

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,  
Demonstration und Beratung auf  
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,  
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für  
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

**Institutsleitung**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

## Akustische Wirkung innenliegender Sonnenschutzsysteme


Durchgeführt im Auftrag der  
Germania  
Manfred Giese KG  
Am Jägersberg 24  
24161 Altenholz

Der Bericht umfasst  
33 Seiten Text  
3 Tabellen  
38 Abbildungen

Roman Wack,  
Andreas Liebl

Stuttgart, 13. September

Gruppenleiter  
Kognitive Ergonomie



Dr. A. Liebl

Bearbeiter



Dipl.-Ing. (FH) R. Wack

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Akustische Messungen</b>	<b>3</b>
2.1	Schallabsorptionsgrad bei senkrechtem Schalleinfall	3
2.2	Schallabsorptionsgrad bei diffusem Schalleinfall	5
2.3	Spezifischer Strömungswiderstand	9
<b>3</b>	<b>Analyse und Beurteilung</b>	<b>9</b>
3.1	Einfluss des Aufbaus der Plissees	9
3.1.1	Strömungsdichte und strömungsoffene Stoffe	9
3.1.2	Strömungswiderstand	11
3.1.3	Dicke der Kammerplissees	12
3.1.4	Mehrlagigkeit	13
3.2	Einfluss der Einbaubedingungen	14
3.2.1	Wandabstand	14
3.2.2	Aussteifung	15
3.2.3	Randabdichtung	15
3.3	Absorptionsspektren und bewerteter Schallabsorptionsgrad	15
3.4	Hinweise zum praktischen Einsatz	16
<b>4</b>	<b>Hinweise zur Optimierung</b>	<b>17</b>
4.1	Optimale Strömungswiderstände	17
4.2	Mikroperforation von Blackout-Stoffen	17
<b>5</b>	<b>Psychologische Nutzerbewertung</b>	<b>18</b>
5.1	Schallauswahl für Hörversuche	19
5.1.1	Hörversuch 1: Satzverständlichkeit und akustische Qualität	22
5.1.2	Hörversuch 2: Leistungsfähigkeit	29
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>Literatur</b>	<b>33</b>

# 1 Einleitung

Innenliegende Sonnenschutzsysteme in Form von Plissees und Kammerplissees werden vornehmlich als Sonnen- und Wärmeschutz eingesetzt. Bei dem textilen Aufbau liegt jedoch auch der Einsatz als Schallabsorber nahe. Die vorliegende Untersuchung hat eine Klassifizierung der schallabsorbierenden Eigenschaften zum Ziel.

Hierzu sollte der Schallabsorptionsgrad von zwölf Systemen messtechnisch untersucht werden. Daraus sollten geeignete Einsatz- und Einbauvarianten ermittelt sowie Hinweise zur akustischen Optimierung gewonnen werden.

Ergänzend zu den messtechnischen Untersuchungen wurde eine psychologische Nutzerbewertung durchgeführt. Diese beinhaltete zwei Hörversuche mit Probanden. Hörversuch 1 fokussiert auf die Sprachverständlichkeit und die wahrgenommene akustische Qualität und Hörversuch 2 auf die kognitive Leistungsfähigkeit.

## 2 Akustische Messungen

Im Folgenden sind die akustischen Messungen an den Plissees und einlagigen Stoffen dargestellt. Die Analyse der Ergebnisse erfolgt in Abschnitt 3.

### 2.1 Schallabsorptionsgrad bei senkrechtem Schalleinfall

Durch Messungen an kleinformatischen Proben wurde eine erste Übersicht des Schallabsorptionsvermögens derzeit produzierter Plissees und Kammerplissees gewonnen. Dadurch ist eine gezielte Auswahl geeigneter Produkte für die akustischen Prüfungen im Hallraum sicher gestellt.

Die Messungen wurden in einem Kundt'schen Rohr mit einem quadratischen Querschnitt von 20 cm x 20 cm in Anlehnung an [1] durchgeführt. Die Plissees wurden auf einen Rahmen aus Holzwerkstoffen gespannt und umlaufend dicht verklebt (Bild 1).



Bild 1:  
In Schichtholzrahmen geklebte Probe (Duette 64 Whisper) mit 4,5 Falten.

Der Rahmen wurde zur Messung in das Kundt'sche Rohr eingesetzt und umlaufend mit dauerelastischer Dichtungsmasse abgedichtet. Dabei wurde der Wandabstand jeweils mit 3, 30 und 100 mm variiert. Die Anordnung ist in Bild 2 skizziert.

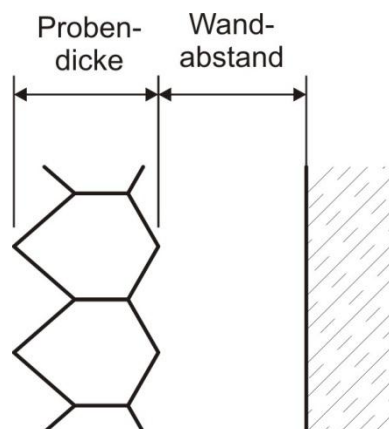


Bild 2:  
Anordnung der Proben mit Wandabstand im Kundt'schen Rohr.

Für jedes Produkt wurde aus Falzentabellen eine praxismgerechte mittlere Anzahl von Falten ermittelt, mit der sie in den Rahmen von 19 mm x 19 mm eingesetzt wurden. Tabelle 1 enthält die Faltenzahlen für die jeweiligen Proben. Die Messergebnisse sind der Übersichtlichkeit halber im Anhang dargestellt (Bild A1 bis A12, Verweise siehe Tabelle 1).

	<b>Proben</b>	<b>Anzahl Falten</b>	<b>Diagramm</b>
Plissee 20	Crush Topar	6,5	Bild A1
	Lumina Sheer	6,5	Bild A2
Duette 25	Duotone	13	Bild A3
	Blackout	15	Bild A4
Duette 32	Duotone	9,5	Bild A5
	Blackout	10,5	Bild A6
	Roma	10	Bild A7
Duette 64	Duotone	4,5	Bild A8
	Blackout FR	4,5	Bild A9
	Whisper	4,5	Bild A10
	Architella S-Q	5	Bild A11
	Architella Blackout	5	Bild A12

Tabelle 1:  
Übersicht der Messungen im Kundt'schen Rohr und Anzahl der Falten im Rahmen (19 cm x 19 cm).

## 2.2 Schallabsorptionsgrad bei diffusem Schalleinfall

Die Schallabsorptionsgrade aller Aufbauten bei diffusem Schalleinfall wurden in einer separat beauftragten Prüfung ermittelt [2]. Die Ergebnisse werden in der Analyse in Abschnitt 3 berücksichtigt. Diese Messungen erfolgten frei vor der Hallraumwand hängend (Aufbau G nach [3][2]) bei einem Wandabstand von 4 cm gemessen von der Handkante der Plissees. Der Rand war dabei offen.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung sind ergänzende Messungen im Hallraum nach [3] durchgeführt worden. Die Abmessungen der Proben betragen jeweils 3 m x 4 m. Zwei Anlagen (Duette 25 Blackout und Duette 64 Architella Semi-Opaque) wurden mit weiteren Wandabständen (15 und 30 cm) untersucht. Der Rand war dabei umlaufend offen. Bild 3 zeigt den Einbau vor der Hallraumwand. In Bild 4 und Bild 5 sind die Absorptionsgrade jeweils bei Wandabständen von 4, 15 und 30 cm gemessen von Plissee-Hinterkante verglichen.

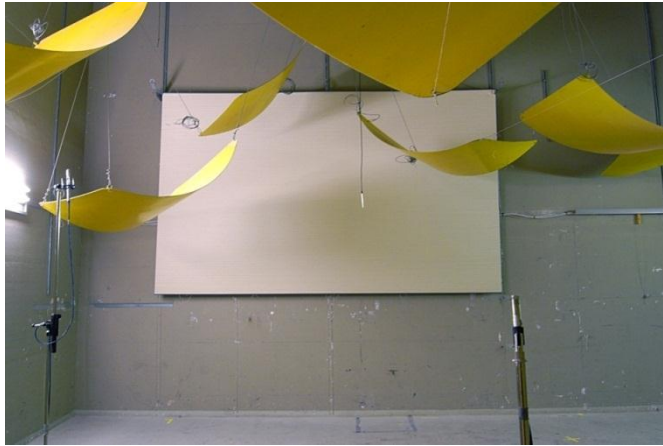


Bild 3:  
Einbau einer Anlage vor Hallraumwand hängend.

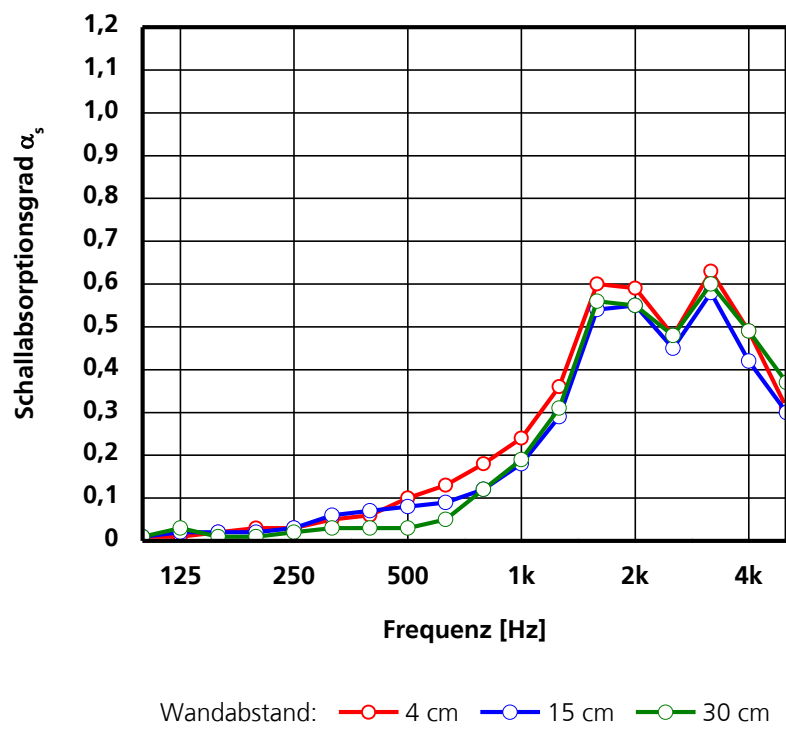


Bild 4:  
Gemessene Schallabsorptionsgrade  $\alpha_s$  von Duette 25 Blackout bei unterschiedlichen Wandabständen.

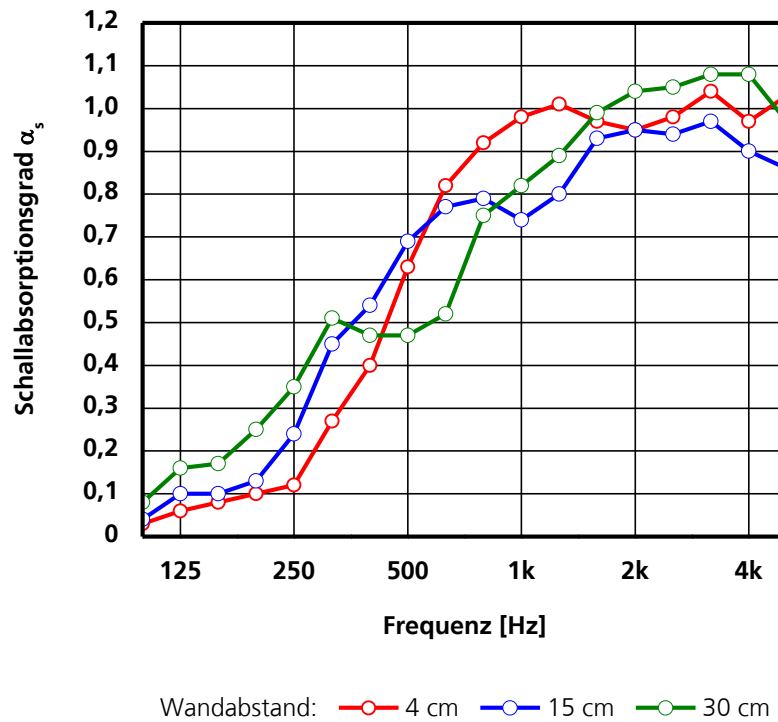


Bild 5:  
Gemessene Schallabsorptionsgrade  $\alpha_s$  von Duette 64 Architella Semi-Opaque bei unterschiedlichen Wandabständen.

Duette 64 Architella Semi-Opaque ist auch mit anderen Einbaubedingungen untersucht worden. Mit dem Ziel die Anlage auszusteifen wurde sie auf Leisten liegend über dem Hallraumboden eingebaut. Die Leisten waren in einem Abstand von 50 cm zueinander aufgeständert. Die Plisseefalten waren senkrecht zu den Leisten angeordnet. Der Wandabstand betrug dabei jeweils 30 cm von der Plisseehinterkante gemessen. Bild 6 zeigt den Einbau mit umlaufend offenem Rand.



Bild 6:  
Einbau der Anlage über Hallraumboden aufgeständert mit umlaufend offenem Rand.

Zusätzlich wurde mit einem umlaufenden Rahmen aus Pressspan gemessen, sodass sich ein abgeschlossenes Luftvolumen ergab (Bild 7). Die Absorptionsspektren beider Messungen sind in Bild 8 mit der Messung vor der Hallraumwand hängend verglichen.



Bild 7:  
Einbau der Anlage über Hallraumboden aufgeständert mit umlaufend geschlossenem Rand.

