise control, „Reapor: This Installation Guide provides recommendations to maximise the service life in outdoor wall applications.“ [Online]. Verfügbar unter: http://www.pyroteknc.com/download/Reapor_Installation_Guide_2171G.pdf. [Zugegriffen: 11-Okt-2016].
- [55] OIB-Richtlinie 6: 2015-03, *Energieeinsparung und Wärmeschutz*. .
- [56] Nuova IDROPRESS S.p.A., „Blockpressen“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.nuova-idropress.com/Sezione.jsp?titolo=blockpressen&idSezione=60>. [Zugegriffen: 10-Nov-2016].
- [57] G. Huber, B. Wietek, H. Halbmayer, und et al., *Baustoffkunde, Technologie der Bau- und Werkstoffe*, 4. Wien: MANZ Verlag Schulbuch, 2002.
- [58] F. Chevillotte und R. Panneton, „Elastic characterization of closed cell foams from impedance tube absorption tests“, *J Acoust Soc Am*. [DOI: 10.1121/1.2783126], 2007, S. 122(5): 2653-2660.
- [59] X. Zhou, R. Heinz, und H. Fuchs, „Zur Berechnung geschichteter Platten- und Lochplatten-Resonatoren“, *Bauphys. Wärme Feuchte Schall Brand Licht Energ.*, Nr. Heft 3, S. 87–95, 1998.
- [60] aixfoam, „Produktbeschreibung Basotec“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.aixfoam.de/info/de/schallabsorber-basotect>. [Zugegriffen: 13-Nov-2016].
- [61] A. Pech, G. Pommer, und J. Zeininger, *Fassaden*, Bd. 13. Wien: AMBRA | V, 2014.
- [62] A. Reichel, A. Hochberg, und C. Köpke, *Putze, Farben, Beschichtungen*. DETAIL, 2004.
- [63] ÖNORM B 6000: 2013-09, *Werkmäßig hergestellte Dämmstoffe für den Wärme- und/oder Schallschutz im Hochbau; Arten, Anwendung und Mindestanforderungen*. .
- [64] C. Schittich, *Wärmedämmverbundsystem WDVS - Ein Diskussionsbeitrag von Hild und K*, 1. Aufl. DETAIL, 2013.
- [65] Fema, „Produktdatenblatt: FEMA-THERM-Pulverkleber grau“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.fema.de/click2print/mediafactory/fema-pdf/01658.pdf>. [Zugegriffen: 08-Jän-2017].
- [66] Fema, „Produktdatenblatt: FEMA-LIT-Scheibenputz MK“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.fema.de/click2print/mediafactory/fema-pdf/08080.pdf>. [Zugegriffen: 08-Jän-2017].
- [67] BASWA acoustic, „BASWAphon Fine - weiß“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.baswa.com/de/leben-bauen/anwendungsbereiche/> und http://www.raumprobe.de/materialwissen/materialselektion/akustik-selektion/akustikmaterialien/materialdatenblatt-selektion-akustik/?tx_raumprobe_list%5bmanufacturer%5d=1063&tx_raumprobe_list%5bmaterial%5d=1063&tx_raumprobe_list%5bmodus%5d=selectionMaterials&tx_raumpro. [Zugegriffen: 15-Nov-2016].
- [68] Fraunhofer ISC, „Porous Vycor-Glass“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.isc.fraunhofer.de/fileadmin/FILES/download/publikationen/Datenblaetter/Vycor_Datenblatt.pdf und <http://www.bauinfo24.at/news/rohbau-fassade-baelemente/3354-raumklima-glaeser/index.html>. [Zugegriffen: 15-Nov-2016].
- [69] akustik- und schallschutztechnik pernikl, „Pernikl Schallschutzpaneele“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.pernikl.com/index.php/schallschutz/schallschutz-einhausungen>. [Zugegriffen: 13-Dez-2016].
- [70] Baunetzwissen, „Fassade: Fassaden aus schmalen Gabionen“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.baunetzwissen.de/fassade/tipps/news-produkte/fassaden-aus-schmalen-gabionen-4181179>. [Zugegriffen: 14-Dez-2016].
- [71] J. Schmuck, *Passivhäuser: Bewährte Konzepte und Konstruktionen*. Stuttgart: W. Kohlhammer, 2007.
- [72] Isover, „Produktdatenblatt: Isover Stopvap“. [Online]. Verfügbar unter: https://www.isover.fr/sites/isover.fr/files/assets/documents/Membrane_Stopvap_A834E0B362BC424C91B5169C7172FA99.pdf. [Zugegriffen: 08-Jän-2017].
- [73] Isover, „Produktdatenblatt: Isover Ecran Integra“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.isover.at/itrfile/_1_/d3e6040e5bc95410741e2b917c8e263b/10-1.pdf. [Zugegriffen: 08-Jän-2017].
- [74] proclima, „Produktinformation: pro clima SOLITEX FRONTA QUATTRO“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.proclima.com/systems/solitex-fronta-quattro>. [Zugegriffen: 08-Jän-2017].
- [75] Würth, „Produktbeschreibung Unterdeck- und Unterspannbahn WÜTOP Thermo ND plus“. [Online]. Verfügbar unter: http://media.wuerth.com/stmedia/shop/masterpages0000/LANG_de/20880.pdf und http://media.wuerth.com/stmedia/shop/masterpages0000/LANG_de/20886.pdf. [Zugegriffen: 08-Jän-2017].
- [76] J. Schneider, J. Kuntsche, S. Schula, F. Schneider, und J.-D. Wörner, *Glasbau, Grundlagen Berechnung Konstruktion*, 2. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2016.
- [77] gema, „Produktdatenblatt: Perforationen, Intelligente Raumakustik“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.gema.biz/cms/DE/upload/Downloads/Technische_Eigenschaften/Perforation/Perforationen_D-A-CH_de.pdf. [Zugegriffen: 08-Jän-2017].
- [78] ÖNORM B 3419: 2011, *Planung und Ausführung von Dacheindeckungen und Wandverkleidungen*. .
- [79] Sonogamma, „Produktdatenblatt: gesintertes poröses Aluminium“. [Online]. Verfügbar unter: <http://sonogamma.com/wp-content/uploads/2016/10/germanCalmeTF.pdf>. [Zugegriffen: 12-Dez-2016].

- [80] Sonogamma, „Produktdatenblatt: poröses Aluminium aus Aluminiumfasern“. [Online]. Verfügbar unter: <http://sonogamma.com/wp-content/uploads/2016/10/germanPoalTF.pdf>. [Zugegriffen: 12-Dez-2016].
- [81] Akustikforschung Dresden, „Metallfaserabsorber & Metallschwämme“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.akustikforschung.de/leistungen/maschinenakustik/spezielle-schallabsorber/metallfaserabsorber/>. [Zugegriffen: 12-Dez-2016].
- [82] Baulinks, „Lärmschutz durch Sandkerngabione“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.baulinks.de/webplugin/2006/1566.php4>. [Zugegriffen: 14-Dez-2016].
- [83] „Novel solutions for quieter and greener cities“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.noiseineu.eu/en/3353-a/homeindex/file?objectid=3067&objectypeid=0>. [Zugegriffen: 21-Dez-2016].
- [84] K. Krell, *Handbuch für LÄRMSCHUTZ an Straßen und Schienenwegen*. Darmstadt: Otto Elsner Verlagsgesellschaft, 1980.
- [85] Terreal North America, „Acoustic Claddings“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.terreal.us/products/acoustic-claddings/>. [Zugegriffen: 21-Dez-2016].
- [86] Heidelberger Beton, „Offenporiger Beton“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.heidelbergcement.de/de/offenporiger-beton>. [Zugegriffen: 21-Dez-2016].
- [87] F. Musso, R. Krippner, D. Niebler, und H. Issig, „Holzbau der Zukunft, TP 17 Holzleichtbeton im Hochbau“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.ebb.ar.tum.de/fileadmin/w00bii/www/Forschung/teilprojekt17.pdf>. [Zugegriffen: 21-Dez-2016].
- [88] Isover, „Produktdatenblatt: Sillatherm WVP 1-035“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.isover.de/Portaldata/1/Resources/produktwelt/produkte/sillatherm/Sillatherm_WVP_1-035.pdf. [Zugegriffen: 08-Jän-2017].
- [89] Rockwool, „Produktdatenblatt: Speedrock II“. [Online]. Verfügbar unter: http://download.rockwool.at/media/337199/rwa-db_speedrock_ii_2015-09.pdf. [Zugegriffen: 08-Jän-2017].
- [90] Sto, „Produktdatenblatt: Weichfaserplatte M042“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.sto.at/webdocs/0000/SDB/T_PRODT006_0101_DE_06_01.PDF. [Zugegriffen: 08-Jän-2017].
- [91] Knauf, „Produktdatenblatt: Tektalan A2-E21“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.knaufinsulation.at/sites/at.knaufinsulation.net/files/PDBL_Tektalan-A2-E21_01-2016_A.pdf. [Zugegriffen: 08-Jän-2017].
- [92] Knauf, „Produktdatenblatt TecTem“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.knauf-aquapanel.com/fileadmin/Dokumente/PDF/Produktinformationen/TecTem_InsulationBoardIndoor.pdf. [Zugegriffen: 08-Jän-2017].
- [93] Fema, „Produktdatenblatt: FEMA-Energiesparplatten Weiß-Blau EPS 035 WDV“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.fema.de/click2print/mediafactory/fema-pdf/03831.pdf>. [Zugegriffen: 08-Jän-2017].
- [94] Saint-Gobain Weber, „Produktdatenblatt: EPS 035 Fassade speedy und EPS 035e Fassade speedy“. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sg-weber.de/uploads/tx_weberproductpage/WDVS_weber.therm_B_100.pdf. [Zugegriffen: 08-Jän-2017].
- [95] Misapor, „Produktinformation: Schaumglasschotter“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.misapor.ch/files/2016-09-technische-werte-deutschland-1.pdf>. [Zugegriffen: 08-Jän-2017].

10 Verwendete Software und Randbedingungen

[A] X. Zhou, *Excel-Tool zur Berechnung von mehrschichtigen Absorbern*. Stuttgart: Fraunhofer IBP.

[B] R. Wack, *Software zur Berechnung von porösen Absorbern mit Skelettschwingungen (nach Biot)*. Stuttgart: Fraunhofer IBP.

[C] SimpleMind+ 1.13(2528)

Das in [A] zur Berechnung für geschichtete Absorber eingearbeitete Formelwerk wird in den Abschnitten 3.2.1 bis 3.2.4 beschrieben. Es ist zu beachten, dass dieses Programm die Platteneigenmoden lediglich bis $m = n = 3$ berechnet. Als allgemeine Randbedingung wird angenommen, dass der hinter der Dämmschicht liegende Baukörper (Rohbau inkl. der Kleberschicht des WDVS) als schallharte Wand angesehen werden kann. Es werden die Kennwerte von Luft für 20°C bei einem Luftdruck von 1 bar verwendet ($\rho_0 = 1,19 \text{ kg/m}^3$, $c_0 = 344 \text{ m/s}$ und $Z_0 = \rho_0 \cdot c_0 = 1,19 \cdot 344 = 409,36 \text{ Ns/m}^3$ [42] S.180,187).

Zusätzlich zur Modellierung wird [A] im Zuge dieser Masterarbeit für die graphische Darstellung aller Messwerte (wie z.B. Abb. 14, Abb. 24 usw.) genutzt.

11 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Standardisiertes Verkehrslärmspektrum gemäß ÖNORM/DIN EN 1793-3 [6]	3
Tab. 2: Luftabsorption für einen Abstand d [m] zur Schallquelle (20°C, rel. Luftfeuchte von 70%) [8].....	5
Tab. 3: Berechnung der Schirmwirkung infolge Doppelbeugung (20°C, $C_2 = 20$) [8].....	6
Tab. 4: Einteilung von Lärmschutzwänden ZTV-Lsw 06: Tabelle 1 [15]	9
Tab. 5: Verwendete Einstellungen der Signalverarbeitung	23
Tab. 6: Verwendete Randbedingungen der Vergleichsmessung im runden Rohr.....	27
Tab. 7: Beispiele für ein- und mehrschalige bzw. ein- und mehrschichtige Konstruktionen [5]	34
Tab. 8: Schallabsorbermodelle und Fassadensysteme im Vergleich.....	35
Tab. 9: Physikalische Eigenschaften von Mineralwolle [38]: Tab. S. 23	38
Tab. 10: Berechnungsparameter für Mineralfaserabsorber [18]: Tab. 6.1 und Bild 6.3.....	38
Tab. 11: Materialbeschreibung der gemessenen Steinwolle-Putzträgerplatte	39
Tab. 12: Gemessener Strömungswiderstand der Steinwolle-Putzträgerplatte	40
Tab. 13: Materialbeschreibung der gemessenen Steinwolle-Putzträgerlamelle	42
Tab. 14: Gemessener Strömungswiderstand der Steinwolle-Putzträgerlamelle	42
Tab. 15: Eingangsdaten Modellierung der Putzträgerplatte 120mm	44
Tab. 16: Eingangsdaten Modellierung der Putzträgerplatte 60mm	44
Tab. 17: Eingangsdaten Biot-Johnson-Allard-Modell.....	45
Tab. 18: Eingangsdaten Modellierung der Putzträgerlamelle 118 mm.....	46
Tab. 19: Physikalische Eigenschaften von Holzweichfaserplatten [38]:Tab. S. 45.....	48
Tab. 20: Berechnungsparameter für Holzweichfaserplatten [18]:Tab. 6.1 und 6.3.....	48
Tab. 21: Materialbeschreibung der gemessenen Holzweichfaserplatte	49
Tab. 22: Gemessener Strömungswiderstand der Holzweichfaserplatte.....	49
Tab. 23: Eingangsdaten Modellierung der Holzweichfaserplatte 120mm „Seite 1“	51
Tab. 24: Eingangsdaten Modellierung der Holzweichfaserplatte 120mm „Seite 2“	51
Tab. 25: Physikalische Eigenschaften von Holzwolleplatten (WW) [38]:Tab. S. 45	52
Tab. 26: Berechnungsparameter für Holzwolleplatten (WW) [18]:Tab. 6.1 und 6.3	52
Tab. 27: Materialbeschreibung der gemessenen Holzwolle-Dreischicht-Dämmplatte.....	53
Tab. 28: Gemessener Strömungswiderstand der Holzwolle-Dreischichtplatte.....	54
Tab. 29: Eingangsdaten Modellierung der Holzwolle-Dreischichtplatte 52 mm.....	55
Tab. 30: Physikalische Eigenschaften von Perlitedämmplatten [38]:Tab. S. 30.....	57
Tab. 31: Materialbeschreibung der gemessenen Blähperlplatte	58
Tab. 32: Gemessener Strömungswiderstand der Blähperlplatte.....	58
Tab. 33: Eingangsdaten Modellierung der Blähperlplatte 100 mm.....	59
Tab. 34: Physikalische Eigenschaften von Mineralschaumplatten [50].....	60
Tab. 35: Materialbeschreibung der gemessenen Mineralschaumplatte	61

