

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Vergleich zweier Programme, die zur Analyse, Prävention und Lösung von raumakustischen Problemen in großen Räumen eingesetzt werden: CATT-Acoustic und Ulysses.

Am Beispiel der Mehrzweckhalle „Cubus Wolfurt“ sollen die Unterschiede, Gemeinsamkeiten, Schwächen und Stärken der beiden Programme sowie die jeweiligen Berechnungs- und Darstellungsmöglichkeiten besprochen werden. Besonderere Schwerpunkte sind hierbei auf die Unterschiede der Berechnungsergebnisse und die Komfortabilität der jeweiligen Software-Lösung gelegt.

ABSTRACT

This essay deals with the comparison of two softwares which are used for analysis, prevention and solution of room acoustic problems in large rooms: CATT Acoustic and Ulysses.

The multipurpose-room “Cubus Wolfurt” exemplifies the differences, commonalities, debilities and forces of both programs as well as the calculation and display possibilities. The differences between the calculation-results and the manageability is stressed.

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	II
Abstract	II
Inhaltsverzeichnis	III
1 Einführung	1
1.1 Überblick	1
1.2 Der Cubus Wolfurt	1
1.3 Grundlegendes zu CATT-Acoustic v8.0 [1]	5
1.4 Grundlegendes zu Ulysses 2.7 Deutsch [2]	6
2 CATT-Acoustic	7
2.1 Vorgehensweise bei der Programmierung	7
2.2 Berechnungseinstellungen, Berechnung und Ergebnisdarstellung	9
2.2.1 Geometry View / Check	9
2.2.2 Audience Area Mapping	15
2.2.2.1 D-50 (Deutlichkeitsgrad)	16
2.2.2.2 C-80 (Klarheitsmass)	17
2.2.2.3 RT' (Nachhallzeit)	18
2.2.2.4 Ts (Schwerpunktzeit)	19
2.2.2.5 SPL (Schalldruckpegel)	20
2.2.2.6 STI (Speech Transmission Index)	24
2.2.2.7 RASTI (Rapid Speech Transmission Index)	25
2.2.2.8 LF (Seitenschallgrad)	26
2.2.2.9 G (Stärkemass)	30
2.2.3 Early Part Detailed ISM	31
2.2.3.1 Reflection History	31
2.2.3.2 Echogramm	32
2.2.3.3 Image Source Space	33
2.2.4 Full Detailed Calculation	34
2.2.4.1 Animierte Berechnung	34
2.2.4.2 Echogramme	35
2.2.4.3 Sound Roses	36
2.2.4.4 Vektorgramme	37
2.2.4.5 Nachhallzeiten und Absorptionskoeffizienten	38
2.2.4.6 Plane Hit Histogramm	39
2.2.4.7 Akustische Gütemaße	40
3 Ulysses	42
3.1 Vorgehensweise bei der Programmierung	42
3.2 Berechnungseinstellungen, Berechnung und Ergebnisdarstellung	46
3.2.1 Nachhallzeiten	46
3.2.1.1 Nachhallzeit nach Sabine	46

3.2.1.2	Nachhallzeit nach Eyring	47
3.2.1.3	Nachhallzeit nach Fitzroy	47
3.2.2	Pegel- und Zeitberechnungen	48
3.2.2.1	Summe des Direktschallpegels	49
3.2.2.2	Delay	50
3.2.2.3	Summe des Direkt- und Indirektschallpegels	51
3.2.2.4	AI_{Cons}	52
3.2.2.5	Speech Transmission Index (STI)	53
3.2.2.6	Differenz zwischen Direkt- und Indirektschallpegel	54
3.2.3	Ray-Traycing und Energie-Zeit-Diagramme	55
4	Vergleich der Ergebnisse	59
4.1	Raumakustische Gütemaße	59
4.1.1	Sound Pressure Level (SPL)	59
4.1.2	Nachhallzeiten	60
4.1.3	Speech Transmission Index (STI)	61
4.2	Erstellung der Berechnungsmodelle	62
4.3	Berechnungsmöglichkeiten	63
4.4	Grafische Darstellung	64
4.5	Bedienerfreundlichkeit und Zuverlässigkeit	59
5	Fazit	66
	Abbildungsverzeichnis	67
	Literaturverzeichnis	70
	Anhang	71
1	Verzeichnis der einzelnen CATT-Acoustic-Dateien und deren Inhalte	71
1.1	Hauptdateien	72
1.2	Ausgabedateien des „Geometry View / Check“	72
1.3	Ausgabedateien des „Audience Area Mapping“	72
1.4	Ausgabedateien des „Early Part Detailed ISM“	73
1.5	Ausgabedateien der „Full Detailed Calculation“	73
2	Verzeichnis der einzelnen Ulysses-Dateien und deren Inhalte	74

1 EINFÜHRUNG

1.1 ÜBERBLICK

Das erste Teilkapitel beinhaltet einige Bilder des Cubus Wolfurt, um einen räumlichen Eindruck erhalten zu können. In den folgenden zwei Teilkapiteln (1.3 und 1.4) werden die beiden Programme zunächst hinsichtlich ihrer Entstehung und ihrer grundlegenden Eigenschaften vorgestellt. Im Anschluss daran behandelt das Kapitel 2 die Simulation des Cubus Wolfurt in CATT-Acoustic und das Kapitel 3 die Simulation in Ulysses. In diesen beiden Abschnitten erfolgt eine Übersicht über die Möglichkeiten der beiden Programme. Im Kapitel 4 werden dann die beiden Simulationen hinsichtlich der Ergebnisse verglichen und die Möglichkeiten und Grenzen der beiden Programme gegenübergestellt. Im letzten Kapitel erfolgen eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse sowie ein tabellarischer Überblick über die Berechnungsmöglichkeiten der Programme.

1.2 DER CUBUS WOLFURT

Der Cubus Wolfurt wurde vom Architekturbüro cukrowicz.nachbaur als Mehrzweckhalle entworfen und von 1996 bis 1998 erbaut, die Herstellungskosten betragen etwa 5 Millionen Euro. Er ist ca. 50 m lang, 24 m breit und etwa 12 m hoch, seine Nutzfläche beträgt 2460 m². Die Architekten gewannen mit dem Cubus Wolfurt einige Preise wie zum Beispiel den 4. Vorarlberger Bauherrenpreis 2001. [3]
Abbildung 1.1 und Abbildung 1.2 zeigen den Grundriss.