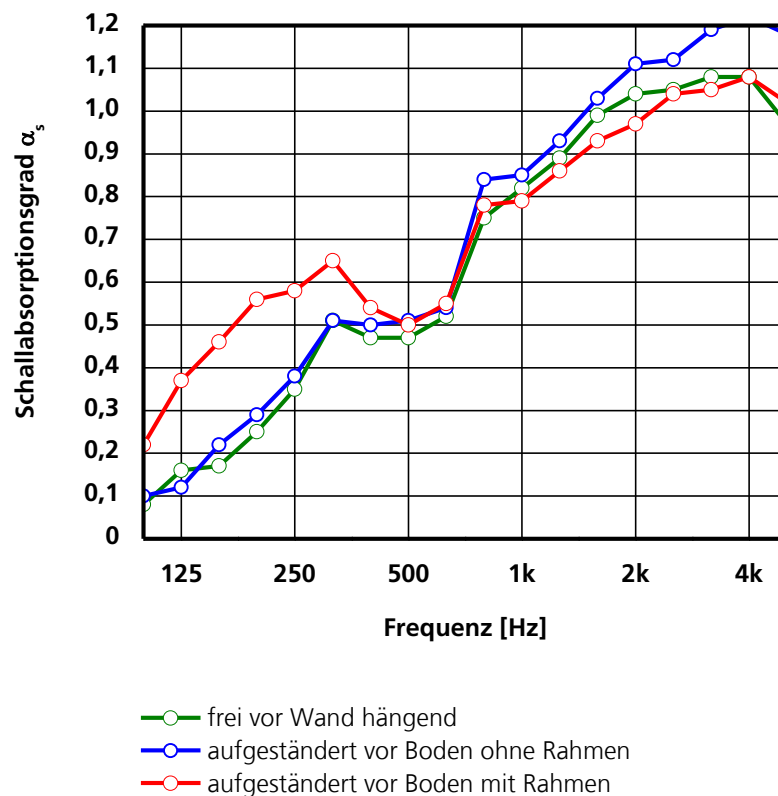


Bild 8:  
Vergleich der gemessene Schallabsorptionsgrade  $\alpha_s$  von Duette 64 Architella Semi-Opaque bei unterschiedlichen Einbaubedingungen und einem Wandabstand von jeweils 30 cm.



## 2.3 Spezifischer Strömungswiderstand

Von einem Teil der strömungsoffenen Stoffe wurden die spezifischen Strömungswiderstände in Anlehnung an [4] gemessen. Die Messungen wurden an einlagigen, ebenen Stoffen durchgeführt. Die Messergebnisse können Tabelle 2 entnommen werden.

Probe		Strömungswiderstand [Pa s/m]
Plissee 20	Lumina Sheer	10
Duette 25	Duotone	122
Duette 32	Duotone	122
	Roma	8
Duette 64	Duotone	208
	Whisper	6
	Architella Blackout (strömungsoffene Außenschicht)	336

Tabelle 2:  
Gemessene spezifische Strömungswiderstände einlagiger, ebener Stoffe.

## 3 Analyse und Beurteilung

### 3.1 Einfluss des Aufbaus der Plissees

#### 3.1.1 Strömungsdichte und strömungsoffene Stoffe

Es lassen sich zwei Arten von Stoffen unterscheiden, bei denen zwei unterschiedliche Absorptionsmechanismen dominieren:

- Strömungsoffene Stoffe:
- Lumina Sheer
  - alle Duotone-Stoffe
  - Roma, Whisper
  - Architella Semi-Opaque

- Strömungsdichte Stoffe:
- Crush Topar
  - alle Blackout-Stoffe

Bei gleicher Probendicke und gleichem Wandaufbau zeigen die strömungsoffenen Stoffe bei gut angepasstem Strömungswiderstand (vgl. Abschnitt 3.1.2) breitbandigere Absorptionsspektren. Die strömungsdichten Varianten weisen dagegen schmalbandigere resonanzartige Maxima auf, wie Bild 9 für den senkrechten Schalleinfall bei 10 cm Wandabstand und Bild 10 für den diffusen Schalleinfall bei 4 cm Wandabstand zeigt. Die hohen Werte der strömungsdichten Aufbauten bei ersten Maximum im Kundt'schen Rohr sind auf die geringe Probengröße und die starke Aussteifung durch den Rahmen zurückzuführen.

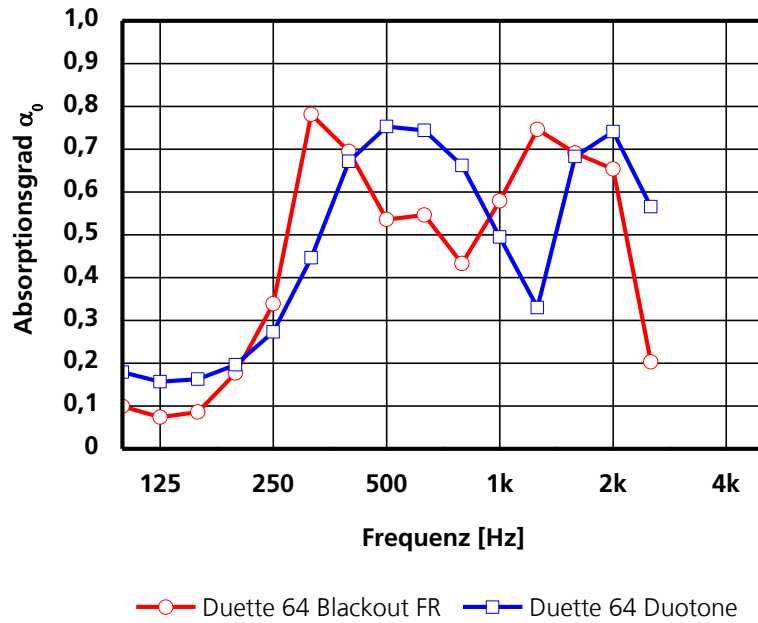


Bild 9:  
Vergleich der Schallabsorptionsgrade  $\alpha_0$  bei senkrechtem Schalleinfall von Duette 64 Duotone und Blackout bei einem Wandabstand von 10 cm.

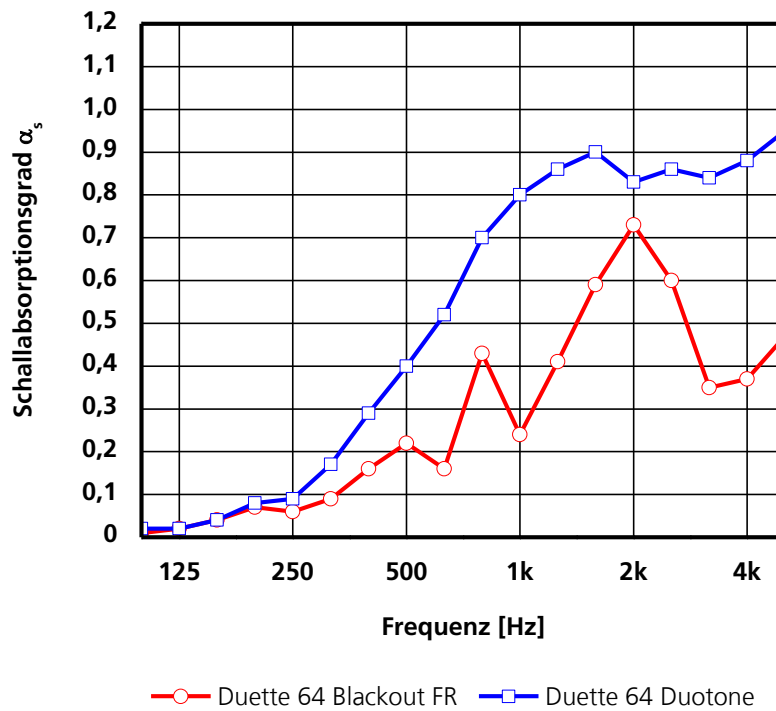


Bild 10:  
Vergleich der Schallabsorptionsgrade  $\alpha_s$  bei diffusem Schalleinfall von Duette 64 Duotone und Blackout bei einem Wandabstand von 4 cm.

### 3.1.2 Strömungswiderstand

Bei den strömungsoffenen Stoffen ist der Strömungswiderstand die entscheidende Materialgröße. Für diese gibt es frequenzabhängig einen optimalen Bereich. Für einen als Kammerplissee aufgebauten optimalen Mittenabsorber sollte der Gesamtströmungswiderstand grob im Bereich von 600-1000 Pa s/m liegen. Dabei addieren sich die Strömungswiderstände der einzelnen Stofflagen zu einem Gesamtwert. Aus den Messwerten der einlagigen Stoffe in Tabelle 2 lässt sich die Anpassung des Gesamtströmungswiderstands der untersuchten Plissees in drei Gruppen unterteilen:

- Zu gering:  
Lumina Sheer, Roma und Whisper
- Besser angepasst, jedoch noch nicht optimal:  
alle Duotone-Varianten
- Optimal:  
Architella Semi-Opaque

In Bild 11 können die resultierenden Unterschiede im Absorptionsvermögen beispielhaft für Duette 64 abgelesen werden.

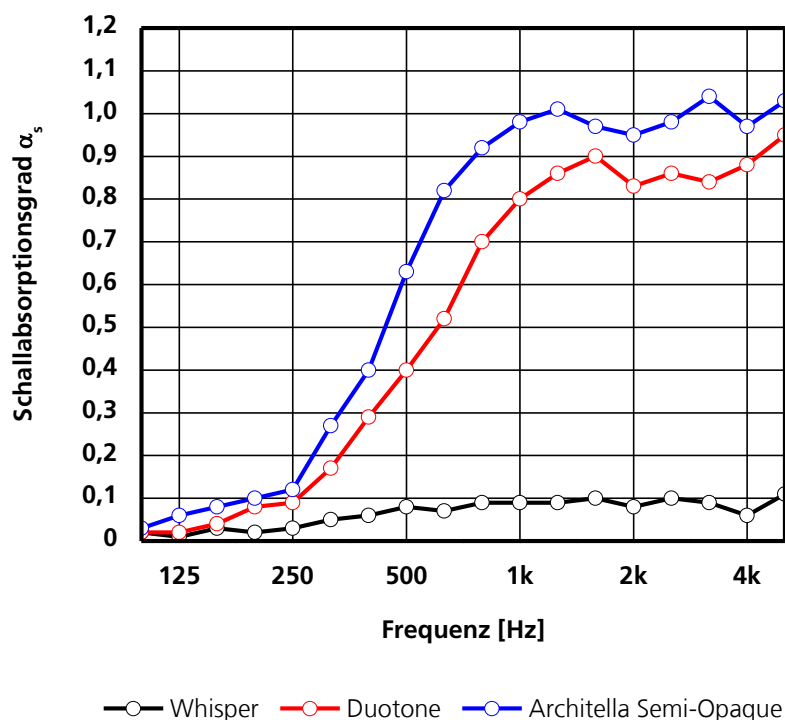


Bild 11:  
Vergleich der Schallabsorptionsgrade  $\alpha_s$  bei diffusem Schalleinfall von Duette 64 Whisper, Duotone und Architella Semi-Opaque bei einem Wandabstand von 4 cm.

### 3.1.3 Dicke der Kammerplissees

Die Lage des ersten Absorptionsmaximums im Frequenzbereich ist bei porösen Absorbern wesentlich durch die Dicke des Gesamtaufbaus bestimmt. Infolgedessen ist bei Kammerplissees bei gleichem Wandabstand mit zunehmender Probendicke eine Verschiebung des Maximums zu tieferen Frequenzen zu erwarten. Sowohl bei den Messungen im Kundt'schen Rohr als auch im Hallraum konnte jedoch kein signifikanter Vorteil aufgrund der Probendicke festgestellt werden. Ein entsprechender Vergleich ist in Bild 12 am Beispiel der Duotone-Varianten gezeigt.

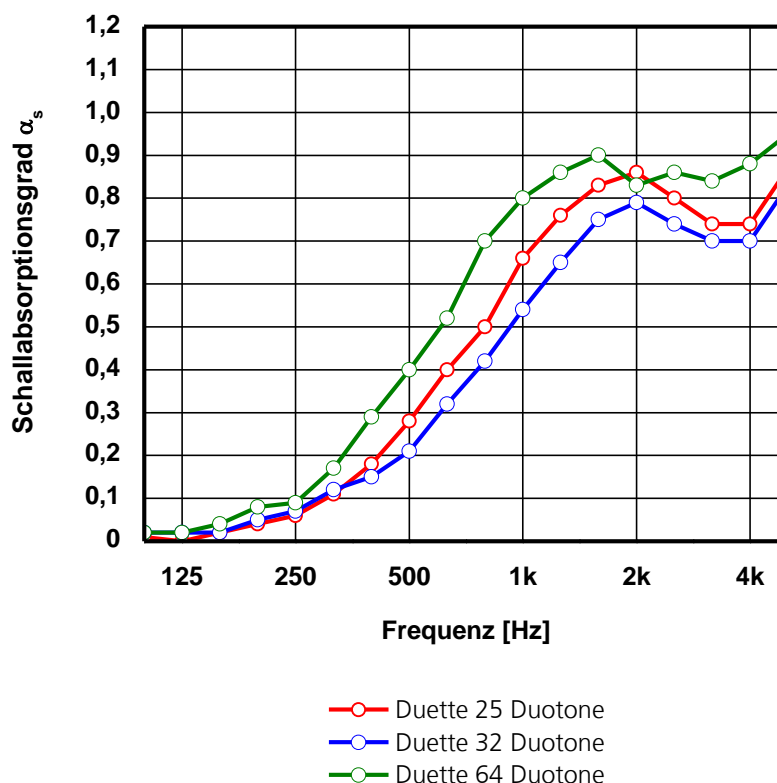


Bild 12:

Vergleich der Schallabsorptionsgrade  $\alpha_s$  der Systeme mit Duotone-Stoffen bei einem Wandabstand von jeweils 4 cm.

Die 25 und 32 mm-Varianten zeigen einen ähnlichen spektralen Verlauf mit vergleichbarer Lage des Absorptionsmaximums, wobei Duette 25 Duotone sogar noch die höheren Absorptionsgrade liefert. Die Dicke der Kammerplissees ist für das Schallabsorptionsvermögen von untergeordneter Bedeutung. Das gute Abschneiden der Duette 64-Varianten Duotone und Architella Semi-Opaque sind vorrangig durch den höheren und damit besser angepassten Strömungswiderstand zu erklären.

### 3.1.4 Mehrlagigkeit

Einlagige Stoffe weisen bei senkrechtem Schalleinfall tiefe Einbrüche im Absorptionsgrad auf, wie das Spektrum des einlagigen Duotone-Materials in Bild 13 zeigt. Dagegen fällt der Absorptionsgrad bei der vierlagigen Architella Semi-Opaque nach dem ersten Maximum nicht mehr unter 50 Prozent.

