



Lignum | Holzwirtschaft Schweiz  
Mühlebachstrasse 8, CH-8008 Zürich

## **Projektierung und Prognose Raumakustik**

Sitzungszimmer Lignum, Mühlebachstrasse 8, 8008 Zürich

Olin Bartlomé  
Dipl. Ing. (FH)  
Projektleiter Technik  
Lignum  
*olin.bartlome@lignum.ch*

## Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage.....	3
1.1	Sitzungszimmer.....	3
2	Massnahme.....	4
2.1	Optimale Nachhallzeit.....	4
2.1.1	Einfluss Raumvolumen.....	4
2.2	Technischer Schallabsorber.....	5
2.2.1	Fläche.....	6
2.2.2	Dicke.....	6
2.2.3	Anordnung.....	7
2.3	Alternativen.....	7
3	Prognose.....	8
3.1	Berechnung der Nachhallzeiten.....	8
3.2	Grenzwerte werden überschritten.....	10
3.3	Variantenstudie.....	10
4	Vorschlag.....	10
4.1	Sichtbare Brettstapeldecke.....	10
4.2	Bekleidete Brettstapeldecke.....	11
4.2.1	Einfluss einer kompletten Deckenbekleidung.....	11
4.2.2	Zukunftsorientierte Wahl.....	14
5	Referenzen.....	14

## 1 Ausgangslage

In der Raumakustik ist die Halligkeit eines Raumes die auffälligste Eigenschaft. Sie lässt sich durch die Dauer des Nachhalls charakterisieren, d.h. durch die Abklingzeit eines Schallereignisses nach Beenden der Schallübertragung. Zu lange Nachhallzeiten führen zu Sprachunverständlichkeit und unregelmässiger Schallversorgung bei den Zuhörern.

Es ist möglich, praktisch jede Grundform eines Raumes, d.h. jede Primärstruktur, durch Auswahl geeigneter Massnahmen mittels Oberflächengestaltung etc., also durch eine Sekundärstruktur, akustisch funktionsfähig zu machen. Bei der Raumakustik macht erfahrungsgemäss oft der ‹letzte Meter› das Resultat aus.

Gemäss Wegleitung zu Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (Herausgeber: Seco) muss die akustische Qualität von Arbeitsräumen mit ständigen Arbeitsplätzen raumakustische Bedingung erfüllen. Die Suva hat diese übernommen und sie werden entsprechend in der Suva-Richtlinie ‹Akustische Grenz- und Richtwerte› aufgeführt [1].

### 1.1 Sitzungszimmer

Das Sitzungszimmer<sup>1</sup> der Lignum an der Mühlebachstrasse 8 in Zürich wirkt hallig, die Nachhallzeiten sind zu gross. Das kann bei diesem Raum auf folgende Gründe zurückgeführt werden:

- Der Raum besteht fast ausschliesslich aus schallharten Oberflächen, d.h. Oberflächen mit einem geringen Schallabsorptionsgrad  $\alpha$ : Glatte Gipskartonwände, Eichenparkett, grosser Sitzungszimmertisch, grosse Fensterfront. Die Fensterfront besitzt jedoch unterhalb von ~250 Hz verhältnismässig gute und willkommene Schallabsorptionsgrade (z.B. bei 125 Hz  $\alpha = 0,12$ ).
- Die Decke besteht aus einer sichtbaren Brettstapeldecke, die fein geschlitzt ist. Diese absorbiert ebenfalls nur beschränkt, da sie einerseits keinen porösen Schallabsorber besitzt (Kammplatten ohne Absorber zwischen den Kämmen absorbieren viel weniger, als gleiche Konstruktion mit Absorber zwischen den Kämmen – optimal sollte halbe Tiefe ausgefüllt sein [2]). Andererseits ist sie, um als Resonator zu wirken, zweckgebunden viel zu steif bzw. verfügt sie über keine biegeweiche abgehängte Vorsatzschale.
- Die Ausnahmen bilden die zehn bepolsterten Holzstühle und die mögliche Anwesenheit von bis zu 10 Personen. Die Stühle absorbieren jedoch nicht im gleichen Ausmass, wie dies z.B. baugleiche Stühle in einem Konferenzraum tun, weil sie unter die Tischplatte geschoben werden.

---

<sup>1</sup> Auch das Chefbüro. Der Raum ist kleiner und somit schwieriger, dafür sitzen nur eine oder maximal zwei Leute im Raum zum Diskutieren oder Telefonieren.

### *Dimensionen und Materialisierung*

Das Sitzungszimmer hat eine Grösse von 5,08 x 3,81 x 2,8 (h) m und damit ein Volumen  $V = 54,19 \text{ m}^3$ . Die Oberflächenanteile  $S_i$  sind folgende:

- Leichtbauwände: 38,64 m<sup>2</sup>
- Fenster: 10,64 m<sup>2</sup>
- Eichenparkett: 19,35 m<sup>2</sup>
- Decke: 19,35 m<sup>2</sup>, davon 16,88 m<sup>2</sup> geschlitzte Brettstapeldecke und 2,48 m<sup>2</sup> Lüftungsverkleidung (3,81 x 0,65 m verputzte Gipskartonplatten)
- Möbeloberflächen (Sitzungszimmertisch): 4,55 m<sup>2</sup>

Zudem sind im Raum:

- 10 gepolsterte Holzstühle in zwei Reihen, alle am Tisch

## **2 Massnahme**

Bei kleineren Räumen für Sprachkommunikation lässt sich mittels grafischer und rechnerischer Verfahren (z. B. mittels Nachhallzeitberechnungen nach Sabine) die geeignete Primär- bzw. Sekundärstruktur des Raumes festlegen.