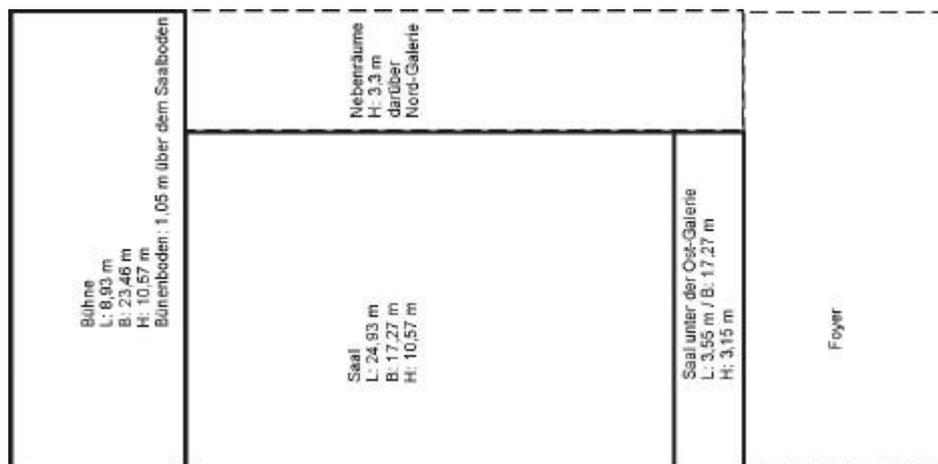


Abbildung 1.1: Cubus Wolfurt: Grundriss Erdgeschoss

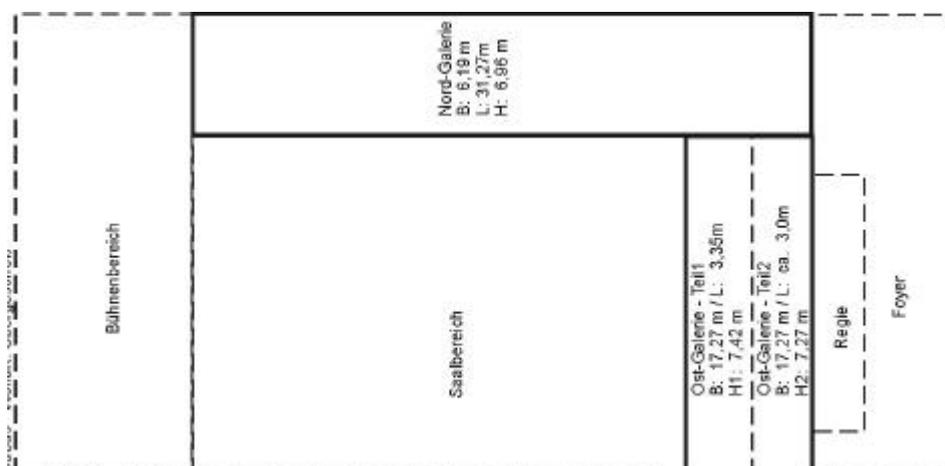


Abbildung 1.2: Cubus Wolfurt: Grundriss 1. Stock (Galerien)

In den folgenden 3 Abbildungen sind die Fassaden der Mehrzweckhalle zu sehen:



Abbildung 1.3: Cubus Wolfurt: Ostseite



Abbildung 1.4: Cubus Wolfurt: Südseite



Abbildung 1.5: Cubus Wolfurt: Nordseite

Im Inneren wurde vorwiegend mit Holz gearbeitet, was auch auf den folgenden Abbildungen zu sehen ist.



Abbildung 1.6: Cubus Wolfurt: Blick von der Bühne



Abbildung 1.7: Cubus Wolfurt: Blick auf den Nordbalkon



Abbildung 1.8: Cubus Wolfurt: Blick vom Ostbalkon auf die Bühne

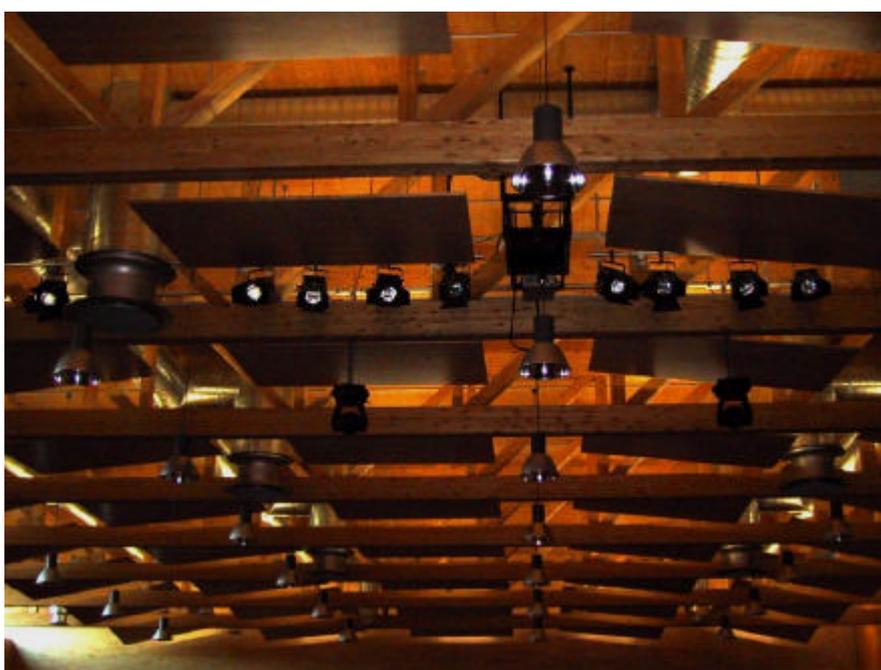


Abbildung 1.9: Cubus Wolfurt: Blick in die Deckenkonstruktion

1.3 GRUNDLEGENDES ZU CATT-ACOUSTIC v8.0 [1]

„CATT“ steht für „Computer Aided Theater Technique“ und war am Anfang seiner Entwicklung im Jahr 1986 als Planungshilfe für Beleuchter und Dekorateure in Theatern gedacht. Aufgrund des großen Interesses des Entwicklers Bengt-Inge Dalenbäck an der Raumakustik konzentrierte sich das Unternehmen ab 1988 auf raumakustische Problemstellungen. Trotz dieser doch ziemlich eindeutigen Ausrichtung fanden sich auch Benutzer, die „CATT“ in anderen Bereichen wie zum Beispiel VR-Welten, Fahrzeugakustik oder in der Vermarktung akustischer Produkte einsetzten und immer noch einsetzen.

„CATT“ ist eine 32-Bit-Windows-Anwendung, die auf sieben grundlegenden Elementen beruht (Vorhersage, Richtwirkung, Oberflächeneigenschaften, Quellenaddition, Nachberechnung, sequentielle Berechnungen, Auralisation) und für den Benutzer noch weitere äußerst hilfreiche Elemente wie zum Beispiel einen OpenGL-3D-Viewer, ein AutoCAD-Interface und eine gute Online-Hilfe bereitstellt. Des Weiteren ist erwähnenswert, dass die Ergebnisse der teils sehr aufwendigen Berechnungen nicht nur grafisch dargestellt, sondern auch in einem txt-File detailliert eingesehen werden können.

Grundlage für alle Berechnungen ist natürlich die Geometrie des Raumes mit allen Oberflächeneigenschaften. Diese Basis wird im so genannten Master-File (Geo-File) gelegt. Dazu kommen das Receiver-File, in dem ein oder mehrere Empfänger festgelegt werden können, und das Source-File, in dem die verschiedenen Quellen mit ihren Eigenschaften und ihrer Positionierung im Raum definiert werden können.