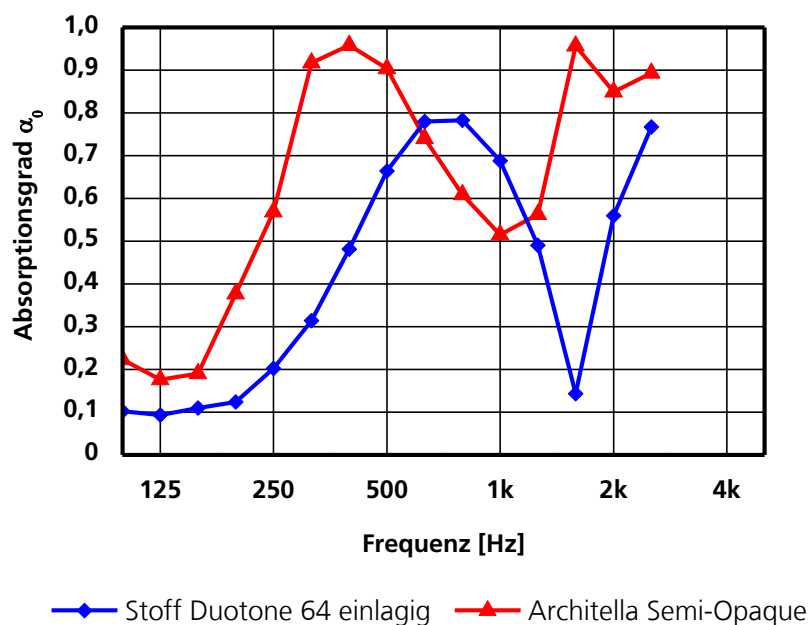


Bild 13:  
Vergleich der Schallabsorptionsgrade  $\alpha_0$  eines einlagigen Stoffes von Duette 64 Duotone und dem vierlagigen System Architella Semi-Opaque bei einem Wandabstand von jeweils 10 cm.

Diese Einbrüche treten beim diffusen Schalleinfall zwar weniger ausgeprägt auf, sind aber bei einlagigen Stoffen in aller Regel noch von Nachteil. Bei den Kammerplissees zeigen jedoch bereits die zweilagigen Varianten im Hallraum Absorptionsspektren ohne nennenswerte Einbrüche, wie das Beispiel von Duette 64 Duotone in Bild 14 belegt. Der Vorteil des vierlagigen Aufbaus von Architella Semi-Opaque liegt damit allein in dem höheren und damit besser angepassten Strömungswiderstand.

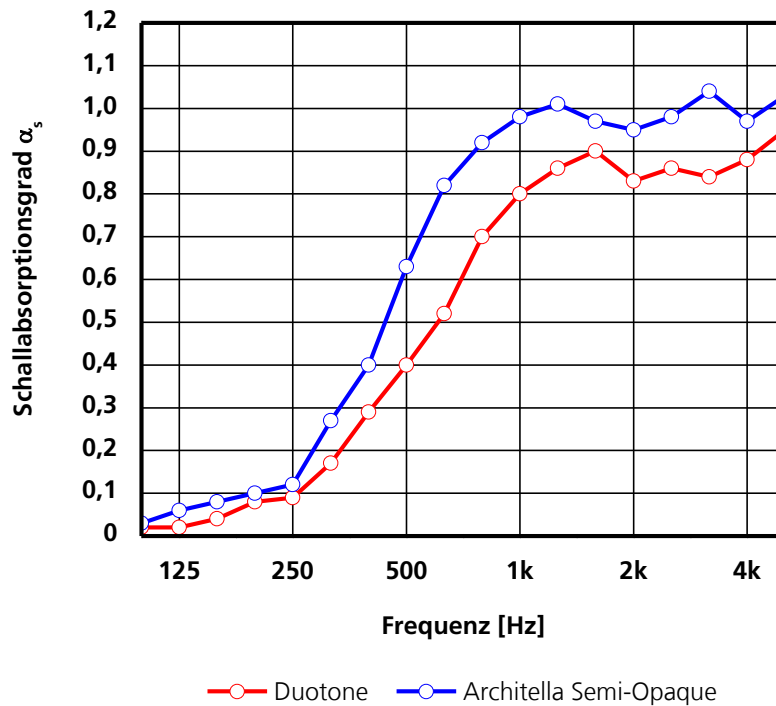


Bild 14:  
Vergleich der Schallabsorptionsgrade  $\alpha_s$  von Duette 64 Duotone (zweilagig) und Architella Semi-Opaque (vierlagig) bei einem Wandabstand von jeweils 4 cm.

## 3.2 Einfluss der Einbaubedingungen

### 3.2.1 Wandabstand

Bei den Messungen im Kundt'schen Rohr hat die erforderliche umlaufende Abdichtung zu einer Aussteifung der Proben geführt. Mit der geringen Probenfläche ist das Mitschwingen der Stoffe bei Anregung durch Luftschall im Vergleich zum Hallraum-Einbau deutlich verändert worden. Als Folge weisen sowohl die strömungsoffenen als auch die strömungsdichten Plissees bei den Kundt'schen Rohr-Messungen eine deutliche Abhängigkeit vom Wandabstand auf (z. B. Bild A4 und A12 ).

Dieselben Plissees zeigen dagegen bei dem realitätsnahen Einbau im Hallraum keine nennenswerte Abhängigkeit vom Wandabstand. Die Unterschiede bei Duette 25 Blackout bei den drei gemessenen Wandabständen sind sehr gering, wie Bild 4 auf Seite 6 entnommen werden kann. Zudem ist praktische keine Verschiebung der Absorptionsspitzen feststellbar. Bei Architella Semi-Opaque zeigen sich zwar etwas größere Unterschiede (Bild 5). Die zu den tieferen Frequenzen verschobenen ersten Maxima bei den Wandabständen von 15 und 30 cm sind jedoch kaum ausgeprägt, was auf ein Mitschwingen der gesamten Stoffe durch die Anregung mit Luftschall hindeutet. Die Spektren sind raumakustisch praktisch gleichwertig.

### 3.2.2 Aussteifung

Bei den frei vor der Wand angeordneten Plissees war im Hallraum ein deutliches Mitschwingen feststellbar, das bei den Kundt'schen Rohr-Messungen durch den aussteifenden Einbau mit einem Rahmen nicht auftrat. Die ergänzenden Hallraum-Messungen, bei denen die Anlage auf Latten im Abstand von 50 cm aufgelegt waren, sollten zeigen, inwieweit sich eine größere Anlage aussteifen lässt. Bei Architella Semi-Opaque zeigt sich jedoch kein nennenswerter Unterschied durch den anderen Einbau (Bild 8 auf Seite 8). Insbesondere ist das erste Absorptionsmaximum, das sich bei 315 Hz andeutet, unverändert.

### 3.2.3 Randabdichtung

Der offene Rand beim Einbau der Proben im Hallraum ermöglicht einen Druckausgleich zwischen Vorder- und Rückseite. Bei den Kundt'schen Rohr-Messungen wird dies durch den umlaufend abgedichteten Rahmen unterbunden. Um den Einfluss des Druckausgleichs zu untersuchen, wurden ergänzende Messungen an Architella Semi-Opaque mit einem umlaufenden Rahmen durchgeführt.

Wie der Vergleich mit der Messung ohne Rahmen in Bild 8 auf Seite 8 zeigt, ergibt sich zu tieferen Frequenzen eine leichte Verbesserung. Zu höheren Frequenzen jedoch auch eine leichte Verschlechterung. Bei großen Anlagen (hier 3 m x 4 m) ist die Verschlechterung durch einen offenen Rand und damit durch ein nicht abgeschlossenes rückseitiges Luftvolumen nicht sehr groß. Bei Anlagen mit zunehmend kleineren Flächen wird der Randeinfluss jedoch immer größer, sodass ein konstruktiver Abschluss des rückseitigen Volumens immer vorteilhafter wird.

## 3.3 Absorptionsspektren und bewerteter Schallabsorptionsgrad

Wie die in Abschnitt 3.2 dargestellten Untersuchungen zeigen, lassen sich aus den Kammerplissees gute bis sehr gute Mittel- und Hochtonabsorber aufbauen. Im Bereich der tieferen Frequenzen sind die Absorptionsgrade jedoch auch bei großen Wandabständen gering. Das hat zur Folge, dass die Werte des bewerteter Schallabsorptionsgrad nach [5] ebenfalls vergleichsweise gering ausfallen, da hierfür ab der 250 Hz-Oktave bewertet wird. In Bild 15 ist für Architella Semi-Opaque der aus der Messung gemittelte praktische Absorptionsgrad und die die verschobene Bezugskurve zur Ermittlung des bewerteten Schallabsorptionsgrads  $\alpha_w$  eingetragen. In diesem Fall ergibt sich  $\alpha_w = 0,45$  (MH) und die Schallabsorberklasse D. Die Formfaktoren M und H sollen verdeutlichen, dass das Produkt bei mittleren und hohen Frequenzen deutlich leistungsfähiger ist, als der Einzahlwert  $\alpha_w$  aussagt.

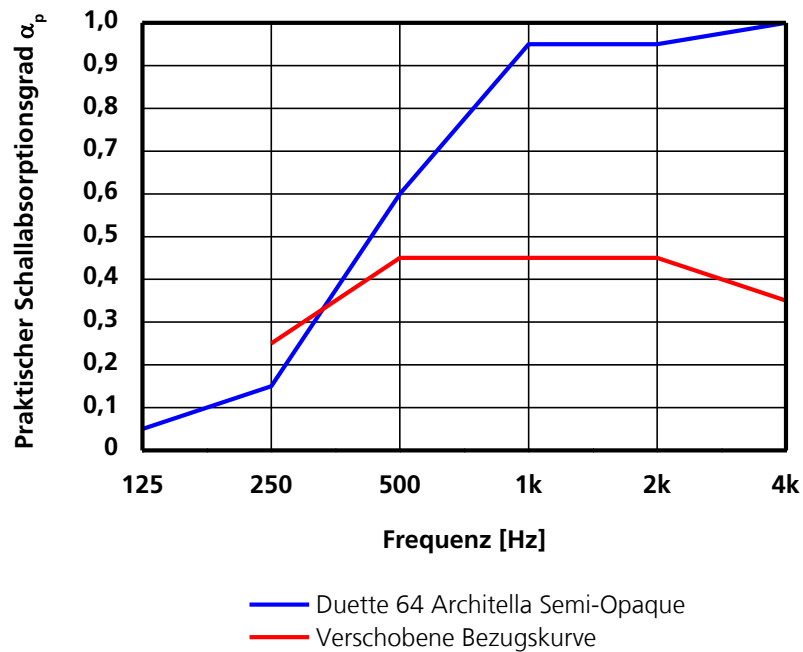


Bild 15:

Praktischer Schallabsorptionsgrad  $\alpha_p$  von Duette 64 Architella Semi-Opaque bei einem Wandabstand von 4 cm und verschobene Bezugskurve nach [5].

Bei allen höher absorbierenden Plissees wird der bewertete Schallabsorptionsgrad und die Schallabsorberklasse durch den Wert von  $\alpha_p$  bei 250 Hz bestimmt. Im Fall von Architella Semi-Opaque würde für  $\alpha_w = 0,45$  auch ein Spektrum von  $\alpha_p$  genügen, welches der verschobenen Bezugskurve in Bild 15 folgt.

### 3.4 Hinweise zum praktischen Einsatz

Mit Kammerplissees lassen sich sehr gute Mitten- und Hochtonabsorber aufbauen. Bei tieferen Frequenzen sind die erreichbaren Absorptionsgrade jedoch auch bei größeren Wandabständen nicht sehr hoch. Bei akustisch anspruchsvollen Nutzungen müssen die akustischen Maßnahmen den tieffrequenten Bereich in der Regel abdecken, da die bauseits vorhandene Absorption hier meist nicht ausreicht.

So bestehen beispielweise für Sprachräume (Schulungs- und Besprechungsräume, Hörsäle usw.) nach DIN 18 041 [6] Anforderungen an die Nachhallzeit im gesamten Frequenzbereich von 100 Hz bis 5 kHz. Für Mehrpersonenbüros gibt VDI 2569 [7] Empfehlungen zur Raumbedämpfung im Bereich von 250 Hz bis 2,5 kHz. Die Kammerplissees sollten bei solchen Nutzungen idealerweise in einem Gesamtkonzept eingesetzt werden, bei dem zusätzliche Bauteile den Bereich der tieferen Frequenzen ergänzen. Die Positionierung der Plissees an den Wänden ist aus akustischer Sicht eine ideale Ergänzung zu Maßnahmen an der Decke.



Wie in Abschnitt 3.2.3 ausgeführt, hat ein offener Rand bei großflächigen Anlagen keinen wesentlichen Einfluss auf das Schallabsorptionsvermögen. Bei kleineren Abmessungen ist ein Abschluss beispielsweise mit geschlossenen Führungsschienen sinnvoll. Aus akustischer Sicht ist es vorteilhaft, die Anlagen immer so großflächig wie möglich auszuführen.

Sowohl bei den untersuchten strömungsdichten als auch bei den strömungsoffenen Varianten ergaben sich im Hallraum bei unterschiedlichen Wandabständen praktisch gleichwertige Absorptionsspektren. Der im Hallraum geprüfte Wandabstand von 4 cm ist für den Einsatz als Schallabsorber bereits optimal. Größere Wandabstände ergeben weder Vor- noch Nachteile.

## 4 Hinweise zur Optimierung

### 4.1 Optimale Strömungswiderstände

Zum Bedämpfen der tiefen Frequenzen sind die untersuchten Plissees weniger geeignet. Der Strömungswiderstand sollte daher optimal für einen Mittenabsorber gewählt werden. Hierzu eignet sich ein Gesamtströmungswiderstand von grob 600 bis 1.000 Pa s/m. Für einen zweilagigen Kammerplissee sollte der Stoff demnach einen spezifischen Strömungswiderstand von 300-500 Pa s/m aufweisen.

Bis auf den strömungsoffenen Stoff von Architella Blackout sind die untersuchten Stoffe nicht optimal angepasst (vgl. Tabelle 1). Eine Erhöhung erfolgt idealerweise durch eine Verkleinerung der Porengeometrie, d.h. durch feinere Fasern, die entsprechend eine größere Anzahl Poren pro Flächeneinheit bilden. Der Vorteil dieser einfachen Skalierung besteht darin, dass das offene Porenvolumen dadurch nicht verringert wird. Auch durch das Aufbringen von Beschichtungen kann der Strömungswiderstand erhöht werden, indem die Porendurchmesser verringert, jedoch nicht vollständig verschlossen werden. Im Gegensatz zu der Skalierung der Geometrie mit feineren Fasern verringert diese Variante jedoch auch die offene Volumenporosität.

Eine andere Möglichkeit den Gesamtströmungswiderstand zu erhöhen besteht darin, mit den vorhandenen Stoffen mehrlagige Plissees nach dem Beispiel der Architella-Varianten aufzubauen.