Tab. 36: Gemessener Strömungswiderstand der Mineralschaumplatte	61
Tab. 37: Physikalische Eigenschaften vom Schaumglasplatten [38] S.25	62
Tab. 38: Materialbeschreibung der gemessenen Schaumglasplatten	63
Tab. 39: Gemessener Strömungswiderstand Schaumglasplatte	63
Tab. 40: Physikalische Eigenschaften von REAPOR®- Glasschaum [53]	64
Tab. 41: Materialbeschreibung REAPOR®	64
Tab. 42: Gemessener Strömungswiderstand REAPOR®	65
Tab. 43: Eingangsdaten Modellierung REAPOR® 24 mm	67
Tab. 44: Eingangsdaten Modellierung REAPOR® 65 mm	67
Tab. 45: Physikalische Eigenschaften von EPS [38]:Tab. S. 35	69
Tab. 46: Physikalische Eigenschaften von XPS [38]:Tab. S. 37	69
Tab. 47: Materialbeschreibung der gemessenen EPS-Platten	70
Tab. 48: Gemessener Strömungswiderstand EPS elastisch	71
Tab. 49: Physikalische Eigenschaften von Polyurethan-Hartschaum [38]:Tab. S. 39	74
Tab. 50: Materialbeschreibung des gemessenen PU-Schaumes	74
Tab. 51: Berechnungsparameter von PU-Weichschaum [18]:Tab. 6.1 und 6.3	75
Tab. 52: Verwendetes Armierungsmörtel- und (Ober-)Putzmaterial	77
Tab. 53: Gemessene Armierungs- und Putzvarianten der Steinwolle-Putzträgerplatte	81
Tab. 54: Gemessene Armierungs- und Putzvarianten der Steinwolle-Putzträgerlamelle	82
Tab. 55: Eingangsdaten Modellierung der SW-Putzträgerplatte 120 mm + vollflächige Armierung	83
Tab. 56: Eingangsdaten Modellierung der SW-Putzträgerplatte 120 mm + gelochte Armierung	85
Tab. 57: Eingangsdaten Modellierung der SW-Putzträgerplatte 120 mm + gezahnte Armierung	87
Tab. 58: Gemessene Folien und Vliese	90
Tab. 59: Eingangsdaten Modellierung der ETFE-Folie	93
Tab. 60: Gemessene Lochbleche bzw. mikroperforierte Bleche	97
Tab. 61: Eingangsdaten Modellierung des Lochbleches	98
Tab. 62: Eingangsdaten Modellierung des mikroperforierten Bleches	100
Tab. 63: Gemessener Schaumglasschotter	103

12 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: L_i -Werte des standardisierten Verkehrslärmspektrums nach ÖNORM/DIN EN 1793-3 [6]	3
Abb. 2: Frequenzspektrum der Lärmpegel bei durchschnittlichem LKW-Anteil, Quelle: [7] S.1	4
Abb. 3: Geometrische Größen zur Bestimmung des Schirmwertes bei Doppelbeugung [8]	5
Abb. 4: Abschätzung des Verkehrslärmspektrums für Asphaltstraßen gemäß [7] mit Dämpfung infolge Schirmwirkung nach [8] (siehe Tab. 3)	6
Abb. 5: Prinzipskizze der Schallabsorption einer Wandfläche [9]	7
Abb. 6: Einteilung technische Schallabsorber	10
Abb. 7: Prinzipieller Frequenzverlauf des Schallabsorptionsgrades α eines porösen Absorbers und eines Resonators im Vergleich (gemäß [9] S.70 Bild 4.5 mithilfe von [A] modelliert).....	11
Abb. 8: Poröser Absorber.....	11
Abb. 9: Einschichtiger Plattenresonator [21].....	15
Abb. 10: Einschichtiger Plattenresonator	18
Abb. 11: Schlitzförmiger Absorber [22].....	20
Abb. 12: Mehrschichtiger Absorber [21]	21
Abb. 13: Messaufbau Schallabsorptionsgrad - Systemskizze [13].....	23
Abb. 14: Leerrohrmessung in Terz (22-26°C, 96300-97600 Pa).....	25
Abb. 15: Wiederholungsmessung mit verschiedenen Materialien (23-24°C, 96300-97400 Pa)	26
Abb. 16: Vergleichsmessung REAPOR® quadr. Rohr mit rundem Rohr (quadr. Rohr: 24°C, 97000-97600 Pa)	27
Abb. 17: Messaufbau Strömungswiderstand - Systemskizze [27]	28
Abb. 18: Messaufbau des Strömungswiderstandes vor Ort, Messgerät: Strömungswiderstandsmesser AFM 80	28
Abb. 19: Einteilung von Fassadensystemen gemäß [5], [29], [30] mit [C] erstellt	31
Abb. 20: Prinzipskizze einer Kaltfassade	32
Abb. 21: Einteilung von Gebäudehüllen nach der Anzahl der Schalen und Schichten [5].....	34
Abb. 22: Gemessener Absorptionsgrad der Steinwolle-Putzträgerplatte (Messwerte: 23°C, 97400 Pa)	41
Abb. 23: Beschichtete Oberfläche der Putzträgerplatte (links) und der Lamelle (rechts)	41
Abb. 24: Gemessener Absorptionsgrad der Steinwolle-Putzträgerlamelle (Messwerte: 22-24°C, 96300-97400 Pa)	43
Abb. 25: Modellierung Putzträgerplatte mit dem Modell poröser Absorber mithilfe von [A] ...	45
Abb. 26: Modellierung der Steinwolle mit Skelettschwingungen mithilfe von [B].....	46
Abb. 27: Modellierung Putzträgerlamelle mit dem Modell poröser Absorber mithilfe von [A] ..	47
Abb. 28: Gemessene Absorptionsgrade der Holzweichfaserdämmplatte (22°C, 97300 Pa) .	50

Abb. 29: Modellierung Holzweichfaserplatte mit dem Modell poröser Absorber mithilfe von [A]	51
Abb. 30: Schichtaufbau der Holzwolle-Dreischicht-Platte	54
Abb. 31: Gemessene Absorptionsgrade der Holzwolle-Dreischicht-Dämmplatte (22°C, 97300 Pa).....	55
Abb. 32: Modellierung der Holzwolle-Dreischicht-Dämmplatte mithilfe von [A].....	56
Abb. 33: Gemessener Absorptionsgrad der Blähperlplatte (24-25°C, 96400 - 97000 Pa)...	58
Abb. 34: Modellierung Blähperlplatte als porösen Absorber mithilfe von [A]	59
Abb. 35: Gemessener Absorptionsgrad der Mineralschaumplatte (23°C, 97400 Pa)	61
Abb. 36: Makroporenstruktur Mineralschaumplatte, Quelle: Sto [51] S.2.....	62
Abb. 37: Gemessener Absorptionsgrad Schaumglasplatten (24°C, 97000 Pa)	63
Abb. 38: Mikroskopische Aufnahme des Glasschaum-Gefüges, Quelle: Fraunhofer IBP	65
Abb. 39: Gemessener Absorptionsgrad REAPOR® (24°C, 97000-97600 Pa).....	66
Abb. 40: Modellierung 24 mm dicke REAPOR®-Platte mithilfe von [A]	68
Abb. 41: Modellierung 65 mm dicke REAPOR®-Platte mithilfe von [A].....	68
Abb. 42: Gemessene Absorptionsgrade der EPS-Platten (23-24°C, 96800-97400 Pa)	72
Abb. 43: Gemessener Absorptionsgrad der PU-Schaumplatte (23°C, 97400 Pa)	75
Abb. 44: Systemaufbau WDVS gemäß [61]: Abb. 130.3-01	76
Abb. 45: Gemessene Absorptionsgrade von vollflächigen Armierungen (23-25°C, 96800-97200 Pa).....	78
Abb. 46: Gemessene Absorptionsgrade von vollflächigen Armierungen (23-24°C, 96300-97400 Pa).....	78
Abb. 47: Gemessene Absorptionsgrade von vollflächigen Armierungen (22-24°C, 96800-97300 Pa).....	79
Abb. 48: Gemessene Absorptionsgrade der Steinwolle-Putzträgerplatte mit Armierung (23-24°C, 97200- 97400 Pa).....	82
Abb. 49: Gemessener Absorptionsgrad Steinwolle-Putzträgerlamelle mit Armierung und Putz (23-26°C, 96800-97400 Pa).....	83
Abb. 50: Modellierung der SW-Putzträgerplatte 120 mm + vollflächige Armierung mithilfe von [A].....	84
Abb. 51: Modellierung der SW 120 mm + gelochte Armierung mithilfe von [A].....	86
Abb. 52: Modellierung der SW 120 mm + gezahnte Armierung mithilfe von [A].....	88
Abb. 53: Gemessener Absorptionsgrad der SW-Putzträgerplatte 120 mm mit Folien und Vliesen (24°C, 97600 Pa)	93
Abb. 54: Modellierung der ETFE-Folie mit und ohne SW 120 mm mithilfe von [A]	94
Abb. 55: Verwendeter Holzrahmen zum Einbau der Folie ohne Steinwolle	95
Abb. 56: Mikroskopische Aufnahme des Lochdurchmessers des Lochbleches	96
Abb. 57: Gemessener Absorptionsgrad der Steinwolle-Putzträgerplatte 120mm mit Blechen inkl. „Hinterlüftungs“-Ebene (24°C, 97600 Pa)	98
Abb. 58: Modellierung der SW 120 mm + Lochblech mithilfe von [A]	100
Abb. 59: Modellierung der SW 120 mm + mikroperforiertes Blech mithilfe von [A].....	101

Abb. 60: Gemessene Absorptionsgrade der Misapor Schaumglasschotter-Gabione (26°C, 96800 Pa) 104

Formelzeichen

12.1 Lateinische Buchstaben

a	Seitenlängen der quadr. Platte [m]
A_{mn}, B_{mn}	von der Plattenlagerung abhängige Konstanten [–]
b	Loch- bzw. Schlitzabstand [m]
B'	„Biegesteifigkeit“ der Platte (ohne a) [Nm]
c_0	Schallgeschwindigkeit in Luft [m/s]
d	Lochdurchmesser [m]
D	Schichtdicke [m]
E	Elastizitätsmodul der Platte [N/m^2]
E_0	Absorbervariable bei der Relaxationskreisfrequenz nach [18] [–]
E_{eff}	Absorbervariable nach [18] [–]
f	Frequenz [Hz] bzw. [$1/s$]
f_H	Helmholtz-Resonanzfrequenz [Hz] bzw. [$1/s$]
f_{mn}	Resonanzfrequenz der Plattenmode m,n [Hz] bzw. [$1/s$]
g_{mn}	Verlustfaktor der Plattenmode m,n [–]
k_0	Wellenzahl für Luft [$1/m$]
m'	flächenbezogene Masse der Platte [kg/m^2]
m_s''	pro Schlitz schwingende Luftmasse inkl. Mündungskorrektur [kg/m^2]
p	Schalldruck [N/m^2]
p_{refl}	Schalldruck der reflektierten Welle [N/m^2]
p_1	Schalldruck der einfallenden Welle [N/m^2]
r	Reflexionsfaktor [–]
R	Reflexionsgrad [–]
t	Plattendicke [m]
V_A	Gesamtvolumen eines porösen Absorbers [m^3]
v_{ex}	Strömungsgeschwindigkeit der Luft vor Eindringen in ein Material [m/s]
V_P	nach außen offenes Porenvolumen eines porösen Absorbers [m^3]
W_1	auf ein Hindernis (Wandfläche) eintreffende Schalleistung [Nm/s]
W_2, W_3	transmittierte bzw. über die Flanken fortgeleitete Schalleistung [Nm/s]
W_{abs}	absorbierte Schalleistung [Nm/s]
W_{dis}	dissipierte Schalleistung [Nm/s]
W_{refl}	Hindernis (Wandfläche) reflektierte Schalleistung [Nm/s]
x	Maß für den Lochradius [–]
Z_A	Impedanz einer porösen Absorbierschicht der Dicke D [Ns/m^3]
Z_0	Schallkennimpedanz der Luft [Ns/m^3]
Z_1	Wandimpedanz [Ns/m^3]

\underline{Z}_H	Impedanz der Luftpropfen der Löcher [Ns/m^3]
\underline{Z}_{LP}	Gesamtimpedanz einer schwingungsfähigen Lochplatte [Ns/m^3]
\underline{Z}_m	Gesamtimpedanz der Schicht m eines geschichteten Absorbers [Ns/m^3]
\underline{Z}'_m	Trennimpedanz des Resonators der Schicht m eines geschichteten Absorbers [Ns/m^3]
\underline{Z}_{mn}	Impedanz der Plattenmode m,n [Ns/m^3]
\underline{Z}_P	Impedanz aus der Parallelschaltung der Plattenmoden m,n [Ns/m^3]
\underline{Z}_{porous}	Kennimpedanz des Absorbers [Ns/m^3]
\underline{Z}_S	Impedanz der durch die Schlitze erzeugten Schallausbreitung [Ns/m^3]
\underline{Z}_T	Transferimpedanz einer Luftschicht der Dicke D [Ns/m^3]
\underline{Z}_{Tm}	Transferimpedanz der Schicht m eines geschichteten Absorbers [Ns/m^3]

12.2 Griechische Buchstaben

α	Schallabsorptionsgrad [-]
α_0	im Kundt'schen Rohr gem. Schallabsorptionsgrad [-]
α_{st}	im Hallraum gem. (statistischer) Schallabsorptionsgrad [-]
α_w	bewerteter (praktischer) Schallabsorptionsgrad [-]
$\underline{\Gamma}_{porous}$	Ausbreitungskonstante des Absorbers [$1/m$]
ε	Loch- bzw. Schlitzflächenanteil [-]
η	dynamische Viskosität der Luft [$kg/(m \cdot s)$]
κ	Adiabatexponent für Luft [-]
μ	kinematische Zähigkeit der Luft [m^2/s]
μ_P	Poissonsche Querkontraktionszahl [-]
\underline{E}	längenspezifischer Strömungswiderstand des Absorbermaterials [Ns/m^4]
ρ_0	Dichte der Luft [kg/m^3]
ρ_A	Dichte des porösen Absorbers [kg/m^3]
ρ_M	Dichte d. Ausgangsmaterials für d. Herstellung d. porösen Absorbers [kg/m^3]
σ_v	(Volumen-)Porosität eines porösen Absorbers [-]
σ_s	Flächenporosität eines porösen Absorbers [-]
χ	Strukturfaktor [-]
ω	Kreisfrequenz [rad/s]

Anhang - Produktdatenblätter

[88]:



Technische Daten
 Stand: April 2016
 Sillatherm_WVP_1-035.docx
 Seitenanzahl 1/2

Sillatherm WVP 1-035
WDVS-Platte

Eigenschaft	Symbol	Einheit	Beschreibung, Messwert	Norm												
Material			Steinwolle mit RAL-Gütezeichen der Gütegemeinschaft Mineralwolle e. V., freigezeichnet nach Gefahrstoffverordnung, Chemikalienverbotsverordnung und EU-Richtlinie 97/69 Anmerkung Q	-												
Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung			Z-33.4-1081	-												
Beschichtung			Einseitig anorganisch beschichtet (Putzseite)	-												
Anwendungsgebiet			WAP-zg Außendämmung der Wand unter Putz	DIN 4108-10												
Euroklasse			A1 nichtbrennbar	DIN EN 13501												
Schmelzpunkt		°C	≥ 1000	DIN 4102-17												
Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	λ	W/(m·K)	0,035	Z-33.4-1081												
Nennwert der Wärmeleitfähigkeit	λ_D	W/(m·K)	0,034	DIN EN 13162												
Grenzabmessung für die Dicken	T		5	DIN EN 13162												
Temperaturverhalten		°C	Verwendung bis 150	-												
Spezifische Wärmekapazität		kJ/(kg·K)	c = 0,84	-												
Thermischer Ausdehnungskoeffizient			$\alpha = 1,0$ (keine Dimensionsänderung im Anwendungsbereich)	-												
Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl	MU		$\mu = 1$	DIN EN 13162												
Feuchtigkeitsverhalten	WL(P)		durchgehend wasserabweisend	DIN EN 13162												
Druckspannung bei 10% Stauchung	CS(10)	kPa	$\sigma_{10} \geq 20$ (Dicke < 60 mm: $\sigma_{10} \geq 5,0$ kPa)	DIN EN 13162												
Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene	TR	kPa	$\sigma_{mt} \geq 5$ (Dicke < 60 mm: $\sigma_{mt} \geq 3,5$ kPa)	DIN EN 13162												
Scherfestigkeit	SS	kPa	$\tau \geq 6$	DIN EN 13162												
Dimensionsstabilität bei definierten Temperaturbedingungen	DS(70,-)		$\Delta \epsilon < 1$	DIN EN 13162												
Dynamische Steifigkeit	SD	MN/m ³	<table border="1"> <tr> <td>Dicke mm</td> <td>60</td> <td>80</td> <td>100</td> <td>120</td> <td>≥ 140</td> </tr> <tr> <td>s'</td> <td>≤ 12</td> <td>≤ 9</td> <td>≤ 7</td> <td>≤ 6</td> <td>≤ 5</td> </tr> </table>	Dicke mm	60	80	100	120	≥ 140	s'	≤ 12	≤ 9	≤ 7	≤ 6	≤ 5	DIN EN 13162
Dicke mm	60	80	100	120	≥ 140											
s'	≤ 12	≤ 9	≤ 7	≤ 6	≤ 5											
Längenbezogener Strömungswiderstand	AF	kPa s/m ²	≥ 30	DIN EN 13162												
Abfallschlüssel Nr.			17 06 04, Deponien der Klasse II, Hausmüll- und Bauschuttdeponien (für neue, unverschmutzte Mineralwolle)	Europ. Abfallverzeichnis												
Anwendungshinweise	<p>Putzbare Dämmplatten für die Wärme- und Schalldämmung in Wärmedämm-Verbundsystemen gemäß DIBt-Systemzulassung Z-33.43-...</p> <p>Mit einseitig verdichteter und beschichteter Deckschicht auf der Putzseite, auf die direkt gedübelt und die Armierungsschicht aufgetragen wird. Der Einsatz dieser Dämmplatten erfolgt nach Angaben des Systemherstellers.</p>															
Bezeichnungsschlüssel	<p>Dicke < 60 mm: MW-EN 13162-T5-DS(70,-)-CS(10)5-TR2,5-WL(P)-MU1</p> <p>Dicke ≥ 60 mm: MW-EN 13162-T5-DS(70,-)-CS(10)20-TR5-WL(P)-MU1</p>															

Die Angaben in dieser technischen Information entsprechen dem Stand unseres Wissens und unserer Erfahrungen bei Drucklegung (vgl. Druckvermerk). Sofern nicht ausdrücklich anders vereinbart, stellen sie jedoch keine Garantie im Rechtssinne dar. Der Wissens- und Erfahrungsstand entwickelt sich stets weiter. Achten Sie deshalb bitte darauf, die neueste Auflage dieser technischen Informationen zu verwenden (zugänglich im Internet unter „www.isover.de“). Die beschriebenen Produktanwendungen können besondere Verhältnisse des Einzelfalles nicht berücksichtigen. Prüfen Sie deshalb unsere Produkte auf ihre Eignung für den konkreten Anwendungszweck. Wir liefern ausschließlich auf Grundlage unserer Allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen.

