

# Diplomarbeit

Zusammenfassung

zur Erlangung des akademischen Grades  
eines  
Diplomingenieurs (FH)

Hochschule für angewandte Wissenschaften und Kunst  
Fachhochschule Hildesheim  
Fakultät Bauwesen  
Fachrichtung Holzingenieurwesen

**Oliver Troska**

Mat.-Nr. 326506  
Hildesheim

Diplomthema  
Akustik in Räumen für Mehrzwecknutzung  
am Beispiel der Aula der HAWK

WS 2004/2005

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer  
2. Prüfer: Dipl. – Ing. Helgo Heuer



**Inhaltsverzeichnis:**

1	Abstract	3
2	Einleitung	4
3	Denkmalpflegerische Anforderungen	4
3.1	Einleitung	4
3.2	Denkmalverträglichkeit	5
3.3	Raumakustische Instandsetzung kontra denkmalpflegerische Anforderungen	5
4	Vergleich der Rechenergebnisse	6
4.1	Variante 1: Vorträge, Unterrichts- und Klausurenbetrieb	6
4.1.1	Variante 1.1: 30 Personen mit konzentrierter Arbeitsweise	6
4.1.2	Variante 1.2: 30 Personen mit unkonzentrierter Arbeitsweise	7
4.1.3	Variante 1.3: 60 Personen mit konzentrierter Arbeitsweise	9
4.1.4	Variante 1.4: 60 Personen mit unkonzentrierter Arbeitsweise	10
4.2	Variante 2: Feierlichkeiten	11
4.2.1	Variante 2.1: Sprachnutzung in vollbesetztem Zustand (ca. 200 Personen)	11
4.2.2	Variante 2.2: Musikdarbietung in vollbesetztem Zustand (ca. 200 Personen)	12
4.3	Bewertung der Instandsetzungskonzepte	13
4.3.1	Variante 1.1 und 1.2	13
4.3.2	Variante 1.3 und 1.4	13
4.3.3	Variante 2.1 und 2.2	14
5	Fazit	15
6	Anhang A: Legende, Leistungsverzeichnis der Absorber der Variante 1	16
6.1	Legende	16
6.2	Verteilung der Absorber	16
6.2.1	Leistungsverzeichnis	17
7	Anhang B: Legende, Leistungsverzeichnis der Absorber der Variante 2	19
7.1	Legende	19
7.2	Verteilung der Absorber	19
7.2.1	Leistungsverzeichnis	20
8	Quellenverzeichnis	21
8.1	Befragte Personen	21
8.2	Verzeichnis der Abbildungen	22
8.3	Verzeichnis der Tabellen	22
8.4	Verzeichnis der Diagramme	22
8.5	Begriffsbestimmungen (chronologisch)	22



## 1 Abstract

The revised version of DIN 18041 [1] regularises fundamental demands for the acoustical quality in small to medium sized rooms. This standard determines the occupancy of a room and enacts designing directives. Therefore it is a useful tool for the acoustic design of rooms for voice communication.

The auditorium of the HAWK is a listed building. The preservation of historical buildings has to be taken into account in order to fulfil the conceptual formulation.

Hence all concepts for reconditioning the room in a room acoustical manner rely on the basic question how to arrange the reconditioning with the bid of preservation.

For the formulation of the problem statement different room utilisations with its actual state have been entered into the room acoustical software CATT Acoustic. These models reflect the actual room utilisations with different levels of occupation.

The subjective impression of the listener has been confirmed by the calculation results: The acoustical design of the auditorium does not fulfil the fundamental demands for the acoustical quality in any model.

New, highly efficient, fibre – free absorbers make it possible to encroach upon the structure of the surface in a fractional way. With this method the fundamental demands for the acoustical quality can be ensured without destroying the structure or falsifying the overall impression of the room.

In some models where a high level of audience occupation dominates, these arrangements are insufficient. Due to the absorption of sound, activated by the audience the results are situated below the recommended values.

Because of the fact that electroacoustic equipment exists, it will be a part of the concept for reconditioning the auditorium where a lot of audience is expected.



## **2 Einleitung**

Durch einfache Berechnungs- und Messmethoden [14] hat sich gezeigt, dass die Aula einer raumakustischen Verbesserung bedarf. Mit diesen Berechnungsmodellen ist es aber nicht möglich, eine klare Aussage über eine raumakustische Verbesserung des Raumes zu treffen. Dies liegt daran, dass die Empfehlungen der zu erreichenden Optimalwerte des Nachhalles und der beschriebenen Energiekriterien für Sprache und Musik gegensätzlich sind. Somit müssen zur Verbesserung der Raumakustik andere Maßstäbe gelten.

Mit Hilfe einer numerischen Betrachtungsweise kann die beschriebene Problematik gelöst werden. Ziel der Computersimulation ist es, die Kriterien im Vorfeld zu berechnen und zu bewerten.

Ein zusätzlicher Problempunkt, der in dieser Arbeit nicht ohne Auswirkungen sein wird, besteht in der akustischen Verbesserung der Aula der HAWK unter Berücksichtigung denkmalpflegerischer Gesichtspunkte. Dies wird bei der Wahl der Mittel und Möglichkeiten, mit denen der Raum verbessert werden kann, und bei der folgenden Variantenbetrachtung, die dadurch wenig Spielraum zulässt, eine entscheidende Rolle spielen.

In dieser Zusammenfassung wird auf die Grundsätze der Denkmalpflege eingegangen. Des Weiteren wird ein Gesamtkonzept der verschiedenen Varianten, welche die unterschiedlichen Besetzungszustände beschreiben, mit dem momentanen raumakustischen Zustand der Aula und den Messungen im unbesetzten Zustand verglichen.

Dem Instandsetzungskonzept ist ein Leistungsverzeichnis der verwendeten Absorber angefügt, um einen genaueren Überblick über die Maßnahmen zu erhalten.

## **3 Denkmalpflegerische Anforderungen**

### **3.1 Einleitung**

Denkmäler aller Art sind ein Zeugnis früherer Epochen und kostbare Kulturgüter. Da es nur noch einen festen Bestand dieser Denkmäler gibt, besteht ein gesellschaftliches Interesse an der Erhaltung von Baudenkmalern. Der Wert dieser Zeugnisse erklärt sich aus dem Verständnis darüber, dass Kulturgüter sich nicht einfach vermehren lassen. Beseitigt man ein Baudenkmal, so geht nicht nur ein Teil unserer baukulturellen Geschichte, sondern auch ein Teil unserer Kultur verloren. Aus diesen Gründen obliegen diese Zeugnisse einem gesetzlichen Schutz. Die Erhaltung und die Pflege der unter Denkmalschutz gestellten Kulturgüter sind daher oberstes Gebot.



### 3.2 Denkmalverträglichkeit

Das oberste Ziel der Denkmalschutzgesetze ist der absolute, optimierte Erhalt der veralteten (Bau) Substanz. Aus diesem Grund müssen alle notwendigen Maßnahmen wie Erhaltung und Instandsetzung den Voraussetzungen der Denkmalverträglichkeit entsprechen.

Diese sind:

- Eignung der Maßnahme
- Notwendigkeit
- Verhältnismäßigkeit
- Minimierung des Eingriffes

### 3.3 Raumakustische Instandsetzung kontra denkmalpflegerische Anforderungen

Zielsetzung dieser Arbeit ist es, die Aula der HAWK unter dem Aspekt der verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten (*siehe Varianten Kapitel 4*) raumakustisch instand zu setzen.