### *2.1 Optimale Nachhallzeit*

Durch eine Verkürzung der Nachhallzeit wird in erster Linie die Sprachverständlichkeit erhöht. Von Relevanz sind vor allem mittlere und hohe Frequenzen, in diesem Fall Frequenzen ab 200 Hz (männliche Stimme) bzw. ab 315/400 Hz (weibliche Stimme).

Die optimale mittlere Nachhallzeit  $T_m$  liegt nach [3] für Sprache beim Näherungswert 1 s. Bei kleineren Räumen liegt sie tiefer als bei grösseren (kleine Sprachstudios z.B. bei 0,4 s). Basierend auf dem aktuellen Stand des Wissens muss dazu erwähnt werden, dass die Nachhallzeit von Sitzungsräumen die Anforderungen für den Bereich «Unterricht» nach DIN 18041 [4] erfüllen muss. Danach ist eine Sekunde zu lang. In Bezug auf (hör-)behindertengerechten Bauens muss die Nachhallzeit mindestens die Anforderungen der DIN 18041 erfüllen.

#### *2.1.1 Einfluss Raumvolumen*

Aufs Raumvolumen bezogen, lässt sich die optimale mittlere Nachhallzeit  $T_m$  anhand von Bild 4.54 [3] bestimmen:

- Für die Oktavbänder 500 Hz und 1000 Hz liegt sie für das Sitzungszimmer ( $V = 54,19 \text{ m}^3$ ) bei 0,75 s

In der «Richtlinie für die Akustik von Schulzimmern und anderen Räumen für Sprache» der SGA [5] wird der Sollwert der Nachhallzeit  $T_{soll}$  als Mittelwert der Oktavbänder 500 Hz und 1000 Hz abhängig vom Raumvolumen nach Formel 1 festgelegt:<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Der Sollwert nach [5] gilt für den besetzten Zustand. Im unbesetzten Zustand sollte die Nachhallzeit im Allgemeinen nicht mehr als 0,2 s über dem Sollwert liegen.

$$T_{soll} = 0,32 * \log(V) - 0,17$$

Formel 1

mit

$V$  Raumvolumen in  $m^3$

Für das Sitzungszimmer ( $V = 54,19 m^3$ ) liegt er demnach (als Mittelwert der Oktavbändern 500 Hz und 100 Hz) bei 0,38 s. Eingehalten werden muss nach [5] jedoch nicht der Sollwert, sondern die Nachhallzeit muss in einem definierten Toleranzbereich liegen. Diese anzustrebende Frequenzabhängigkeit findet sich in Abbildung 1. Das Diagramm ist normiert auf  $T_{soll}$ !

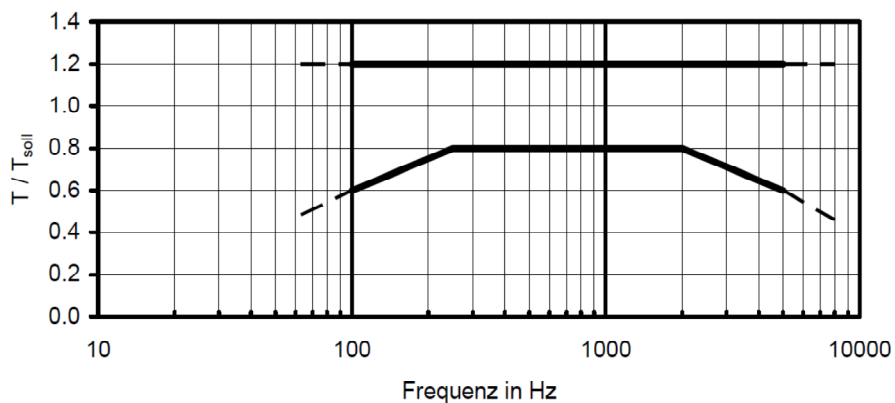


Abbildung 1: Toleranzbereich der empfohlenen Nachhallzeit in Abhängigkeit von der Frequenz für Sprache gemäss DIN 18041, Bild 2 [4]

Wie in Abbildung 1 ersichtlich, liegt die maximal zulässige Nachhallzeit  $T$  über alle Oktavbänder bei  $T_{soll} + 20\%$ . Die tiefste zulässige Nachhallzeit  $T$  ist frequenzabhängig und liegt z.B. bei 100 Hz bei  $T_{soll} - 40\%$ ; bei 250 Hz bei  $T_{soll} - 20\%$ ; usw. Für das Sitzungszimmer ( $T_{soll} = 0,38 s$ ) darf die Nachhallzeit  $T$  demnach maximal 0,46 s betragen und beispielsweise bei 100 Hz 0,23 s; bei 300 Hz 0,30 s und bei 5000 Hz 0,24 s nicht unterschreiten.

Gemäss Suva-Richtlinie [1] liegt der Richtwert für Räume mit  $V = 50 - 200 m^3$  bei 0,5 - 0,8 s.

## 2.2 Technischer Schallabsorber

Durch Addition der Bauteilflächen  $S$ , multipliziert mit dem zugeordneten Absorptionsgrad  $\alpha$  wird die äquivalente Absorptionsfläche  $A$  bestimmt.

