

# **Akustik in denkmalgeschützten Räumen am Beispiel der Aula der HAWK - Auralisationsberechnungen**

Helgo Heuer, Oliver Troska, Hans-Peter Leimer

BBS INGENIEURBÜRO

Am Forst 27

38302 Wolfenbüttel

## **Kurzfassung**

Die Aula der HAWK bedarf raumakustischer Verbesserung hinsichtlich Ihrer vielfältigen Nutzung für Unterricht, vorträge und Musikveranstaltungen. Mit Hilfe einer numerischen Betrachtungsweise werden die teilweise divergierenden raumakustischen Eigenschaften berechnet und bewertet.

Gleichzeitig sind bei der akustischen Verbesserung der Aula der HAWK denkmalpflegerische Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Dies spielt bei der Wahl der Mittel und Möglichkeiten, mit denen der Raum verbessert werden kann, und bei der folgenden Variantenbeurteilung, die dadurch wenig Spielraum erhält, eine entscheidende Rolle.

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.

**Stichwörter:** Raumakustik, Denkmalschutz, faserfreie Absorber

# **Acoustic in listed buildings by example of the auditorium of the HAWK - Post-processing for Auralisation**

## **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 auditorium 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 different utilisations of the room with its actual state have been entered into the room acoustical software CATT Acoustic. These models reflect the actual 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 minimise the interference upon the structure of the surface. 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 audience absorption of sound the results are situated below the recommended values.*

*As electroacoustic equipment already exists, it will be a part of the concept for reconditioning the auditorium where a lot of audience is expected.*

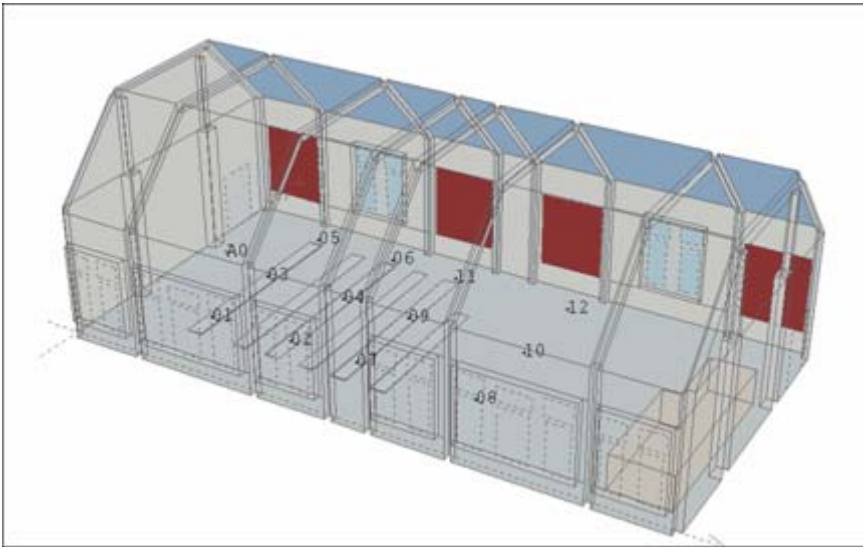
**key words:** room acoustics, historical buildings, fibre-free absorbers

## 1 Einleitung

Die Aula der HAWK Hildesheim ist in akustischer Hinsicht problematisch für die Nutzung als Lehr-, Vortrags- und Veranstaltungsraum. 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.



**Abbildung 1** Die Aula der HAWK als Abbildung als Model

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.

## 2 Denkmalpflegerische Anforderungen

### 2.1 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.



**Abbildung 2** Die Aula der HAWK

## 2.2 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

## 2.3 Raumakustische Instandsetzung kontra denkmalpflegerische Anforderungen

Zielsetzung dieser Arbeit ist es, die Aula der HAWK unter dem Aspekt der verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten (*siehe Varianten Kap. 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 subjektiv schlechte Höreindruck der Aula durch die Auswertung der numerischen Simulationsergebnisse für eben diese Nutzungen bestätigt wurde. Die zu beurteilenden Varianten sind nicht aus der Luft gegriffen, sondern es handelt sich um tatsächliche Situationen und nicht etwa um Fiktionen, um auf einer raumakustischen Ertüchtigung zu bestehen. Es müssen daher gewisse Anforderungen an die Hörsamkeit gestellt werden. Infolge dessen ist eine 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, so dass der Eindruck entstehen könnte, die kulturelle und geschichtliche Bedeutung des Raumes wird aufgrund einer erzwungenen Nutzung in den Hintergrund gedrängt.