### 4.2 Mikroperforation von Blackout-Stoffen

Für die Blackout-Varianten ergibt sich aus akustischer Sicht die Möglichkeit der Mikroperforation. Die Lochdurchmesser liegen dabei im Submillimeterbereich und der Lochflächenanteil unter einem Prozent. Die Kammerplissees eignen sich einerseits durch die geringe Dicke der Stoffe sehr gut zur Mikroperforation. Andererseits sind sie bereits zweilagig mit geeigneten Luftzwischenräumen aufgebaut, was zu breitbandigeren Absorptionsspektren führt, als einlagige Varianten.

Eine geeignete Perforation ist beispielsweise ein quadratisches Lochraster mit einem Lochabstand von 2 mm. Die Kreislochung sollte einen Lochdurchmesser von ca. 0,2 mm. Die erreichbaren Absorptionsspektren sollten in etwa in dem Bereich der mikroperforierten zweilagigen Folie liegen, die in der Nutzerbewertung in Abschnitt 5 untersucht wurde.

## 5 Psychologische Nutzerbewertung

Die psychologische Nutzerbewertung fokussiert auf eine Anwendung in Büroumgebungen. Die akustische Konditionierung von Büroräumen stellt eine besondere Herausforderung dar, da es notwendig ist den Spagat zwischen verschiedenen Nutzungsanforderungen (Kommunikation und Konzentration) zu meistern. Die Arbeit im Büro ist typischerweise durch einen stetigen Wechsel zwischen kommunikativen Tätigkeiten und stillem, konzentriertem Arbeiten gekennzeichnet. Daraus ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an die Raumakustik. Es gilt durch den Einsatz technischer Lösungen, wie schallabsorbierenden Maßnahmen, die akustischen Verhältnisse in Abhängigkeit der Nutzung so komfortabel wie möglich zu gestalten und gleichzeitig die Leistungsfähigkeit der Beschäftigten zu optimieren. Vor diesem Hintergrund wurde die raumakustische Wirkung verschiedener HunterDouglas Produkte (Duette 25 Blackout, Duette 25 Duotone, Duette 64 Architella Semi Opaque) im Vergleich zu einem alternativen Produkt (Microsorber) untersucht.

Es wurden zwei Hörversuche mit je 22 (11 weiblich; 11 männlich) Probanden im Alter von 21 bis 31 Jahren (Median: 23,5 Jahre) durchgeführt. Im Rahmen der Untersuchungen wurden beide Aspekte, Kommunikation und Konzentration, beleuchtet. Im Rahmen des ersten Hörversuchs (Hörversuch 1) wurden die Satzverständlichkeit sowie die akustische Qualität von Hintergrundsprechen an verschiedenen Empfängerpositionen (Entfernung vom Sprecher 2, 11 und 22 Meter) in einem simulierten Büro in Abhängigkeit des Grundgeräuschpegels (25 dB(A) und 45 dB(A)) und der Ausstattungskonfiguration (ohne Sonnenschutzsystem, Duette 25 Blackout, Duette 25 Duotone, Duette 64 Architella Semi Opaque, Microsorber) untersucht. Im zweiten Hörversuch (Hörversuch 2) lag der Fokus auf der individuellen kognitiven Leistungsfähigkeit. Dabei wurden Empfängerpositionen und Grundgeräuschpegel in gleicher Weise, wie in Hörversuch 1, variiert aber nur zwei Ausstattungskonfigurationen, nämlich ohne Sonnenschutzsystem und mit Duette 64 Architella Semi Opaque, gegenübergestellt. Die Dauer der Hörversuche betrug jeweils ca. 2 Stunden. Die Probanden bearbeiteten in einem büroähnlichen Laborraum rechnergestützte Satzverständlichkeits- und Leistungstests und nahmen zudem anhand von Fragebögen eine qualitative Beurteilung der simulierten raumakustischen Verhältnisse vor. Die Schalldarbietung erfolgte per Kopfhörer.

## 5.1 Schallauswahl für Hörversuche

Die Schalle für die psychologische Nutzerbewertung wurden mit einem raumakustischen Simulationsprogramm auf Grundlage der Ergebnisse der akustischen Messungen (vgl. 2) auralisiert. Bild 16 zeigt das zugehörige Geometriemodell des Mehrpersonenbüros. Die Fassadenfläche wurde dabei mit unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen belegt. Außerdem wurden zwei unterschiedliche Grundgeräuschpegel (25 dB(A), 45 dB(A)) im Raum angenommen. Der Grundgeräuschpegel im Raum beeinflusst maßgeblich die Verständlichkeit sprachlicher Äußerungen. Die gewählten Grundgeräuschpegel spiegeln jeweils die Unter- und Obergrenze typischer Grundgeräuschpegel in Büroumgebungen wider.

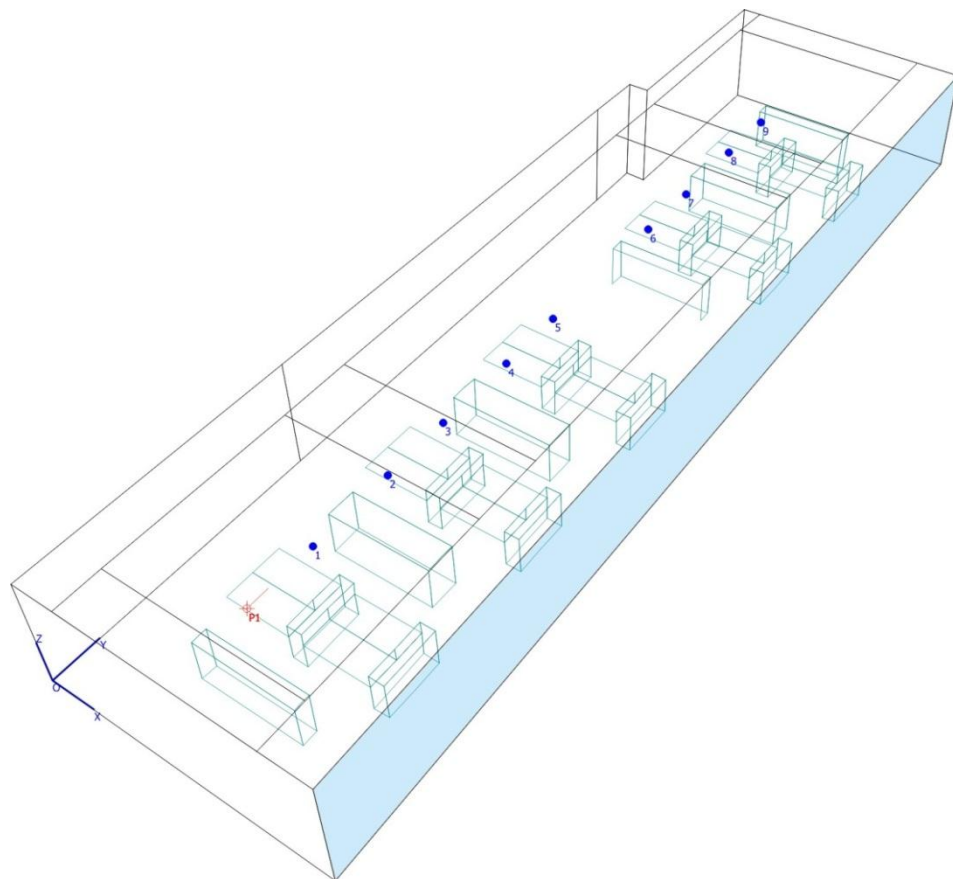


Bild 16:  
Geometriemodell des Mehrpersonenbüros mit Sprecherposition und drei Hörerpositionen M1, M5 und M9. Die raumhoch verglaste Fassade, vor der die Sonnenschutzsysteme angebracht sind, ist blau gekennzeichnet.

Es wurden folgende Konfigurationen untersucht:

K1 Ohne Sonnenschutzsystem

K2 Duette 25 Blackout

Wandabstand 40 mm

K3	Duette 25 Duotone	Wandabstand 40 mm
K4	Duette 64 Architella Semi Opaque	Wandabstand 40 mm
K5	Microsorber zweilagig	Wandabstand 100 mm, Abstand Folien 30 mm

Bild 17 zeigt einen Vergleich der im Hallraum gemessenen Schallabsorptionsgrade und Bild 15 die im Simulationsprogramm angesetzten Schallabsorptionsgrade der vier gewählten Produkte.

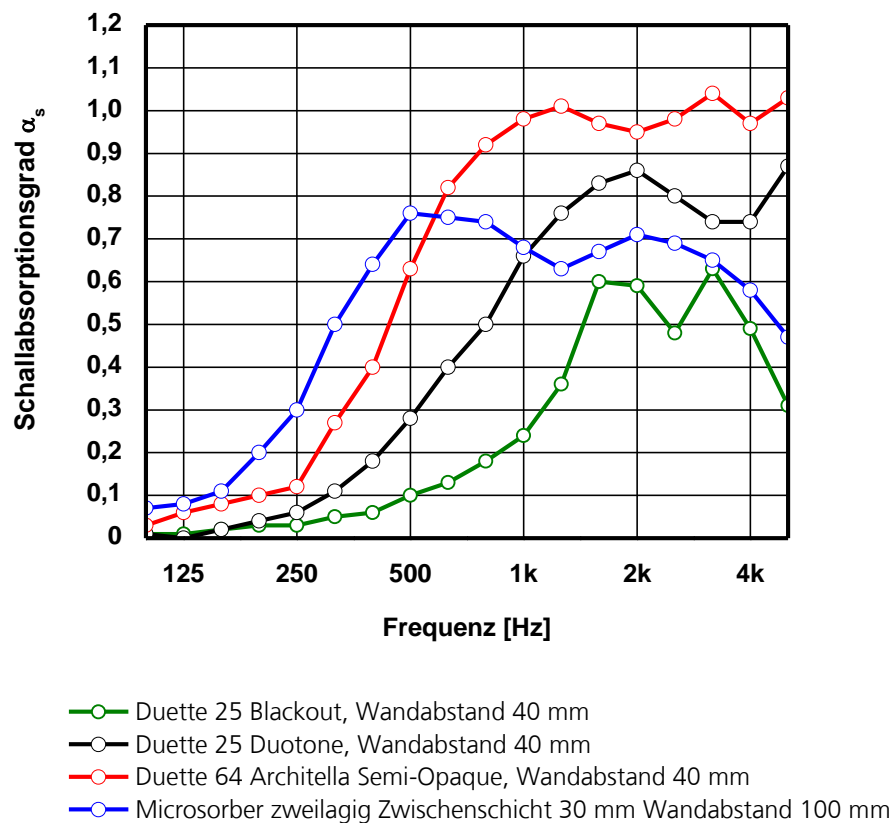


Bild 17:  
Im Hallraum gemessene Schallabsorptionsgrade  $\alpha_s$  der Konfigurationen 2 bis 5.

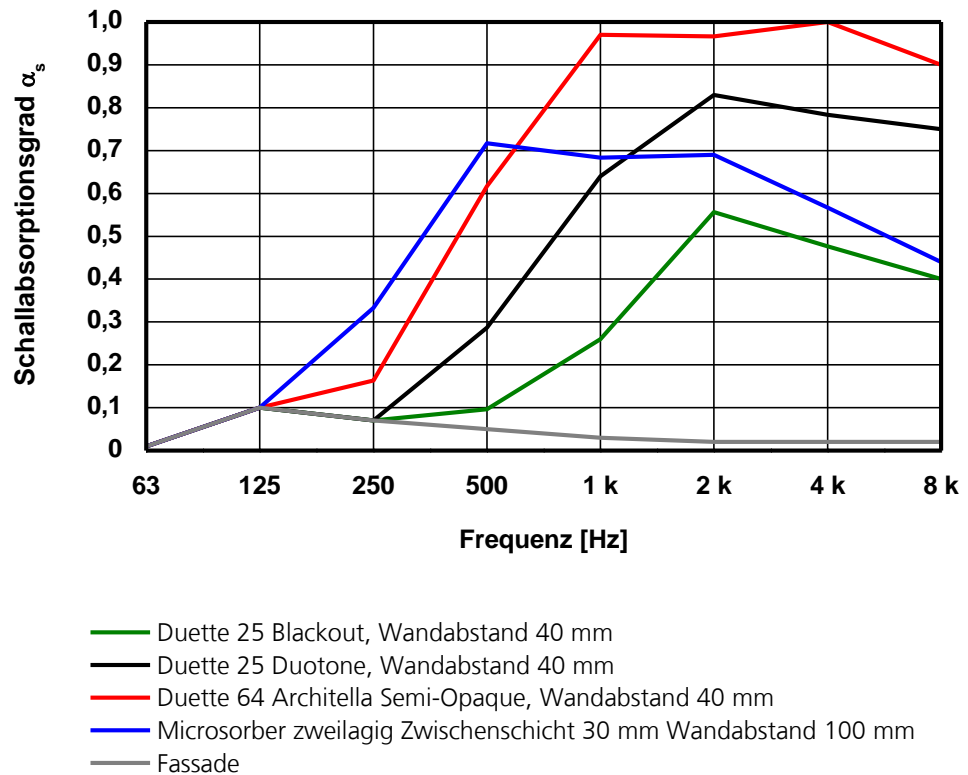


Bild 18:  
Im Simulationsprogramm angesetzte Schallabsorptionsgrade der Konfigurationen 2 bis 5 vor verglaster Fassade.