Um die akustischen Parameter durch Erhöhung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche  $A$  zu beeinflussen, kommen technische Schallabsorber zum Einsatz. D.h. durch die Verkürzung der Nachhallzeit mittels Anbringung technischer Schallabsorbern wird der Raum einerseits leiser (Dissipation, ein Teil der Schalleistung wird durch Reibung im offenporigen Absorber in Wärme umgewandelt), andererseits wird wie bereits erwähnt die Sprachverständlichkeit erhöht (Echo verschwindet).

### 2.2.1 Fläche

Die nötige Absorberfläche kann über die äquivalente Schallabsorptionsfläche  $A$  eines Raums und der technischen Eigenschaften (Porosität, Strukturfaktor, Strömungswiderstand; und damit der frequenzabhängigen Schallabsorptionsgrade  $\alpha_f$ ) des Absorbers berechnet werden.

In einem ersten Schritt können überschlagsmässig die Werte aus Tabelle 4.16 [3] herangezogen werden:

- Mit einem sehr guten, breitbandigen Absorber mit einem bewerteten Schallabsorptionsgrad  $\alpha_w > 0,8$  sollten beim Sitzungszimmer demnach mindestens 50 % der Raumgrundfläche  $S_B$  verkleidet sein, also ca. 9,5 m<sup>2</sup>
- Mit einem guten bzw. weniger breitbandigen Absorber mit einem bewerteten Schallabsorptionsgrad  $0,8 > \alpha_w > 0,3$  steigt der Flächenanteil auf 100 % der Raumgrundfläche  $S_B$  an, also ca. 19 m<sup>2</sup>

Etwas genauer lässt sie sich anhand Bild 4.53 [3] bestimmen, bzw. lässt sich demnach die äquivalente Schallabsorptionsfläche  $A$  basierend auf der gewünschte Nachhallzeit bestimmen:

- Bei  $V = 54,19 \text{ m}^3$  und  $T_m 0,75 \text{ s}$  entspricht das ca. 15 m<sup>2</sup>. Um dann aus dieser Zahl auf die nötige Zusatzmassnahme zu schliessen, muss man davon die bereits im Raum vorhandene äquivalente Schallabsorptionsfläche  $A$  subtrahieren und den Minuend durch den Schallabsorptionsgrad  $\alpha$  des vorgesehenen Absorbers dividieren
- Beim Sitzungszimmer liegt beispielsweise die vorhandene äquivalente Schallabsorptionsfläche  $A$  bei 500 Hz bei 7,1 m<sup>2</sup> (vgl. Tabelle 1):  $15 \text{ m}^2 - 7,1 \text{ m}^2 = 7,9 \text{ m}^2$ . D.h. die benötigte Fläche mit einem Absorber mit Schallabsorptionsgrad  $\alpha > 0,55$  bei 500 Hz wäre dann  $7,9 \text{ m}^2 : 0,55 = 14,4 \text{ m}^2$

Überschlagsmässig heisst das für das Sitzungszimmer zwei Streifen an Decke/Wand von ca. 1 m Breite mit einem sehr guten, breitbandigen bewerteten Schallabsorptionsgrad  $\alpha_w > 0,8$ . Beziehungsweise fast die gesamte Decke mit einem Absorber mit einem bewerteten Schallabsorptionsgrad  $\alpha_w > 0,55$ .

### 2.2.2 Dicke

Die nötige Absorberdicke ist ebenfalls zum einen abhängig von dessen technischen Eigenschaften (Porosität, Strukturfaktor, Strömungswiderstand; und damit der frequenzabhängigen Schallabsorptionsgrade  $\alpha_f$ ). Zum anderen ist die tiefste zu absorbierende Frequenz und die (dafür) benötigte äquivalente Schallabsorptionsflächen  $A$  Teile der Gleichung.

Muss man z. B. auf Basis des zur Verfügung stehenden Platzes und der benötigten äquivalenten Schallabsorptionsfläche  $A$  bei 200 Hz einen Schallabsorptionsgrad  $\alpha = 0,8$  erreichen, heisst das gemäss Gln (4.17) [3], dass der Absorber 200 mm dick sein muss. Reicht hingegen eine Schallabsorptionsgrad  $\alpha = 0,6$  bei 200 Hz (weil mehr Platz für Absorber zur Verfügung steht), dann beträgt die nötige Absorberdicke ca. 90 mm.

Oder kurz: Wenn ein typengleicher Schallabsorber eine geringere Dicke und damit einhergehende schlechtere Schallabsorptionsgrade  $\alpha_f$  hat, steigt die benötigte Fläche. Zudem können damit tiefere Frequenzen  $f$  nur noch beschränkt bzw. nur durch geeignete Abhängung des Absorbers absorbiert werden. Das heisst, dass wenn ein Absor-

ber hinter Bildern etc. angewendet wird, muss man entweder viele solcher Bilder aufhängen oder diese mit einem grösseren «Polster» versehen – im Falle des Sitzungszimmers würde das ca. 100 mm heissen. Zudem müssten die Bilder auf Kunstseidenstoff oder ähnlich (vgl. Tabelle 4.2 [3]) aufgedruckt sein.

### 2.2.3 Anordnung

Die Anbringung technischer Schallabsorber in einem Raum ist je nach Typ unterschiedlich wirksam. Plattenschwinger sind an denjenigen Stellen besonders wirkungsvoll, wo sehr hohe Schalldruckpegel auftreten. Daher sind solche Schallabsorber in Ecken und Kanten eines Raumes wegen des Druckstaus besonders wirkungsvoll.