### **3 Grundlagen der Auralisationsberechnung**

Durch die Anwendung numerischer Methoden bei der Berechnung der Raumakustik von Räumen können über globale Kennwerte wie z.B. die Nachhallzeit hinaus andere Parameter errechnet werden, die eine wesentlich differenzierte Beurteilung der Akustik eines Raumes und eine Bewertung verschiedener Varianten ermöglichen.

Allen Berechnungsmodellen gemeinsam ist, dass vereinfacht gesagt die zeitliche und räumliche (Schall-) Energieverteilung im Raum errechnet wird. Durch Integration über die Zeit der an einem Ort eintreffenden Energie können Energiekriterien wie z.B. Schalldruckpegel und Stärkemaß errechnet werden. Für einige Parameter werden nur bestimmte Zeitbereiche ausgewertet und mit der Gesamtzeit ins Verhältnis gesetzt (z.B. Klarheitsmaß  $C_{50}$ : 0 bis 50 ms).

Im vorliegenden Fall wurden die Berechnungen mit dem Programmsystem CATT-Acoustic durchgeführt. Diese Programm wertet die Schallverteilung räumlich und zeitlich für Hörerpositionen nach dem Cone-Tracing-Verfahren aus. Cone-Tracing ermöglicht dabei eine richtungsbezogene Interpretation der eintreffenden Schallstrahlen, so dass Stereo-Höreffekte berechnet und zur Hörbar-machung (Auralisation) von unterschiedlichen raumakustischen Situationen verwendet werden können.

### **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 [14]):

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]**

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

Es addiert sich zu den bauseitigen Störgeräuschen L<sub>N, Bau</sub> noch der Sprachpegel der Zuhörer L<sub>s</sub> hinzu. VDI 4100 [4] gibt den bewerteten Sprachpegel für gedämpfte Sprache mit 58 dB (A) an. Nach Berechnungen (siehe [14]) stellt sich der Gesamtstörgeräuschpegel L<sub>N, ges</sub> für unkonzentrierte Arbeitsweise folgendermaßen dar:

Frequenz [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
L <sub>N, ges</sub> [dB]	44,9	42,7	37,7	31,7	26,8	21,0

**Tabelle 4-5 Gesamtstörgeräuschpegel L<sub>N, ges</sub> 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 steht auf einem 50 cm hohen Podest.

Der frequenzabhängige Schalldruckpegel für gehobene Stimmlautstärke ist wie folgt definiert:

Frequenz [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
L <sub>p, 1m</sub> [dB]	55,5	61,5	65,5	62,4	56,8	51,3