Als geeignete physikalische Zielgröße für die akustische Gestaltung von Büroumgebungen wird der Speech Transmission Index (STI) angesehen. Der STI ist ein Maß für Qualität der Sprachübertragung von einem Sender zu einem Empfänger und kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Dabei bedeutet 0, dass das Signal völlig unverständlich ist. Der Wert 1 kennzeichnet im Gegensatz dazu perfekte Sprachverständlichkeit. Die Werte zwischen 0 und 1 sind aber nicht mit einer prozentualen Sprachverständlichkeit gleichzusetzen. Der STI gilt als Prädiktor für das Ausmaß der zu erwarteten Leistungsbeeinträchtigung bei der Bearbeitung kognitiver Aufgabenstellungen [8]. Wenn keine Lästigkeit drin lieber raus Zudem erwies sich der STI auch für die Vorhersage der Lästigkeit von Hintergrundsprechen als geeignet [9]. Demzufolge wurde jeweils der STI von Hintergrundsprechen in Abhängigkeit der Empfängerposition, des Hintergrundgeräusches und der Ausstattungskonfiguration berechnet. Zusätzlich wurden Hörproben hergestellt, welche den Probanden im Rahmen der Hörversuche dargeboten wurden. In der Regel finden informelle Gespräche und informeller Informationsaustausch unter Kollegen unmittelbar am Arbeitsplatz statt. Die Möglichkeit zum unkomplizierten Informationsaustausch am Arbeitsplatz ist erstrebenswert. Dazu bedarf es einer hohen Sprachverständlichkeit (hoher STI) in unmittelbarer Nähe des Arbeitsplatzes. Die Kommunikation unter Kollegen

bedeutet aber gleichzeitig eine Belastung für die still und konzentriert arbeitenden Kollegen an benachbarten Arbeitsplätzen. Demzufolge ist eine schnelle Abnahme der Sprachverständlichkeit in mittlerer und größerer Entfernung anzustreben. Die raumakustischen Mittel um die Sprachverständlichkeit zu beeinflussen sind Schirmung, Maskierung und Absorption. Durch die Annahme unterschiedlicher Ausstattungskonfigurationen und Grundgeräuschpegel wurden in der vorliegenden Untersuchung Maskierung und Absorption gezielt variiert und in Abhängigkeit davon die Satzverständlichkeit und die akustische Qualität (Hörversuch 1) sowie die kognitive Leistungsfähigkeit an verschiedenen Empfängerpositionen untersucht. Dabei wurde eine bürotypische konstante Ausstattung mit schirmenden Elementen zwischen Arbeitsplatzreihen angenommen. Tabelle 3 zeigt den STI in Abhängigkeit der Empfängerposition, des Hintergrundgeräuschpegels sowie der Ausstattungskonfiguration. Daraus ist ersichtlich, dass die unterschiedlichen Ausstattungskonfigurationen nur einen geringfügigen Einfluss auf den STI haben. In Abhängigkeit der verschiedenen Empfängerpositionen und Grundgeräuschpegel ergeben sich hingegen deutliche Änderungen des STI.

Position	Grundgeräusch	K1	K2	K3	K4	K5
		ohne	Blackout	Duotone	Architella	Microsorber
M1 (2 Meter)	25 dB(A)	0,81	0,83	0,84	0,85	0,84
	45 dB(A)	0,66	0,66	0,67	0,67	0,67
M5 (11 Meter)	25 dB(A)	0,65	0,69	0,71	0,72	0,71
	45 dB(A)	0,41	0,39	0,39	0,39	0,39
M9 (22 Meter)	25 dB(A)	0,61	0,66	0,68	0,68	0,69
	45 dB(A)	0,28	0,28	0,26	0,24	0,26

Tabelle 3:  
STI in Abhängigkeit der Empfängerposition, des Hintergrundgeräuschpegels sowie der Ausstattungskonfiguration.

### 5.1.1 Hörversuch 1: Satzverständlichkeit und akustische Qualität

Hörversuch 1 fokussiert auf die Sprachverständlichkeit und die akustische Qualität. Es kamen zwei Testinstrumente zum Einsatz. Zum einen der HSM-Satztest [10] und zum anderen ein Semantisches Differential zur Erfassung der raumakustischen Qualität. Der HSM-Satztest ist ein Satzverständlichkeitstest. Die Aufgabe der Probanden besteht dabei darin, den exakten Wortlaut dargebotene Sätze zu reproduzieren. Der HSM-Satztest umfasst insgesamt 30 Satzgruppen zu je zwanzig Sätzen. Die Vergleichbarkeit der Schwierigkeit der einzelnen Satzgruppen ist gegeben. Das Semantischen Differential gründet auf der Annahme, dass emotionale und evaluative Komponenten der menschlichen Wahrnehmung anhand bipolarer Adjektivskalen erfasst werden können. Anhand eines Semantischen Differentials lassen sich sowohl affektive, sog. *konnotative* Eigenschaften (z.B. „nervend-beruhigend“, „unangenehm-angenehm“)

als auch sachliche, sog. *denotative* Komponenten abbilden. Letztere beziehen sich in der Regel auf physikalisch objektivierbare (z.B. „leise-laut“, „tief-hoch“), dem konventionellen Sprachgebrauch der Adjektive entsprechende Eigenschaften. Mit einem Semantischen Differential können akustische Signale somit mehrdimensional beurteilt werden. Den Testpersonen wird dabei ein Geräusch nach dem anderen vorgespielt und auf bipolaren Rating-Skalen beurteilt, deren Extreme durch antonyme Adjektive gekennzeichnet sind (z.B. „glatt-rau“, „schwach-stark“). In einem weiteren Schritt können mittels Faktorenanalyse auch die dem Urteilsverhalten zugrunde liegenden übergeordneten Dimensionen extrahiert werden. Letzteres ist sinnvoll um die Daten zu verdichten und deren Interpretation zu erleichtern.

Bild 19 zeigt die prozentuale Satzverständlichkeit im HSM-Satztest an verschiedenen Empfängerpositionen in Abhängigkeit des Grundgeräuschpegels und der Ausstattungskonfiguration.

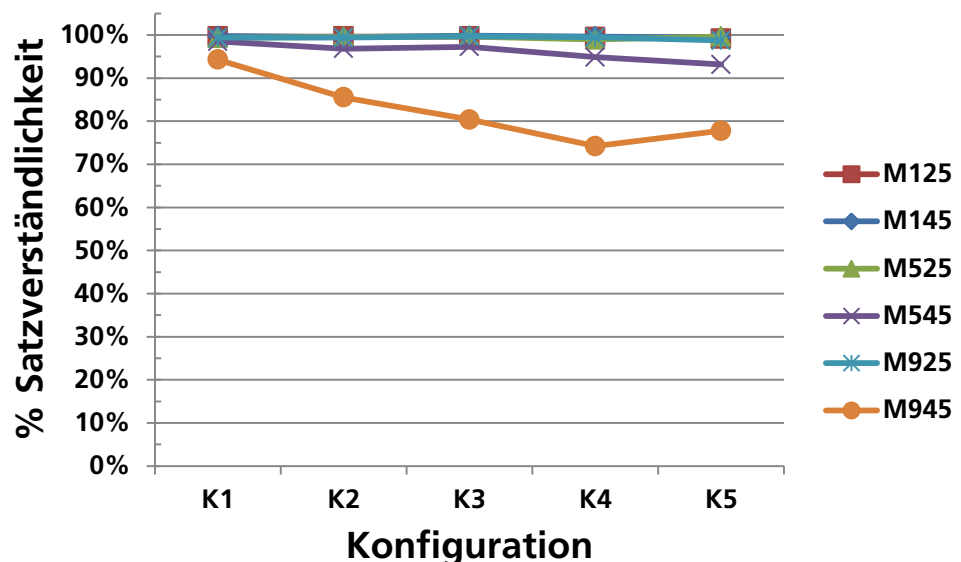


Bild 19: Prozentuale Satzverständlichkeit im HSM-Satztest an verschiedenen Empfängerpositionen (M1, M2, M5) in Abhängigkeit des Grundgeräuschpegels (25 dB(A), 45 dB(A)) und der Ausstattungskonfiguration (K1, K2, K3, K4, K5).

Aus Bild 19 ist ersichtlich, dass die Satzverständlichkeit stets hoch ausfällt. Die Korrelation zwischen STI und prozentualer Satzverständlichkeit fällt mit  $r = 0.77$  signifikant aus. Ein Einfluss der Ausstattungskonfiguration auf die Satzverständlichkeit ist lediglich an Empfängerposition M5 und M9 unter Annahme eines hohen Grundgeräusches (45 dB(A)) ersichtlich. Unter Annahme eines niedrigen Grundgeräusches (25 dB(A)) und auch bei hohem Grundgeräusch im nahen Umfeld (M1) zum Sprecher ist somit unabhängig von der Ausstattungskonfigu-

ration an jeder Empfängerposition von einer sehr guten Satzverständlichkeit auszugehen. Hier zeigen sich keine statistischen Unterschiede. Im Kontext von offenen Büroumgebungen ist dies ein ambivalentes Ergebnis. Zwar wird informelle Kommunikation im nahen Umfeld des persönlichen Arbeitsplatzes unterstützt gleichzeitig ist aber aufgrund der hohen Sprachverständlichkeit über große Entfernung hinweg eine Beeinträchtigung der still arbeitenden Kollegen anzunehmen. Unter diesem Gesichtspunkt ist der Vergleich der Satzverständlichkeit in Abhängigkeit der Ausstattungskonfiguration an den Empfängerpositionen M5 und M9 unter Annahme eines hohen Grundgeräusches (45 dB(A)) von besonderem Interesse. In der varianzanalytischen Betrachtung ergeben sich sowohl an M5 ( $F(4,84) = 10,01$ ;  $p < .01$ ;  $\eta = 0,32$ ) als auch an M9 ( $F(4,84) = 19,05$ ;  $p < .01$ ;  $\eta = 0,48$ ) statistisch bedeutsame Unterschiede in Abhängigkeit der Ausstattungskonfiguration. Eine genauere Analyse anhand paarweiser Vergleiche ergibt, dass an M5 insbesondere K4 (Architella) eine statistisch bedeutsam niedrigere Satzverständlichkeit bedingt. An M9 bedingt K4 (Architella) ebenfalls eine statistisch bedeutsame Verringerung der Satzverständlichkeit. Zwar haben auch K2 (Blackout), K3 (Duotone 25) und K5 (Microsorber) im Vergleich zu K1 (ohne) einen Effekt, die Verringerung der Satzverständlichkeit ist unter K4 aber am deutlichsten ausgeprägt.

Bild 20 zeigt exemplarisch die Gegenüberstellung der Urteile zur akustischen Qualität von K1M125 (ohne, Position M1, Grundgeräusch 25dB(A)) und K4M125 (Architella, Position M1, Grundgeräusch 25dB(A)) anhand des Semantischen Differentials. Eine Betrachtung der Ergebnisse auf Ebene einzelner Adjektivpaarungen ist allerdings nicht sinnvoll, da sich dadurch eine immense Zahl von Einzelvergleichen ergibt, die kaum mehr aussagekräftige Interpretationen zulassen.

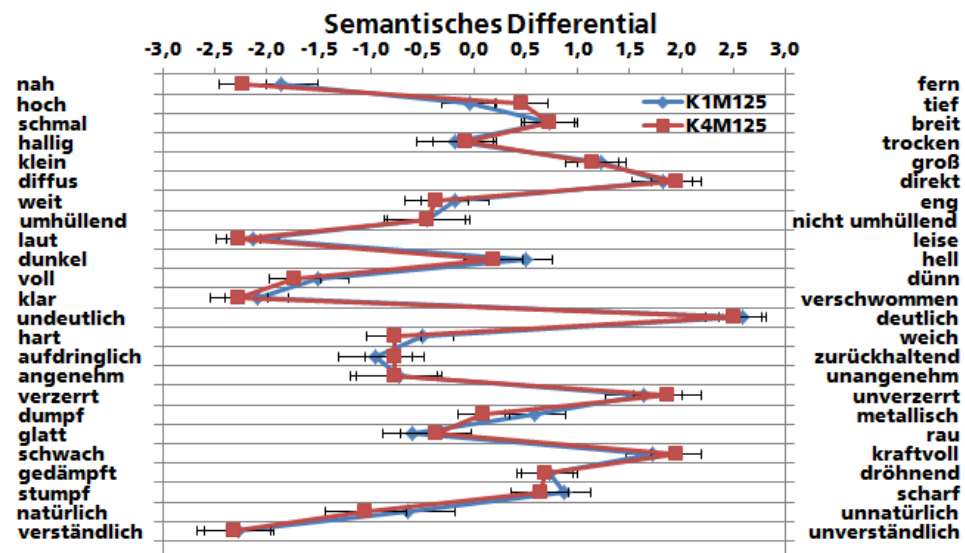


Bild 20: Semantisches Differential zur akustischen Qualität in Abhängigkeit der Ausstat-



tungskonfiguration (K1, K2) bei niedrigem Grundgeräusch (25 dB(A)) an Empfängerposition M1.

Daher werden die Daten anhand einer Faktorenanalyse aggregiert. Durch eine Analyse der Korrelationsmuster zwischen einzelnen Adjektivpaaren werden im Rahmen einer Faktorenanalyse Gruppen von Adjektivpaaren gebildet, welche ein gemeinsames Merkmal beschreiben, dem ein eindeutiger Oberbegriff zugeordnet werden kann. Dabei ergeben sich hier vier Faktoren:

- Verständlichkeit (Der Faktor Verständlichkeit umfasst die Adjektivpaare „klar-verschwommen“, „verständlich-unverständlich“, „angenehm-unangenehm“, „undeutlich-deutlich“, „verzerrt-unverzerrt“, „natürlich-unnatürlich“, „diffus-direkt“ und beschreibt Aspekte der empfundenen Sprachverständlichkeit. Ein hoher Faktorwert entspricht einer guten Sprachverständlichkeit.)
- Intrusivität (Der Faktor Intrusivität umfasst die Adjektivpaare „aufdringlich-zurückhaltend“, „laut-leise“, „hart-weich“, „schwach-kraftvoll“, „gedämpft-dröhnend“, „voll-dünn“, „klein-groß“ und beschreibt Aspekte der wahrgenommenen Bedrängnis. Ein hoher Faktorwert entspricht einem hohem Maß von Aufdringlichkeit.)
- Klang (Der Faktor Klang umfasst die Adjektivpaare „hoch-tief“, „dunkel-hell“, „dumpf-metallisch“, „stumpf-scharf“ und beschreibt die Klangfarbe eines Raumes. Ein hoher Faktorwert entspricht einem höherfrequenten Wahrnehmungseindruck.)
- Volumen (Der Faktor Volumen umfasst die Adjektivpaare „umhüllend-nicht umhüllend“, „hallig-trocken“, „schmal-breit“, „weit-eng“ und beschreibt damit Aspekte der wahrgenommenen Raumgröße. Ein hoher Faktorwert entspricht einer größeren Raumwahrnehmung.)

Adjektivpaare, die nicht eindeutig zugeordnet werden konnten, wurden aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen.

Die statistische Auswertung zeigt, dass in unmittelbarer Nähe zum Sprecher die unterschiedlichen Ausstattungskonfiguration kaum Einfluss auf den akustischen Wahrnehmungseindruck haben. An den Empfängerpositionen M5 und M9 ergeben sich hingegen deutliche Unterschiede hinsichtlich der Wahrnehmung der akustischen Qualität.

Die Bilder 21, 22, 23 und 24 zeigen jeweils die Ergebnisse der Beurteilung der akustischen Qualität in Abhängigkeit der Ausstattungskonfiguration, bei niedrigem (25 dB(A)) und hohem (45 dB(A)) Grundgeräusch.