Bei porösen Absorbern wird die Schallenergie durch Reibung der Luftmoleküle in Wärme umgewandelt. Das heisst sie sind bei hohen Schallschnellen besonders wirkungsvoll. Hohe Schallschneller treten erst mit gewisser Distanz zu Ecken und Kanten eines Raumes auf (die Raumluft muss sich bewegen können). Entsprechend ist dieser Absorbertyp in der Fläche besonders wirksam (ab ca. 20 cm von Ecken und Kanten entfernt).

Die Absorberflächen sollten auch im Raum verteilt sein: Eine äquivalente Absorberfläche an nur einer Wand ist weniger effizient als z. B. zwei äquivalente Teile links und rechts an der Decke. Zudem:

- Der Absorber sollte bei grösseren Räumen nicht in der Deckenmitte montiert werden, weil man dort eine Reflexion der Schallwellen (Stimme) durchaus wünscht. Bei kleinen Räumen darf die ganze Decke absorbierend gestaltet werden.
- Je grösser die Distanz hinter dem Absorber zur reflektierenden Fläche (Wand/Decke), desto besser werden Tieftonfrequenzen absorbiert (also a, o, u-Laute): Die maximale Schnelle liegt bei  $1/4$  der Schallwellenlänge. D. h. um z. B. die tiefsten Frequenzen im Sprachbereich maximal zu absorbieren (ca. 200 Hz), müsste der Absorber ca. 425 mm abgehängt sein. Allerdings trifft das nur für einen schmalen Frequenzbereich zu, ca. eine Oktavbandbreite [3].

## 2.3 Alternativen

- Beim Sitzungszimmertisch könnte ein Schallabsorber unten hin geklebt werden:
  - Effizienz nicht riesig: Absorber wird durch sitzende Menschen abgeschirmt. Zudem ist die zur Verfügung stehende Installationsfläche sehr gering.
  - Problematik kann bei einer solchen Lösung sein, dass man mit den Kienen den Schaumstoff berührt/spürt und dadurch Stücke wegfallen
  - Sehr ökonomische Lösung
- Schwere Vorhänge (mehrfachgefaltet) aufhängen<sup>3</sup> oder eine (grosse) Garderobe reinstellen
- An den Wänden könnte ein spezielles, von Fraunhofer entwickeltes Whiteboard montiert werden, dass wie ein Plattenschwinger funktioniert und damit vor allem auch in den tieferen Frequenzen sehr effizient ist

---

<sup>3</sup> Die Empa hat auch leichte, gut schallabsorbierende Vorhänge entwickelt

### 3 Prognose

#### 3.1 Berechnung der Nachhallzeiten

Nach Sabine [6] gilt für die Nachhallzeit

$$T = 55,3 \frac{V}{Ac_0} = 0,163 \frac{V}{A} \text{ [s]} \quad \text{Formel 2}$$

mit

$V$  Raumvolumen in  $\text{m}^3$

$c_0$  Schallausbreitungsgeschwindigkeit in Luft;  $c_0 \approx 340 \text{ m/s}$

$A$  äquivalente Schallabsorptionsfläche in  $\text{m}^2$

Anhand der nach Sabine (vgl. Formel 2) berechneten Nachhallzeiten  $T_i$  wurde für verschiedene Produkte die jeweils zu installierenden Flächen  $S$  berechnet.

Die optimale mittlere Nachhallzeit  $T_m$  wurde einerseits anhand von Bild 4.54 [3] bestimmt und liegt, wie vorgängig erwähnt, beim Sitzungszimmer bei 500 bis 1000 Hz bei 0,75 s. Zudem wurde die gemäss [4] maximal zulässig Nachhallzeit (= Toleranzbereich  $T_{\text{soll}} + 20 \%$ ) anhand von Formel 1 und Abbildung 1 bestimmt. Sie liegt, wie ebenfalls vorgängig erwähnt, beim Sitzungszimmer bei 0,46 s. Die Werte sind in Tabelle 1 aufgeführt:



Tabelle 1: Berechnung der Nachhallzeit  $T$  des Sitzungszimmers nach Sabine (Formel 2) mit Variantenstudie. Die minimal benötigten Absorberflächen  $S$  je Variante sind fett markiert, wobei sie sich auf die nicht dunkel eingefärbten Oktavbänder beschränken. Für die Belegung wurden drei Leute angesetzt, die restlichen Stühle sind unter den Tisch geschoben