**Die entscheidende Frage, die sich hierbei zwingend stellt, ist in wie fern sich eine raumakustische Instandsetzung mit dem Gebot der Erhaltung, wie sie in der Charta von Venedig [15] verankert ist, vereinbaren lässt.**

Der Artikel 5 der Charta beschreibt diese Problematik [15, Seite 174, D 19]:

*„Die Erhaltung der Denkmäler wird immer begünstigt durch eine der Gesellschaft nützliche Funktion. Ein solcher Gebrauch ist daher wünschenswert, darf aber Struktur und Gestalt der Denkmäler nicht verändern. Nur innerhalb dieser Grenzen können durch die Entwicklung gesellschaftlicher Ansprüche und durch Nutzungsänderungen bedingte Eingriffe geplant und bewilligt werden.“*

Dies bedeutet, dass der Erhalt von Denkmälern dann begünstigt wird, wenn er einer zeitgemäßen Nutzung zugeführt wird. Es muss in dieser Frage nun ein Konsens zwischen der Erhaltung kulturellen Erbes und der augenblicklichen Nutzung dieses Raumes geschaffen werden. Eine nicht zu „überhörende“ Tatsache ist es, dass der subjektive Höreindruck der Aula durch die Auswertung der numerischen Simulationsergebnisse für eben diese Nutzungen bestätigt wurde. Fakt ist auch, dass die zu beurteilenden Varianten nicht aus der Luft gegriffen sind, sondern es sich um tatsächliche Situationen handelt. Es entspricht folglich nicht der Tatsache, dass diese Situationen erfunden worden sind, um auf einer raumakustischen Ertüchtigung zu bestehen. Es müssen daher gewisse Anforderungen an die Hörsamkeit gestellt werden. Infolge dessen ist eine gewisse Notwendigkeit für eine raumakustische Instandsetzung vorhanden, da die Aula in den bereits beschriebenen Varianten genutzt wird. Um im folgenden Kapitel auf die verschiedenen Instandsetzungskonzepte einzugehen, ist zu erwähnen, dass es bereits innovative raumakustische Produkte auf dem



Markt gibt, die es nicht nötig machen die Struktur der Oberflächen und den Gesamteindruck der Aula derart zu verändern, dass der Eindruck entstehen könnte, die kulturelle und geschichtliche Bedeutung des Raumes wird aufgrund einer erzwungenen Nutzung in den Hintergrund gedrängt.

Es obliegt jedoch den Behörden die Befugnis, die Instandsetzungskonzepte zu bewerten. In der Literatur wurde aufgezeigt, dass optimale Planungsergebnisse, die sehr moderat gegenüber der Erhaltung eines Denkmals waren, hätten erreicht werden können, wenn die strengen Auflagen der Behörden den Planungen nicht konträr gegenübergestanden hätten.

#### 4 Vergleich der Rechenergebnisse

##### 4.1 Variante 1: Vorträge, Unterrichts- und Klausurenbetrieb

In dieser Variante steht die Sprachkommunikation im Vordergrund. In den folgenden Varianten 1.1-1.4 wird für die äquivalente Schallabsorptionsfläche von Publikum die Tabelle B.2 aus [1] zugrunde gelegt.

Zeile	Personen; Gestühl	Äquivalente Schallabsorptionsfläche A in m <sup>2</sup>					
		125	250	500	1000	2000	4000
12	Schüler ... an Holztischen; 3 m <sup>2</sup> /Person	0,05	0,33	0,43	0,32	0,38	0,37

**Tabelle 4-1 Auszug aus Tabelle B.2 [1]**

##### 4.1.1 Variante 1.1: 30 Personen mit konzentrierter Arbeitsweise

Der Gesamtstörgeräuschpegel beruht auf durchgeführten Messungen (*siehe Anhang Diplomarbeit*):

Frequenz [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
L <sub>N, ges</sub> [dB]	33,0	27,0	21,5	18,0	18,0	12,5

**Tabelle 4-2 Gesamtstörgeräuschpegel L<sub>N, ges</sub> Variante 1.1**

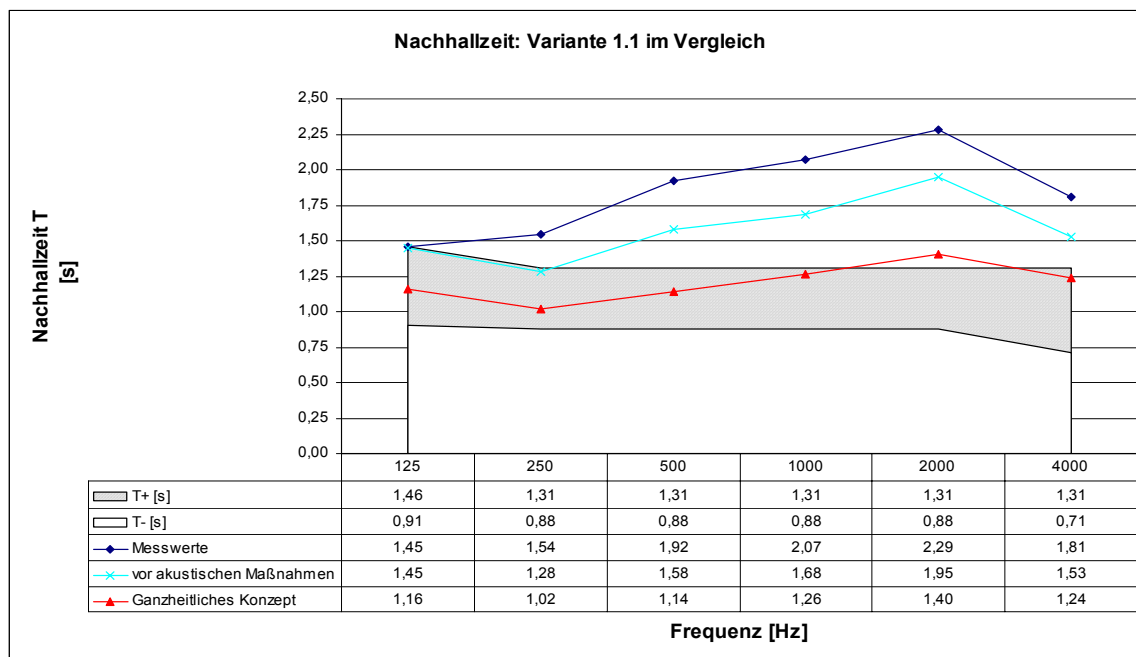
Der Redner bedient sich einer normalen Stimmlautstärke:

Frequenz [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
L <sub>p, 1m</sub> [dB]	51,2	57,2	59,8	53,5	48,8	43,8

**Tabelle 4-3 Schalldruckpegel für normale Stimmlautstärke [22]**



Nachhallzeit:



**Diagramm 4-1 Variante 1.1: Nachhallzeiten im Vergleich**

Energiekriterien:

	C <sub>50</sub> [dB]		STI [%]		ΔL [dB (A)]	
	soll	ist	soll	ist	soll	ist
Ohne Maßnahmen	> 0	-1,5 ... 5,5	> 50	> 47,9	< 5	< 4,47
Ganzheitliches Konzept	> 0	-0,3 ... 6,6	> 50	> 51,7	< 5	< 5,17