Das Vorhersage-Modul (Prediction Module) basiert je nach Berechnungsziel auf RTC-II (Randomized Tail-corrected Cone-tracing), Ray-Tracing oder ISM (Image Source Model). RTC wird für die detaillierte Berechnung von Gesamtzeit-Echogrammen, Anfangszeit-Echogrammen, der akustischen Gütemaße (D-50/C-50, C-80, Ts, LF, SPL, RASTI, STI...) sowie diversen anderen verwendet. Mit dem Ray-Tracing erfolgt dann die grafische Darstellung der zuvor berechneten Werte. ISM wird vor allem für die qualitativ hochwertige Berechnung der frühen Reflektionen verwendet.

Im Directivity-Modul können Quellen mit den verschiedensten Eigenschaften definiert und dann anschließend im Source-File verwendet werden. Grundsätzlich wird zwischen drei Quellenarten unterschieden: SD2 basiert auf einem 32-Bit-DDI (DLL Directivity Interface) und ermöglicht auch das Definieren von Arrays. SD1 berechnet eine Interpolarisation aus den 10° -Daten der jeweiligen Quelle. SD0 basiert auf einer Interpolarisation des horizontalen und vertikalen Polar-Diagramms der Quelle (15° -Schritte). Natürlich kann auch die grafische Darstellung der Quelle im 3D-Viewer beeinflusst werden.

Dem Surface-Properties-Module liegt eine große Bibliothek mit den Oberflächeneigenschaften verschiedenster Materialien zu Grunde. Die Materialien können aber auch direkt im Geo-File definiert werden.

Im Quellenadditions-Modul (Multiple Source Addition Module) werden die Ergebnisse der einzelnen Quellen, die zuvor im Vorhersage-Modul berechnet werden, entsprechend der Vorgaben addiert und das Ergebnis wiederum sowohl grafisch als auch textlich dargestellt.

Mit dem Sequence-Processing-Module kann eine Art Berechnungsverlauf erstellt werden. Das heißt „CATT“ führt die zum Teil sehr lang dauernden Berechnungen mit den verschiedenen gewünschten Parametern selbständig durch.

Die durch die Nachberechnungen (Post-Processing) ermöglichte Auralisation erforderte eine Entwicklungszeit von etwa 10 Jahren. Sie basiert wie auch das Vorhersage-Modul auf verschiedenen Berechnungsmethoden, die je nach Ziel angewendet werden. Für besondere Fälle kann auch mit ISM gerechnet werden. Die Auralisation ermöglicht unter anderem auch einen „Walkthrough“, also einen akustischen Eindruck von verschiedenen Positionen im Raum.

1.4 GRUNDLEGENDES ZU ULYSSES 2.7 DEUTSCH [2]

Ulysses ist ebenso wie CATT eine Windows-Anwendung, die auch in einer 32-bit-Umgebung lauffähig ist. Die Zielsetzung ist hier jedoch etwas anders. Mit Ulysses ist es möglich sowohl raum- als auch elektroakustische Berechnungen durchzuführen. In der Regel wird diese Software zur Beurteilung von Sound Systemen benutzt und daher bleibt abzuwarten wie sie sich im Vergleich mit dem rein raumakustisch ausgerichteten CATT schlägt.

Entwickelt wurde Ulysses 1995 von dem in Bischofsheim (Deutschland) ansässigen Ingenieurbüro IFB consulting, das in der Beratung und Planung von elektroakustischen, raumakustischen und medientechnischen Projekten tätig ist. Eigentlich war Ulysses zunächst nur für deren Eigenbedarf gedacht, aber aufgrund der positiven Erfahrungen entschloss sich IFB consulting das Programm als Produkt zu vermarkten. 1997 wurde hierfür IFBsoft gegründet, die die Vermarktung und Lizenzvergabe von Ulysses übernahm.

Ulysses ist in einer englischen und einer deutschen Version erhältlich und unterstützt in beiden Sprachen sowohl das metrische als auch das imperiale System. Die Basis der Software ist eine 3-D-CAD-Software, die die schnelle Eingabe und Bearbeitung des Projektes erlaubt. Insgesamt bietet Ulysses vier Module: die Design Engine, den Speaker Builder, die Absorber Base und den Viewer.

Der Viewer dient hauptsächlich zur Darstellung der Ergebnisse und hat nur sehr eingeschränkte Editierfunktionen.

Das Herzstück von Ulysses ist die Design Engine. Hier werden die Modelle gezeichnet, die Oberflächeneigenschaften festgelegt und die Quellen positioniert. Des Weiteren werden hier die Pegel- und Zeitberechnungen durchgeführt, welche ebenso wie in CATT farblich abgesetzt dargestellt werden.

Mit dem Speaker Builder werden die zur Verfügung stehenden Lautsprecherdaten verwaltet. Diese Datenbank ist nicht offen, das heißt es können die Herstellerangaben nicht verändert werden. Allerdings können auf der Homepage von IFB consulting die Daten für alle gängigen Lautsprecher von über 50 Herstellern heruntergeladen werden. Natürlich ist mit dem Speaker Builder auch das Erstellen eigener Quellen möglich.

Wie der Name schon sagt werden in der Absorber Base die Eigenschaften der Materialien festgelegt, mit denen die Oberflächen in der Design Engine belegt werden können. Auch dieses Modul basiert auf einer Datenbank. Diese ist aber offen und somit können die einzelnen Materialien den Anforderungen des Designers angepasst werden. Es besteht ebenfalls die Möglichkeit, die Daten zahlreicher Absorptionsmaterialien von der IFB-Homepage herunterzuladen.

Für den Vergleich mit CATT wurde die Testversion von Ulysses 2.7 in deutscher Sprache verwendet. Der einzige Unterschied zur Vollversion besteht darin, dass vorgenommene Berechnungen und erstellte Modelle nicht gespeichert werden können. Das geometrische Raummodell wurde bereits zuvor von Herrn DI Johannes Egger im Rahmen eines anderen Projektes erstellt und für den Vergleich verwendet.

2 CATT-ACOUSTIC

2.1 VORGEHENSWEISE BEI DER PROGRAMMIERUNG

Die Basis für alle Berechnungen stellt das geometrische Modell des zu betrachtenden Raumes dar, welches in dem bereits in Kapitel 1.3 erwähnten Geo-File definiert wird. Diese Datei lässt sich mehrere Blöcke zerteilen:

- Variabelendeklaration (globale und lokale Variablen)
- Definition der Materialien mit Hilfe ihrer Absorptionskoeffizienten
- Definition der benötigten Eckpunkte der im Raum vorhandenen Flächen
- Definition der benötigten Flächen.

Die Verwendung von Variablen ist bei symmetrischen oder zumindest stark symmetrischen Räumen zu empfehlen, da sie Veränderungen der Geometrie erleichtern. Im Fall der Mehrzweckhalle wurde darauf verzichtet, da bereits ein vollständiges Modell in Ulysses existierte und so die Koordinaten der Eckpunkte entsprechend übernommen werden konnten.

Auch im nächsten Block, der Definition der im Raum vorhandenen Materialien, wurden die in Ulysses festgelegten Materialien mit ihren Absorptionskoeffizienten übernommen, damit die Berechnungen später auch vergleichbar sind.