Raumbegrenzungsflächen	Fläche $S$ [m <sup>2</sup> ]	Oktavband-Mittenfrequenz $f_m$ [Hz]											
		125		250		500		1000		2000		4000	
		Schallabsorptionsgrad $\alpha$ , äquivalente Schallabsorptionsfläche $A$ [m <sup>2</sup> ]											
		$\alpha$	$A$	$\alpha$	$A$	$\alpha$	$A$	$\alpha$	$A$	$\alpha$	$A$	$\alpha$	$A$
<b>Sitzungszimmer</b>													
Gipsfaser-/Gipskartonplatten	39.14	0.02	0.8	0.03	1.2	0.04	1.6	0.05	2.0	0.06	2.3	0.08	3.1
Fenster	10.64	0.12	1.3	0.1	1.1	0.05	0.5	0.04	0.4	0.02	0.2	0.02	0.2
Fussboden (Restfläche)	16.44	0.03	0.5	0.04	0.7	0.04	0.7	0.05	0.8	0.05	0.8	0.05	0.8
Decke	19.35	0.03	0.6	0.04	0.8	0.04	0.8	0.05	1.0	0.05	1.0	0.05	1.0
Holzoberflächen Möbel	4.55	0.1	0.5	0.08	0.4	0.06	0.3	0.05	0.2	0.05	0.2	0.05	0.2
Personen	3.76	0.6	2.3	0.75	2.8	0.8	3.0	0.85	3.2	0.9	3.4	0.85	3.2
Stühle unbesetzt	0.38	0.3	0.1	0.55	0.2	0.55	0.2	0.65	0.2	0.75	0.3	0.75	0.3
Luftabsorption (4 mV)					0.0		0.1		0.2		0.5		5.4
$A_1$ [m <sup>2</sup> ]			6.0		7.1		7.1		8.0		8.8		14.3
$T_1$ [s]			1.5		1.2		1.2		1.1		1.0		0.6
<b>Optimalwerte nach Fasold, W. und Veres, E. 2003</b>													
$T_{opt}$ [s]			0.75		0.75		0.75		0.75		0.75		0.75
$A_{opt}$ [m <sup>2</sup> ]			11.8		11.8		11.8		11.8		11.8		11.8
$\Delta A$ , gemittelt, gerundet [m <sup>2</sup> ]			5.8		4.7		4.7		3.8		3.0		-2.5
<b>Maximalwerte Toleranzbereich nach DIN 18041</b>													
$T_{soll} + 20\%$ [s]			0.46		0.46		0.46		0.46		0.46		0.46
$A_{min}$ [m <sup>2</sup> ]			19.1		19.1		19.1		19.1		19.1		19.1
$\Delta A$ , gemittelt, gerundet [m <sup>2</sup> ]			13.2		12.0		12.1		11.1		10.3		4.9
<b>Variante: Kvadrat Soft Cells (55 mm)</b>													
Absorptionskoeffizient $\alpha$ (Herstellerangabe)		0.20		0.60		0.80		0.55		0.75		0.92	
Nötige Fläche $S$ nach Fasold [m <sup>2</sup> ]			29.1		7.8		5.9		6.9		4.0		-2.7
Nötige Fläche $S$ nach DIN 18041 [m <sup>2</sup> ]			65.8		20.1		15.1		20.2		13.8		5.3
<b>Variante: Ligno Akustik light 3S-33 auf 30 mm Lattung mit Fasermaterial hinterlegt (63 mm)</b>													
Absorptionskoeffizient $\alpha$ (Herstellerangabe)		0.40		0.60		0.75		0.80		0.90		0.75	
Nötige Fläche $S$ nach Fasold [m <sup>2</sup> ]			14.5		7.8		6.3		4.7		3.3		-3.3
Nötige Fläche $S$ nach DIN 18041 [m <sup>2</sup> ]			32.9		20.1		16.1		13.9		11.5		6.5
<b>Variante: Ligno Akustik light 3S-33 auf 30 mm Lattung (33 mm)</b>													
Absorptionskoeffizient $\alpha$ (Herstellerangabe)		0.10		0.30		0.65		0.90		0.95		0.75	
Nötige Fläche $S$ nach Fasold [m <sup>2</sup> ]			58.2		15.7		7.2		4.2		3.1		-3.3
Nötige Fläche $S$ nach DIN 18041 [m <sup>2</sup> ]			131.7		40.2		18.5		12.4		10.9		6.5
<b>Variante: BASF Basotect mit Stoffbespannung (100 mm)</b>													
Absorptionskoeffizient $\alpha$ (Herstellerangabe)		0.18		0.68		0.93		0.90		0.93		0.93	
Nötige Fläche $S$ nach Fasold [m <sup>2</sup> ]			32.3		6.9		5.1		4.2		3.2		-2.7
Nötige Fläche $S$ nach DIN 18041 [m <sup>2</sup> ]			73.2		17.7		13.0		12.4		11.1		5.2
<b>Variante: Sonatech QuietLine - bedrucktes Wandelement (40 mm)</b>													
Absorptionskoeffizient $\alpha$ (Herstellerangabe)		0.05		0.20		0.50		0.62		0.54		0.45	
Nötige Fläche $S$ nach Fasold [m <sup>2</sup> ]			116.4		23.5		9.4		6.1		5.5		-5.5
Nötige Fläche $S$ nach DIN 18041 [m <sup>2</sup> ]			263.4		60.2		24.1		17.9		19.1		10.8
<b>Variante: Triakustik R8D1 (66 mm)</b>													
Absorptionskoeffizient $\alpha$		0.40		0.90		0.65		0.38		0.20		0.10	
Nötige Fläche $S$ nach Fasold [m <sup>2</sup> ]			14.5		5.2		7.2		9.9		14.9		-24.8
Nötige Fläche $S$ nach DIN 18041 [m <sup>2</sup> ]			32.9		13.4		18.5		29.3		51.7		48.6

### 3.2 Grenzwerte werden überschritten

Aus den Berechnungen geht hervor, dass die subjektiv wahrgenommene, unangenehme Raumakustik im Sitzungszimmer wie zu erwarten über die z.T. sehr hohen frequenzabhängigen Nachhallzeiten  $T_{i,f}$  zu erklären ist. Mit 1,5 s bei 125 Hz bzw. 1,2 s bei 250 und 500 Hz liegt diese signifikant über der oberen Grenze nach DIN 18041 [4] (vgl. Kapitel 2.1.1).

Auch die mittlere Nachhallzeit  $T_m$  liegt mit 1,08 s sehr hoch. Dieser Wert liegt deutlich über dem Richtwert der Suva [1] von 0,5 – 0,8 s für (ständige) Arbeitsräume mit  $V = 50 - 200 \text{ m}^3$ .