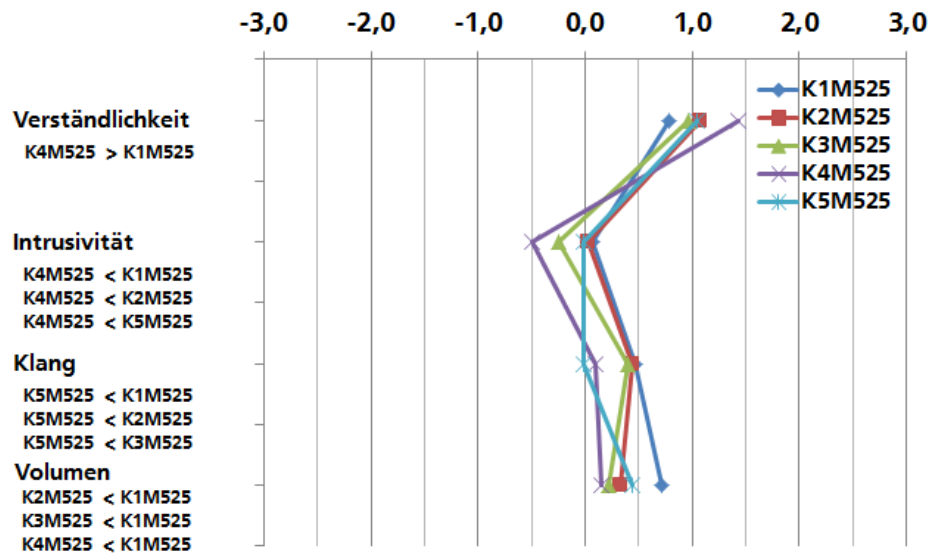


Bild 21:

Urteile zur akustischen Qualität an Empfängerposition M5 in Abhängigkeit der Ausstattungskonfiguration (K1, K2, K3, K4, K5), bei niedrigem (25 dB(A)).

Bei niedrigem Grundgeräusch (25 dB(A)) wird das Hintergrundsprechen in mittlerer Entfernung (M5) unter K4 (Architella) verständlicher wahrgenommen als unter K1 (ohne). Unerwartet ist, dass in diesem Fall eine bessere Verständlichkeit mit einer geringeren Intrusivität assoziiert wird. Der subjektive Unterschied deckt sich nicht mit den Ergebnissen des Satzverständlichkeitstests, dort ist die Satzverständlichkeit unter allen Konfigurationen gleichhoch. Plausibel sind die Ergebnisse bezüglich Klang und Volumen. K5 (Microsorber) zeichnet sich durch eine tiefere Klangfarbe aus und der Raum wird unter der undeämpften Konfiguration K1 (ohne) größer wahrgenommen. Insgesamt sind die wahrgenommenen Unterschiede sehr gering und umfassen nur eine halbe Stufe auf der Urteils-skala und werden demzufolge als vernachlässigbar eingeschätzt.

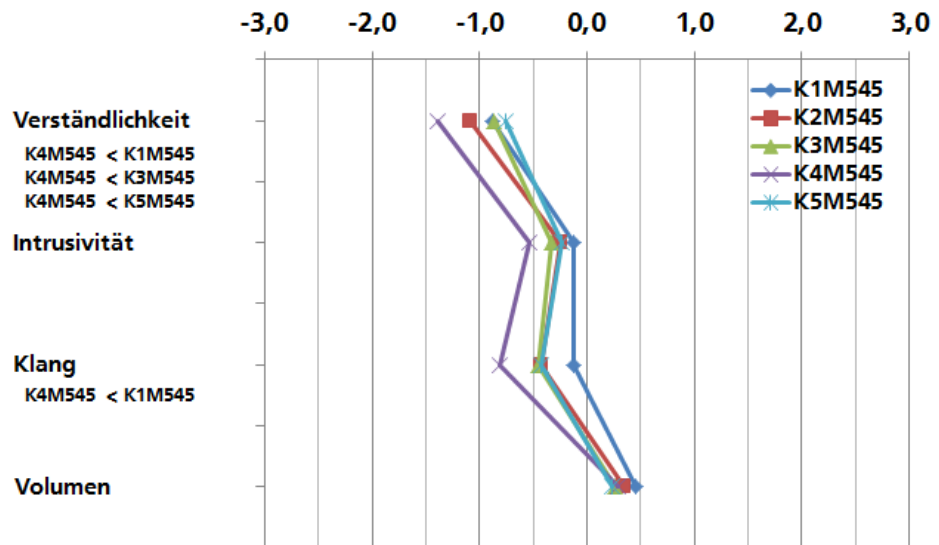


Bild 22:  
Urteile zur akustischen Qualität an Empfängerposition M5 in Abhängigkeit der Ausstattungskonfiguration (K1, K2, K3, K4, K5), bei hohem (45 dB(A)).

Bei hohem Grundgeräusch (45 dB(A)) in mittlerer Entfernung (M5) kehren sich die Ergebnisse um, K4 (Archtiella) wird nun weniger verständlich beurteilt. Dies deckt sich mit den Ergebnissen des Satzverständlichkeitstests und ist plausibel. Durch die stärkere Bedämpfung unter K4 (Architella) des Raums sinkt der Sprechpegel mit zunehmender Entfernung und damit der Signal-Rausch-Abstand zwischen Sprachsignal und Hintergrundgeräusch. Zudem wird der Raumklang unter K4 (Architella) im Vergleich zu K1 (ohne) unterschiedlich beurteilt. Die Urteilsunterschiede fallen allerdings wiederum gering aus.

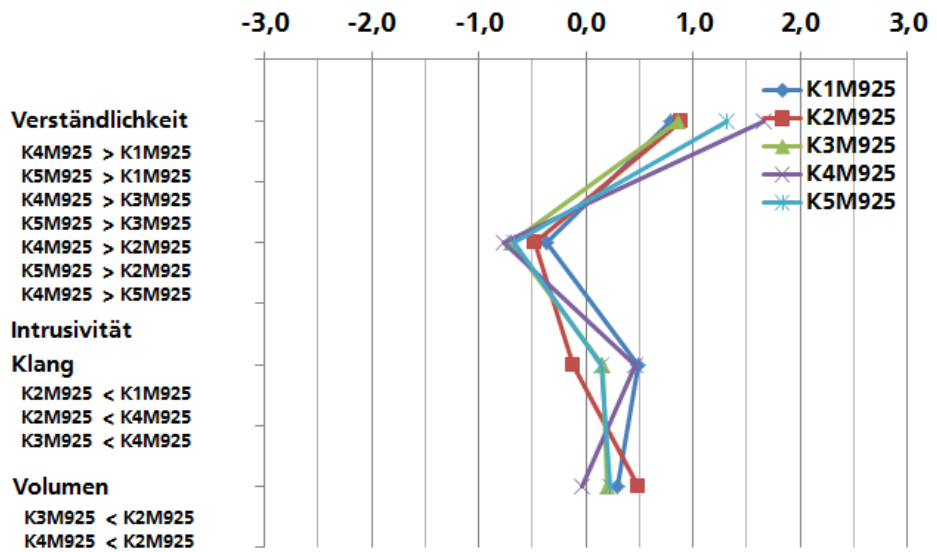


Bild 23:

Urteile zur akustischen Qualität an Empfängerposition M9 in Abhängigkeit der Ausstattungskonfiguration (K1, K2, K3, K4, K5), bei niedrigem (25 dB(A)).

Bei niedrigem Grundgeräusch (25 dB(A)) wird das Hintergrundsprechen in größerer Entfernung (M9) unter K4 (Architella) und K5 (Microsorber) sehr viel verständlicher wahrgenommen. Dies ist auf eine Reduzierung der Nachhallzeit durch die Bedämpfung zurückzuführen bei gleichzeitig ausreichend hohem Signal-Rausch-Abstand zurückzuführen. Der Befund deckt sich aber nicht mit den Ergebnissen des Satzverständlichkeitstests.

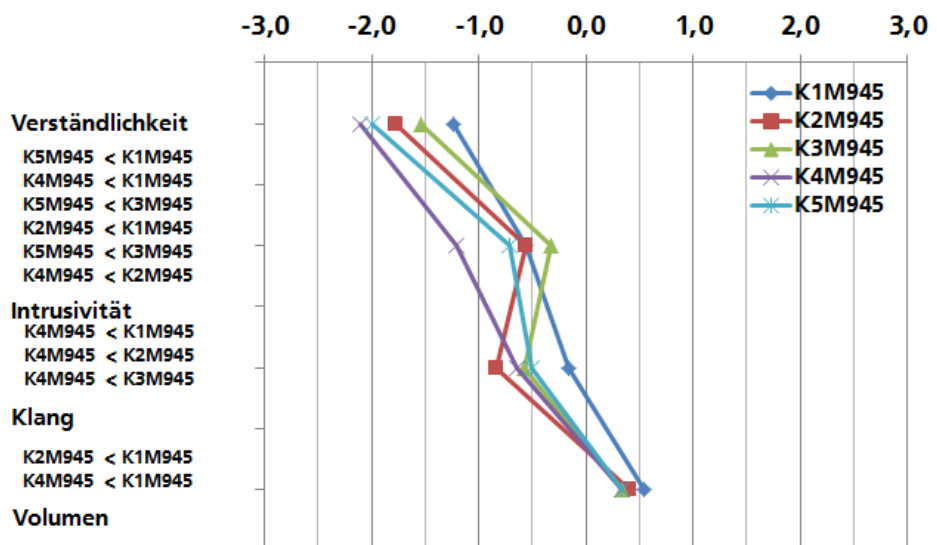


Bild 24:

Urteile zur akustischen Qualität an Empfängerposition M9 in Abhängigkeit der Ausstattungskonfiguration (K1, K2, K3, K4, K5), bei hohem (45 dB(A)).

Bei hohem Grundgeräusch (45 dB(A)) wird das Hintergrundsprechen in größerer Entfernung (M9) unter K4 (Architella) und K5 (Microsorber) sehr viel weniger verständlicher beurteilt. In Abhängigkeit des Hintergrundgeräuschpegels kehrt sich das Befundmuster demnach um. Dies ist durch eine Reduzierung des Signal-Rausch-Abstandes zu begründen. Das Ergebnis stimmt mit dem Satzverständlichkeitstest überein. Positiv hervorzuheben ist, dass in diesem Fall K4 (Arichtella) auch als deutlich weniger intrusiv wahrgenommen wird.

### 5.1.2 Hörversuch 2: Leistungsfähigkeit

Hörversuch 2 fokussiert auf die Leistungsfähigkeit. Aufgrund des hohen Untersuchungsaufwandes konnten im Rahmen von Hörversuch 2 nicht alle Ausstattungskonfigurationen untersucht werden. Nachdem in Hörversuch 1 die qualitativen Unterschiede von K4 (Architella) auffielen wurde in Hörversuch 2 ein Vergleich des Einsatzes von K4 (Architella) im Vergleich zur Referenz K1 (ohne) untersucht. Hierbei kamen zwei Testinstrumente zum Einsatz. Zum einen eine Zahlenspannaufgabe, welche die Kapazität des verbalen Kurzzeitgedächtnisses erfasst. Die Aufgabe der Probanden besteht dabei darin, eine visuell auf dem Bildschirm dargebotenen Zahlenfolge von 9 Ziffern zu memorieren und nach einem kurzen Behaltensintervall in der richtigen Reihenfolge zu reproduzieren. Die Aufgabe ist augenscheinlich zunächst nicht allgemein repräsentativ für Büroumgebungen. Der experimentelle Ansatz fußt auf der Annahme, dass komplexe kognitive Tätigkeiten, wie Bürotätigkeiten, stets durch den kombinierten Einsatz kognitiver Basisfunktionen erbracht werden. Das verbale Kurzzeitgedächtnis ist dabei von elementarer Bedeutung und es ist davon auszugehen, dass Beeinträchtigungen des verbalen Kurzzeitgedächtnisses sich durch Leistungseinbußen in einer Vielzahl alltäglicher Aufgabenstellungen manifestieren.

Im Rahmen der varianzanalytischen Auswertung kann allerdings nur eine positive Wirkung (im Sinne einer geringeren Fehlerrate) des hohen Hintergrundgeräusches (45 dB(A)) statistisch nachgewiesen werden ( $F(1,19) = 7,87$ ;  $p < .05$ ;  $\eta = 0,29$ ). Es ist allerdings hervorzuheben, dass Hinweise auf Wechselwirkungen erster und zweiter Ordnung existieren. Es deutet sich an, dass die Fehlerrate unter K4 (Architella) bei hohem Hintergrundgeräusch (45 dB(A)) mit zunehmender Entfernung vom Sprecher (M9) sinkt. Der Nachweis der statistischen Signifikanz scheidet allerdings wohl am zu geringen Stichprobenumfang. Die Bilder 22 und 23 veranschaulichen diese Tendenz.

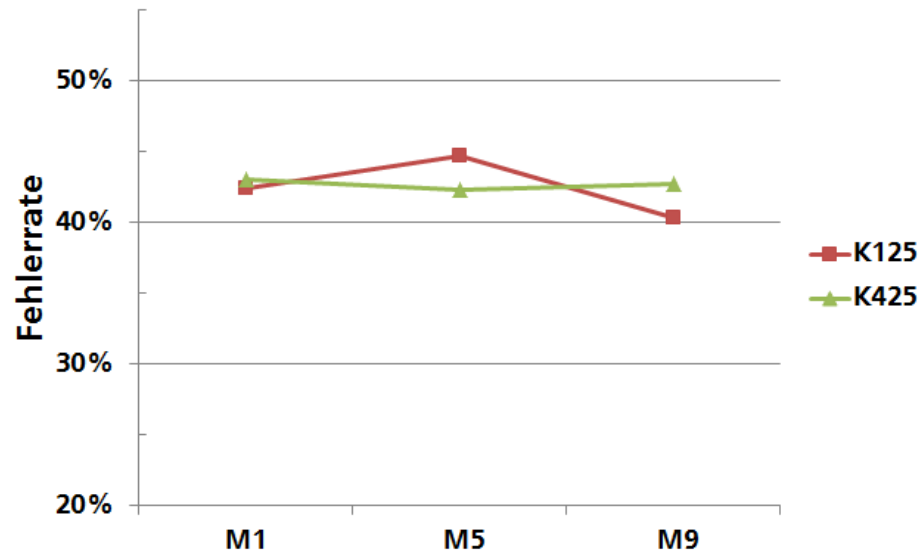


Bild 25: Prozentuale Fehlerrate im Kurzzeitgedächtnistest an verschiedenen Empfängerpositionen (M1, M5, M9) bei niedrigem Grundgeräusch (25 dB(A)) in Abhängigkeit der Ausstattungskonfiguration.