SAINT-GOBAIN ISOVER G+H AG, Bürgermeister-Grünzweig-Straße 1, 67059 Ludwigshafen, www.isover.de

Putzträgerlamelle Speedrock® II

Anwendungsbereich

Wärme-, Schall- und vorbeugender Brandschutz im Alt- und Neubaubereich durch die Anwendung in einem Wärmedämm-Verbundsystem an Außenwänden. Speedrock II ist dank ihres handlichen Formats und des geringen Gewichts verarbeitungsfreundlich und ist auch für gebogene Bauteiloberflächen geeignet.

Verarbeitung

Bitte die Verarbeitungsrichtlinien des Systemherstellers beachten.

Befestigung

Die Lamellen werden mit Klebemörtel auf das zu dämmende Bauteil aufgeklebt und zusätzlich mit Dübeln befestigt.

Wichtiger Verarbeitungshinweis

- Die Fassadenflächen müssen während und vor der Aufbringung der Dämmung trocken sein und vor anhaltender, starker Feuchteinwirkung (u.a. Niederschlag, übermäßige Bautrocknungsfeuchte von innen) geschützt werden, z.B. das Gerüst regensicher abplanen!
- Es darf nur trockener Dämmstoff verarbeitet werden!
- Feucht gewordene Dämmung muss vor Aufbringen von Mörtelschichten trocken sein!

Vertrieb

Als Bestandteil von Wärmedämm-Verbundsystemen durch Hersteller von Wärmedämm-Verbundsystemen.

Lieferprogramm

Dicke mm	m ² / Paket	m ² /Groß- gebinde	RD-Wert (m ² K/W)
40	2,88	28,80	0,95
60	1,92	19,20	1,45
80	1,44	14,40	1,95
100	0,96	11,52	2,40
120	0,96	9,60	2,90
140	0,96	7,68	3,40
160	0,96	5,76	3,90
180	0,96	5,76	4,35
200	0,96	5,76	4,85
220*	0,48	4,80	5,35
240*	0,48	3,84	5,85

Plattenformat
L x B (mm) 1200 x 200

Folienpakete auf Euro-Norm-Palette

* auf Anfrage erhältlich

Technische Daten

	Zeichen	Beschreibung/Messwert	Norm/Vorschrift
Produktart	MW-PT		ÖNORM B 6000
Brandverhalten	A1	nichtbrennbar, Euroklasse A1	ÖNORM EN 13501-1
Schmelzpunkt		> 1000 °C	DIN 4102-17
Nennwert der Wärmeleitfähigkeit	λ_0	0,041 W/(mK)	ÖNORM EN 13162
Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl	MU 1	$\mu = 1$	ÖNORM EN 12086
Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene	TRi	$\sigma_{mt} \geq 80$ kPa	ÖNORM EN 1607
Druckfestigkeit	CS(Y)	$\sigma_{mt} \geq 40$ kPa	ÖNORM EN 826
Scherfestigkeit	SS	$\tau \geq 20$ kPa	ÖNORM EN 12090
Dimensionsstabilität bei definierter Temperatur	DS(T+)	DS(T+)	ÖNORM EN 1604
Langzeitige Wasseraufnahme	WL(P)	WL(P)	ÖNORM EN 12087

Bezeichnungsschlüssel gem. ÖNORM EN 13162: MW-EN 13162-T5-DS(T+)-CS(Y)40-TR80-WL(P)-AFr15-SS20-MU1

ROCKWOOL
Handelsgesellschaft m.b.H.
1120 Wien
Eichenstraße 38
Telefon: (01) 797 26-0
Telefax: (01) 797 26-29
www.rockwool.at

Unsere technischen Informationen geben den Stand unseres Wissens und unserer Erfahrung zum Zeitpunkt der Drucklegung wieder. Verwenden Sie bitte deshalb die jeweils neueste Auflage, da sich Erfahrungs- und Wissensstand stets weiterentwickeln. In Zweifelsfällen setzen Sie sich bitte mit uns in Verbindung. Beschriebene Anwendungsbeispiele können besondere Verhältnisse des Einzelfalles nicht berücksichtigen und erfolgen daher ohne Haftung. Unseren Geschäftsbeziehungen mit Ihnen liegen stets unsere Allgemeinen Verkaufs-, Lieferungs- und Zahlungsbedingungen in der jeweils neuesten Fassung zugrunde, die Sie unter www.rockwool.at finden. Auf Anfrage senden wir Ihnen die AGBs auch gerne zu.

ROCKWOOL
DÄMMT PERFEKT & BRENNT NICHT

[90]:



Technisches Merkblatt Sto-Weichfaserplatte M 042

Wärmedämmplatte aus Holzweichfasern nach
EN 13171



Charakteristik

Anwendung

- außen
- als Dämmplatte im Wärmedämm-Verbundsystem StoTherm Wood für den Holzbau sowie auf mineralischen, massiven Untergründen (Mauerwerk und Beton)
- nicht im Erdreich anwendbar

Eigenschaften

- Nennwert der Wärmeleitfähigkeit λ_D : 0,040 W/(m*K)
- monolithischer (einschichtiger) Aufbau
- Brandklasse E nach EN 13501-1
- ökozertifiziert (natureplus®)
- homogene Rohdichte und Wärmeleitfähigkeit
- aus hydrophobierten Holzweichfasern
- beschichtbar

Format

- Kanten: stumpf oder Nut + Feder
- 125 x 260 cm stumpf - 8, 10, 12, 14, 16 cm
- 125 x 280 cm stumpf - 8, 10, 12, 14, 16 cm
- 125 x 59 cm stumpf - 2, 4, 6, 8 cm
- 83 x 60 cm stumpf - 10, 12, 14, 16 cm
- 130 x 60 cm NF - 8, 10, 12 cm (Deckmaß 127,6 x 57,6 cm)
- Mindestdicke: 4 cm (bei Laibungen 2 cm)

Besonderheiten/Hinweise

- Bezeichnungsschlüssel: WF-EN 13171-T4_WS 1,0-CS(10/Y) 100-TR10-MU3-AF100
- in StoTherm Wood normalentflammbar B2 nach DIN 4102

Technische Daten

Kriterium	Norm / Prüfvorschrift	Wert/ Einheit	Hinweise
Wasserdampfdiffusions- widerstandszahl μ	EN 12086	3	
Wasseraufnahme	EN 1609	< 1 kg/m ²	
Bemessungswert Wärmeleitfähigkeit λ		0,042 W/(m*K)	nach Zulassung des Herstellers

Rev.-Nr.: 6 / DE /Sto SE & Co. KGaA./ 28.11.2016 / Sto-Weichfaserplatte M 042

1/5

Technisches Merkblatt

Sto-Weichfaserplatte M 042

Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene	EN 1607	> 10 kPa	
Nennwert Wärmeleitfähigkeit λ_D		0,040 W/(m ² K)	nach Zulassung des Herstellers

Bei der Angabe der Kennwerte handelt es sich um Durchschnittswerte bzw. ca.-Werte. Aufgrund der Verwendung natürlicher Rohstoffe in unseren Produkten können die angegebenen Werte einer einzelnen Lieferung ohne Beeinträchtigung der Produkteignung geringfügig abweichen.

Untergrund

Anforderungen Der Untergrund muss eben, fest, trocken, fett-, staubfrei und klebegeeignet sein.

Auf Mauerwerk und Beton:
Die dauerhafte Verträglichkeit eventuell vorhandener Beschichtungen mit dem Kleber ist sachkundig zu prüfen.
Unebenheiten bis 2 cm/m bei geklebten und gedübelten WDVS dürfen überbrückt werden. Größere Unebenheiten müssen mechanisch egalisiert oder durch einen Putz nach EN 998-1 ausgeglichen werden.

Vorbereitungen Gemäß Verarbeitungsvorschriften der Klebmassen.

Verarbeitung

Verarbeitungstemperatur Unterste Verarbeitungstemperatur der nachfolgenden Beschichtungen: +5 °C.

Verbrauch	Ausführung	ca. Verbrauch	
	NF	1,04	m ² /m ²
	stumpf	1,00	m ² /m ²

Der Materialverbrauch ist unter anderem abhängig von Verarbeitung, Untergrund und Konsistenz. Die angegebenen Verbrauchswerte können nur der Orientierung dienen. Genaue Verbrauchswerte sind gegebenenfalls am Objekt zu ermitteln.

Beschichtungsaufbau

- Kleber:
StoLevell Uni (nur bei Mauerwerk und Beton)
- Dämmung:
Sto-Weichfaserplatte M 042
- Mechanische Befestigung:
Sto-Schraubdübel H 60 oder Breitrückenkammern (nur im Holzbau)
Sto-Thermodübel UEZ 8/60 (nur bei Mauerwerk und Beton)
- Armierung:
StoLevell Uni mit Sto-Glasfasergewebe oder StoLevell Novo mit Sto-Glasfasergewebe

Applikation Zuschnitt mit Hand- oder elektrischen Sägen mit Absaugung

Dämmplatten im Verband, von unten nach oben, fluchtgerecht, planeben und

[91]:

Tektalan® A2-E21

Holzwole-Mehrschichtplatte gemäß ÖNORM EN 13168
 WW-C/3 MW-EN 13168-T1-L2-W1-S2-P1-CS(10/Y)50-TR20-CI 1
 Produktart nach ÖNORM B 6000 WW-MW-WW

Produktbeschreibung:

- Holzwole-Dreischicht-Dämmplatte aus 2 mineralisch gebundenen, nichtbrennbaren Holzwole-Deckschichten, Dicke je 5 mm
- Dämmkern aus nichtbrennbarer Steinwole-Platte

Anwendung:

- im Tektalan-Fassadendämmsystem als Wärmedämmung von Fassaden und auskragenden Deckenuntersichten
- für Dickputzsysteme als Wärmedämmverbundsystem gemäß ETAG 004
- für baustellengefertigte Kalk-Zement-Mörtel Putze

Vorteile:

- Verbesserung von Wärmedämmung, Brandschutz und Schallschutz
- diffusionsoffen
- mechanische Befestigung mit Dämmstoffdübel
- mineralisch gebundene Holzwole-Deckschicht als guter Haftgrund für mineralischen Dickputz
- Langzeiterfahrung

Hinweise:

- Bitte beachten Sie die jeweiligen Verarbeitungsrichtlinien. Darüber hinaus gelten die einschlägigen Normen und die anerkannten Regeln der Technik.

Technische Daten

Dicke	mm	50	75	100	125	150	175
Schichtaufbau	mm	5/40/5	5/65/5	5/90/5	5/115/5	5/140/5	5/165/5
Gewicht	kg/m ²	12,0	15,0	18,5	21,5	24,5	27,5
Länge x Breite	mm	1000 x 600					
Lieferform: palettiert							

Eigenschaften	Symbol	Beschreibung / Daten						Einheit	Norm	Stufe gem. EN 13168
Brandverhalten	--	A2-s1, d0						--	EN 13501-1	
Nennwert der Wärmeleitfähigkeit	λ_D	mineralisch geb. Deckschicht 5 mm: 0,070 Steinwole : 0,039						[W/mK]	EN 13168	
Dicke	d	50	75	100	125	150	175	[mm]	EN 13168	
Nennwert des Wärmedurchlasswiderstandes	R ₀	1,15	1,80	2,45	3,05	3,70	4,35	[m ² K/W]	EN 13168	
Lambda-Wert ¹⁾	λ	0,043	0,041	0,041	0,040	0,040	0,040	[W/mK]		
Druckspannung bei 10% Stauchung	σ_m	≥ 50						[kPa]	EN 13168	CS(10/Y)50
Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene	σ_{mt}	≥ 20						[kPa]	EN 1607	TR20
Breitentoleranz		± 3						[mm]	EN 13168	W1
Dickentoleranz		+ 3 / -2			+ 4 / -3			[mm]	EN 13168	T1
Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl	μ	2	2	2	1	1	1	--	EN 12086	

¹⁾ Für die einfachere U-Wertberechnung ist der λ -Wert auf die einzelne Produktdicke gerechnet.

Knauf Insulation Steinwole Fasern sind gesundheitlich unbedenklich. Dafür bürgt das RAL-Gütezeichen.

Der Vertrieb erfolgt über den Fachhandel.



Die Kennwerte im vorliegenden Produktdatenblatt entsprechen dem derzeitigen Entwicklungsstand unserer Produkte und verlieren bei Erscheinen einer Neuausgabe ihre Gültigkeit. Vergewissern Sie sich, dass Sie jeweils die neueste Ausgabe dieser Information verwenden. Die Eignung des Produktes ist nicht verbindlich für Einzelfälle besonderer Art. Es gelten ausnahmslos unsere Allgemeinen Verkaufs-, Liefer- und Zahlungsbedingungen. Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr. Änderungen behalten wir uns vor.
 Stand: 01/2016 sp-jb (ersetzt 01/2015 li-jb)

Heraklith® ist eine registrierte Marke von **KNAUFINSULATION**

Knauf Insulation GmbH
 Industriestraße 18
 A-9586 Fürnitz
 Telefon +43 4257 3370-0
 Telefax +43 4257 3370-2300
 www.knaufinsulation.at



Anwendung

TecTem® Insulation Board Indoor ist eine mineralische und kapillaraktive Dämmplatte von KNAUF AQUAPANEL. Sie besteht aus expandierter Perlite und wurde speziell entwickelt für die Innendämmung von Außenwänden und Innendecken.