### 3.3 Variantenstudie

In der unteren Hälfte von Tabelle 1 ist die Variantenstudie aufgeführt. Es lässt sich raus lesen, welche notwendigen Fläche  $S$  in Quadratmeter der verschiedenen Produkte notwendig wären, um die optimale mittlere Nachhallzeit  $T_m$  von 0,75 s nach [3] bzw. die nach DIN 18041 [4] maximal zulässige Nachhallzeit  $T_{soll} + 20 \%$  von 0,46 s zu erreichen.

Auf der günstigen Seite liegen die Variante mit BASF Basotect, welche ca.  $6,9 \text{ m}^2$  bzw. ca.  $17,7 \text{ m}^2$  benötigt, und die Varianten mit Soft Cells bzw. Lignotrend, welche beide ca.  $7,8 \text{ m}^2$  bzw. ca.  $20 \text{ m}^2$  verlangen. Die Maximalwerte liegen mit solchen Produkten (wenig Tiefenabsorption) in den tiefen Oktavbänden, also bei 250 Hz (wie vorgängig erwähnt spielt der Oktavband 125 Hz bei der Sprachverständigung weniger eine Rolle und wurde deshalb nicht in die Bewertung einbezogen).

## 4 Vorschlag

### 4.1 Sichtbare Brettstapeldecke

Dem Wunsch entsprechend, dass die Brettstapeldecke in ihren Hauptzügen sichtbar bleiben soll und daher nur wenig Platz zur Verfügung steht, sind Konstruktionen mit Lignotrend oder Soft Cells angemessen. Beide Produkte erreichen mit ca.  $7,8 \text{ m}^2$  bzw.  $20 \text{ m}^2$  die nötigen Werte. Des Weiteren ist auch eine Variante mit Stoff überzogenem Basotect eine Möglichkeit, damit wird der Zielwert mit ca.  $6,9 \text{ m}^2$  bzw. ca.  $17,7 \text{ m}^2$  (bereits) erreicht, jedoch ist die Konstruktion mit 100 mm etwas dicker.

Es ist einerseits eine ästhetische Präferenz, ob lieber Holzelemente (Lignotrend) verbaut oder ein neues in sich abgeschlossenes Element (Soft Cells) eingebaut werden soll (welches z. B. dank magnetischer Befestigung flexibler ist).

Andererseits spielt auch der ökonomische Aspekt eine Rolle, variieren die Preise für die Produkte doch recht stark: Die Lignotrend-Elemente kosten ca. CHF 150 pro  $\text{m}^2$  (plus Abdeckleisten und Unterkonstruktion), die Soft Cells ca. CHF 430 pro  $\text{m}^2$  (alles Material inkl.). Ökonomisch am interessantesten ist die Lösung mit dem BASF Basotect Schaum, der mit Stoff überzogen wird. Basotect kostet CHF 600 pro  $\text{m}^3$ , d.h. in diesem Fall CHF 60 pro  $\text{m}^2$ . Dabei darf nicht vergessen werden, dass zudem gut 10 % weniger Material/Fläche benötigt wird, jedoch noch ein Stoffüberzug nötig ist.

In jedem Fall stellt sich die Frage, wo die Elemente installiert werden sollen:

- Die stirnseitige Wand wird als Projektionswand gebraucht. Als Installationsfläche ist sie deshalb eher weniger geeignet
- Die beiden Flächen links und rechts neben dem Fenster sind flächenmässig mit ca. 2 m<sup>2</sup> viel zu klein, um als alleinige Massnahme zu taugen
- Bedingt durch die engen Platzverhältnisse bieten die beiden längsseitige Wände keine echten Möglichkeiten (ausser im oberen Drittel, wobei das ästhetisch fraglich ist)
- Streifen an der Decke stellen architektonisch eine Herausforderung dar (Anschlüsse, unterschiedliche Schlitzabstände)

## 4.2 Bekleidete Brettstapeldecke

Basierend auf dem Umstand, dass einige Quadratmeter Schallabsorber nötig sind, bzw. um die DIN 18041 und damit die Richtlinie der SGA [5] zu erfüllen, beachtliche Mengen nötig sind, um die Nachhallzeit  $T$  im Sitzungszimmer zu optimieren (fast die Hälfte der Raumgrundfläche bzw. die gesamte Raumgrundfläche(!)), sollte trotz des geäusserten Wunsches, die Decke so zu belassen wie sie ist, eine Deckenbekleidung als Option in Betracht gezogen werden.

Wenn eine solche Variante nämlich mit Lignotrend-Elementen ausgeführt wird, deren geschlitzte Oberfläche aus astloser Weisstanne besteht, verlöre der Raum seinen ästhetisch angenehmen Charakter sicherlich nicht, bzw. liesse er sich damit sogar noch zusätzlich unterstreichen. Zudem würde sich damit auch die Frage zu einem grossen Teil erübrigen, wo man die im Minimum ca. 7,8 m<sup>2</sup> bis 20 m<sup>2</sup> Absorberfläche montieren soll.

### 4.2.1 Einfluss einer kompletten Deckenbekleidung

Da bei einer solchen Lösung die Fläche  $S$  ca. 16,88 m<sup>2</sup> beträgt, muss ggf. der Absorber darauf abgestimmt werden.