**Tabelle 4-4 Variante 1.1: Energiekriterien im Vergleich**

#### 4.1.2 Variante 1.2: 30 Personen mit unkonzentrierter Arbeitsweise

Es addiert sich zu den bauseitigen Störgeräuschen  $L_{N, Bau}$  noch der Sprachpegel der Zuhörer  $L_s$  hinzu. VDI 4100 [4] gibt den bewerteten Sprachpegel für gedämpfte Sprache mit 58 dB (A) an. Nach Berechnungen (*siehe Anhang Diplomarbeit*) stellt sich der Gesamtstörgeräuschpegel  $L_{N, ges}$  für unkonzentrierte Arbeitsweise folgendermaßen dar:

Frequenz [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
$L_{N, ges}$ [dB]	44,9	42,7	37,7	31,7	26,8	21,0

**Tabelle 4-5 Gesamtstörgeräuschpegel  $L_{N, ges}$  Variante 1.2**



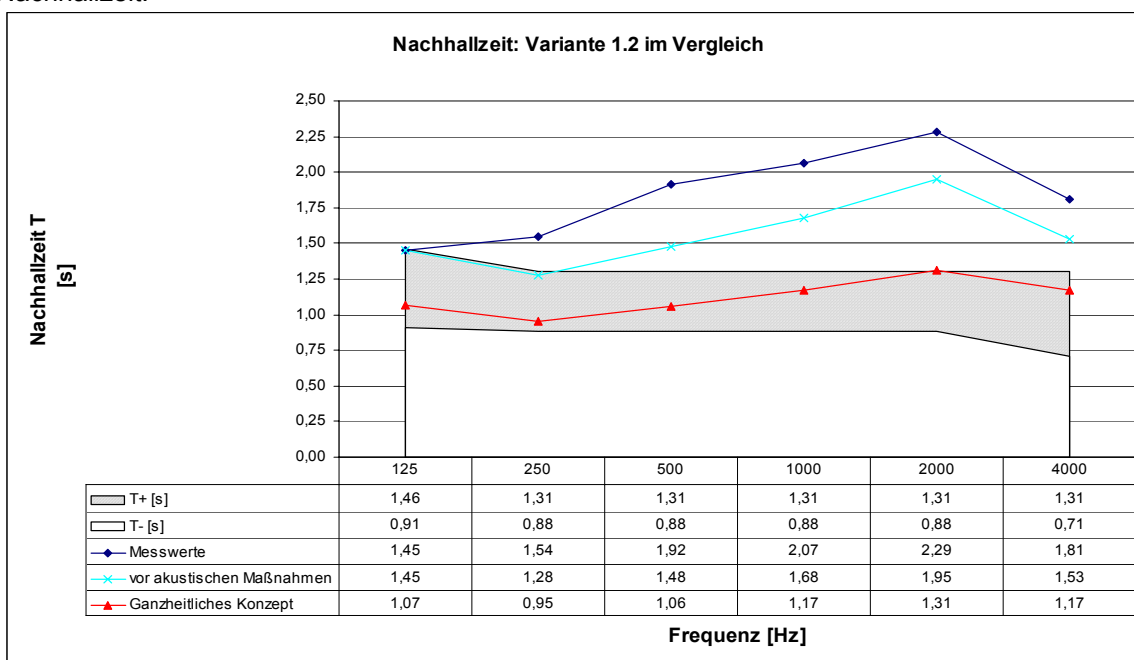
Es besteht eine direkte Abhängigkeit zwischen dem Störschalldruckpegel und der Lautstärke der Sprache [16]. Deshalb bedient sich der Sprecher einer gehobeneren Lautstärke seiner Sprache und wird auf ein 50 cm hohes Podest gestellt.

Der frequenzabhängige Schalldruckpegel für gehobeneren Stimmlautstärke ist wie folgt definiert:

Frequenz [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
$L_{p, 1m}$ [dB]	55,5	61,5	65,5	62,4	56,8	51,3

**Tabelle 4-6 Schalldruckpegel für gehobene Stimmlautstärke [22]**

Nachhallzeit:



**Diagramm 4-2 Variante 1.2: Nachhallzeiten im Vergleich**

Energiekriterien:

	$C_{50}$ [dB]		STI [%]		$\Delta L$ [dB (A)]	
	soll	ist	soll	ist	soll	ist
Ohne Maßnahmen	> 0	-2,0 ... 5,2	> 50	> 45,9	< 5	< 3,84
Ganzheitliches Konzept	> 0	-0,2 ... 5,6	> 50	> 50	< 5	< 5,1

**Tabelle 4-7 Variante 1.2: Energiekriterien im Vergleich**





#### 4.1.3 Variante 1.3: 60 Personen mit konzentrierter Arbeitsweise

Es gelten die unter Kapitel 4.1.1 festgelegten Parameter. Der Unterschied hierbei ist aber, dass doppelt so viele Personen im Raum sind. Dies hat zur Folge, dass der Schall, aufgrund der höheren Schallabsorptionsfläche des Publikums, wesentlich mehr absorbiert wird, als in Variante 1.1. Dadurch ergeben sich andere Rechenergebnisse als in der Betrachtung des Raumes mit nur 30 Personen.

Nachhallzeit:

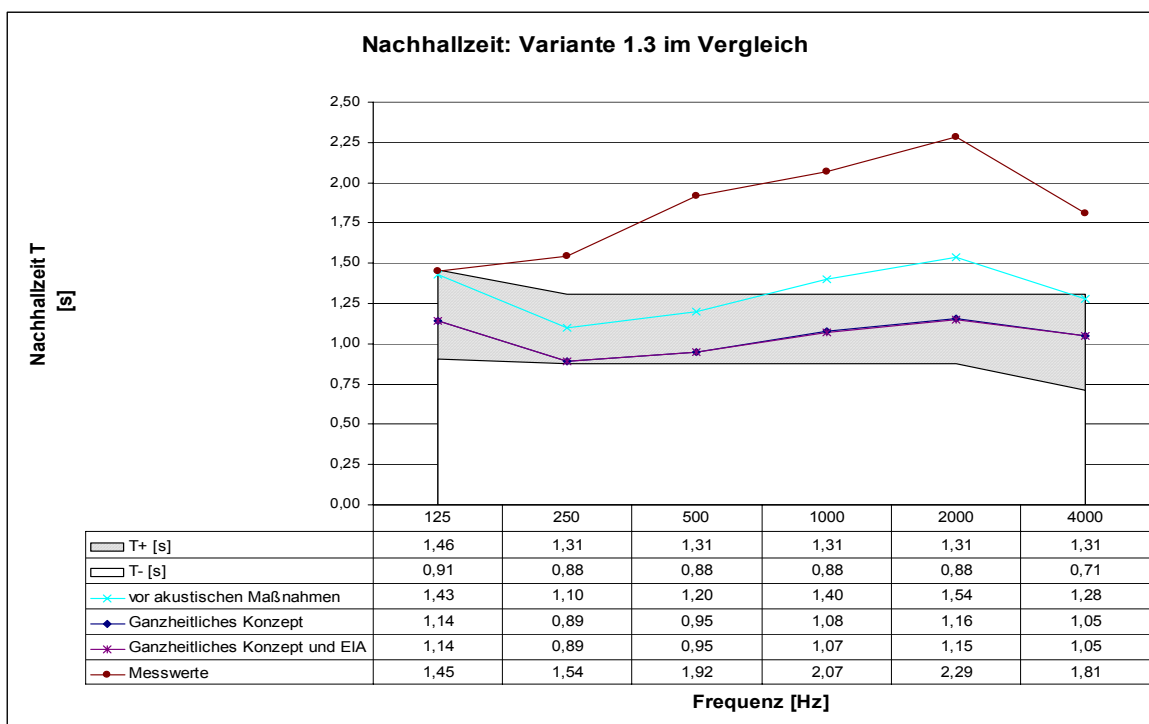


Diagramm 4-3 Variante 1.3: Nachhallzeiten im Vergleich

Energiekriterien:

	C <sub>50</sub> [dB]		STI [%]		ΔL [dB (A)]	
	soll	ist	soll	ist	soll	ist
Ohne Maßnahmen	> 0	-3,4 ... 4,1	> 50	> 47,1	< 5	< 6,54
Ganzheitliches Konzept	> 0	-1,4 ... 6,1	> 50	> 50,5	< 5	< 7,72
Ganzheitliches Konzept mit EIA	> 0	-0,1 ... 6,5	> 50	> 55,5	< 5	< 0,28

Tabelle 4-8 Variante 1.3: Energiekriterien im Vergleich



#### 4.1.4 Variante 1.4: 60 Personen mit unkonzentrierter Arbeitsweise

Der Parameter für den frequenzabhängigen Schalldruckpegel des Sprechers unter Kapitel 4.1.2 ist identisch, jedoch ändert sich der Gesamtstör Schalldruckpegel aufgrund der Abhängigkeit des diffusen Schalldruckpegels von der äquivalenten Schallabsorptionsfläche (siehe Diplomarbeit Kapitel 3-3).

Der Gesamtstör Schalldruckpegel in dieser Variante ist in folgender Tabelle festgelegt.

Frequenz [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
$L_{N, ges}$ [dB]	45,1	42,3	37,0	31,1	26,1	20,6

Tabelle 4-9 Gesamtstörgeräuschpegel  $L_{N, ges}$  Variante 1.4

Nachhallzeit:

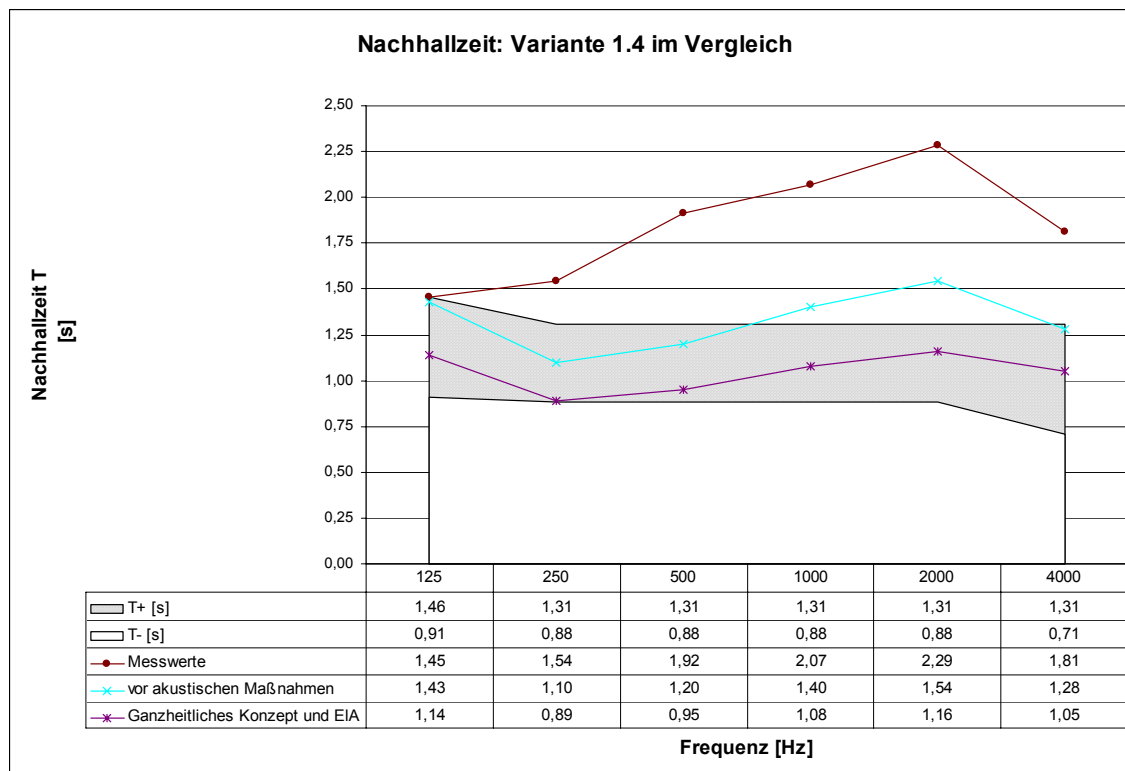


Diagramm 4-4 Variante 1.4: Nachhallzeiten im Vergleich

Energiekriterien:

	$C_{50}$ [dB]		STI [%]		$\Delta L$ [dB (A)]	
	soll	ist	soll	ist	soll	ist
Ohne Maßnahmen	> 0	-3,3 ... 5,5	> 50	> 44,9	< 5	< 6,51
Ganzheitliches Konzept mit EIA	> 0	-0,3 ... 6,2	> 50	> 52,9	< 5	< 0,25

Tabelle 4-10 Variante 1.4: Energiekriterien im Vergleich



## 4.2 Variante 2: Feierlichkeiten

Hier steht die Mehrzwecknutzung im Vordergrund. In den Varianten 2.1 und 2.2 wird für die äquivalente Schallabsorptionsfläche von Publikum die Tabelle B.2 aus [1] zugrunde gelegt.

Zeile	Personen; Gestühl	Äquivalente Schallabsorptionsfläche A in m <sup>2</sup>					
		125	250	500	1000	2000	4000
2	1 m <sup>2</sup> / Person, sitzend auf Holzgestühl	0,18	0,26	0,55	0,68	0,78	0,78

Tabelle 4-11 Auszug aus Tabelle B.2 [1]

### 4.2.1 Variante 2.1: Sprachnutzung in vollbesetztem Zustand (ca. 200 Personen)

Da es für den Sprecher auf Dauer nicht zumutbar ist, sich ungewöhnlich laut zu artikulieren, wird der Schalldruckpegel für gehobene Stimmlautstärke [22] nach Tabelle 4-6 zugrunde gelegt.

Der Gesamtstörschalldruckpegel über die Oktavmittenfrequenzen beträgt in dieser Variante:

Frequenz [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
L <sub>N, ges</sub> [dB]	44,4	42,4	36,2	29,4	24,3	19,0

Tabelle 4-12 Gesamtstörschallpegel L<sub>N, ges</sub> Variante 2.1 und 2.2

Nachhallzeit:

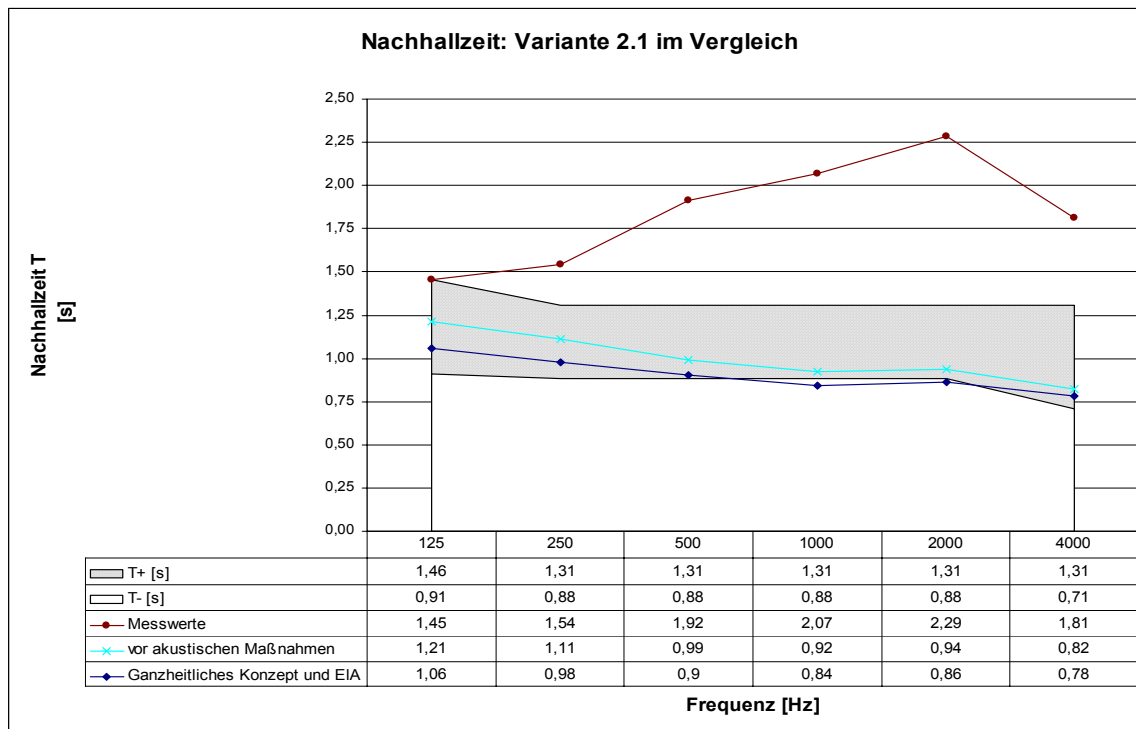


Diagramm 4-5 Variante 2.1: Nachhallzeiten im Vergleich



Energiekriterien:

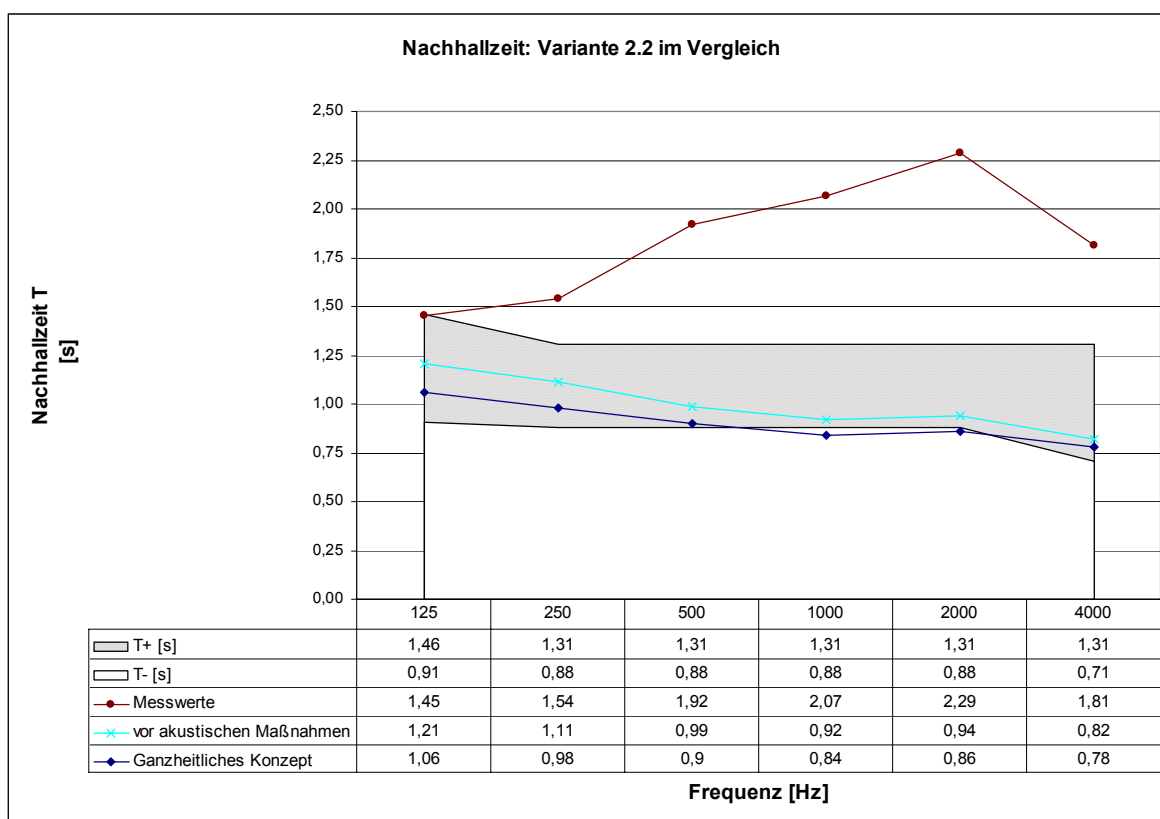
	C <sub>50</sub> [dB]		STI [%]		ΔL [dB (A)]	
	soll	ist	soll	ist	soll	ist
Ohne Maßnahmen	> 0	-0,7 ... 8,5	> 50	> 52,9	< 5	< 9,09
Instandsetzungskonzept mit EIA	> 0	0,4 ... 6,1	> 50	> 57,4	< 5	< 0,89

**Tabelle 4-13 Variante 2.1: Energiekriterien im Vergleich**

#### 4.2.2 Variante 2.2: Musikdarbietung in vollbesetztem Zustand (ca. 200 Personen)

Der Störschalldruckpegel dieser Variante entspricht dem unter 4.2.1 Beschriebenen. In CATT – Acoustic sind Richtcharakteristika mit ihren frequenzabhängigen Schalldruckpegeln in einem Abstand von einem Meter für verschiedene Musikinstrumente hinterlegt. Ein Flügel wird hierbei angenommen, da dieser bereits in der Aula vorhanden ist und bei den meisten Musikdarbietungen zum Einsatz kommt.

Nachhallzeit:



**Diagramm 4-6 Variante 2.2: Nachhallzeiten im Vergleich**



Energiekriterien:

	C <sub>80</sub> [dB]		LF [%]		ΔL [dB (A)]	
	soll	ist	soll	ist	soll	ist
Ohne Maßnahmen	-1 ... 4	-1,2 ... 6,9	25 ... 40	15,9 ... 28,0	< 5	< 8,24
Instandsetzungskonzept	-1 ... 4	0 ... 8,1	25 ... 40	14,1 ... 29,9	< 5	< 8,1

**Tabelle 4-14 Variante 2.2: Energiekriterien im Vergleich**

### 4.3 Bewertung der Instandsetzungskonzepte

#### 4.3.1 Variante 1.1 und 1.2

Für diesen Besetzungszustand der Aula der HAWK können entscheidende raumakustische Verbesserungen erzielt werden. Die ausgewählten Kriterien sind alle im Optimalbereich und wurden bei der Sprachverständlichkeit (Deutlichkeit) verbessert. Es wurde versucht, so wenig Fläche wie möglich raumakustisch zu belegen, um den strengen aber verständlichen Auflagen der Denkmalpflegebehörden entgegenzukommen. Da diese Art von Nutzung in der Aula am häufigsten vorkommt, sollte daher das größte Augenmerk auf diese beiden Varianten gelegt werden.

#### 4.3.2 Variante 1.3 und 1.4

Um sie bewerten zu können, muss man diese Varianten von mehreren Seiten beleuchten, da man hier von unterschiedlichen Begebenheiten ausgehen muss. Es handelt sich bei diesen Varianten um eine Vortragsnutzung und einen Vorlesungsbetrieb oder der Raum wird für eine Klausur belegt.