Innendämmung von Wänden und Decken (WI,DI nach DIN 4108-10)

Eigenschaften

- mineralisch und faserfrei
- dampfdiffusionsoffen
- kapillaraktiv, daher keine innenseitige Dampfbremse erforderlich
- schnelle Verteilung und Trocknung anfallender Feuchte
- nicht brennbar, Baustoffklasse A1 nach DIN EN 13501-1
- schimmelpilzresistent
- vollständig recyclebar
- umweltfreundlich gemäß Natureplus
- aufeinander abgestimmtes Innendämmsystem

Technische Daten

Format L x B	625 x 416 mm
Dicke	50 - 200 mm
Trockenrohdichte	90 - 105 kg/m ³
Zugfestigkeit	≥ 80 kPa
Druckfestigkeit	≥ 200 kPa
Biegefestigkeit	≥ 130 kPa
Wärmeleitfähigkeit λ	0,045 W/(mK)
Wasserdampfdiffusionswiderstand μ	5
Wasseraufnahmekoeffizient A _w	ca. 1,98 kg/(m ² s ^{0,5}) bzw. ca. 118,8 kg/(m ² h ^{0,5})
Baustoffklasse nach DIN EN 13501-1	A1, nicht brennbar

Verarbeitung

TecTem® Insulation Board Indoor wird unmittelbar nach dem vollflächigen Auftrags des TecTem® Klebespachtels in waagerechten Reihen im Verband mit einem Plattenversatz ≥ 20 cm unter gleichmäßigem Druck schiebend angedrückt und lot- und fluchtgerecht ausgerichtet. Die Verlegung erfolgt dicht gestoßen. Es ist darauf zu achten, dass kein Kleber in die Fugen gelangt. Auf die Ausbildung luftdichter Anschlüsse und die Entkopplung von anderen Bauteilen ist zu achten. Wärmebrücken sind zu vermeiden.

Versatzstellen können nach dem Erhärten des Klebers mit einem Schleifbrett egalisiert werden. Offene Fugen > 2 mm werden mit TecTem® Füllmörtel verfüllt. Bei Wandhöhen > 3,80 m ist eine Verdübelung mit geeigneten Schraubdübeln über die gesamte Wandhöhe erforderlich.

Während der Verarbeitung und der Trocknung dürfen Temperaturen von + 5°C nicht unterschritten werden.

Die erforderlichen TecTem® Zuberhörprodukte entnehmen Sie bitte dem TecTem® Systemprogramm.

Hinweise

TecTem® Insulation Board Indoor wird auf Europaletten folienverpackt geliefert. Paletten nicht aufeinanderstapeln. Beim Absetzen der Paletten oder einzelner Pakete darauf achten, dass Ecken und Kanten nicht beschädigt werden. Biegebeanspruchung ist zu vermeiden.

Während Transport, Lagerung und Einbau ist TecTem® Insulation Board Indoor vor Feuchtigkeit, Frost und Witterung zu schützen. Feuchte oder nasse Dämmplatten sind nicht zu verarbeiten.

Lieferform

Artikel-Nr.	Bezeichnung	Dicke	Verpackungseinheit	
			m ² /Palette	m ³ /Palette
147583	TecTem® Insulation Board Indoor	50 mm	1,638	32,76
147584	TecTem® Insulation Board Indoor	60 mm	1,685	28,08
147586	TecTem® Insulation Board Indoor	80 mm	1,498	18,72
147587	TecTem® Insulation Board Indoor	100 mm	1,404	14,04
147588	TecTem® Insulation Board Indoor	120 mm	1,685	14,04
147589	TecTem® Insulation Board Indoor	140 mm	1,310	9,36
147590	TecTem® Insulation Board Indoor	160 mm	1,498	9,36
147591	TecTem® Insulation Board Indoor	180 mm	1,685	9,36
147592	TecTem® Insulation Board Indoor	200 mm	1,248	6,24

Zulassungen

- Europäisch Technische Zulassung (ETA-08/0313)
- Allgemein bauaufsichtliche Zulassung (Z-23.11-1983)

Gutachten/Zertifikate

- Blauer Engel (Nr. 22616)
- Natureplus (Nr. 0408-1101-102-1)
- Eco-Institut Ökologie (Bericht Nr. 42646-001)
- Schimmelpilzgutachten (Bericht Nr. 18102007-1)



TecTem®

► www.knauf-aquapanel.com

@ info@knauf-aquapanel.com

© 2014 DE-09/14

TecTem® ist ein technologisch führendes und innovatives Dämmsystem. Mit dem Systemgedanken wird von der Idee bis zur Projektfertigstellung jeder einzelne Planungs- und Ausführungsschritt begleitet. TecTem® Dämmplatten, Zubehör und die baubegleitende Unterstützung sind aufeinander abgestimmt – Sie können sich des Ergebnisses gewiss sein.

TecTem® ist eine eingetragene Marke von KNAUF AQUAPANEL GmbH.

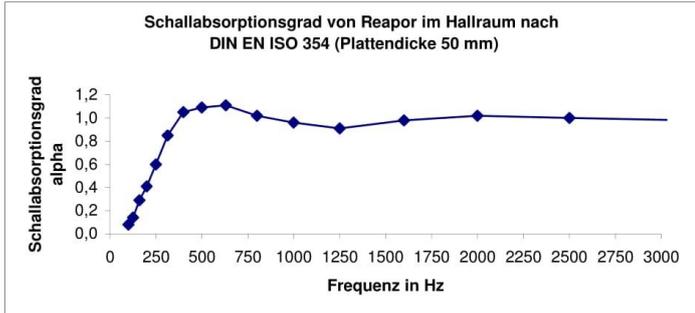
KNAUF AQUAPANEL GmbH, Kipperstraße 19, 44147 Dortmund, Deutschland

Technische Änderungen vorbehalten. Es gilt die jeweils aktuelle Auflage. Unsere Gewährleistung bezieht sich nur auf die einwandfreie Beschaffenheit unseres Materials. Konstruktive, statische und bauphysikalische Eigenschaften von Knauf Systemen können nur erreicht werden, wenn die ausschließliche Verwendung von Knauf Systemkomponenten oder von Knauf ausdrücklich empfohlenen Produkten sichergestellt ist. Verbrauchs-, Mengen- und Ausführungsangaben sind Erfahrungswerte, die im Falle abweichender Gegebenheiten nicht ohne weiteres übertragen werden können. Alle Rechte vorbehalten. Änderungen, Nachdrucke und fotomechanische sowie elektronische Wiedergabe, nach auszugswise, bedürfen der ausdrücklichen Genehmigung der KNAUF AQUAPANEL GmbH, Kipperstraße 19, 44147 Dortmund, Deutschland.



Produktdatenblatt Reapor

Standardgröße 1	Länge: 625±0,5mm; Breite: 625±0,5mm; Dicke: 50±0,3mm; 1mm Differenz zwischen den Diagonalen ; einseitig mit Fase	
Standardgröße 2	Länge: 1250±0,5mm; Breite: 625±0,5mm Dicke: 50±0,3mm; 1mm Differenz zwischen den Diagonalen ; einseitig mit Fase	
Standardgröße 3	Länge: 1200±0,5mm; Breite: 625±5mm; Dicke: 24,5±0,3mm; 1mm Differenz zwischen den Diagonalen	
Physikalische Eigenschaften	<i>Reapor</i>	<i>Prüfmethode</i>
Rohdichte	270 ± 10% kg/m ³	DIN EN 1602
Druckfestigkeit	1,2 ± 10% N/mm ²	DIN EN 196-1
Biegezugfestigkeit	0,5 ± 10% N/mm ²	DIN EN 196-1
E-Modul (dynamisch)	760 ± 80 N/mm ²	DIN 1048-5, DAfStb Heft 422
Wasserdampfdurchlässigkeit	DIN EN ISO 12572	
<i>Trockenbereich:</i> diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s _d	0,17 m	
Diffusionswiderstandszahl μ	3,5	
<i>Feuchtbereich:</i> diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s _d	0,20 m	
Diffusionswiderstandszahl μ	4,0	
Wärmeleitfähigkeit λ _{10tr}	0,08 W/mK	DIN 52612
Brandverhalten	A1	DIN EN 13 501-1
Längenspezifischer Strömungswiderstand	10 -20 kPas/m ²	DIN EN 29 053
Chemische Zusammensetzung		
SiO ₂	71 ± 2	Ma-%
Al ₂ O ₃	2 ± 0,3	Ma-%
Na ₂ O	13 ± 1	Ma-%
Fe ₂ O ₃	0,5 ± 0,2	Ma-%
CaO	8 ± 2	Ma-%
MgO	2 ± 1	Ma-%
K ₂ O	1 ± 0,2	Ma-%
Spurenelemente	< 0,5	Ma-%



Liaver GmbH & Co. KG

Internet: www.liaver.com

E-Mail: Info@liaver.com

Gewerbepark „Am Wald“ 17
D-98693 Ilmenau

Fon +49 3677 8629 0
Fax +49 3677 862930

Liaver®
expanded-glass
technologies

01/2014 St



Technisches Merkblatt

Art.-Nr. 03831 - 03860, 05295 - 05310

FEMA-Energiesparplatten Weiß-Blau EPS 035 WDV

Produktbeschreibung

Eigenschaften:

Dämmstoff aus expandiertem Polystyrol-Hartschaum, mit erhöhter Rohdichte und verbesserter Wärmeleitfähigkeit. Blockgeschäumt, maßgenau, winkeltgerecht, kantengerade, abgelagert und schwundfrei, formbeständig, alterungsbeständig, diffusionsfähig.

FEMA-Energiesparplatten Weiß-Blau EPS 035 WDV sind frei von Regenerat und toxikologisch unbedenklich. Für ihre Herstellung werden weder FCKW (Fluorchlor-Kohlenwasserstoffe) noch HFCKW (teilhalogenierte Fluorchlor-Kohlenwasserstoffe) eingesetzt.

FEMA-Energiesparplatten Weiß-Blau EPS 035 WDV entsprechen der DIN EN 13163 sowie den Qualitäts-Richtlinien des Industrieverbandes Hartschaum (IVH) und des Fachverbandes Wärmedämm-Verbundsysteme e.V. Die Güteüberwachung erfolgt durch die Bundesfachabteilung Qualitätssicherung EPS Hartschaum (BFA QS).

Anwendung:

FEMA-Energiesparplatten Weiß-Blau EPS 035 WDV werden im FEMA-THERM-Wärmedämm-Verbundsystem Typ ABC eingesetzt.

Zur Befestigung auf jedem sauberen, tragfähigen, trockenen und ebenen Untergrund wie Mauerwerk, Beton, festen Altputzen, tragfähigen Altanstrichen und -beschichtungen. Auch geeignet für Plattenwerkstoffe wie Holzspanplatten, Faserzementplatten, etc..

Für alle Gebäudehöhen einsetzbar, für die aufgrund der jeweiligen Landesbauordnung die Verwendung schwer entflammbarer Baustoffe zugelassen ist; in der Regel bis 22 m Gebäudehöhe. Farbe: Weiß/blau.

Format:

100 x 50 cm².

Kantenausbildung/Oberflächenbearbeitung:

- Stumpf
 - Quick (Nut + Feder auf den Längsseiten)
- Andere Kantenausbildungen auf Anfrage!

Dämmstoffdicken:

10 - 300 mm. Andere Dicken auf Anfrage.

Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit:

$\lambda = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Wasserdampf-Diffusionswiderstand nach DIN EN 13163:

$\mu = 30/70$.

Querzugfestigkeit nach DIN EN 1607:

$\sigma_{\text{mt}} \geq 100 \text{ kPa}$.

Brandverhalten nach DIN 4102:

Schwerentflammbar, Baustoffklasse B1.

Untergrundvorbehandlung

Verschmutzte Flächen gründlich reinigen, haftmindernde Rückstände entfernen, so dass ein tragfähiger, fester, sauberer und trockener Untergrund entsteht.

Vorstehende Mörtelgrate entfernen. Putzhohlstellen abschlagen und flächenbündig beputzen.

Stark saugende, sandende, mehhlende oder kreadende Untergründe mit wässrigem FEMA-Tiefgrund W 401 oder lösemittelhaltigem FEMA-Tiefgrund L 402 verfestigen.

Schalöl- oder Trennmittelrückstände auf Beton müssen unter Zusatz von geeigneten Reinigungsmitteln sorgfältig entfernt werden, um eine einwandfreie Haftung gewährleisten zu können.

Bereits mit Mineral-, Dispersions- oder Alkydharzfarbe vorgestrichene Flächen müssen - nach Objektberatung - entsprechend vorbehandelt werden.

Verarbeitung

Zuschneiden der Dämmplatten:

Mit Säge oder Messer bzw. einem geeigneten Styroporschneidgerät lassen sich die Platten schnell und passgenau zuschneiden.

Verklebung der Dämmplatten:

Die Verklebung der FEMA-Energiesparplatten Weiß-Blau EPS 035 WDV erfolgt system- und untergrundabhängig mit dem geeigneten FEMA-THERM-Klebermörtel gemäß jeweiligem Technischen Merkblatt nach der Randwulst-Punkt-Verfahren (Klebekontaktflächen mindestens 40 %). Die Steghöhe der Wülste und die Kleberauftragsmenge richten sich nach den Untergrundtoleranzen. Dabei können Unebenheiten bis $\pm 1 \text{ cm}$ im Kleberbett ausgeglichen werden, bei zusätzlicher Verdübelung der Dämmplatten bis $\pm 2 \text{ cm}$. Bei ebenen, glatten Untergründen ist die Verklebung vollflächig nach der Zahnbett-Methode möglich.

FEMA-Energiesparplatten Weiß-Blau EPS 035 WDV
Seite 1 von 3

FEMA® Farben + Putze GmbH · Junkersstraße 3 · 76275 Ettlingen · Tel. (07243) 371-0 · Fax (07243) 37 11 28

Bei Verwendung des FEMA-Klebschaum Akkord können zur rationellen Verarbeitung sowie für eine erhöhte Sicherheit bei der Verarbeitung zusätzlich die FEMA-Verlegekrallen Quick 5200 als Montagehilfe eingesetzt werden.

Stoß- und Lagerfugen müssen zur Vermeidung von Wärmebrücken kleberfrei bleiben. Die Verlegung der FEMA-Energiesparplatten Weiß-Blau EPS 035 WDV erfolgt von unten nach oben press gestoßen im Verband, flucht- und lotrecht, planeben und versatzfrei.

Übergangsfugen zwischen verschiedenartigen Untergrund-Werkstoffen oder bei Wetterschalenfugen müssen durch die Dämmplatten im Fugenverlauf beidseitig mindestens 10 cm breit überbrückt werden. Im Untergrund vorhandene Dehnungsfugen sind in das Wärmedämm-Verbundsystem zu übernehmen.

Verdübelung der Dämmplatten:

Eine zusätzliche Verdübelung ist gemäß allgemein bauaufsichtlicher Zulassung Nr. 33.41-259 bei ausreichend tragfähigem, klebegeeignetem Untergrund **nicht erforderlich**.

Bei nicht ausreichend tragfähigem Untergrund sind die Dämmplatten zusätzlich mit bauaufsichtlich zugelassenen Dübeln mechanisch zu befestigen. Die Hinweise in der Zulassung Nr. 33.43-100 sowie in den Technischen Merkblättern "Systemverdübelung FEMA-THERM-Wärmedämm-Verbundsystem Typ ABC" und „Windlastnorm DIN 1055-4“ sind zu beachten.

Dämmstoffdicken > 100 mm:

Bei Dämmstoffdicken > 100 mm sind bei mineralischen Untergründen zur Aufrechterhaltung der Baustoffklasse B1 des Wärmedämm-Verbundsystems zusätzliche Brandschutzmaßnahmen auszuführen.

Für die Ausführung eines Brandriegels ist in jedem zweiten Geschoss ein horizontal umlaufender 20 cm hoher Streifen aus Steinlamellen-Dämmplatten vollflächig mit mineralischem Klebemörtel auf den mineralischen Untergrund zu verkleben. Der Abstand zwischen Unterkante Brandriegel und Unterkante Sturz der Gebäudeöffnungen darf dabei maximal 50 cm betragen. Für Details bezüglich der Ausführung des Brandriegels bitte Fachberatung anfordern.

Alternativ können im Sturzbereich aller Gebäudeöffnungen (Fenster, Türen, etc.) nicht brennbare Steinwolle-Dämmplatten streifenförmig 20 cm hoch und beidseitig 30 cm über die Öffnung hinaus als Brandabschottung angeordnet werden. Die Dämmung der horizontalen Laibung im Sturzbereich ist ebenfalls mit nicht brennbaren Dämmplatten auszuführen. Aufgrund des Dämmplattenformates eignen sich besonders die FEMA-Steinlamellen-Dämmplatten zur Ausbildung dieser Maßnahme.