Der dritte Teil befasst sich mit der Erfassung der Koordinaten der benötigten Raumpunkte. Insgesamt wurden für den Cubus Wolfurt etwa 450 Punkte definiert. Hier empfiehlt es sich, die Punkte gleich nach Flächen zu sortieren, das erleichtert im nächsten Schritt die Festlegung der Flächen.

Im letzten Teil wird nun die eigentliche Raumgeometrie erstellt, indem aus den im vorigen Teil definierten Punkten die benötigten Flächen gebildet werden. Dabei muss auf die richtige Reihenfolge bei der Nennung der Punkte geachtet werden. Wird die Fläche von außen betrachtet, so muss die Aufzählung im Uhrzeigersinn erfolgen. Eine falsche Eingabe lässt sich schnell mit Hilfe des Berechnungspunktes „Geometry View / Check“ feststellen: eine korrekte Fläche ist von außen schwarz und von innen farbig (siehe Abbildung 2.1 bzw. Abbildung 2.2).

```
Plane 1 : DeckeSaal, S= 675,0m2
ABSDECKESAAL .. <10 8 6 5 5 8 : 11 14> L <10 10 10 10 10 10 : 10 10>
```

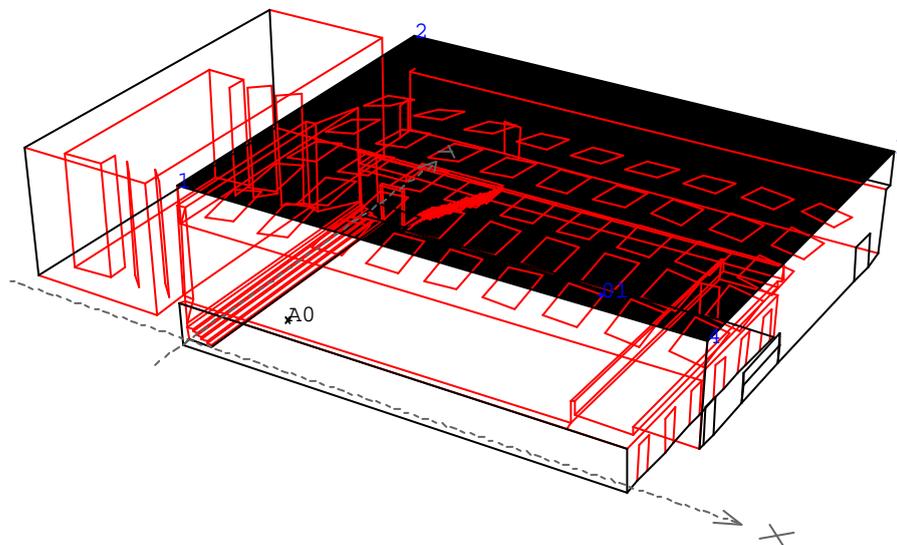
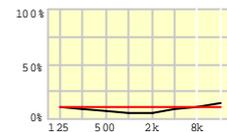


Abbildung 2.1: CATT: Decke des Saales von außen betrachtet

Plane 1 : DeckeSaal, S= 675,0m²

ABSDECKESAAL .. <10 8 6 5 5 8 : 11 14> L <10 10 10 10 10 10 : 10 10>

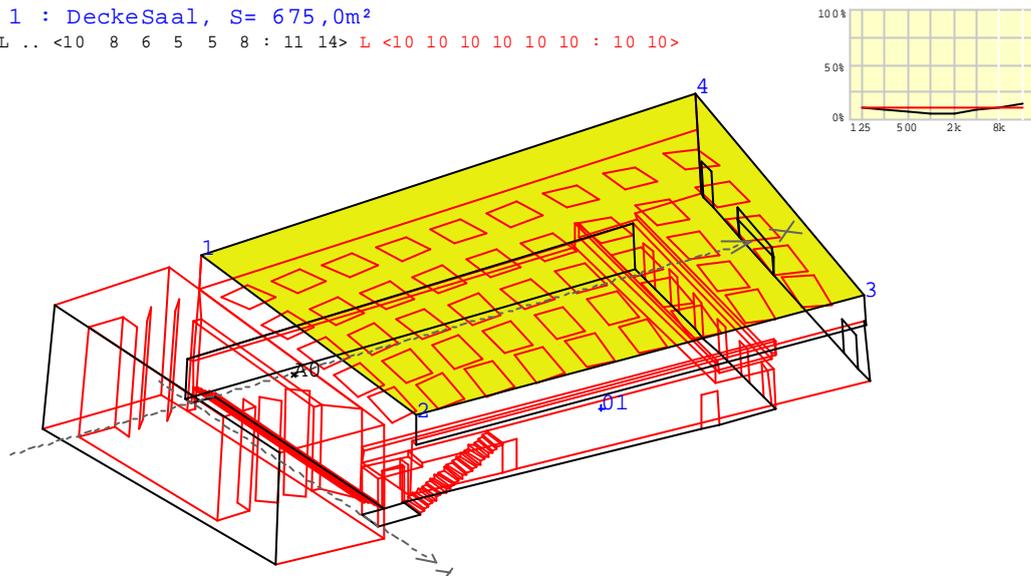


Abbildung 2.2: CATT: Decke des Saales von innen betrachtet

Während des Erfassens der Raumgeometrie bietet es sich an, wiederholt einen „Geometry View / Check“ rechnen zu lassen, um eventuell vorhandene Fehler schneller zu bemerken und beheben zu können. Dabei sollte man auch ein „Debug-File“ erstellen lassen, in dem die doppelten Punkte und andere Ungereimtheiten des Master-Files aufgelistet werden.

Der nächste Schritt in der Programmierung ist die Definition der Quellen im Source-File (src.loc) sowie der Empfänger im Receiver-File (rec.loc). Im Source-File wird der Quelle eine ID gegeben und die kartesischen Koordinaten der Quellenposition sowie des Quellenzieldpunktes im Raum festgelegt. Bei der Angabe der Art der Quelle (gerichtet, omnidirektional, etc.) kann entweder auf eine vorhandene Datenbank zurückgegriffen werden oder aber man legt die Eigenschaften im Untermenü „Directivity“ selbst fest. Hier kann zwischen einer natürlichen oder elektroakustischen Quelle gewählt werden und die Richteigenschaften für jedes Oktavband eingestellt werden. Im Receiver-File wird nur die ID und die Position des Empfängers mittels kartesischer Koordinaten festgelegt.

Sind alle Geometriedaten erfasst und das Modell vollständig, kann mit den Berechnungen begonnen werden.

2.2 BERECHNUNGSEINSTELLUNGEN, BERECHNUNG UND ERGEBNISDARSTELLUNG

2.2.1 GEOMETRY VIEW / CHECK

Dieses Berechnungstool dient vor allem der Überprüfung der Raumgeometrie sowie der Quellen- und Empfängerposition. Seine wesentlichen Bestandteile sowie die Namen der angelegten Files werden mit Hilfe der folgenden Abbildungen gezeigt. In allen Abbildungen sind die gewählte Quelle mit „A0“ und der gewählte Empfänger mit „01“ markiert.

Die erste Darstellung („colored.plt“, siehe Abbildung 2.3) ist ein farbiger Plot der im Geo-File angegebenen Raumgeometrie. Dieser kann mit Hilfe der Maus in alle Richtungen gedreht werden und hinein- und herausgezoomt werden.