Für den Klausurenbetrieb bedeutet dies:

In den ersten Minuten der Klausur werden Aufgabenstellungen erläutert. Während dieser Phase sind die Studenten erfahrungsgemäß sehr still und konzentriert.

Danach tritt die Bearbeitungsphase ein. Die Studenten haben die Möglichkeit während der Klausur persönliche Fragen zu stellen. Dies geschieht entweder direkt am Platz, falls die Aufsichtsperson in unmittelbarer Nähe des Fragenden ist, oder die Person begibt sich selbst zur Aufsichtsperson.

Es ist also nicht erforderlich, dass eine EIA zum Einsatz kommt, da der Prüfer während der Verlesung der Aufgabenstellung nicht an einem vorgesehenen Platz stehen bleibt, sondern sich durch die Reihen bewegt. Es ist bei der Betrachtungsweise aber davon ausgegangen worden, dass der Sprecher sich statisch an einem Platz aufhält. Somit ist die Deutlichkeit in den hinteren Reihen während dieser Nutzung nicht so kritisch zu bewerten.



Dies gilt ebenfalls für den bewerteten Schalldruckpegelabfall zu den hinteren Zuhörerplätzen. Bei den persönlichen Fragestellungen handelt es sich um eine fachliche Auseinandersetzung zwischen lediglich zwei Personen, die dabei andere nicht stören.

Somit ist das Instandsetzungskonzept ohne EIA mehr als ausreichend, um Werte zu erzielen, die ihr Augenmerk auf die Nachhallzeit und nicht auf die Sprachverständlichkeit gerichtet haben.

Für den Vortrags- und Vorlesungsbetrieb bedeutet dies:

Sollten Vorträge oder Vorlesungen in diesem Raum gehalten werden, muss die Sprachverständlichkeit auf eine andere Ebene der Betrachtungsweise gehoben werden. Bei dieser Nutzung geht es ausschließlich darum, Wissen und Erkenntnisse dem Publikum näherzubringen. Das Ziel des Redners sollte sein, ein gewisses Interesse beim Zuhörer zu wecken. Dies ist aber nicht der Fall, wenn es an der Tatsache scheitert, dass er nicht verstanden wird. Die Konzentration lässt aufgrund der mangelnden Verständlichkeit nach, der Gesamtstörschallpegel steigt. Aufgrund dessen bedient sich der Redner einer immer lautereren Sprache, die verzerrt und außerdem ungewöhnlich anstrengend ist.

Die Deutlichkeit sowie die Verständlichkeit ist ohne einer EIA nicht zu gewährleisten. Für die raumakustische Detailplanung eines nicht denkmalgeschützten Raumes ist es möglich die Sekundärstruktur des Raumes so zu beeinflussen, dass Optimalwerte für dessen spezielle Nutzung erreicht werden können, ohne sich dem Hilfsmittel einer EIA zu bedienen. Um aber Optimalwerte in diesem Fall zu erreichen, müsste man demzufolge alle Grundsätze der denkmalpflegerischen Vorüberlegungen brechen. Es ist nicht möglich, den Prinzipien der Verhältnismäßigkeit und der Minimierung des Eingriffes folgezuleisten, ohne in den ursprünglichen Gesamteindruck des Raumes einzugreifen.

#### **4.3.3 Variante 2.1 und 2.2**

Die Publikumsanordnung und die Anzahl der Zuhörer in diesen Varianten ist für die Nutzung nicht optimal. Es hat sich für beide Nutzungen eine zu hohe Bedämpfung des Raumes eingestellt. Dadurch ist es nicht mehr möglich, das Publikum mit genügend Schall zu versorgen, was die Sprachverständlichkeit beträchtlich einschränkt.

In Anbetracht dessen könnte ebenso ein zufrieden stellenderes Ergebnis für die musikalische Darbietung in Variante 2.2 erreicht werden, wenn es möglich wäre, die Publikumsanzahl zu verringern und den Abstand des Instrumentes zu den Zuhörern zu vergrößern.

Im Falle von Variante 2.1, die für die Beteiligten einen höheren Stellenwert aufgrund der zeremonienhaft gestalteten Zeugnisvergabe hat als die Musik, welche zwischendurch dargeboten wird, kann für die optimale Lösung nur eine EIA in Betracht gezogen werden.



## 5 Fazit

Mit den erarbeiteten Varianten wird versucht, einen realistischen Querschnitt der Nutzung der Aula der HAWK zu beleuchten. Aufgrund der Aufgabenstellung, die eine Berücksichtigung der denkmalpflegerischen Anforderungen für die verschiedenen Instandsetzungskonzepte fordert, können nur bedingt zufrieden stellende Ergebnisse erarbeitet werden.

Es zeigt sich jedoch, dass für die verschiedenen Nutzungen ein Konzept entwickelt wurde, das es in seiner Gesamtheit ermöglicht die Aula auf ein raumakustisch höheres Niveau zu stellen, ohne die denkmalpflegerischen Anforderungen außer acht zu lassen.

Es ist somit möglich den Lehrenden und den Studierenden eine raumakustische Arbeitsumgebung zu verschaffen, die den Anforderungen an die Hörsamkeit, wie sie in DIN 18041 [1] dargestellt sind, wesentlich mehr entsprechen, als der momentane raumakustische Zustand der Aula.



## 6 Anhang A: Legende, Leistungsverzeichnis der Absorber der Variante 1

### 6.1 Legende

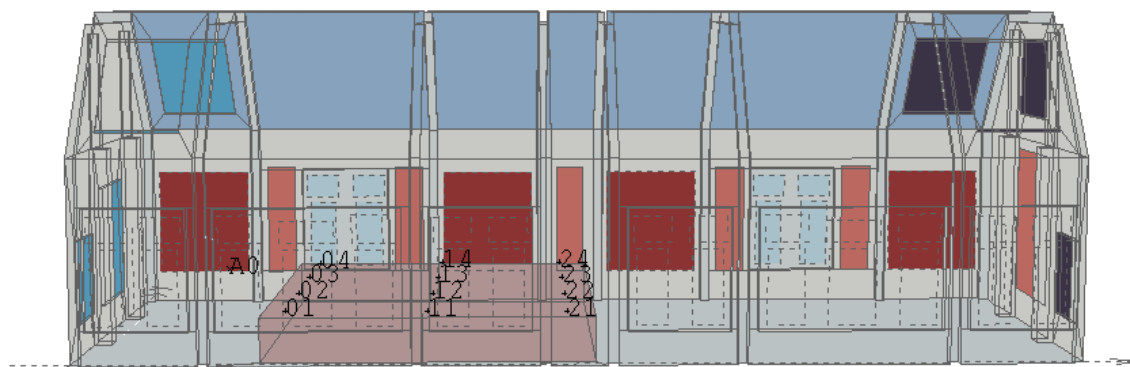


Abbildung 6-1 Absorberanordnung der Variante 1

Legende:

Schwarz BKA (70/1/30), Firma Renz

Hellblau VPR (100/1), Firma Renz

Dunkelrot bestehender Absorber entwickelt von Max/Schippers [12]