Für weitere Sonderanwendungen mit Fensterelementen, die vor der Außenfläche der Rohbauwand angeordnet sind, in das WDV-System integrierten Rollladenkästen oder Jalousieblenden, u. a. gelten besondere Regelungen. Die vom Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme e.V. herausgegebene Systeminfo 6 zum Thema Brandschutz beinhaltet entsprechende Ausführungsempfehlungen, die durch brandschutztechnische Prüfungen und Gutachten abgesichert sind.

Verarbeitungsbedingungen:

Nicht unter +5°C Luft- und Untergrundtemperatur verarbeiten. Der Untergrund muss frostfrei sein.

Weiterbearbeitung:

Die verlegte Fläche nach einer Trocknungszeit von mindestens 3 Tagen prüfen. Unebenheiten mit einem Schleifbrett oder geeignetem Schleifgerät weiträumig planschleifen. Offene Fugen mit Dämmstoffstreifen, ggf. auch mit FEMA-PU-Schaum ausfüllen und schließen.

Längerfristig ungeschützt der Witterung (UV-Strahlung) ausgesetzte Dämmplatten können an der Oberfläche vergilben und kreiden und müssen deshalb vor weiterer Bearbeitung abgeschliffen werden. Anschließend Schleifstaub entfernen.

Die Armierung und Putzbeschichtung erfolgt mit den systemzugehörigen FEMA-Produkten.

Zusatzinformationen

Lagerung:

FEMA-Energiesparplatten Weiß-Blau EPS 035 WDV trocken, geschützt vor Feuchtigkeit und Sonneneinstrahlung lagern.

Entsorgung:

Abfälle sind durch entsprechenden Zuschnitt und Weiterverwendung zu vermeiden.

Saubere Materialreste können dem Recycling zugeführt werden. Stark verschmutzte Restmengen können zusammen mit Hausmüll oder hausmüllähnlichem Gewerbeabfall entsorgt werden.

Anmerkung

Änderungen, die dem technischen Fortschritt oder der Verbesserung unserer Erzeugnisse dienen, vorbehalten.

Unsere Angaben sollen Sie nur beraten; sie sind unverbindlich und den jeweiligen örtlichen Verhältnissen anzupassen. Alle Lieferungen sind vor der Verarbeitung auf ihre Richtigkeit zu prüfen.

[94]:

B 100 weber.therm EPS	EPS 040 Fassade standard**	EPS 035 Fassade speedy**	EPS 035 Fassade standard**	EPS 035e Fassade speedy	EPS 035e Fassade standard	EPS 032e Fassade speedy	EPS 032e Fassade standard	EPS 031 Fassade speedy**	EPS 031 Fassade standard**
Bemessungswert Wärmeleitfähigkeit λ (DIN 4108) W/(m·K)	0,04	0,035	0,035	0,035	0,035	0,032	0,032	0,031	0,031
Rohdichte [kg/m ³]	ca. 15	ca. 20	ca. 20	ca. 15	ca. 15	ca. 18	ca. 18	ca. 19	ca. 19
Baustoffklasse (DIN 4102)	B1	B1	B1	B1	B1	B1	B1	B1	B1
Diffusionswiderstand μ	20 / 50	30 / 70	30 / 70	20 / 50	20 / 50	20 / 50	20 / 50	20 / 50	20 / 50
Abmessungen [cm]	100 x 50	100 x 50	100 x 50	100 x 50	100 x 50	100 x 50	100 x 50	100 x 50	100 x 50
Dicken [mm]	40-300	40-300	40-300	40-200	40-200	40-200	40-200	40-200	40-200
Farbe	weiß	weiß	weiß	grau	grau	grau	grau	grau	grau
Schalldämmend	-	-	-	+	+	+	+	-	-

* Bei Verwendung der dichtsichtigen, mineralischen Edelkratzputze weber.top ist die Dämmstoffdicke auf 100 mm begrenzt.

** Bei Verwendung der dichtsichtigen, mineralischen Edelkratzputze weber.top ist die Dämmstoffdicke auf 200 mm begrenzt.

3.2 Dämmplatten

3.2.1 weber.therm Polystyrol (EPS)-Dämmplatten

3.2.2 weber.therm EPS 035 Sockel

Die Dämmplatte ist als Perimeter-Dämmung bis 3 Meter unter GOK bauaufsichtlich zugelassen (Die Anwendung im Kappilarsaum des Grundwassers u. im Bereich von drückendem Wasser ist nicht zulässig).

Bemessungswert Wärmeleitfähigkeit	
(DIN 4108) W/(m·K):	0,035
Rohdichte [kg/m ³]:	ca. 30
Anwendungstyp (DIN 18 165):	PW
Querkzugfestigkeit [kN/m ²]:	> 200
Baustoffklasse (DIN 4102):	B1
Diffusionswiderstand μ :	40/100
Abmessungen [cm ²]:	100 x 50
Dicke [mm]:	60 bis 200

3.3 weber.therm 310/311 Armierungsgewebe grob/fein

Das Gewebe besteht aus hochreißfesten Glasfasern und ist mit einer alkalibeständigen Appretur versehen. Reißfestigkeit nach EN 13496

	weber.therm 310	weber.therm 311
Im Anlieferungszustand [N/5 cm]:	> 2.000	> 2.000
Nach Alkalibeanspruchung [N/5 cm]:	> 1.300	> 1.000
Flächengewicht [g/m ²]:	ca. 200	ca. 160
Maschenweite [mm ²]:	ca. 8 x 8	ca. 4 x 4
Farbe:	Weinrot	Weinrot

3.4 weber.therm Dübel

Die weber.therm Dübel werden zur Gewährleistung der Standsicherheit bei nicht ausreichend tragfähigen Untergründen eingesetzt.

Tellerdurchmesser [mm]:	60
Schaftdurchmesser [mm]:	8
Verankerungstiefe (h _{gr}) [mm]:	25 - 65, je nach Wandbildner
u-Wert-Abminderung [W/m ² · K]:	< 0,002
Anwendung:	bauaufsichtlich zugelassener Schraubdübel zur Gewährleistung der Standsicherheit bei nicht tragfähigen Untergründen

3.5 weber.prim 403 Universalgrundierung

Die Grundierung dient hauptsächlich zur Regulierung des Wasserhaushaltes des dünn-schichtigen Oberputzes. Desweiteren wird das Saugverhalten egalisiert und die Haftung verbessert. Mit einer Grundierung vereinfacht sich der Oberputzauftrag. Es ist auch möglich, die Armierungsschicht durch Vornässen vorzubehandeln.

3.6 Oberputze

Folgende mineralischen Putze können eingesetzt werden:

weber.top 200, 203 AquaBalance, 204 AquaBalance, 206 Edelkratzputz

weber.star 220 AquaBalance, 221, 222, 223 / 224 AquaBalance Scheibenputz

weber.star 240, 244

weber.star 261, 280 freie Strukturen

Darüber hinaus können auch organisch gebundene oder silikatische Oberputze verwendet werden:

weber.pas 430 AquaBalance, 431 AquaBalance Dispersionsputze

weber.pas 460 AquaBalance, 461 AquaBalance Silikatputze

weber.pas 471 Siloxanputz

weber.pas 480 AquaBalance, 481 AquaBalance Silikonharzputze

Eigenschaften Mineralische Putze (weber.star / weber.top):

Festigkeitsklasse/Mörtelgruppe:	CS I bzw. CS II/Plc
Druckfestigkeit [N/mm ²]:	> 1
Wasseraufnahmekoeffizient w [kg/m ² · Vh]:	< 0,5
Diffusionswiderstand μ :	≤ 20
Bindemittel:	Weißkalkhydrat, Weißzement

Eigenschaften Pastöse Putze (weber.pas):

Wasseraufnahmekoeffizient w [kg/m ² · Vh]:	< 0,5
Diffusionswiderstand μ :	60-190
Bindemittel:	Dispersion, Wasserglas (nur weber.pas 460 / AquaBalance // weber.pas. 461 / AquaBalance)

Der Hellbezugswert der Oberputze sollte ≥ 20 sein.

Weitere Angaben finden Sie in den entsprechenden Produktdatenblättern und Anwendungstipps.

3.7 Zubehör

Für die korrekte Verarbeitung des Systems stehen noch eine Reihe von Zubehörartikeln zur Verfügung:

- weber.therm 312 Panzereckwinkel für die Eckverstärkung

- weber.therm 313 / 314 Gewebewinkel grob / fein Kunststoff für die Eckverstärkung

weber.therm B 100 WDVS

Fassade / Wand

FEMA-THERM-Pulverkleber grau

Art.-Nr. 01658

Produktbeschreibung

Eigenschaften:

FEMA-THERM-Pulverkleber grau ist ein hydraulisch abbindendes, kunstharzvergütetes Klebe- und Beschichtungsmaterial in Pulverform für die FEMA-THERM-Wärmedämm-Verbundsysteme. FEMA-THERM-Pulverkleber grau entspricht der Kategorie CS III nach DIN EN 998-1 (bisher: P II nach DIN 18 550).

Sehr gute Haftung auf mineralischen Untergründen und auf EPS-Fassaden-Dämmplatten. Wetterbeständig, wasserabweisend, gute Verarbeitbarkeit.

Anwendung:

Zur Verklebung und Beschichtung von FEMA-EPS-Fassaden-Dämmplatten, FEMA-Steinwolle-Dämmplatten und FEMA-Steinlamellen-Dämmplatten in den FEMA-THERM-Wärmedämm-Verbundsystemen Typ ABC, M, NB-PT, NB-M, NB-PL.

FEMA-THERM-Pulverkleber grau ist auf jedem festen, sauberen, trockenen und griffigen Untergrund, wie Putz und Mauerwerk, Beton, Faserzement, Porenbeton und Perlitflächen einsetzbar.

Farbton:

Grau.

Bindemittel-Basis:

Hydraulische Bindemittel und Kunstharz in Pulverform.

Anmachflüssigkeit:

Wasser.

Schüttgewicht:

Ca. 1,50 kg/dm³.

Trockenrohichte:

Ca. 1,40 kg/dm³.

Untergrundvorbehandlung

Verschmutzte Flächen gründlich reinigen, haftmindernde Rückstände entfernen, so dass ein tragfähiger, fester, sauberer und trockener Untergrund entsteht. Vorstehende Mörtelgrate entfernen. Putzhohlstellen abschlagen und flächenbündig beputzen.

Stark saugende, sandende, mehrende oder kreidende Untergründe mit wässrigem FEMA-Tiefgrund W 401 oder lösemittelhaltigem FEMA-Tiefgrund L 402 (styroporverträglich) oder FEMA-Tiefgrund T 408 verfestigen.

Schalöl- oder Trennmittelrückstände auf Beton müssen unter Zusatz von geeigneten Reinigungsmitteln sorgfältig entfernt werden, um eine einwandfreie Haftung nachfolgender Beschichtungen gewährleisten zu können.

Bereits mit Mineral-, Dispersions- oder Alkydharzfarbe gestrichene Flächen müssen - nach Objektberatung - entsprechend vorbehandelt werden.

Bei Verwendung auf bereits gestrichenen Flächen ist zu prüfen, ob der Altanstrich zum Verkleben mit zementhaltigem FEMA-THERM-Pulverkleber grau geeignet ist.

Verarbeitung

Materialzubereitung:

FEMA-THERM-Pulverkleber grau mit ca. 6,2 - 7 l Wasser pro 25 kg-Sack (24 - 28 %) knotenfrei bis zur sahnigen Konsistenz anrühren. Nach einer Reifezeit von ca. 10 Minuten nochmals kurz durchrühren und innerhalb von ca. 1 - 1,5 Stunden verarbeiten.

FEMA-THERM-Pulverkleber grau ist auch mit allen gängigen Mischförderpumpen oder Durchlaufmischern verarbeitbar.

Materialanwendung:

Verklebung:

Bei üblichen, rauen Untergründen und FEMA-EPS-Fassaden-Dämmplatten bzw. FEMA-Steinwolle-Dämmplatten wird FEMA-THERM-Pulverkleber grau nach der „Wulst-Punkt-Methode“ auf die Dämmplattenrückseite aufgebracht, d.h. ein ca. 5 cm breiter, randumlaufender Streifen, ein senkrecht verlaufender Streifen in der Plattenmitte und zwei Klebebatzen jeweils in der Mitte der beiden Plattenhälften. Die Steghöhe des Wulstes und die Kleberauftragsmenge richten sich nach den Untergrundtoleranzen. Die Klebekontaktfläche muss jedoch mind. 40 % betragen. Bei planebenen Untergründen wird der FEMA-THERM-Pulverkleber grau mit einer nicht rostenden Zahnkelle (Zahnung 10 mm) gleichmäßig auf die Plattenrückseite aufgekämmt. Bei klebeseitig unbeschichteten Steinwolle- bzw. Steinlamellen-Dämmplatten muss der FEMA-THERM-Pulverkleber grau bei vollflächiger Verklebung mittels Press-Spachtelung in die Oberfläche der Dämmstoffplatten eingearbeitet werden; in einem zweiten Arbeitsgang muss der FEMA-THERM-Pulverkleber grau „frisch in frisch“ vollflächig mit der Zahnkelle aufgetragen werden.

Bei FEMA-Steinlamellen-Dämmplatten Speedrock bzw. Speedrock II ist der FEMA-THERM-Pulverkleber grau bei Aufbringen auf die vorbeschichtete Seite der Dämmstoffplatten immer vollflächig in einem Arbeitsgang aufzubringen und mit der Zahnkelle (Zahnung 10 mm) gleichmäßig durchzukämmen.

Bei der Verwendung der klebeseitig vorbeschichteten FEMA-Steinlamellen-Dämmplatten Speedrock bzw. Speedrock II kann der Klebemörtelauftrag direkt auf das zu dämmende Außenbauteil erfolgen. Beim teilflächigen Spritzauftrag des Klebemörtels muss die Klebekontaktfläche mindestens 50 % betragen. Die Kleberwülste müssen ca. 5 cm breit und in Wulstmitte mindestens 10 mm dick sein. Der Achsabstand darf 10 cm nicht überschreiten. Die Dämmstoffplatten sind unverzüglich, spätestens nach 10 Minuten, mit der vorbeschichteten Seite in das frische Kleberbett mit leicht schiebender Bewegung einzudrücken, einzuschwimmen und anzupressen.

Bei der Verwendung von FEMA-Rapid-EPS-Fassaden-Dämmplatten mit Schwalbenschwanz-Haftrillen und umlaufender Faser kann ebenso verfahren werden. Die Klebekontaktfläche beim Spritzauftrag des Klebemörtels muss hier mindestens 60 % betragen. Auch hier sind die Dämmstoffplatten unverzüglich, spätestens nach 10 Minuten, in das frische Kleberbett mit leicht schiebender Bewegung einzudrücken, einzuschwimmen und anzupressen.

Die Dämmplatten sind generell mit leicht schiebender Bewegung anzusetzen, um einen sicheren Kontakt des Klebers zur Wandoberfläche zu gewährleisten.

Bei ausschließlicher Verklebung der Dämmplatten dürfen Unebenheiten ≤ 1 cm/m überbrückt werden. Bei geklebten und gedübelten Dämmplatten dürfen Unebenheiten ≤ 2 cm/m überbrückt werden; größere Unebenheiten müssen mechanisch egalisiert oder durch einen Putz nach DIN EN 998-1 ausgeglichen werden.

Stoß- und Lagerfugen müssen zur Vermeidung von Wärmebrücken kleberfrei bleiben. Die Verlegung der FEMA-EPS-Fassaden-Dämmplatten erfolgt von unten nach oben press gestoßen im Verband, flucht- und lotrecht, planeben und versatzfrei.

Armierung:

Zur Armierung von FEMA-THERM-Wärmedämm-Verbundsystemen wird FEMA-THERM-Pulverkleber grau mit einer nicht rostenden Stahlglatte aufgezogen oder aufgespritzt, das FEMA-THERM-Armierungsgewebe Quadro 1801 blasen- und faltenfrei eingebügelt und sofort noch einmal nass in nass mit FEMA-THERM-Pulverkleber grau überarbeitet.