Nach Sabine (vgl. Formel 2) sind deshalb die zu erwartenden Nachhallzeiten  $T$  bei 16,88 m<sup>2</sup> Absorberfläche  $S$  für das Lignotrend-Element Ligno Akustik light S3-33 berechnet worden. Und zwar für zwei Installationsarten: Einmal auf Lattung und einmal auf Lattung mit Fasermaterial hinterlegt. Erstere Variante hat in den Oktavbändern 125 Hz – 500 Hz kleinere Schallabsorptionsgrade  $\alpha$ , verläuft danach in etwas gleich wie die Variante mit Fasermaterial hinterlegt.

Die zu erwartenden Nachhallzeiten  $T$  für die Variante auf Lattung sind in Tabelle 2 dargestellt, jene für die Variante auf Lattung mit Fasermaterial hinterlegt in Tabelle 3. In beiden Tabellen sind Nachhallzeiten  $T$  angegeben, zusammen mit dem Sollwert der Nachhallzeit  $T_{soll}$  nach der SGA-Richtlinie [5] (vgl. Kapitel 2.1.1):

Tabelle 2: Berechnung der zu erwartenden Nachhallzeit  $T$  nach Sabine (Formel 2) für das Sitzungszimmers nach Installation von Ligno Akustik light S3-33 auf Lattung an der Brettstapel-Decke (ohne Lüftungsverkleidung;  $S = 16,88 \text{ m}^2$ ). Für die Belegung wurden zehn Leute angesetzt (besetzter Zustand).

Raumbegrenzungsflächen	Fläche $S$ [m <sup>2</sup> ]	Oktavband-Mittenfrequenz $f_m$ [Hz]											
		125		250		500		1000		2000		4000	
		Schallabsorptionsgrad $\alpha$ , äquivalente Schallabsorptionsfläche $A$ [m <sup>2</sup> ]											
		$\alpha$	$A$	$\alpha$	$A$	$\alpha$	$A$	$\alpha$	$A$	$\alpha$	$A$	$\alpha$	$A$
<b>Sitzungszimmer</b>													
Gipsfaser-/kartonplatten	39.14	0.02	0.8	0.03	1.2	0.04	1.6	0.05	2.0	0.06	2.3	0.08	3.1
Fenster	10.64	0.12	1.3	0.1	1.1	0.05	0.5	0.04	0.4	0.02	0.2	0.02	0.2
Fussboden (Restfläche)	20.26	0.03	0.6	0.04	0.8	0.04	0.8	0.05	1.0	0.05	1.0	0.05	1.0
Decke (Gipskarton)	2.48	0.02	0.0	0.03	0.1	0.04	0.1	0.05	0.1	0.06	0.1	0.08	0.2
Decke mit Akustikpanel	16.88	0.1	1.7	0.3	5.1	0.65	11.0	0.9	15.2	0.95	16.0	0.75	12.7
Holzoberflächen Möbel	4.55	0.1	0.5	0.08	0.4	0.06	0.3	0.05	0.2	0.05	0.2	0.05	0.2
Personen	8.34	0.6	5.0	0.75	6.3	0.8	6.7	0.85	7.1	0.9	7.5	0.85	7.1
Stühle unbesetzt	0.00	0.3	0.0	0.55	0.0	0.55	0.0	0.65	0.0	0.75	0.0	0.75	0.0
Luftabsorption (4 mV)					0.0		0.1		0.2		0.5		5.4
$A_1$ [m <sup>2</sup> ]			9.9		14.8		21.0		26.2		28.0		30.0
$T_1$ [s]		0.9		0.6		0.4		0.3		0.3		0.3	
<b>Sollwert der Nachhallzeit <math>T_{soll}</math> gemäss SGA Richtlinie für die Akustik von Schulzimmern und anderen Räumen für Sprache</b>													
$T_{soll}$ [s]		0.38		0.38		0.38		0.38		0.38		0.38	
<b>Toleranzbereich der Nachhallzeit <math>T_{soll}</math> gemäss SGA Richtlinie für die Akustik von Schulzimmern und anderen Räumen für Sprache</b>													
$T_{soll, max}$ [s]		0.46		0.46		0.46		0.46		0.46		0.46	
$T_{soll, min}$ [s]		0.24		0.31		0.31		0.31		0.28		0.26	
Erfüllt		nein		nein		ja		ja		ja		ja	

Tabelle 3: Berechnung der zu erwartenden Nachhallzeit  $T$  nach Sabine (Formel 2) für das Sitzungszimmers nach Installation von Ligno Akustik light S3-33 auf Lattung mit Fasermaterial hinterlegt an der Brettstapel-Decke (ohne Lüftungsverkleidung;  $S = 16,88 \text{ m}^2$ ). Für die Belegung wurden zehn Leute angesetzt (besetzter Zustand).