Lachsfarben MPA der Firma Käfer

### 6.2 Verteilung der Absorber

Anzahl	Absorberart	m <sup>2</sup> /Element	Position
je 4	VPR	1,50	Deckenschräge erstes Feld
je 4	BKA	1,50	Deckenschräge letztes Feld
4	BKA	1,50	Kehlbalkenlage letztes Feld
6	VPR	1,50	Sprecherrückwand Mitte
2	VPR	2,00 (Sondergröße)	Sprecherrückwand rechts
4	BKA	1,50	Publikumsrückwand Giebel oben
2	BKA	2,00 (Sondergröße)	Publikumsrückwand links
1	MPA	1,50 x 3,80	Publikumsrückwand Mitte
2	MPA	1,15 x 3,80	Publikumsrückwand Mitte
4	MPA	0,80 x 3,00	Seitenwand neben den Fenstern
1	MPA	0,75 x 3,00	Seitenwand Mitte

Tabelle 6-1 Absorberverteilung der Variante 1





### 6.2.1 Leistungsverzeichnis

Pos.	Menge	Beschreibung	EP	GP
1.000	8	Renz Verbundplattenresonator Typ 1 für sichtbare Anwendung, Absorptionsgrade nach Prüfzeugnis VPR-A1L (100/1), Abmessung 1500x1000x100 mm, <i>glattes, mit Akustikvlies bespanntes Frontblech</i> und umlaufender, gelochter Rahmen, <i>pulverbeschichtet grauweiß ähnlich RAL 9002</i> . Schwingblech Typ 1, Element in Aufbaumontagetechnik, incl. Montage		
1.010	6	Renz Verbundplattenresonator Typ 1 für sichtbare Anwendung, Absorptionsgrade nach Prüfzeugnis VPR-A1L (100/1), Abmessung 1500x1000x100 mm, <i>glattes, mit Akustikvlies bespanntes Frontblech</i> und umlaufender, gelochter Rahmen, <i>pulverbeschichtet signalweiß ähnlich RAL 9003</i> . Schwingblech Typ 1, Element in Aufbaumontagetechnik, incl. Montage		
1.020	2	Renz Verbundplattenresonator Typ 1 für sichtbare Anwendung, Absorptionsgrade nach Prüfzeugnis VPR-A1L (100/1), <i>Sonderabmessung 2000x1000x100 mm</i> , <i>glattes, mit Akustikvlies bespanntes Frontblech</i> und umlaufender, gelochter Rahmen, <i>pulverbeschichtet grauweiß ähnlich RAL 9002</i> . Schwingblech Typ 1, Element in Aufbaumontagetechnik, incl. Montage		
2.000	16	Renz Breitband – Kompakt – Absorber Typ 1 für sichtbare Anwendung, Absorptionsgrade nach Prüfzeugnis BKA-B1L (70/1/30), Abmessung 1500x1000x100 mm, <i>perforiertes, mit Akustikvlies bespanntes Frontblech</i> und umlaufender, gelochter Rahmen, <i>pulverbeschichtet grauweiß ähnlich RAL 9002</i> . Schwingblech Typ 1, Element in Aufbaumontagetechnik, incl. Montage		
2.010	2	Renz Breitband – Kompakt – Absorber Typ 1 für sichtbare Anwendung, Absorptionsgrade nach Prüfzeugnis BKA-B1L (70/1/30), <i>Sonderabmessung 2000x1000x100 mm</i> , <i>perforiertes, mit Akustikvlies bespanntes Frontblech</i> und umlaufender, gelochter Rahmen, <i>pulverbeschichtet grauweiß ähnlich RAL 9002</i> . Schwingblech Typ 1, Element in Aufbaumontagetechnik, incl. Montage		



Pos.	Menge	Beschreibung	EP	GP
3.000	1	Käfer Microsorber zweilagige ETFE – Folie (Teflon), Abstand schallharte Fläche 50 mm, Folien untereinander 30 mm, Foliendicke = 0,1 mm, Perforation: Lochdurchmesser ca. 0,2 mm, Lochabstand 2mm, transparent, Abmessung 1500x3800 mm, incl. Montagebeschläge, incl. Montage		
3.010	2	Käfer Microsorber zweilagige ETFE – Folie (Teflon), Abstand schallharte Fläche 50 mm, Folien untereinander 30 mm, Foliendicke = 0,1 mm, Perforation: Lochdurchmesser ca. 0,2 mm, Lochabstand 2mm, transparent, Abmessung 1150x3800 mm, incl. Montagebeschläge, incl. Montage		
3.020	4	Käfer Microsorber zweilagige ETFE – Folie (Teflon), Abstand schallharte Fläche 50 mm, Folien untereinander 30 mm, Foliendicke = 0,1 mm, Perforation: Lochdurchmesser ca. 0,2 mm, Lochabstand 2mm, transparent, Abmessung 800x3000 mm, incl. Montagebeschläge, incl. Montage		
3.030	1	Käfer Microsorber zweilagige ETFE – Folie (Teflon), Abstand schallharte Fläche 50 mm, Folien untereinander 30 mm, Foliendicke = 0,1 mm, Perforation: Lochdurchmesser ca. 0,2 mm, Lochabstand 2mm, transparent, Abmessung 750x3000 mm, incl. Montagebeschläge, incl. Montage		



## 7 Anhang B: Legende, Leistungsverzeichnis der Absorber der Variante 2

### 7.1 Legende

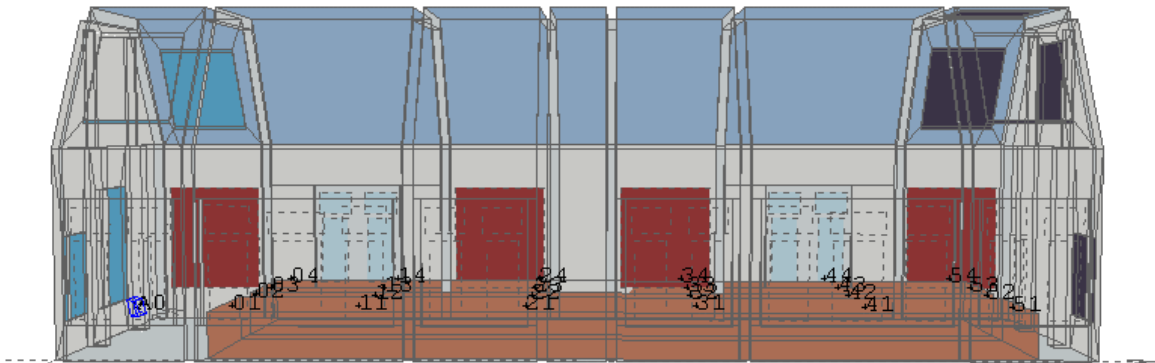


Abbildung 8-1 Absorberanordnung der Variante 2

Legende:

Schwarz BKA (70/1/30), Firma Renz

Hellblau VPR (100/1), Firma Renz

Dunkelrot bestehender Absorber entwickelt von Max/Schippers [12]

### 7.2 Verteilung der Absorber

Anzahl	Absorberart	m <sup>2</sup> /Element	Position
je 4	VPR	1,50	Deckenschräge erstes Feld
je 4	BKA	1,50	Deckenschräge letztes Feld
4	BKA	1,50	Kehlbalkenlage letztes Feld
6	VPR	1,50	Sprecherrückwand Mitte
2	VPR	2,00 (Sondergröße)	Sprecherrückwand rechts
4	BKA	1,50	Publikumsrückwand Giebel oben
2	BKA	2,00 (Sondergröße)	Publikumsrückwand links