Bei Steinwolle- bzw. Steinlamellen-Dämmplatten muss der FEMA-THERM-Pulverkleber grau mittels Press-Spachtelung in die Oberfläche der Dämmstoffplatten eingearbeitet werden. In einem zweiten Arbeitsgang muss der FEMA-THERM-Pulverkleber grau „frisch in frisch“ vollflächig aufgetragen und anschließend eben gezogen werden. Bei maschinell aufgetragenem Putz sowie bei auf der Armierungsseite vorbeschichteten Steinwolle- bzw. Steinlamellen-Dämmplatten kann dies in einem Arbeitsgang geschehen. Das FEMA-THERM-Armierungsgewebe Quadro ist blasen- und faltenfrei einzubügeln und sofort noch einmal nass in nass mit dem FEMA-THERM-Pulverkleber grau zu überarbeiten.

Die gesamte Dicke der Armierungsschicht sollte auf EPS-Fassaden-Dämmplatten 3 - 4 mm betragen, auf Steinwolle- oder Steinlamellen-Dämmplatten 4 - 5 mm. Das Armierungsgewebe muss möglichst mittig oder im oberen Drittel der Armierungsschicht liegen.

Die einzelnen Bahnen des Armierungsgewebes müssen ca. 10 cm überlappt werden. Die Ecken von Gebäudeöffnungen sind zusätzlich mit Gewebestreifen aus FEMA-THERM-Armierungsgewebe Quadro 1801 in der Abmessung 20 x 30 cm, diagonal in den FEMA-THERM-Pulverkleber grau eingebettet, zu armieren.

Verbrauch:

Verklebung von EPS-Dämmplatten:

Ca. 4,5 kg/m², je nach Untergrund.

Armierung von EPS-Dämmplatten:

Ca. 3,5 kg/m².

Verklebung von Steinwolle-/Steinlamellen-Dämmplatten:

Ca. 5 kg/m², je nach Untergrund.

Armierung von Steinwolle-/Steinlamellen-Dämmplatten:

Ca. 5 kg/m².

Verbindliche Verbrauchsmengen sind durch Probeauftrag am Objekt zu ermitteln.

Werkzeugreinigung:

Sofort nach Gebrauch mit Wasser.

Verarbeitungsbedingungen:

Nicht unter +5°C Luft- und Untergrundtemperatur, nicht bei direkter Sonneneinstrahlung und/oder starkem Wind verarbeiten. Der Untergrund muss frostfrei sein.

Trocknung:

Bei einer erforderlichen zusätzlichen Dübelung müssen die Dübel entweder sofort nach dem Verkleben oder erst nach einer Trockenzeit von mindestens 3 Tagen gesetzt werden. Bei der Verklebung unmittelbar nach dem Verkleben ist jedoch sehr vorsichtig zu arbeiten, um ein Verziehen der Dämmplatten zu vermeiden.

Nach einer Trockenzeit der Armierungsschicht von mindestens 2 Tagen bei 20°C und 50 % Luftfeuchtigkeit kann mit FEMA-Grundierfarbe und nach einer weiteren ausreichenden Trockenzeit mit den systemzugehörigen FEMA-Putzen weitergearbeitet werden.

Bei sehr warmer und trockener Witterung ist die Armierungsschicht zur Verhinderung einer zu schnellen Austrocknung (und Versprödung) mehrmals im Laufe der Trocknungsperiode mit Wasser anzufeuchten (zu besprühen).

Lieferform

Gebindegröße:

25 kg Papiersack.

Liefereinheit: 42 Säcke/Palette = 1050 kg

Auch im Silo lieferbar: 1200 kg im FEMA-Minisilo oder bis 7200 kg im FEMA-Jumbosilo.

Zusatzinformationen

GISCODE für zementhaltige Produkte (GISBAU):

ZP1 Zementhaltige Produkte, chromatarm

Gefahren- und Sicherheitshinweise:

Sicherheitsdatenblatt beachten.

Lagerung:

Sackware trocken auf Paletten lagern, vor Feuchtigkeit schützen. Bei Siloware auf dichtes Schließen der Verschlussklappe achten. Ca. 6 Monate lagerfähig.

Entsorgung:

Eingetrocknete Reste bzw. abgedundenes Material können zusammen mit normalem Hausmüll entsorgt werden.

 CE LE-00513/1307-DE	FEMA® Farben + Putze GmbH Junkersstraße 3 76275 Ettlingen 05
FEMA-THERM-Pulverkleber grau Putzmörtel nach EN 998-1: Normalputzmörtel (GP) Putzmörtel für die Verwendung als Außen- und Innenputz für Wände, Decken, Pfeiler und Trennwände	
Brandverhalten	A2 – s1, d0
Wasseraufnahme	W2
Wasserdampfdurchlässigkeit	≤ 25
Haftzugfestigkeit ¹⁾	≥ 0,08 N/mm ²
Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10,dry}$	≤ 0,45 W/mK für P = 50% ≤ 0,49 W/mK für P = 90%
Dauerhaftigkeit (Frostwiderstand)	NPD
Gefährliche Substanzen	NPD

1) Bei Bruchbild A, B oder C

Technisches Merkblatt



FEMA-LIT-Scheibenputz MK

Art.-Nr. 08080 – 08088

Produktbeschreibung

Eigenschaften:

Pastöser Kunstharzputz in Kratzputzstruktur (Korn an Korn) zum Rundreiben mit sehr guten Verarbeitungseigenschaften. In verschiedenen Farbtönen und Kornstärken für Außenwandflächen.

Wetterbeständig, schlagregendicht, wasserdampfdurchlässig, weichmacherfrei, unverseifbar, spannungsarm und beständig gegen Industriemosphäre. FEMA-LIT-Scheibenputz MK auf Dispersionsbasis entspricht den Anforderungen nach DIN 18556 und 18558. Die Trocknung erfolgt rein physikalisch durch Wasserverdunstung.

Anwendung:

FEMA-LIT-Scheibenputz MK kann auf jeden festen, sauberen, trockenen und griffigen Untergrund aufgebracht werden, wie z.B. mineralische Unterputze jeder Art. Ferner auf Beton, Faserzement-, Holzspan- und Hartfaserplatten, grundierten Porenbeton sowie auf grundierte metallische Flächen. Auch für bereits mit Mineral-, Dispersions- oder Alkydharzfarbe gestrichene Flächen geeignet. Die Hinweise zur jeweils erforderlichen Untergrundvorbehandlung sind zu beachten.

Nicht anwendbar auf feuchten Untergründen.

Farbtöne:

Lieferbar in weiß und nach FEMA-Farbkarte; sonstige Farbtöne auf Anfrage. Mit FEMA-Vollton- und Abtönfarben sind in begrenztem Umfang auch Einfärbungen vor Ort möglich.

Verdünnung:

Wasser.

Dichte:

Ca. 1,70 - 1,90 kg/dm³.

Untergrundvorbehandlung

Verschmutzte Flächen gründlich reinigen, haftmindernde Rückstände entfernen, so dass ein tragfähiger, fester, sauberer und trockener Untergrund entsteht.

Stark saugende, sandende, mehrende oder kreadende Untergründe mit wässrigem FEMA-Tiefgrund W 401 verfestigen. Neuputzstellen mit Mehrfachflut Olafirn 7073 neutralisieren und nachwaschen.

Untergründe, die Stoffe enthalten, welche zum Durchschlagen neigen, - Spanplatten, Hartfaserplatten, Äste, harzreiche Hölzer oder Wasserflecken - mit wässrigem FEMA-Isoliergrund W extra 1852 grundieren.

Glänzende und nicht saugfähige Oberflächen, wie z.B. Alkydharzanstriche, zunächst anschleifen. Schalöl- oder Trennmittelrückstände auf Beton müssen unter Zusatz von geeigneten Reinigungsmitteln sorgfältig entfernt werden, um eine einwandfreie Haftung nachfolgender Beschichtungen gewährleisten zu können.

Verarbeitung

Materialzubereitung:

FEMA-LIT-Scheibenputz MK ist gebrauchsfertig, kann jedoch bei Bedarf noch mit einer geringen Wassermenge auf die gewünschte Verarbeitungskonsistenz eingestellt werden. Vor dem Auftragen gut, aber nicht hochtourig durchrühren! Materialien mit verschiedenen Chargendaten sind getrennt zu verarbeiten bzw. untereinander zu mischen. Die jeweilige Chargennummer ist auf dem Etikett aufgedruckt.

Beschichtungsaufbau:

VORANSTRICH: Zur Erzielung eines gleichmäßig saugenden Untergrundes sind die Wandflächen mit FEMA-COLOR-Grundierfarbe 404/410 im Farbton des Deckputzes, maximal 2:1 mit Wasser verdünnt, vorzustreichen.

DECKBESCHICHTUNG: Nach Trocknung des Voranstriches, frühestens jedoch nach 6 Stunden, wird FEMA-LIT-Scheibenputz MK mit einer nicht rostenden Stahlglatte in Kornstärke aufgezogen oder gespritzt, auf Kornstärke abgezogen und anschließend im noch nassen Zustand mit einer Kunststoffglatte in der gewünschten Art rund abgerieben. Bei größeren Kornstärken kann auch mit einem Holz- oder PU-Reibebrett strukturiert werden.

Verbrauch:

Art.-Nr. 08080, Korn 1 mm,	ca. 1,5 kg/m ²
Art.-Nr. 08081, Korn 1,5 mm,	ca. 2,5 kg/m ²
Art.-Nr. 08082, Korn 2 mm,	ca. 3,5 kg/m ²
Art.-Nr. 08084, Korn 3 mm,	ca. 4,2 kg/m ²
Art.-Nr. 08085, Korn 3-4 mm,	ca. 4,5 kg/m ²
Art.-Nr. 08088, Korn 5 mm,	ca. 5,5 kg/m ²

Verbindliche Verbrauchsmengen sind durch Probeauftrag am Objekt zu ermitteln.

Auftragsstärke:

Kornstärke.

Werkzeugreinigung:

Sofort nach Gebrauch mit Wasser.

Verarbeitungsbedingungen:

Nicht unter +5° C Luft- und Untergrundtemperatur. Nicht bei starker Sonnenbestrahlung oder bei Frostgefahr aufbringen.

Trocknung:

Die frisch beschichteten Flächen sind bis zur vollständigen Durchtrocknung vor Feuchtigkeitseinwirkung zu schützen. Die Trocknungsdauer ist u.a. auch von der Kornstärke abhängig. Durch hohe relative Luftfeuchtigkeit und/oder niedrige Temperaturen wird die Trocknung verzögert. Im allgemeinen ist der Deckputz nach 2-3 Tagen belastbar.

Lieferform

Gebindegröße:

25 kg im Kunststoffeimer oder auf Anfrage im Container.

Zusatzinformationen

Zusammensetzung nach VdL-Deklaration:

Polymerdispersion, Titandioxid, anorganische/organische Buntpigmente (je nach Farbton), silikatische, andere mineralische und organische Füllstoffe sowie Naturkörnungen, Glykolether, Ester, Testbenzin (aromatenarm), Additive, Verdickungs- und Konservierungsmittel, Wasser.

Produkt-Code für Farben und Lacke (GISBAU):

M-DF02 Dispersionsfarben.

Lagerung:

Behälter gut verschlossen, kühl und frostfrei lagern, vor direkter Sonneneinstrahlung schützen; angebrochene Gebinde evtl. mit etwas Wasser abdecken. In geschlossenen Originalgebinden mindestens 1 Jahr lagerfähig.

Entsorgung:

Eingetrocknete Reste bzw. abgebandenes Material können zusammen mit normalem Hausmüll entsorgt werden. Nicht abgebandenes Material mit Zement vermischen und erhitzen lassen, dann entsorgen.

Hinweis:

Zusätzliche Informationen zum Umgang mit diesem Produkt siehe Sicherheitsdatenblatt.

Farbtöne:

Aufgrund unterschiedlicher Witterungs- und Objektbedingungen, wie z.B. ungleichmäßigen Untergrundbeschaffenheiten (Saugverhalten, Untergrundfeuchten, Alkalität, Inhaltsstoffe aus dem Untergrund), direkter Sonneneinstrahlung mit scharf abgegrenzter Schattenbildung auf der frisch aufgetragenen Beschichtung kann für gleichmäßige Farbtongenaugigkeit und Fleckenfreiheit keine Gewähr übernommen werden.

Unterschiedliche Oberflächenstrukturen, Glanzgrade und Lichtverhältnisse können den subjektiven Farbeindruck beeinflussen.

Die als strukturgebendes Korn enthaltene Marmorkörnung ist überwiegend weiß, enthält jedoch zu einem gewissen Prozentsatz auch dunkle Körner. Da es sich um ein Naturmaterial handelt, ist dies unvermeidbar. Je nach Farbton kann dies bei Betrachtung aus nächster Entfernung mehr oder weniger stark sichtbar sein. Dies ist kein Qualitätsmangel. Bei dunklen, intensiven Farbtönen kann es aufgrund der natürlichen Füllstoffe bei mechanischer Beanspruchung der Beschichtungsoberfläche zu hellen Farbtonveränderungen kommen (Schreibeffekt). Dies hat keinen Einfluss auf Produktqualität und Gebrauchstauglichkeit der Beschichtung. Farbtonveränderungen durch Witterung, Feuchte, UV-Einstrahlung und Verschmutzungen sind an der Oberfläche von Beschichtungen im Laufe der Zeit generell unvermeidbar. Diese werden durch Klimabedingungen, Lage und Exposition der Flächen unterschiedlich beeinflusst.

Glanzstreifen:

Bedingt durch wasserlösliche Hilfsstoffe kann es bei frühzeitiger Feuchtigkeitseinwirkung (z.B. Tauwasser, Nebel, Spritzwasser, Regen) auf die noch nicht vollständig durchgetrocknete Beschichtung zu Ablaufspuren kommen. Je nach Farbton, Glanzgrad und Blickwinkel sind diese mehr oder minder deutlich sichtbar. Dies hat keinen Einfluss auf Eigenschaften und Gebrauchstauglichkeit des getrockneten Beschichtungsmaterials. Durch weitere Feuchtebelastung (Regen) werden die wasserlöslichen Hilfsstoffe von selbst wieder abgewaschen.

Ausbesserungen:

Gemäß BFS-Merkblatt Nr. 25 sind Abzeichnungen von Ausbesserungen, Reparaturen oder Nacharbeiten in der Fläche selbst bei Verwendung des Original-Beschichtungsmaterials unvermeidbar.

Anmerkung

Die im Technischen Merkblatt angegebenen Informationen basieren auf unseren Erkenntnissen und Erfahrungen. Der Anwender wird dadurch jedoch nicht davon entbunden, die Eignung und Verwendung der Produkte für den vorgesehenen Verwendungszweck eigenverantwortlich zu prüfen. Bei Nachlieferungen sind geringe Farbtonabweichungen nicht auszuschließen. Alle Lieferungen sind vor der Verarbeitung auf Richtigkeit bezüglich Art und Farbton zu prüfen. Nicht im Merkblatt explizit angegebenen Anwendungen erfolgen auf eigenes Risiko, sofern keine Freigabe durch FEMA erfolgt ist. Es gelten zusätzlich unsere allgemeinen Geschäftsbedingungen. Gültig ist jeweils nur das aktuelle Merkblatt, dieses ist unter www.fema.de verfügbar.

15.07.

[72]:



PLUS POUR L'INTERIEUR



COMBLES PERDUS



COMBLES AMENAGES

Membrane STOPVAP

Membrane d'étanchéité à l'air avec fonction pare-vapeur Sd 18 m

DESCRIPTION DU PRODUIT

La membrane STOPVAP est un film pare-vapeur armé d'un voile non tissé, pour une meilleure résistance à la déchirure au clou et à l'arrachement. Elle est quadrillée pour faciliter la découpe et la mise en œuvre.

Sa résistance à la diffusion de la vapeur d'eau (Sd) est supérieure à 18m.