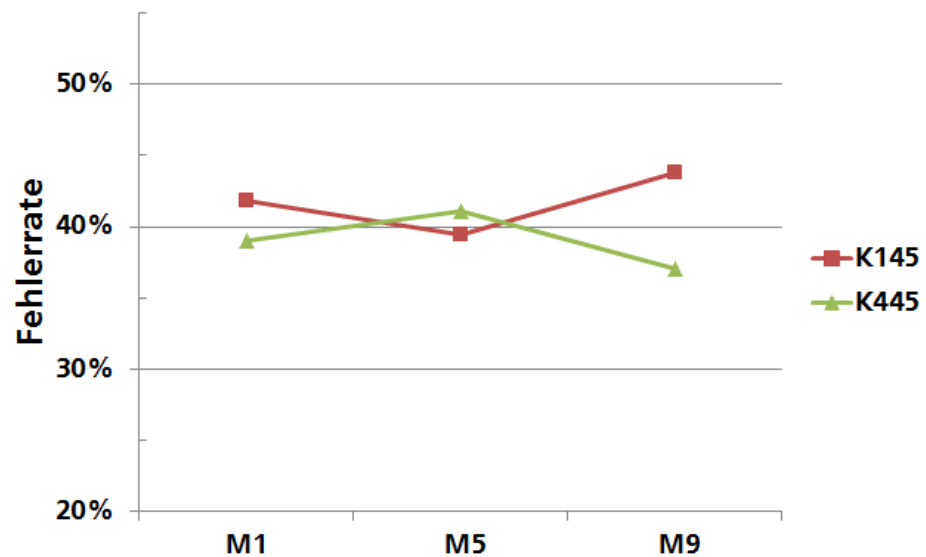


Bild 26: Prozentuale Fehlerrate im Kurzzeitgedächtnistest an verschiedenen Empfängerpositionen (M1, M5, M9) bei hohem Grundgeräusch (45 dB(A)) in Abhängigkeit der Ausstattungskonfiguration.

Während sich die Fehlerraten bei geringem Hintergrundgeräusch (25 dB(A)) in Abhängigkeit der Empfängerposition (M1, M5, M9) und der Ausstattungskonfiguration (K1, K4) kaum unterscheiden, deutet sich bei hohem Hintergrundgeräusch (45 dB(A)) und größerer Entfernung (M9) eine positive Wirkung im Sinne einer Reduzierung der Fehlerrate unter K4 an.

## 6 Zusammenfassung

Zwölf innenliegende Sonnenschutzsysteme wurden auf ihre Eignung als Schallabsorber untersucht. Hierzu wurden die Schallabsorptionsgrade der Plissees und Kammerplissees bei senkrechtem und diffusem Schalleinfall sowie die Strömungswiderstände einiger Stoffe messtechnisch bestimmt und wie folgt beurteilt:

- Nach der akustischen Funktionsweise lassen sich die Systeme in Strömungsdichte (alle Blackout-Varianten) und Strömungsoffene einteilen.
- Die spezifischen Strömungswiderstände der meisten strömungsoffenen Stoffe liegen unterhalb des optimalen Bereichs.
- Die strömungsdichten und die besser angepassten strömungsoffenen Varianten sind gute bis sehr gute Mitten- und Hochtonabsorber.
- Das Absorptionsvermögen im Bereich der tiefen Frequenzen ist bei den untersuchten Systemen auch mit großen Wandabständen gering. Versuche zur Verbesserung durch eine Aussteifung blieben ohne Erfolg.

Für den praktischen Einsatz als Schallabsorber ergibt sich daraus:

- Der im Hallraum geprüfte Wandabstand von 4 cm ist für den Einsatz als Schallabsorber bereits optimal. Größere Wandabstände ergeben weder Vor- noch Nachteile.

Es bestehen folgende Optimierungsmöglichkeiten:

- Strömungsoffene Stoffe:  
Mit Ausnahme von Architella Semi-Opaque ist eine Erhöhung der Strömungswiderstände vorteilhaft. Ein optimaler Bereich sowie Möglichkeiten zur zielgerichteten Veränderung der Stoffe wurden genannt.
- Strömungsdichte Stoffe:  
Mit einer geeigneten Mikroperforation kann das Absorptionsverhalten dieser Varianten noch etwas verbessert werden.

Die Ergebnisse der psychologischen Nutzerbewertung lassen folgende Beurteilung zu:

- Insbesondere der Einsatz von K4 (Architella) gewährleistet im nahen Umfeld eine hohe Sprachverständlichkeit und bedingt gleichzeitig in mittlerer und größerer Entfernung unter Annahme eines hohen Grundgeräusches (45 dB(A)) eine Reduzierung der Sprachverständlichkeit. Damit garantiert diese Ausstattungskonfiguration in mittlerer und größerer Entfernung mehr akustische Privatheit. Folglich ist auch von einem geringeren Störungspotential auszugehen.
- Es zeigt sich, dass insbesondere die Ausstattungsvariante K4 (Architella) hinsichtlich der akustischen Qualität als verschieden wahrgenommen

wird. Die objektiv nachweisbaren Unterschiede bzgl. der Sprachverständlichkeit werden von den Probanden auch subjektiv deutlich wahrgenommen.

- Hervorzuheben ist das gegensätzliche Urteilsverhalten der Probanden in Abhängigkeit des Grundgeräusches. Während die Sprachverständlichkeit unter K4 (Architella) bei niedrigem Grundgeräusch (25 dB(A)) höher beurteilt wird, kehrt sich dieses Urteilmuster bei einem hohem Grundgeräusch von (45 dB(A)) um. Hierbei ist ein Zusammenhang zum Signal-Rausch-Abstand anzunehmen.
- Der Ergebnisse des kognitiven Leistungstests liefern einen Hinweis darauf, dass der Einsatz von K4 (Architella) bei hohem Hintergrundgeräusch (45 dB(A)) und größerer Entfernung (M9) eine positive Wirkung im Sinne einer Reduzierung der Fehlerrate bedingt.



## 7 Literatur

- [1] DIN EN ISO 10534-2: Bestimmung des Schallabsorptionsgrades und der Impedanz in Impedanzrohren. Teil 2: Verfahren mit Übertragungsfunktion. Oktober 2001
- [2] Prüfbericht S 10349. Fraunhofer-Institut für Bauphysik
- [3] DIN EN ISO 354: Akustik: Messung der Schallabsorption in Hallräumen. Dezember 2003
- [4] DIN EN 29 053: Akustik - Materialien für akustische Anwendungen. Bestimmung des Strömungswiderstandes. Mai 1993
- [5] DIN EN ISO 11654: Akustik – Schallabsorber für die Anwendung in Gebäuden. Juli 1997
- [6] DIN 18041: Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen. Mai 2004
- [7] VDI 2569: Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro. Januar 1990
- [8] HONGISTO, V.: A model predicting the effect of speech of varying intelligibility on work performance. In: INDOOR AIR 15 (2005), S. 458–468
- [9] LIEBL, Andreas ; DROTTLEFF, Horst ; WACK, Roman ; LEISTNER, Michael: The influence of speech intelligibility on performance and acoustic comfort in offices. In: 39th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering 2010 : INTERNOISE 2010. Proceedings of a meeting held 13-16 June 2010 , Lisbon, Portugal. Proceedings of a meeting held 13-16 June 2010 , Lisbon, Portugal., 2010
- [10] HOCHMAIR DESOYER, I. ; SCHULZ, E. ; MOSER, L. ; SCHMIDT, M.: The HSM Sentence Test as a tool for evaluating the speech understanding in noise of cochlear implant users. In: AMERICAN JOURNAL OF OTOLGY 18 (1997), Nr. 6, S. S83-S83

## Anhang

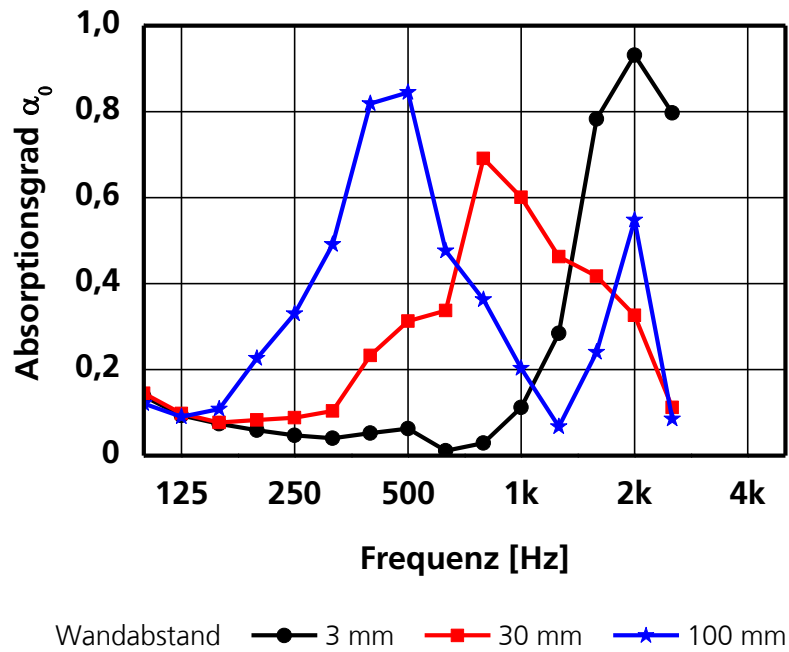


Bild A1:  
Gemessene Schallabsorptionsgrade  $\alpha_0$  von Crush Topar bei unterschiedlichen Wandabständen.

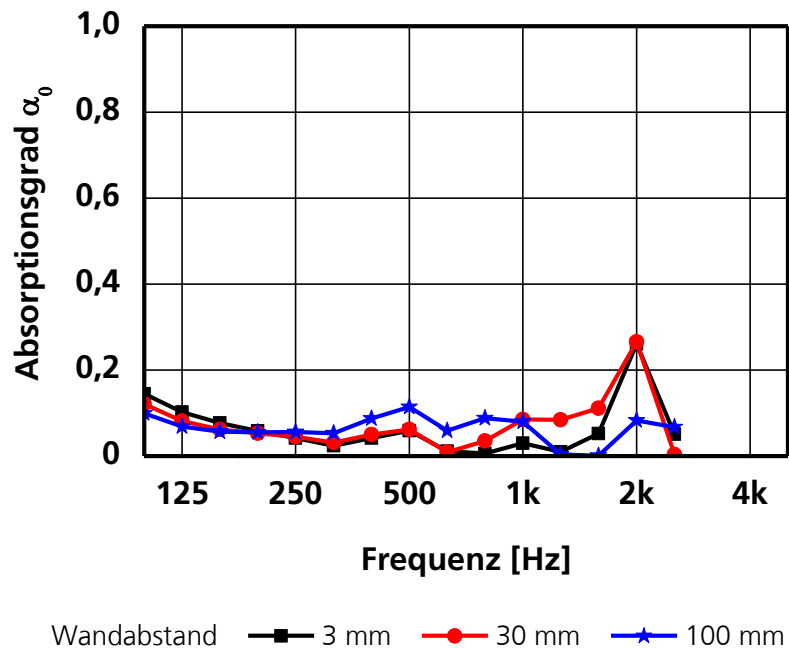
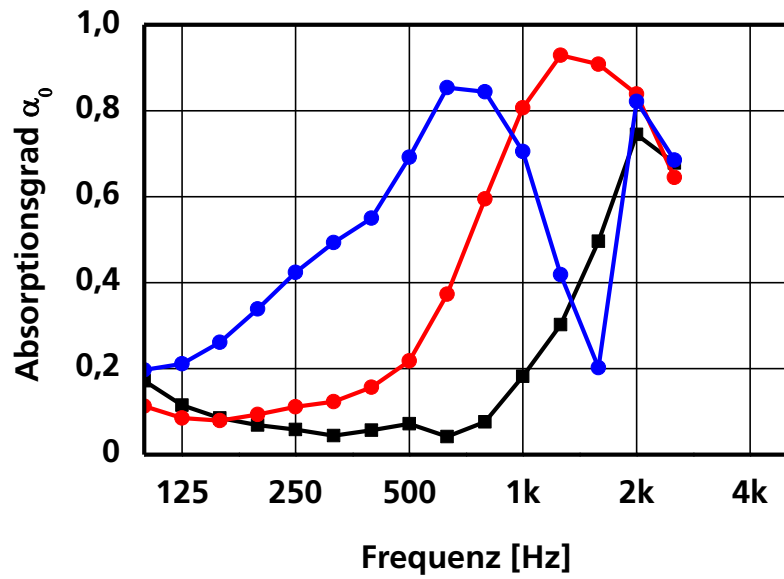
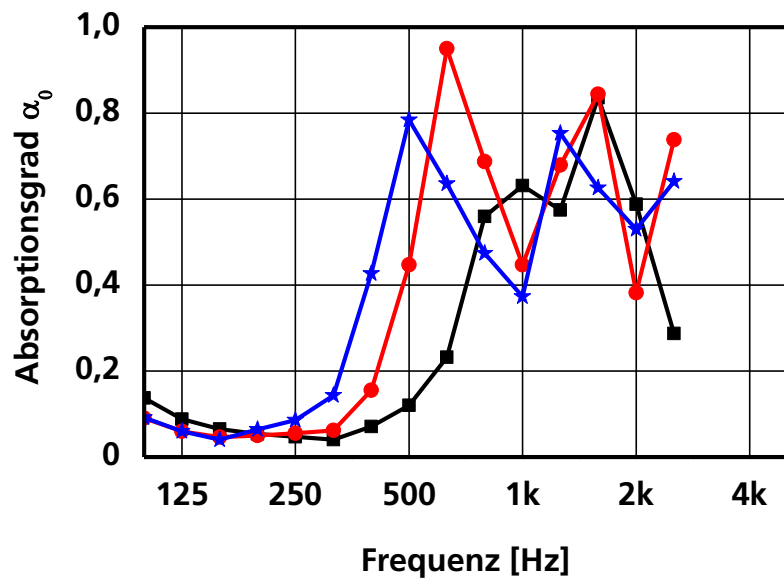


Bild A2:  
Gemessene Schallabsorptionsgrade  $\alpha_0$  von Lumina Sheer bei unterschiedlichen Wandabständen.



Wandabstand —■— 3 mm —●— 30 mm —●— 100 mm Bild A3:  
 Gemessene Schallabsorptionsgrade  $\alpha_0$  von Duette 25 Duotone bei unterschiedlichen Wandabständen.