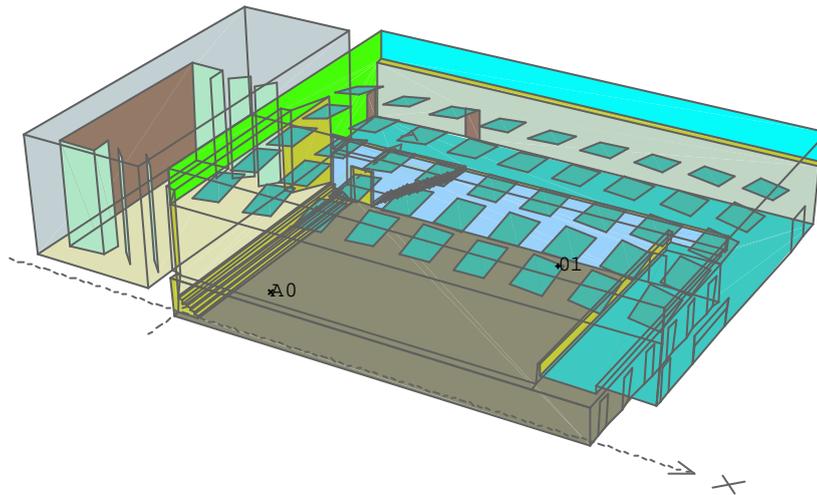


Abbildung 2.3: CATT: Farbiger Plot der Raumgeometrie

Im nächsten Fenster („coinfo.plt“, siehe Abbildung 2.4) befindet sich eine Darstellung des geometrischen Gerüsts des Raumes mit Nummerierung aller Eckpunkte. Auch hier kann das Modell beliebig gedreht sowie vergrößert und verkleinert werden.

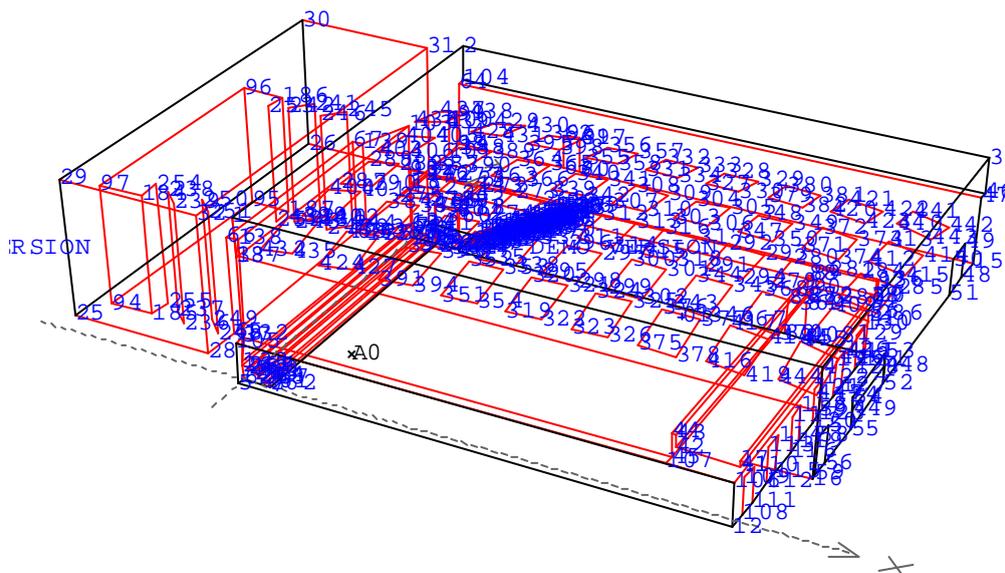


Abbildung 2.4: CATT: Darstellung aller Eckpunkte mit Nummerierung

Die nächste Darstellung („plinfo.plt“, siehe Abbildung 2.5 bzw. Abbildung 2.1 und Abbildung 2.2) wurde bereits in Kapitel 2.1 vorgestellt. Sie dient zur Überprüfung der korrekten Eingabe der Flächen bzgl. der Reihenfolge der Punkte. Um die Kontrolle zu erleichtern, ist auch dieser Plot beliebig dreh- und zoombar. Mit Hilfe der Vorwärts- und Rückwärtsbuttons können alle angegebenen Flächen inklusive ihrer Absorptionskoeffizienten überprüft werden.

```
Plane 3 -o -c : BodenGalerie, S= 209,1m²
ABSBODENGALERIE < 6 5 4 5 5 5 : 5 5> L <10 10 10 10 10 10 : 10 10>
```

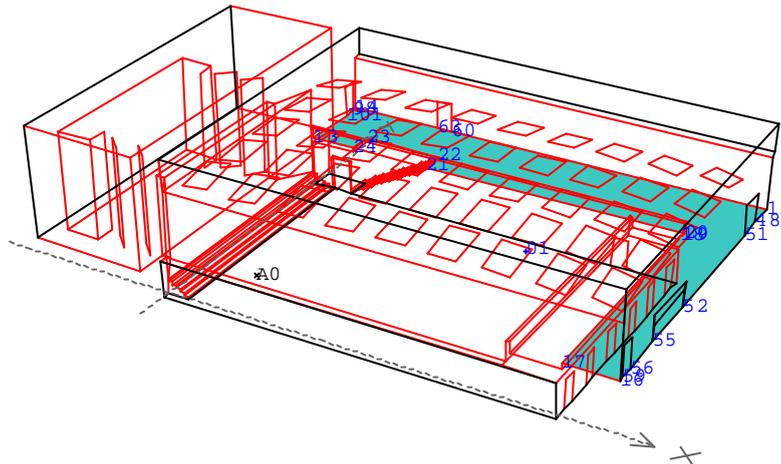
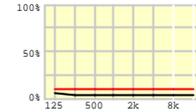


Abbildung 2.5: CATT: Darstellung der einzelnen Flächen

Die vierte Darstellung („shaded.plt“, Abbildung 2.6) ist eine einfarbig schattierte Darstellung der Raumgeometrie. Ähnlich wie die erste soll sie einen Überblick geben und kann beliebig gedreht, vergrößert und verkleinert werden.