Tabelle 8-1 Absorberverteilung der Variante 2



### 7.2.1 Leistungsverzeichnis

Pos.	Menge	Beschreibung	EP	GP
1.000	8	Renz Verbundplattenresonator Typ 1 für sichtbare Anwendung, Absorptionsgrade nach Prüfzeugnis VPR-A1L (100/1), Abmessung 1500x1000x100 mm, <i>glattes, mit Akustikvlies bespanntes Frontblech</i> und umlaufender, gelochter Rahmen, <i>pulverbeschichtet grauweiß ähnlich RAL 9002</i> . Schwingblech Typ 1, Element in Aufbaumontagetechnik, incl. Montage		
1.010	6	Renz Verbundplattenresonator Typ 1 für sichtbare Anwendung, Absorptionsgrade nach Prüfzeugnis VPR-A1L (100/1), Abmessung 1500x1000x100 mm, <i>glattes, mit Akustikvlies bespanntes Frontblech</i> und umlaufender, gelochter Rahmen, <i>pulverbeschichtet signalweiß ähnlich RAL 9003</i> . Schwingblech Typ 1, Element in Aufbaumontagetechnik, incl. Montage		
1.020	2	Renz Verbundplattenresonator Typ 1 für sichtbare Anwendung, Absorptionsgrade nach Prüfzeugnis VPR-A1L (100/1), <i>Sonderabmessung 2000x1000x100 mm</i> , <i>glattes, mit Akustikvlies bespanntes Frontblech</i> und umlaufender, gelochter Rahmen, <i>pulverbeschichtet grauweiß ähnlich RAL 9002</i> . Schwingblech Typ 1, Element in Aufbaumontagetechnik, incl. Montage		
2.000	16	Renz Breitband – Kompakt – Absorber Typ 1 für sichtbare Anwendung, Absorptionsgrade nach Prüfzeugnis BKA-B1L (70/1/30), Abmessung 1500x1000x100 mm, <i>perforiertes, mit Akustikvlies bespanntes Frontblech</i> und umlaufender, gelochter Rahmen, <i>pulverbeschichtet grauweiß ähnlich RAL 9002</i> . Schwingblech Typ 1, Element in Aufbaumontagetechnik, incl. Montage		
2.010	2	Renz Breitband – Kompakt – Absorber Typ 1 für sichtbare Anwendung, Absorptionsgrade nach Prüfzeugnis BKA-B1L (70/1/30), <i>Sonderabmessung 2000x1000x100 mm</i> , <i>perforiertes, mit Akustikvlies bespanntes Frontblech</i> und umlaufender, gelochter Rahmen, <i>pulverbeschichtet grauweiß ähnlich RAL 9002</i> . Schwingblech Typ 1, Element in Aufbaumontagetechnik, incl. Montage		



## 8 Quellenverzeichnis

### Normen/Richtlinien:

- [1] DIN 18041; Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, Mai 2004
- [2] DIN EN ISO 3382; Messung der Nachhallzeit von Räumen mit Hinweis auf andere akustische Parameter; März 2000
- [3] DIN EN ISO 11654; Schallabsorber für die Anwendung in Gebäuden; Juli 1997
- [4] VDI 4100; Schallschutz von Wohnungen – Kriterien für Planung und Beurteilung; September 1994

### Literatur:

- [11] Schallschutz und Raumakustik in der Praxis, 2. Auflage 2003, W. Fasold / E. Veres
- [12] Diplomarbeit Max/Schippers, 1999
- [13] Bearbeitung einer Messaufgabe - Messen der Nachhallzeit am Beispiel der Aula -; SS 2004; O. Troska
- [14] Hausarbeit - Akustik in Räumen für Mehrzwecknutzung am Beispiel der Aula der HAWK -, WS 2004/2005; O. Troska
- [15] Handbuch Denkmalschutz und Denkmalpflege, 1. Auflage 2004, Martin / Krautzberger
- [16] Bauphysik 25 (2003) Heft 6, Aufsatz: Neufassung von DIN 18041 – ein Weckruf für gute Raumakustik, Helmut V. Fuchs

### PC – Programme:

- [21] Excel – Datenblatt zur Nachhallzeitberechnung und zur Auswertung der Ergebnisse
- [22] CATT – Acoustic v8

### Internet:

- [25] [www.catt.se](http://www.catt.se)
- [26] [www.ibp.fhg.de](http://www.ibp.fhg.de)
- [27] [www.pia-alpha.de](http://www.pia-alpha.de)
- [28] [www.microsorber.com](http://www.microsorber.com)

### 8.1 Befragte Personen

#### Normen/Richtlinien:

- (1) Dipl. – Ing. Heuer, Helgo; Bauingenieur, Wolfenbüttel
- (2) Renz, Günter; Renz System - Komplett - Ausbau; Aidlingen



## 8.2 Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 6-1	Absorberanordnung der Variante 1	16
Abbildung 8-1	Absorberanordnung der Variante 2	19

## 8.3 Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 4-1	Auszug aus Tabelle B.2 [1]	6
Tabelle 4-2	Gesamtstörgeräuschpegel $L_{N, ges}$ Variante 1.1	6
Tabelle 4-3	Schalldruckpegel für normale Stimmlautstärke [22]	6
Tabelle 4-4	Variante 1.1: Energiekriterien im Vergleich	7
Tabelle 4-5	Gesamtstörgeräuschpegel $L_{N, ges}$ Variante 1.2	7
Tabelle 4-6	Schalldruckpegel für gehobene Stimmlautstärke [22]	8
Tabelle 4-7	Variante 1.2: Energiekriterien im Vergleich	8
Tabelle 4-8	Variante 1.3: Energiekriterien im Vergleich	9
Tabelle 4-9	Gesamtstörgeräuschpegel $L_{N, ges}$ Variante 1.4	10
Tabelle 4-10	Variante 1.4: Energiekriterien im Vergleich	10
Tabelle 4-11	Auszug aus Tabelle B.2 [1]	11
Tabelle 4-12	Gesamtstörgeräuschpegel $L_{N, ges}$ Variante 2.1 und 2.2	11
Tabelle 4-13	Variante 2.1: Energiekriterien im Vergleich	12
Tabelle 4-14	Variante 2.2: Energiekriterien im Vergleich	13
Tabelle 6-1	Absorberverteilung der Variante 1	16
Tabelle 8-1	Absorberverteilung der Variante 2	19

## 8.4 Verzeichnis der Diagramme

Diagramm 4-1	Variante 1.1: Nachhallzeiten im Vergleich	7
Diagramm 4-2	Variante 1.2: Nachhallzeiten im Vergleich	8
Diagramm 4-3	Variante 1.3: Nachhallzeiten im Vergleich	9
Diagramm 4-4	Variante 1.4: Nachhallzeiten im Vergleich	10
Diagramm 4-5	Variante 2.1: Nachhallzeiten im Vergleich	11
Diagramm 4-6	Variante 2.2: Nachhallzeiten im Vergleich	12

## 8.5 Begriffsbestimmungen (chronologisch)

T	... Nachhallzeit in s
F	... Frequenz in Hz
$A_j$	... äquivalente Schallabsorptionsfläche von Personen pro Person, nicht flächenhafter Gegenstände, Publikums- und Gestühlflächen in $m^2$
$C_{50}$	... Deutlichkeitsmaß in dB
$C_{80}$	... Klarheitsmaß in dB



- STI ... Speech Transmission Index in %
- LF ... Seitenschallgrad in %
- $\Delta L$  ... bewertete Schalldruckpegelminderung in dB (A)
- $L_{p, 1m}$  ... gemessener Schalldruckpegel in einem Meter Entfernung in dB
- $L_{N, ges}$  ... Gesamtstörgeräuschpegel nach [1] in dB
- $\alpha$  ... (Schall-) Absorptionsgrad [-]