Raumbegrenzungsflächen	Fläche $S$ [m <sup>2</sup> ]	Oktavband-Mittenfrequenz $f_m$ [Hz]											
		125		250		500		1000		2000		4000	
		Schallabsorptionsgrad $\alpha$ , äquivalente Schallabsorptionsfläche $A$ [m <sup>2</sup> ]											
		$\alpha$	$A$	$\alpha$	$A$	$\alpha$	$A$	$\alpha$	$A$	$\alpha$	$A$	$\alpha$	$A$
<b>Sitzungszimmer</b>													
Gipsfaser-/kartonplatten	39.14	0.02	0.8	0.03	1.2	0.04	1.6	0.05	2.0	0.06	2.3	0.08	3.1
Fenster	10.64	0.12	1.3	0.1	1.1	0.05	0.5	0.04	0.4	0.02	0.2	0.02	0.2
Fussboden (Restfläche)	20.26	0.03	0.6	0.04	0.8	0.04	0.8	0.05	1.0	0.05	1.0	0.05	1.0
Decke (Gipskarton)	2.48	0.02	0.0	0.03	0.1	0.04	0.1	0.05	0.1	0.06	0.1	0.08	0.2
Decke mit Akustikpanel	16.88	0.4	6.8	0.6	10.1	0.75	12.7	0.8	13.5	0.9	15.2	0.75	12.7
Holzoberflächen Möbel	4.55	0.1	0.5	0.08	0.4	0.06	0.3	0.05	0.2	0.05	0.2	0.05	0.2
Personen	8.34	0.6	5.0	0.75	6.3	0.8	6.7	0.85	7.1	0.9	7.5	0.85	7.1
Stühle unbesetzt	0.00	0.3	0.0	0.55	0.0	0.55	0.0	0.65	0.0	0.75	0.0	0.75	0.0
Luftabsorption (4 mV)					0.0		0.1		0.2		0.5		5.4
$A_1$ [m <sup>2</sup> ]			14.9		19.9		22.7		24.5		27.2		30.0
$T_1$ [s]		0.6		0.4		0.4		0.4		0.3		0.3	
<b>Sollwert der Nachhallzeit <math>T_{soll}</math> gemäss SGA Richtlinie für die Akustik von Schulzimmern und anderen Räumen für Sprache</b>													
$T_{soll}$ [s]		0.38		0.38		0.38		0.38		0.38		0.38	
<b>Toleranzbereich der Nachhallzeit <math>T_{soll}</math> gemäss SGA Richtlinie für die Akustik von Schulzimmern und anderen Räumen für Sprache</b>													
$T_{soll, max}$ [s]		0.46		0.46		0.46		0.46		0.46		0.46	
$T_{soll, min}$ [s]		0.24		0.31		0.31		0.31		0.28		0.26	
Erfüllt		nein		ja		ja		ja		ja		ja	

Aus den dargestellten Berechnungen Tabelle 2 und Tabelle 3 geht hervor, dass in beiden Fällen der Toleranzbereich der Nachhallzeit nach [5] bei voller Besetzung (= 10 Leute) nur in den tiefen Oktavbändern nicht erreicht wird. Im unbesetzten Zustand sind die Nachhallzeiten ca. 0,1 s höher und damit werden ebenfalls nur in den tiefen Oktavbändern die Toleranzwerte nicht erreicht (Sollwert der Nachhallzeit  $T_{soll} + \text{max. } 0,2 \text{ s}$ ) (Resultate nicht dargestellt).

Da die Werte im besetzten Zustand wie auch im unbesetzten bzw. teilbesetzten Zustand speziell bei der Variante mit Fasermaterial hinterlegt in allen Oktavbändern ausser bei 125 Hz (bzw. auch 250 Hz bei der einfacheren Variante) sehr gut erreicht werden, kann man davon ausgehen, dass mit beiden Varianten eine sehr gute Raumakustik zu erwarten ist. Der Physik folgend, werden die tiefen Frequenzen bei der mit Fasermaterial hinterlegten Variante etwas grosszügiger geschluckt. Diese Frequenzen sind jedoch im Sprachbereich weniger vorhanden und Unterschiede würden daher wohl bei der konventionellen Nutzung des Raumes (= Sprache) faktisch nicht wahrnehmbar sein.

#### 4.2.2 Zukunftsorientierte Wahl

Auf der Tatsache basierend, dass beide Varianten im Sprach-relevanten Spektrum gute Resultate liefern, ergibt sich keine klare Präferenz. Indessen sollte zukunftsorientiert, und damit zur Vorbeugung für eine etwaige Nutzung des Sitzungszimmers mit Audiogeräten (Präsentationsfilme mit Musik etc.), die Variante Ligno Akustik light 3S-33 auf Lattung mit Fasermaterial hinterlegt eingebaut werden. Denn in einem solchen Fall, also bei einer Nutzung von Audiogeräten im Sitzungszimmer, würde die einfache Variante auf Lattung mit hoher Wahrscheinlichkeit eine spürbar ungünstigere Raumakustik bieten als die hinterlegte Variante. Denn die Variante ohne Hinterlegung weist doch z.B. bei 125 Hz eine Nachhallzeit  $T$  von bereits 0,9 s auf. Nach dem physikalischen Grundsatz steigt die Nachhallzeit bei tieferen Frequenzen weiter an. Die Variante Ligno Akustik light 3S-33 auf Lattung mit Fasermaterial hinterlegt bietet hier grössere Reserven.

## 5 Referenzen

---

- 1 Anonymus: *Akustische Grenz- und Richtwerte (86048.d)*. Suva, Luzern, 2010
- 2 Drotleff, H. und Wack, R.: *Entwicklung von integrierten Schallabsorbern für Holzbausysteme mit hohem Vorfertigungsgrad - Abschlussbericht*. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2009
- 3 Fasold, W. und Veres, E.: *Schallschutz und Raumakustik in der Praxis*. Huss-Medien GmbH, Berlin, 2003
- 4 Anonymus: *DIN 18041 <Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen>*. Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin, 2004
- 5 Anonymus: *Richtlinie für die Akustik von Schulzimmern und anderen Räumen für Sprache (SGA 2004-06-21)*. Schweizerische Gesellschaft für Akustik, Sempach Station, 2004
- 6 Sabine, W.C.: *Collected papers on acoustics*. M. A., Harvard University Press, Cambridge, 1927