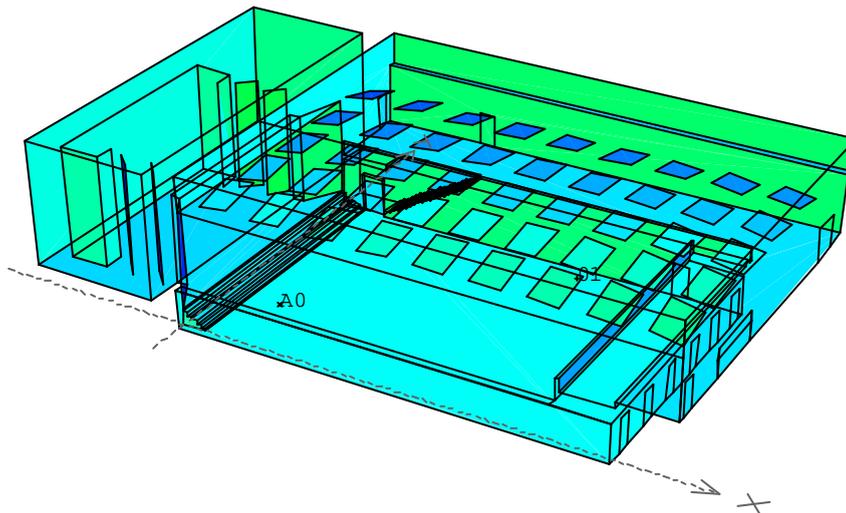


Abbildung 2.6: CATT: einfarbige schattierte Darstellung der Raumgeometrie

Der nächste Plot („reflinfo.plt“, Abbildung 2.7) stellt das Reflexionsverhalten der verschiedenen Flächen im Bezug auf die Quellenposition dar. So ist in der folgenden Abbildung beispielsweise zu sehen, welchen Bereich das Segel im Publikum bei der gewählten Quellenposition abdeckt. Die gewünschten Flächen müssen zuvor im „Geometry View / Check“-Dialog angegeben werden. Die Reflexionsbereiche der gerade nicht aktivierten Flächen werden grau dargestellt. Auch hier kann beliebig gedreht und gezoomt werden.

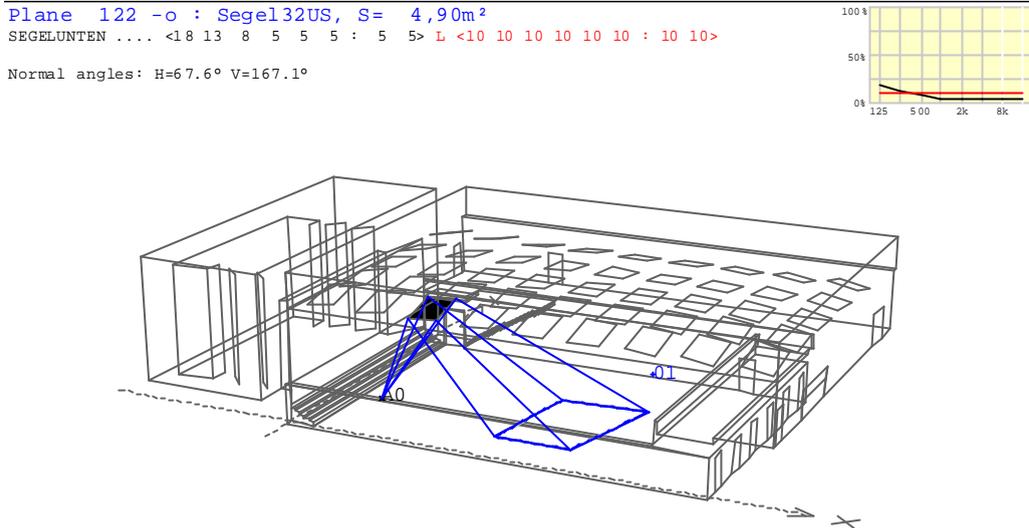


Abbildung 2.7: CATT: Darstellung des Reflexionsbereichs einzelner Flächen

Die nächsten beiden Darstellungen (Abbildung 2.8 („srcinfo3D.plt“) und Abbildung 2.9 („srcinfo.plt“)) befassen sich mit der Quelle. Zunächst gibt es wieder eine dreh- und zoombare 3D-Grafik (Abbildung 2.8), in der bei nicht-omnidirektionalen Quellen auch die Umrisse der -3dB-Pegel für die verschiedenen Oktavbänder in unterschiedlichen Farben dargestellt werden. Die zweite Ansicht (Abbildung 2.9) der Quelle stellt die Quellenposition in Abhängigkeit des Koordinatensystems sowie die Eigenschaften der Quelle dar. Dieser Plot ist nicht dreh- oder zoombar.