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

#### 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.

#### 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 [14]).

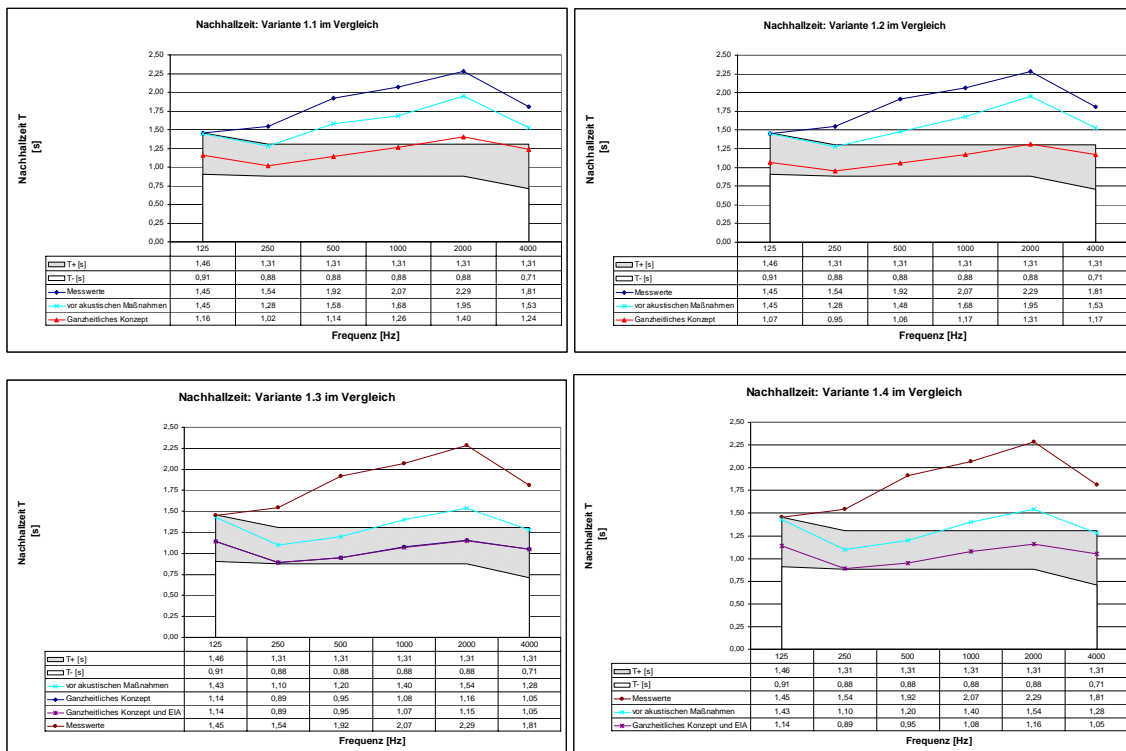
Der Gesamtstör Schalldruckpegel in dieser Variante ist in folgender Tabelle festgelegt.

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

#### 4.1.5 Ergebnisse Varianten 1.1 bis 1.4

Nachhallzeiten:



Energiekriterien:

	$C_{50}$ [dB]		STI [%]		$\Delta L$ [dB (A)]	
	soll	ist	soll	ist	soll	ist

Variante 1.1						
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
Variante 1.2						
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
Variante 1.3						
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
Variante 1.4						
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

#### 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:



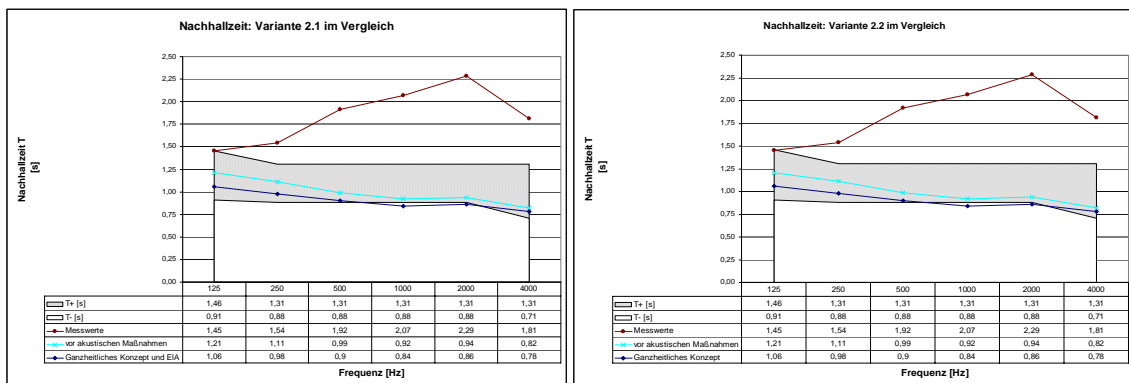
Frequenz [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
L <sub>N, ges</sub> [dB]	44,4	42,4	36,2	29,4	24,3	19,0

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

#### 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.

#### 4.2.3 Ergebnisse der Variante 2.1 und 2.2



Energiekriterien:

	C <sub>50</sub> [dB]		STI [%]		ΔL [dB (A)]	
	soll	ist	soll	ist	soll	ist
Variante 2.1						
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
Variante 2.2						
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

### 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 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