Wandabstand —■— 3 mm —●— 30 mm —★— 100 mm Bild A4:  
 Gemessene Schallabsorptionsgrade  $\alpha_0$  von Duette 25 Blackout bei unterschiedlichen Wandabständen.

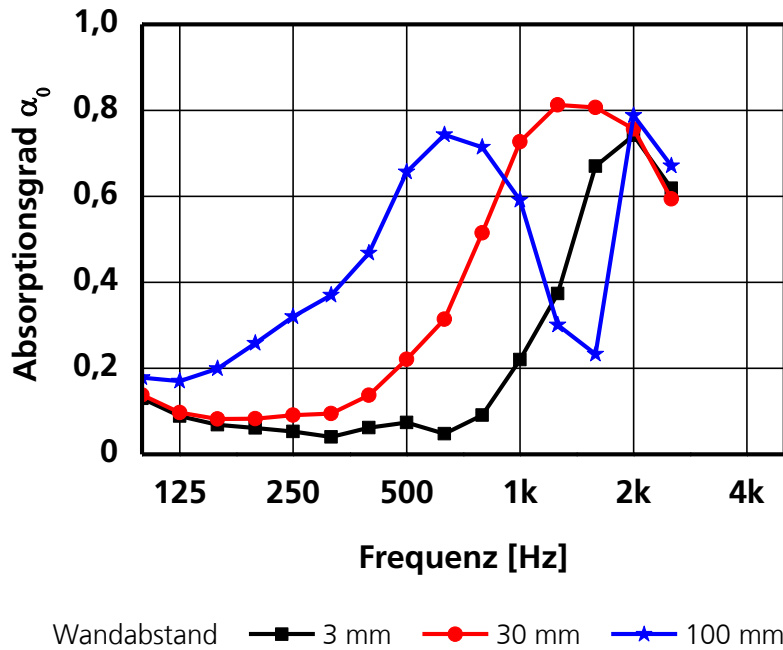
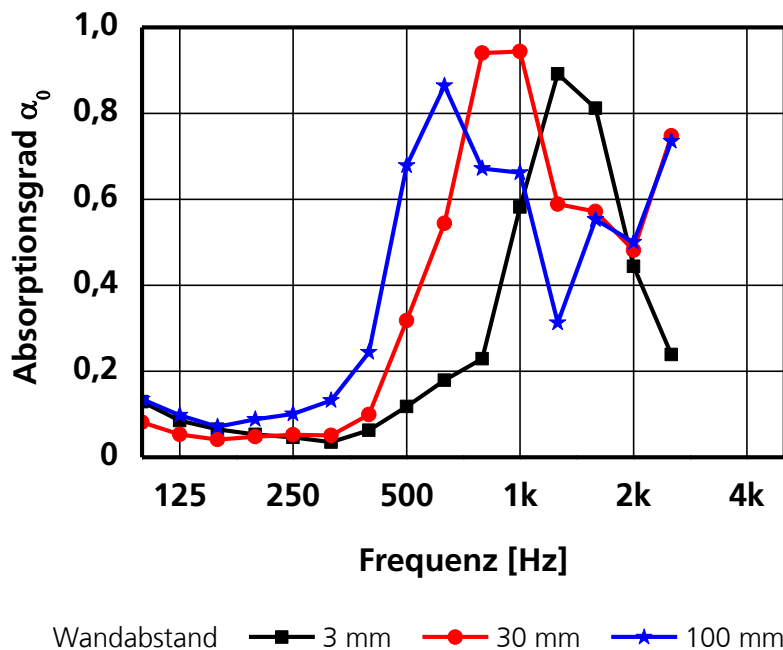


Bild A5:  
Gemessene Schallabsorptionsgrade  $\alpha_0$  von Duette 32 Duotone bei unterschiedlichen Wandabständen.



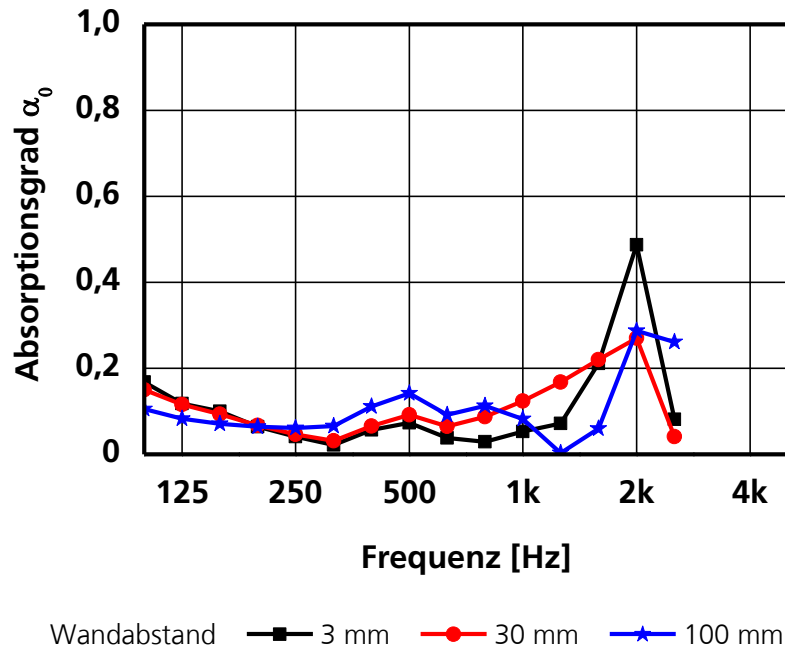


Bild A7:  
Gemessene Schallabsorptionsgrade  $\alpha_0$  von Duette 32 Roma bei unterschiedlichen Wandabständen.

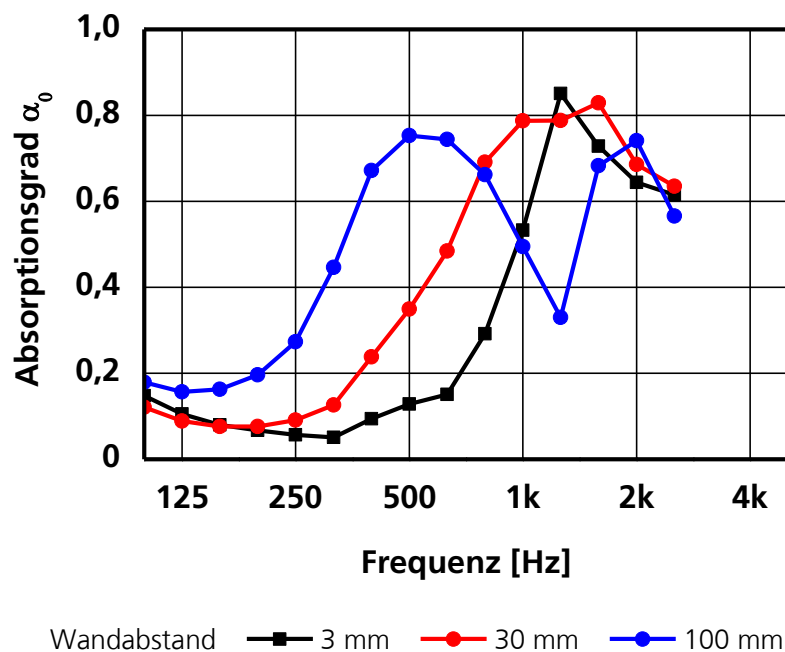


Bild A8:  
Gemessene Schallabsorptionsgrade  $\alpha_0$  von Duette 64 Duotone bei unterschiedlichen Wandabständen.

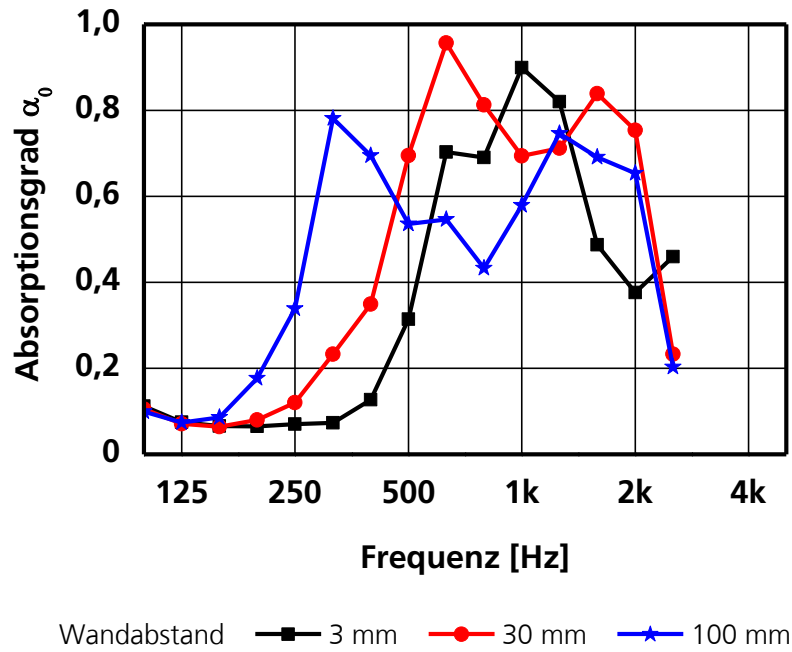


Bild A9:  
Gemessene Schallabsorptionsgrade  $\alpha_0$  von Duette 64 Blackout FR bei unterschiedlichen Wandabständen.

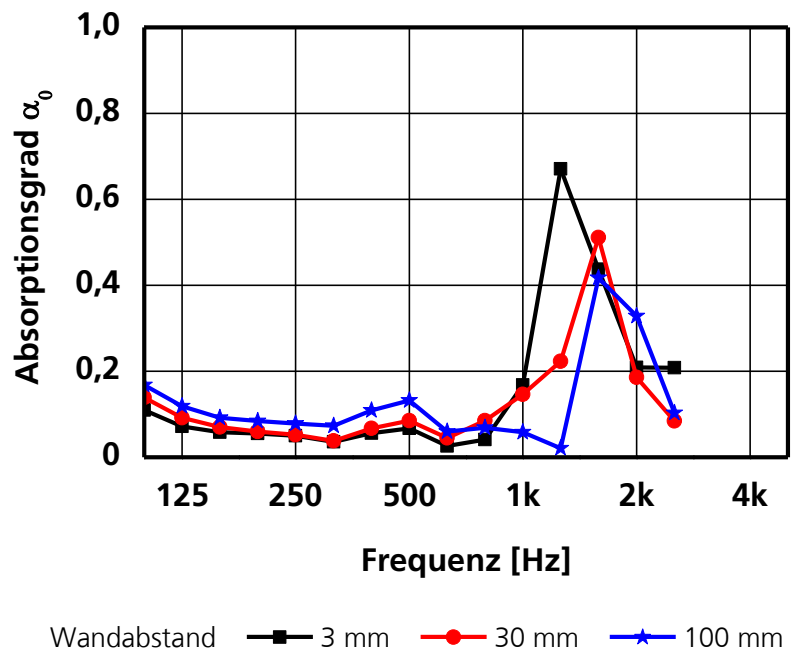
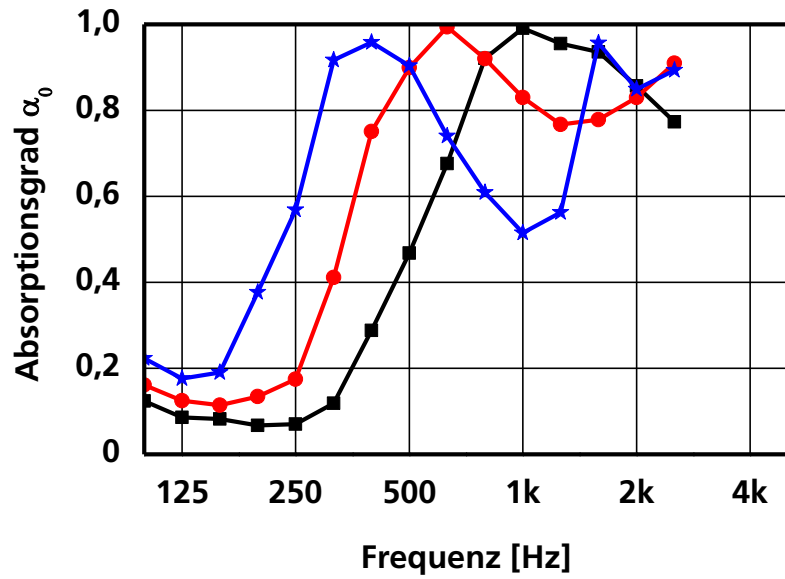
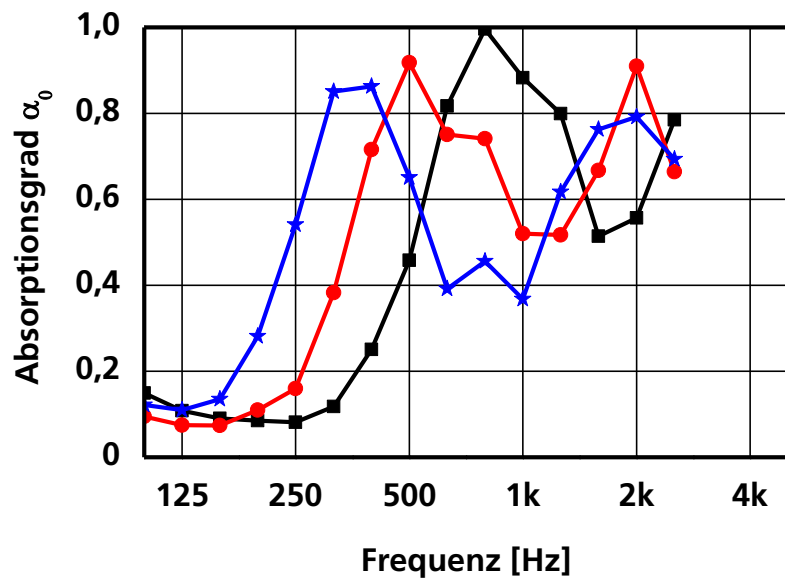


Bild A10:  
Gemessene Schallabsorptionsgrade  $\alpha_0$  von Duette 64 Whisper bei unterschiedlichen Wandabständen.



Wandabstand    ■ 3 mm    ● 30 mm    ★ 100 mm

Bild A11:  
Gemessene Schallabsorptionsgrade  $\alpha_0$  von Duette 64 Architella Semi-Opaque bei unterschiedlichen Wandabständen.



Wandabstand    ■ 3 mm    ● 30 mm    ★ 100 mm

Bild A12:  
Gemessene Schallabsorptionsgrade  $\alpha_0$  von Duette 64 Architella Blackout bei unterschiedlichen Wandabständen.