APPLICATION

La membrane STOPVAP peut être mise en œuvre :

- Dans les combles aménagés, conformément au CPT 3560, pour assurer l'étanchéité à l'air, en complément de l'isolant Isoconfort 35.
- Dans les combles perdus, entre le plancher bois et l'isolant, pour assurer une bonne étanchéité à l'air.
- Dans les maisons à ossature bois, conformément au DTU 31.2.
- En mur, en complément d'un doublage Optima quand l'étanchéité à l'air du mur support n'est pas satisfaisante.

AVANTAGES

Conception :

- Permet de se conformer au CPT 3560 V2 dans les combles et au DTU 31.2 en MOB.
- Permet d'atteindre d'excellentes valeurs d'étanchéité à l'air.

Mise en œuvre :

- Compatible avec les laines nues et revêtues kraft.
- Propriétés mécaniques renforcées.
- Dimensions adaptées pour une mise en œuvre facilitée.
- Accessoires de mise en œuvre (adhésifs, mastic...) développés pour garantir l'étanchéité à l'air de l'ouvrage dans la durée.

CARACTÉRISTIQUES

Déclaration des performances (DoP) : 0003-01 **CE**

Résistance à la diffusion de vapeur d'eau	Sd > 18 m
Perméance à la vapeur d'eau	< 0,05 g/(m ² .h.Pa)
Résistance au clou	> 120 N
Résistance à la traction	> 120 N

RÉFÉRENCES ET CONDITIONNEMENT

Réf.	Longueur (m)	Largeur (m)	Condit. (m ² /rlx)
85671	40	1,50	60

ISOVER
SAINT-GOBAIN

RÈGLES DE L'ART APPLICABLES : LE CPT 3560

Le Cahier de Prescriptions Techniques 3560 définit les règles de mise en œuvre des isolants en laine minérales dans les combles.

Le CPT 3560, qui a été modifié en juin 2009, impose l'utilisation systématique d'une membrane d'étanchéité à l'air pare vapeur continue côté intérieur.

La membrane STOPVAP, ses adhésifs et son mastic associés remplissent parfaitement ce rôle.

MISE EN ŒUVRE

Adhésif Vario KB1
Réf. 72432 | Larg. 60 mm | Long. 40 m

ou
Agrafage
directement sur le
bois de charpente

Fixation sur
une fourrure
métallique à
l'aide de
l'Adhésif Vario
Double Face

Adhésif Vario Multitape
Réf. 82461 | Larg. 60 mm | Long. 35 m

ou

Mise en œuvre
entre l'isolant
et l'ossature
métallique grâce
à la Suspente
Intégra₂

Jonction entre
les lés de
STOPVAP à l'aide
de l'Adhésif
Vario KB1

Adhésif Vario Double Face
Réf. 68546 | Larg. 38 mm | Long. 50 m

Mastic Vario DS
Réf. 72430 | Cordon de 6 à 10 m

Réalisation de
l'étanchéité à l'air
aux extrémités
de la membrane
grâce au Mastic
Vario DS

Réalisation de
l'étanchéité à l'air
au pourtour des
gaines électriques
avec l'œillet
adhésif Passelec

Passelec
Réf. 72431 | Sachet de 10

Saint-Gobain Isover
1, rue Gardénat Lapostol
92282 Suresnes cedex
France
Tél. : +33 (0)1 40 99 24 00
Fax : +33 (0)1 41 44 81 40

www.isover.fr
www.toutsurlisolation.com
www.isolationthermique.fr

ASSISTANCE TECHNIQUE
N° Indigo 0 825 00 01 02
K13 K13 138

5 directions régionales à vos côtés

Paris et Nord
Tél. : 03 44 41 75 10 - Fax : 01 41 44 81 92
ZI Le Meux - 3, rue du Tourteret
60880 Le Meux
Ouest
Tél. : 02 99 86 96 96 - Fax : 02 99 32 20 36
Parc Tertiaire du Val d'Orson
Rue du Pré Long
35770 Vern-sur-Seiche

Sud-Ouest
Tél. : 05 56 43 52 40 - Fax : 05 56 43 25 90
Bâtiment Ambre - Rue de la Blancherie
33370 Artigues-près-Bordeaux
Est
Tél. : 03 83 98 49 92 - Fax : 03 83 98 35 95
Immeuble Le République
8, place de la République
54000 Nancy

Sud-Est
Tél. : 04 74 31 48 20 - Fax : 01 46 25 48 25
Espace Saint-Germain - Bâtiment Miles
30 avenue du Général Leclerc
38200 Vienne

Ce document est fourni à titre indicatif, notre société se réservant le droit de modifier les informations contenues dans celui-ci à tout moment. Saint-Gobain Isover décline toute responsabilité en cas d'utilisation ou de mise en œuvre des matériaux non conforme aux règles prescrites dans la présente documentation, les documents techniques (DTU ; Avis Techniques ; ...) et les règles de l'art applicables.



Retrouvez notre
guide de choix
et de pose sur
l'application
smartphone


SAINT-GOBAIN

[73]:

ISOVER Produktinformation



Produktname	ECRAN INTEGRA Unterdeck- und Unterspannbahn		
Produktbeschreibung	Diffusionsoffene, regensichere und winddichte Unterdeck- und Unterspannbahn aus Polypropylen. Aussenseite grau, 10 cm Raster der den Zuschnitt erleichtert.		
Anwendungsbereich	Als Unterdeck- und Unterspannbahn für Dächer, sowie als Windschutzbahn für hinterlüftete Fassaden mit nichttransparenter Bekleidung		
Lieferdaten	Kurzzeichen	Abmessung Länge x Breite cm	Menge pro Verpackungs- einheit m²
	ECRAN INTEGRA	5000 x 150	75,00
Zubehör Klebebänder	VARIO SilverFast	2500 x 6	25 lfm
	VARIO AntiSpike	2000 x 6,5	20 lfm
Verpackung	Rolle		
Brandverhalten gemäß ÖNORM EN 13501-1	E		
Gewicht	165 g/m ²		
Widerstand gegen Wasserdurchgang	W 1		
Reissfestigkeit	längs ≥ 300 N, quer ≥ 340 N		
Widerstand gegen Weiterreißen (Nagelschaft)	200 N		
Äquivalente Luftschichtdicke	0,1 m		
Dicke	0,5 mm		

Saint-Gobain ISOVER Austria GmbH
Prager Straße 77, 2000 Stockerau
Tel.: +43 (0)2266/606-606
Fax: +43 (0)2266/606-444
E-Mail: marketing@isover.at

ISOVER MINERALWOLLE PRODUKTE -
DIE SICHEREN DÄMMSTOFFE.



ECRAN
MKT 01/2011

Irrtümer, techn. Änderungen und
Druckfehler vorbehalten.

[74]:

SOLITEX FRONTA QUATTRO

3-ply wall lining membrane with monolithic TEEE functional membrane, suitable for open jointed and closed façades



Technical data

		Substance
Protective and covering fleece		Polypropylene microfibre
Membrane		monolithic TEEE
Attribute	Regulation	Value
Colour		black, Print: black
Surface weight	EN 1849-2	180 ±5 g/m ² ; 0.59 ±0.02 oz/ft ²
Thickness	EN 1849-2	0.60 ±0.10 mm ; 24 ±4 mils
Water vapour resistance factor μ	EN ISO 12572	80
sd-value	EN ISO 12572	0.05 ±0.02 m
g-value		0.25 ±0.1 MN-s/g
Vapor permeance	ASTM E 96	65.6 US perms
Reaction to fire	EN 13501-1	E
Exposure time		6 months
Water column	EN 20811	10 000 mm ; 32' 10"
Water resistance un-/aged*	EN 1928	W1 / W1
Tensile strength MD/CD	EN 12311-1	290 ±20 N/5 cm / 220 ±20 N/5 cm ; 33 ±2 lb/in / 25 ±2 lb/in
Tensile strength MD/CD aged*	EN 12311-1	200 ±20 N/5 cm / 135 ±20 N/5 cm ; 23 ±2 lb/in / 15 ±2 lb/in
Elongation MD/CD	EN 12311-1	50 ±20 % / 70 ±20 %
Elongation MD/CD aged*	EN 12311-1	30 ±20 % / 40 ±20 %
Nail tear resistance MD/CD	EN 12310-1	250 ±30 N / 240 ±30 N ; 56 ±7 lbf / 54 ±7 lbf
*) Artificial ageing by long term	EN 1297 / EN 1296	passed (for walls with open joints)
Flexibility at low temperature	EN 1109	-40 °C ; -40 °F
Temperature resistance		-40 °C to +100 °C ; -40 °F to 212 °F
Thermal conductivity		0.17 W/(m·K) ; 1.18 BTU-in/(h-ft ² -F)
CE labelling	EN 13859-2	available

Area of application

SOLITEX FRONTA QUATTRO permanently protects the insulation from wind and rain. For use with closed and open façades (open jointed façades, up to 35 mm (1 3/8") gap width – boarding width = min. 3 x gap width) in accordance with installation guidelines.

Advantages

- ✓ Highly diffusion-permeable, but with maximum resistance to driving rain
- ✓ Optimum drying conditions for wall structures: non-porous TEEE functional membrane actively transports moisture outwards
- ✓ Black fleece and black print prevent the membrane showing through open jointed façades
- ✓ Maximum ageing resistance and thermal stability thanks to the TEEE membrane
- ✓ 6 months of outdoor exposure

The information provided here is based on practical experience and the current state of knowledge. We reserve the right to make changes to the recommended designs and processing or to make alterations due to technical developments and associated improvements in the quality of our products. We would be happy to inform you of the current technical state of the art at the time you use our products.

Further information about the application and construction can be found in the pro clima planning documentation. For queries please call the pro clima technical hotline on +49 (0)6202 278245.

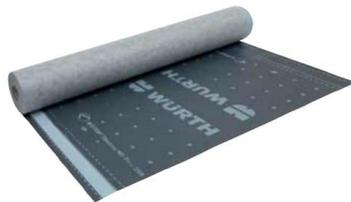
MOLL
bauökologische Produkte GmbH
Rheintalstraße 35 - 43
D-68723 Schwetzingen
Fon: +49 (0) 62 02 - 27 82.0
Fax: +49 (0) 62 02 - 27 82.21
eMail: info@proclima.de



[75]:



UNTERDECK- UND UNTERSANNBAHN WÜTOP® THERMO ND PLUS



Geprüfte Schlagregendichtigkeit



Erfüllt die Anforderungen nach ZVDH-Produktdatenblatt der Klasse UDB-A/USB-A.



Winddichtheit im Außenbereich



Die perforationssichere Dachunterspannbahn aus Polyester

Die WÜTOP Thermo ND Plus ist eine hoch diffusionsoffene Unterdeck- und Unterspannbahn auf Polyesterbasis mit Spezialbeschichtung zur Direktauflage auf der Wärmedämmung oder Schalung bei belüfteten und unbelüfteten Steildachkonstruktion.

Perforationssicher

Selbstständiges Dichtverhalten bei Durchnagelung auf druckfester Unterlage (geprüft am Fraunhofer Institut für Bauphysik).

Technologie

Polyestervlies mit Spezialbeschichtung

Sicherheit

Polyester ist ein extrem witterungsbeständiges Material, bietet hohe Beständigkeit gegen UV-Strahlung und ist Temperaturbeständig bis +120°C. Die Spezialbeschichtung ist rutschhemmend und lässt sich sicher Verkleben.

Zeit- und Kostenersparnis

Enorme Zeit- und Kostenersparnis durch selbstständiges Dichtverhalten bei Durchnagelung. Einfache und schnelle Verlegung durch integrierte Klebestreifen (SK).

Speziell für Schiefer

Als Vordeckung für Schiefer laut ZVDH geeignet.

In Kombination mit einer WÜTOP Dampfbremse/-sperre und den EURASOL-Klebebandern können moderne luft- und winddichte Konstruktionen gemäß aktueller EnEV ausgeführt werden.

Hinweis

Bitte beachten Sie die Verlegeanleitung dieses Produkts.

Leistungsnachweis

UDB-A/ USB-A

Erfüllt die Anforderungen nach ZVDH-Produktdatenblatt der Klasse UDB-A/USB-A

Perforationssicher

Gemäß Prüfzeugnis der TU Berlin sowie Prüfberichte Nr.P-06-186-2015 und P-06-187-2015 des Fraunhofer-Institut für Bauphysik – jeweils in Anlehnung an DIN EN 13111; 2001-08 – ist das Produkt als perforationssicher (Nageldicht) und schlagregensicher im Sinne dieser Prüfberichte einzustufen. Hinweis: Bei den Prüfberichten P-6-186-2015 (ohne Nageldichtband) und P-6-187/2015 (mit Nageldichtband) wurden beide Systeme geprüft. Es ist eine ausreichende Dichtigkeit der Durchnagelungen der Wütop Thermo ND Plus nachgewiesen. Folgende konstruktive Bedingungen sind einzuhalten:

- Konterlatten (30/50) mit min. 3,1x90 Nägel (glatt) oder 2,8x80 (Rille) befestigen
- Trockene Konterlatten verbauen. (S10, <20M%)
- Keine Tackerklammern in der Fläche der Bahn, alternativ können diese Tackerstellen mit einem geeigneten Klebeband nachträglich abgedichtet werden.

UNTERDECK- UND UNTERSANNBAHN WÜTOP® THERMO ND PLUS

Die perforationssichere
Dachunterspannbahn aus
Polyester

Flächengewicht pro m²	230 g
Rollenlänge	50 m
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke	0,13 m
Anzahl Rollen pro Palette	20 Stck.
Rollengewicht	21 kg
Widerstand gegen Wasserdurchgang	W1
Widerstand gegen Weiterreißen (quer)	210 N
Widerstand gegen Weiterreißen (längs)	210 N
Zugkraft quer bei 50 mm	360 N
Zugkraft längs bei 50 mm	310 N
Eignung als Behelfsdeckung	12 Wochen
Temperaturbeständigkeit min./max.	-40 bis 120 °C
Baustoffklasse	E
Werkstoff	Polyester-Vlies
Dehnfähigkeit	50 %
Kaltbiegetemperatur max.	-20 °C

Typbezeichnung	Rollenbreite	Fläche	Art.-Nr.	VE
Thermo ND PLUS 2SK	1,5 m	75 m ²	0681 001 037	75
Thermo ND PLUS 3M	3 m	150 m ²	0681 001 089	150

Ergänzende Produkte	Art.-Nr.
Dampfbremse WÜTOP® DB 2	0681 000 004
Dampfsperre WÜTOP® DS 100	0681 000 006
Dampfbremse WÜTOP® DB 2	0681 000 144
Dampfbremse WÜTOP® DB 2	0681 000 145
Feuchtevariable Dampfbremse WÜTOP® Thermo Vario SD	0681 000 147
Klebstoff WÜTOP® WRD	0893 700 115
Klebedichtband Eurasol® Thermo HT	0992 720 060

[77]:

DECKEN&WAND SYSTEME

Zusammen verwirklichen wir Ideen®

Perforationen

Intelligente Raumakustik

gema

Metaldecken von Armstrong

WIE WÄHLE ICH DIE RICHTIGE PERFORATION AUS?

Durch intelligente Raumakustik ein angenehmes Raumklima schaffen, ist eine zentrale Funktion der Metalldecken. Durch die ausgewählte Perforation und einer abgestimmten Akustikeinlage, kann der Schalldruckpegel frequenzabhängig auf die Anforderungen reduziert und teilweise reflektiert werden. Armstrong-Perforationen bieten ein breites Spektrum ästhetischer Lösungen für wirkungsvollen Akustikkomfort.

Die Nachhallzeit

Einer der wichtigsten Parameter in der Raumakustik ist die Nachhallzeit. Die Optimierung dieser trägt je nach Bestimmungszweck des Raumes zur abgestimmten Raumakustik bei. Im Wesentlichen wird die Nachhallzeit von der Absorptionsfläche und des Raumvolumens bestimmt. Die Nachhallzeit wird nach einem genormten Verfahren ermittelt.

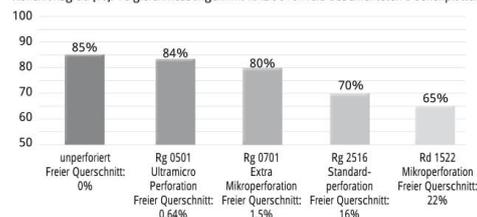
Schallabsorption

Eine der wesentlichen Funktionen einer Metalldecke ist die Schaffung einer angenehmen Atmosphäre, unterstützt durch intelligente Schallabsorptionsfähigkeit. Die Absorption basiert auf dem Prinzip der Energieumwandlung von Schallenergie in Wärmeenergie durch Reibung im Absorptionsmaterial. Je nach Nutzungsbestimmung des Raumes sollte die Nachhallzeit optimiert werden. Die Schallabsorption wird nach einem genormten Verfahren ermittelt.

Perforation und Lichtreflexionswert

Die Lichtreflexion, der Decken von Armstrong, ist von verschiedenen Faktoren abhängig: Helligkeit der Oberfläche, Glanzgrad der Oberfläche, Rauheit der Oberfläche, Größe und Fläche der Perforation und ist auch abhängig vom Material und Farbe der hinterlegten Akustikeinlage. Die Lichtreflexion wird nach einem genormten Verfahren ermittelt.

Reflexionsgrad [%], Vergleichsmessungen mit RAL 9010 weiß beschichteten Deckenplatten.



Gemessen nach EN ISO 7742-2 & EN ISO 7742-3

Das Maß für die Lichtreflexion ist der Anteil des einfallenden Lichtes, der von der Oberfläche reflektiert wird. Die Lichtreflexion wird in Prozent angegeben.

Armstrong Perforationsbezeichnungen

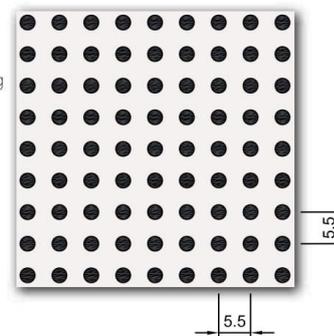
Die in der Bezeichnung vorangestellten Buchstaben beschreiben Form und Anordnung der Perforation.

- Rd** = Rundlochung diagonal
- Rg** = Rundlochung geradreihig
- Rv** = Rundlochung versetzt
- Qg** = Quadratlochung geradreihig
- Qd** = Quadratlochung diagonal
- Tv** = Rautenlochung versetzt
- Lg** = Langlochung geradreihig
- Lv** = Langlochung versetzt

Die nachgestellten Zahlen definieren die Größe der Stanzung sowie den freien Querschnitt. Dabei bezeichnen jeweils die letzten zwei Ziffern den Anteil der freien Querschnittfläche in Prozent und die vorderen Ziffern den Lochdurchmesser in zehntel Millimeter.

Beispiel: Rg 2516

- Rundlochung geradreihig
- Lochdurchmesser: 2.5 mm
- Freier Querschnitt: 16 %



Lassen Sie sich für Ihre Produktauswahl technisch unterstützen. Unser Team steht Ihnen jederzeit gerne zur Verfügung.

Fremdüberwachte Produktion durch akkreditierte Institute

In unseren Produktionsstätten achten wir nicht nur auf die Wahl der richtigen Rohstoffe, auf effiziente Energienutzung, Abfallreduzierung und moderne Recyclingverfahren. Wir sorgen dafür, dass unsere Produkte allen Sicherheits-, Umwelt- und Qualitätsstandards gerecht werden. Unsere europäischen Werke sind nach folgenden Standards zertifiziert:

- ISO 9001:2008**
- ISO 14001:2004**
- OHSAS 18001:2007**

Mitgliedschaften und Verbände

Armstrong ist Mitglied des technischen Verbands für industrielle Metalldecken TAIM (Technischer Arbeitskreis industrieller Deckenhersteller).

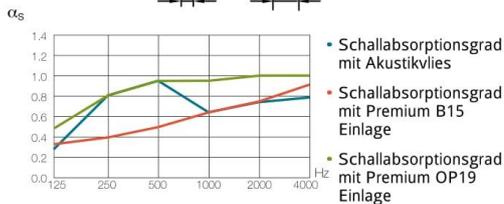
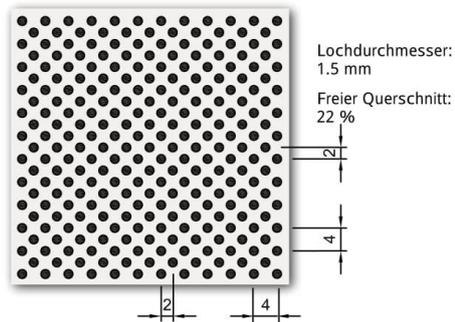
Der Verband wurde 1988 gegründet und verfolgt in erster Linie das Ziel, Qualität zu fördern und Mindestqualitätsstandards und Mindestanforderungen für Metalldeckensysteme zu entwickeln und einzuführen.



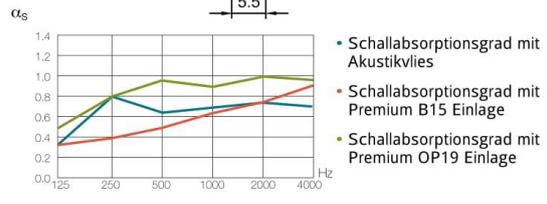
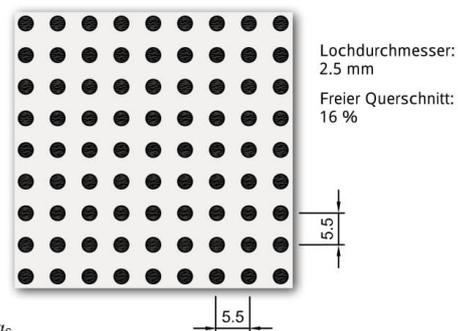
STANDARDPERFORATIONEN

Das Sortiment von Armstrong umfasst ein breit gefächertes Angebot an verschiedenen Perforationen. Neben einer Reihe von Standardperforationen, sind natürlich auch spezielle Ausführungen erhältlich. Da die maximale Durchgangs- und Perforationsbreite je nach Werkzeug variieren kann, sind nicht alle Perforationen in sämtlichen Breiten verfügbar. Beachten Sie dazu die Tabelle auf der ausklappbaren Seite oder fragen Sie unser Beraterteam.

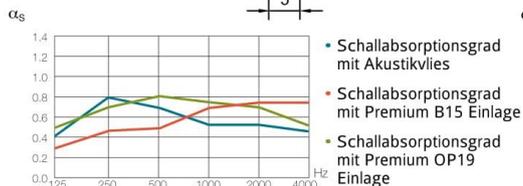
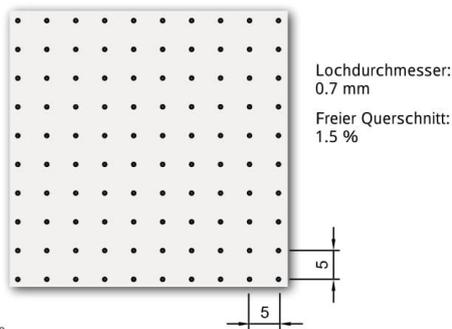
Mikroperforation - Rd 1522



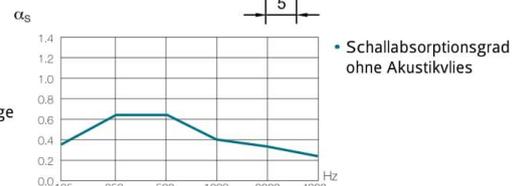
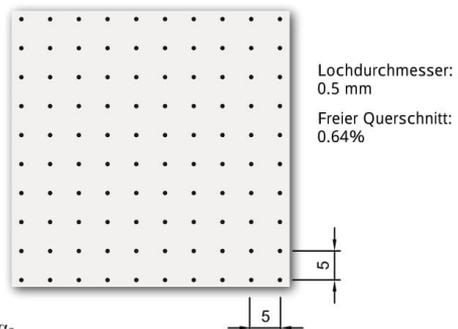
Standardperforation - Rg 2516



Extra Mikroperforation - Rg 0701



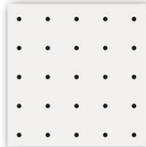
Ultramicro® Perforation - Rg 0501



Metaldecken mit ultramicro® Perforation setzen neue Maßstäbe durch faserfreie Absorber und bessere Lichtreflexion. Es sind keine Akustikeinlagen notwendig, um die auftretenden Schallwellen zu absorbieren. Die Schallabsorption erfolgt mittels der Armstrong Metaldeckenplatte und dieser kaum sichtbaren Perforation mit einem Lochdurchmesser von 0.5 mm.

Schallabsorption											Längsschall-dämmung		Schall-durchgang		
α_w	NRC	125	250	500	1000	2000	4000	Hz	Abs	Class	Bericht	Dncw	Bericht	Rw	Bericht

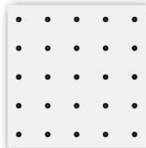
Rg 0501



Ultramicro Perforation - ohne Einlage

• 0.40(LM)	0.55	0.35	0.65	0.65	0.40	0.35	0.25	α_p	D	2252	18 dB	3844-98-1	8 dB	7022
------------	------	------	------	------	------	------	------	------------	---	------	-------	-----------	------	------

Rg 0701



Extra Mikroperforation mit Akustikvlies

• 0.55(L)	0.65	0.40	0.80	0.70	0.55	0.55	0.45	α_p	D	2253	30 dB	2432	10 dB	7024
-----------	------	------	------	------	------	------	------	------------	---	------	-------	------	-------	------

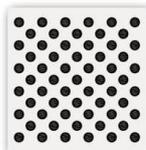
Extra Mikroperforation mit Premium B15 Einlage

• 0.65	0.60	0.30	0.45	0.50	0.70	0.75	0.75	α_p	C	2334	40 dB	2427	20 dB	7027
--------	------	------	------	------	------	------	------	------------	---	------	-------	------	-------	------

Extra Mikroperforation mit Premium OP19 Einlage

• 0.70	0.75	0.50	0.70	0.80	0.75	0.70	0.50	α_p	C	6714a	31 dB	6720a	15 dB	6725a
--------	------	------	------	------	------	------	------	------------	---	-------	-------	-------	-------	-------

Rd 1522



Mikroperforation mit Akustikvlies

• 0.75	0.80	0.30	0.80	0.95	0.65	0.75	0.80	α_p	C	2175	20 dB	2437	6 dB	5939
--------	------	------	------	------	------	------	------	------------	---	------	-------	------	------	------

Mikroperforation mit Premium B15 Einlage

• 0.60(H)	0.60	0.35	0.40	0.50	0.65	0.75	0.90	α_p	C	2337	41 dB	2443	18 dB	5941
-----------	------	------	------	------	------	------	------	------------	---	------	-------	------	-------	------

Mikroperforation mit Premium OP19 Einlage

• 1.00	0.90	0.50	0.80	0.95	0.95	1.00	1.00	α_p	A	6713a	27 dB	6719a	12 dB	6724a
--------	------	------	------	------	------	------	------	------------	---	-------	-------	-------	-------	-------

Rg 2516



Standardperforation mit Akustikvlies

• 0.75	0.75	0.35	0.80	0.65	0.70	0.75	0.70	α_p	C	141401	20 dB	2437*	6 dB	5939*
--------	------	------	------	------	------	------	------	------------	---	--------	-------	-------	------	-------

Standardperforation mit Premium B15 Einlage

• 0.60(H)	0.60	0.35	0.40	0.50	0.65	0.75	0.90	α_p	C	2340	41 dB	2443*	18 dB	5941*
-----------	------	------	------	------	------	------	------	------------	---	------	-------	-------	-------	-------

Standardperforation mit Premium OP19 Einlage

• 0.95	0.90	0.50	0.80	0.95	0.90	1.00	0.95	α_p	A	6715a	28 dB	6721a	13 dB	6726a
--------	------	------	------	------	------	------	------	------------	---	-------	-------	-------	-------	-------

* Bei den Dncw-/Dnfw- und Rw-Werten für die Standardperforation (16 % freier Querschnitt) handelt es sich um Schätzwerte, die mindestens die Prüfwerte der Mikroperforation (22 % freier Querschnitt) erreichen.

[95]:

TECHNISCHE DATEN DEUTSCHLAND

Kennziffern

	MISAPOR 10/50 DIBt-Zulassung Z-23.34-1390	MISAPOR 10/75 DIBt-Zulassung Z-23.34-1390
Schüttdichte nach DIN EN 1097-3	160 kg/m ³ - 190 kg/m ³	125 kg/m ³ - 150 kg/m ³
Schüttdichte mit Verdichtungsfaktor 1:1.3	247 kg/m ³	195 kg/m ³
Max. Anhaftwasser nach Unterwasserlagerung	10 Vol.%	10 Vol.%
Frost/Tauwechsel nach DIN 52104-1	keine signifik. Veränderungen	keine signifik. Veränderungen
Wärmeleitfähigkeit		
DIN EN 12667 / DIN EN 12939	λ_{Grenz} 0.093 W/(m*K)	λ_{Grenz} 0.080 W/(m*K)
Bemessungswert (mit Feuchtezuschlag)	λ 0.120 W/(m*K)	λ 0.105 W/(m*K)
Wasserdampfdurchlässigkeit nach DIN EN ISO 12572, Diffusionswiderstandszahl (Fraunhofer HoFM-15/2007)	μ 4.4 [-]	μ 4.4 [-]
Nennwert der Druckspannung (1:1.3) nach DIN EN 826	$f_{c, \text{Nenn}}$ 660 kPa	$f_{c, \text{Nenn}}$ 420 kPa
Bemessungswert der Druckspannung	f_{cd} 340 kPa	f_{cd} 215 kPa
Steifemodul der Wärmedämmschicht	E_s 14'000 kPa	E_s 9'000 kPa
Horizontalkräfte, Bemessungswert der Schubspannung	30% des Bemessungswertes der Normalspannung	30% des Bemessungswertes der Normalspannung
Bestimmung der Scherparameter in Anlehnung an DIN 18137-3 (TU Freiberg 2011)		
Reibungswinkel	φ' 35.2°	φ' 33.8°
Kohäsion	c' 44.6 kPa	c' 34.5 kPa
Bestimmung der Scherparameter in Anlehnung an DIN EN ISO 12957-1 (SKZ TeConA GmbH Würzburg 2005)		
Höchst-Scherfestigkeit, Reibungswinkel	φ_p 54.5°	
Höchst-Scherfestigkeit, Kohäsion	c_p 108.1 kPa	
Rest-Scherfestigkeit, Reibungswinkel	φ_R 54.6°	
Rest-Scherfestigkeit, Kohäsion	c_R 72.2 kPa	
Umweltverträglichkeit, DIBt Grundsätze 2009, Elution gemäss LAGA-Mitteilung 33		
	Z-23.34-1390, Tabelle 1	Z-23.34-1390, Tabelle 1
Wasserdurchlässigkeitsbeiwert nach DIN 18130 (ALBO-tec T.f.A.u.B. GmbH, Prüfbericht Nr. 05030407)		
unverdichtet	k_f 2.8 * 10 ⁻³	k_f 2.8 * 10 ⁻³
verdichtet	k_f 6.8 * 10 ⁻⁴	k_f 6.8 * 10 ⁻⁴
Horizontales Wasserleitvermögen (i = 5%, σ = 250 kPa) nach DIN EN ISO 12958 (SKZ Würzburg, Prüfbericht Nr. 98152/11)	2.17 l/(m*s)	2.07 l/(m*s)
Durchflussleistung	30 Liter/s/m ²	30 Liter/s/m ²
maximale Einbaustärke (gem. DIBt-Zulassung für Wärmedämmung unter lastabtragenden Bodenplatten)	90 cm (3 Lagen à 30 cm)	90 cm (3 Lagen à 30 cm)
Hohlraumanteil verdichtete Schüttung	ca. 30%	ca. 30%
Kapillarität in der Schüttung	kapillarbrechend	kapillarbrechend
Brandklasse nach DIN EN ISO 13501-1	A1 - nicht brennbar	A1 - nicht brennbar
inert und schädlingsresistent	ja	ja

Die technischen Daten von MISAPOR Schaumglasschotter werden laufend überprüft und neue Werte zeitnah nachgetragen.

www.misapor.com

info@misapor.com

Stand: September 2016