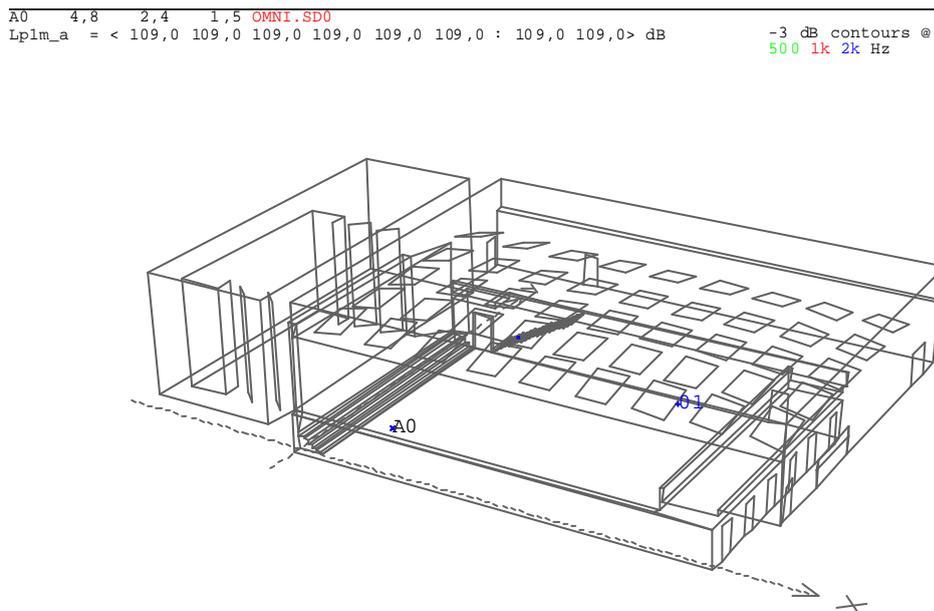


Abbildung 2.8: CATT: 3D-Darstellung der Quelle

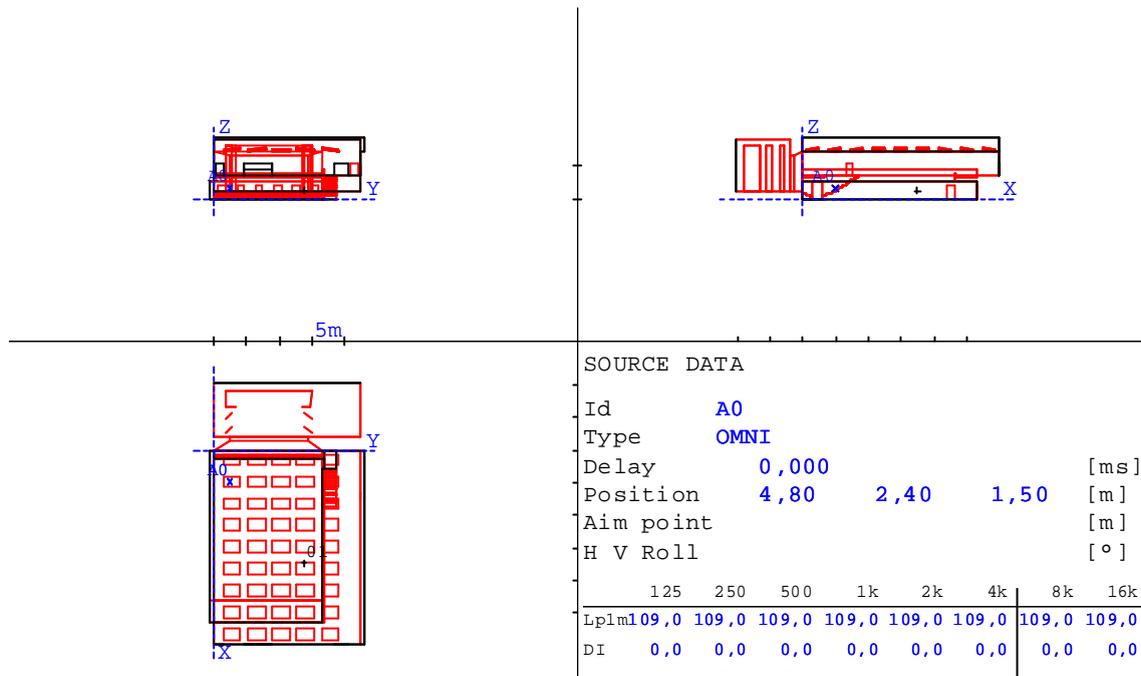


Abbildung 2.9: CATT: Darstellung der Quelle inkl. aller Eigenschaften

Der vorletzte Plot („view4.plt“, Abbildung 2.10) stellt den Raum in Abhängigkeit des Koordinatensystems dar sowie eine 3D-Ansicht mit Angabe des Raumvolumens. Diese Darstellung ist ebenso wie die letzte nicht drehbar und nicht zoombar.

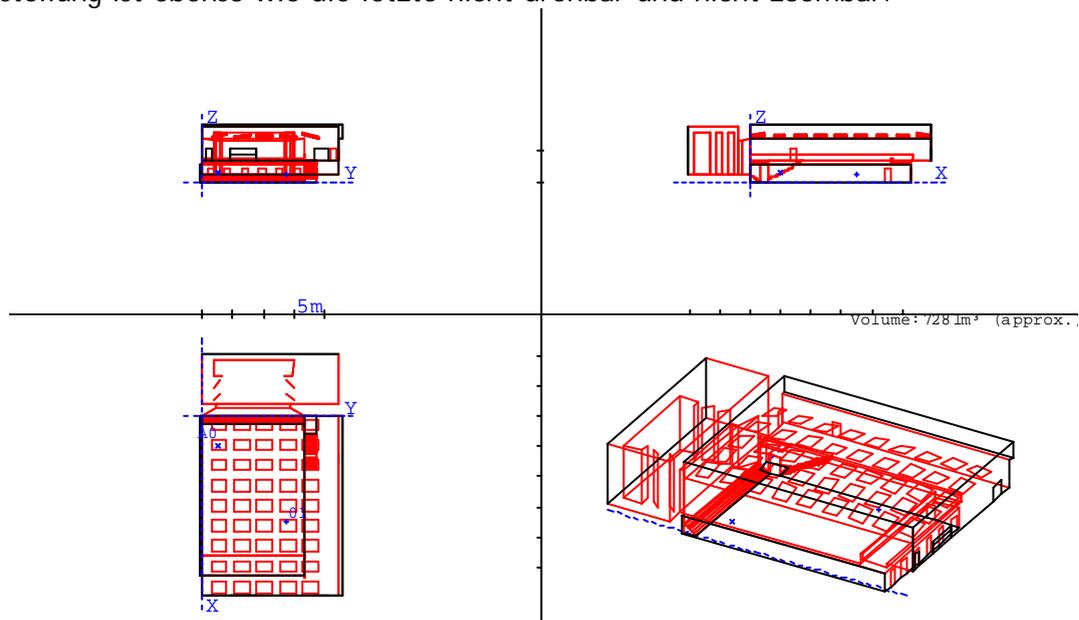


Abbildung 2.10: CATT: koordinatensystem-abhängige Darstellung des Raums

Die letzte Ansicht („shaded.olg“, Abbildung 2.11, Abbildung 2.12, Abbildung 2.13 und Abbildung 2.14) öffnet sich in einem extra Fenster, dem 3D-Viewer, und beinhaltet die Möglichkeit sich virtuell durch den Raum zu bewegen. Wiederum sind Quelle und Empfänger mit Zielrichtung sowie die Position der Lichtquelle (weiße Kugel) zu sehen. Die Beleuchtungssituation, Kameraposition, usw. sind im Menü wählbar. Im Folgenden einige Eindrücke:

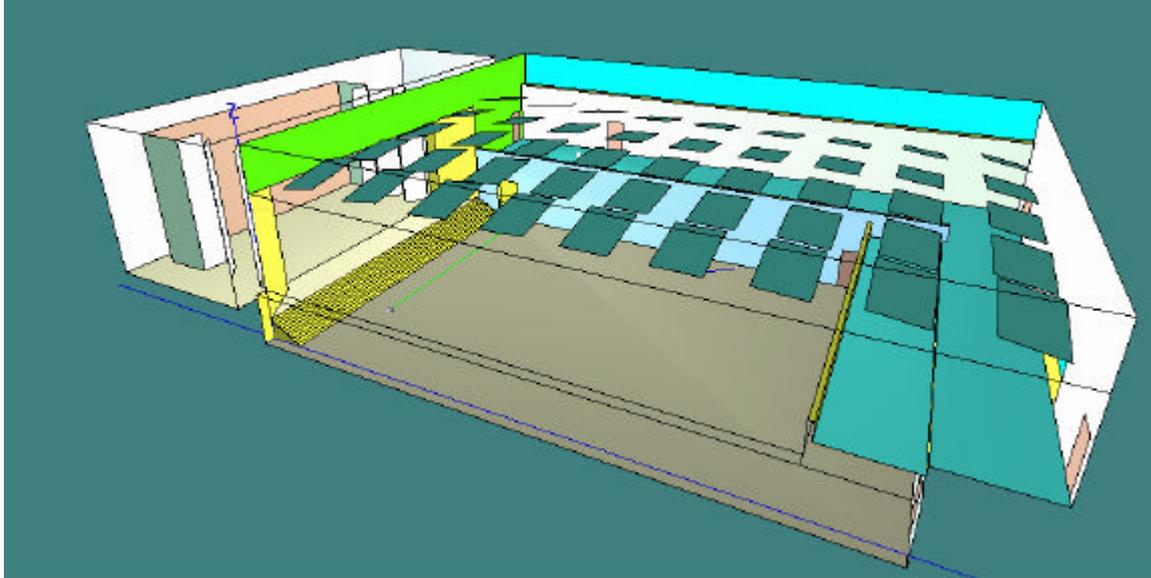


Abbildung 2.11: CATT: Außenansicht

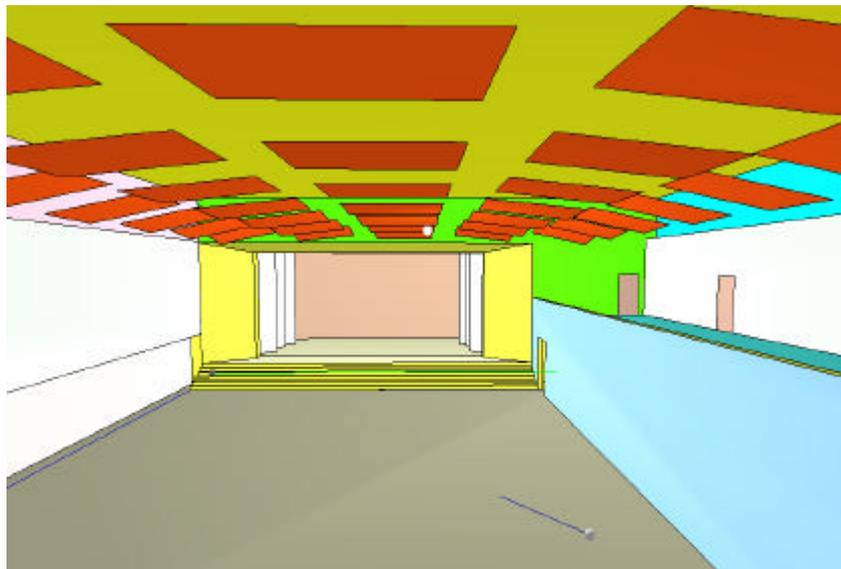


Abbildung 2.12: CATT: Blick von der Ostgalerie auf die Bühne

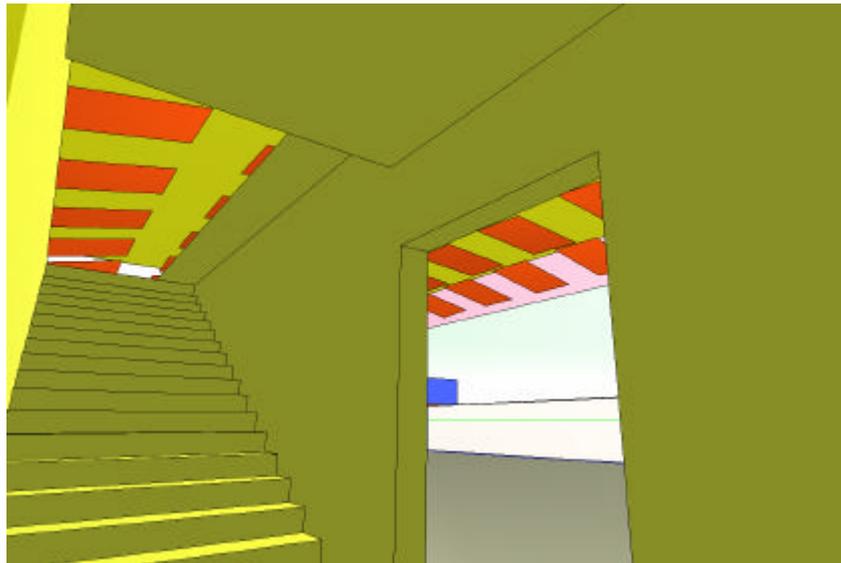


Abbildung 2.13: CATT: Blick in den Treppenaufgang neben der Bühne

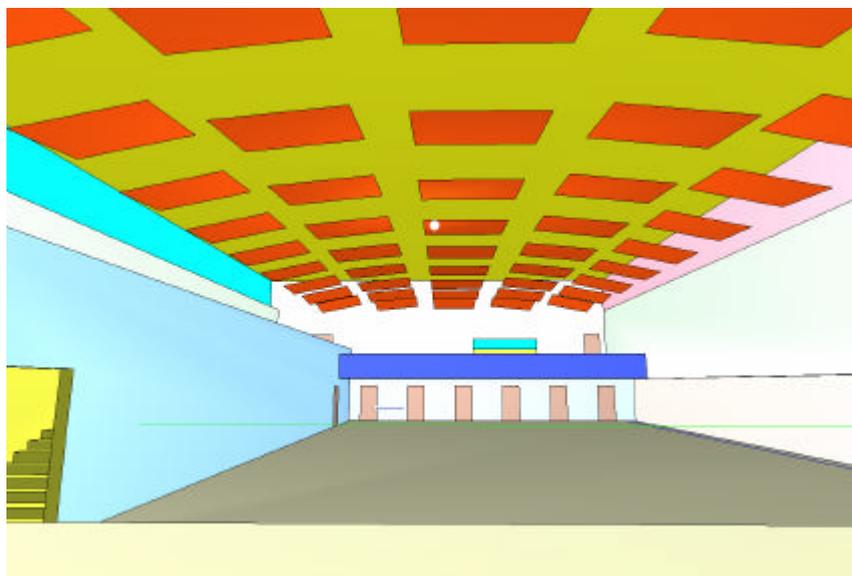


Abbildung 2.14: CATT: Blick von der Bühne ins Publikum

2.2.2 AUDIENCE AREA MAPPING

Die klimatischen Bedingungen im Raum wurden mit einer Temperatur von 20 °C, einer Luftfeuchtigkeit von 50 % und einer Luftdichte von 1,2 kg/m³ angenommen.

Für die Berechnungen wurde eine Kartenhöhe von 1,2 m ausgewählt, da diese etwa der Position des Ohres bei einer sitzenden Person entspricht.

Die Auflösung der Karte beträgt 0,5 m und es wurden 177158 Rays 926 ms verfolgt.

Berechnet werden kann hier für die Oktavbänder von 125 Hz bis 16 kHz der LF (Seitenschallgrad), der SPL (Schalldruckpegel), der D-50 (Deutlichkeitsgrad), der C-80 (Klarheitsmaß), die Ts (Schwerpunktzeit), der STI (Sprachübertragungsindex), der RASTI (schnelle Ermittlung des Sprachübertragungsindexes), G (Stärkemaß) und RT' (Nachhallzeit, abgeleitet von Ts) und zwar sowohl in 2D wie auch in 3D-Darstellung. Alle Ergebnisse liegen auch in Form eines txt-Files (Mapstat.txt) vor. In dieser Datei werden die Ergebnisse relativ zum berechneten Flächenanteil angegeben:

```

-----
LF      500 Hz [%]
-----
      <   5,0 :  2,51 %  ***
    5,0 - 10,0 : 11,45 %  *****
  10,0 - 15,0 : 21,57 %  *****
  15,0 - 20,0 : 20,43 %  *****
  20,0 - 25,0 : 15,29 %  *****
  25,0 - 30,0 : 14,08 %  *****
  30,0 - 35,0 : 11,41 %  *****
  35,0 - 40,0 :  3,02 %  ***
  40,0 - 45,0 :  0,24 %  -
  45,0 - 50,0 :
      >  50,0 :  0,00 %
    
```

Die Sternchen sollen die Prozentzahlen verdeutlichen und die Ergebnisse leichter interpretierbar machen.

Für den Vergleich mit Ulysses wurden die einzelnen Gütemaße für die Oktavbänder 500 Hz, 1 kHz und 2 kHz berechnet.

Um einen kurzen Überblick über die Darstellung der Berechnungsergebnisse zu geben, werden in den folgenden Kapiteln für jedes Gütemaß das erhaltene Bild für das Oktavband 500 Hz dargestellt. Die Mapstat-File-Ergebnisse aller drei Oktavbänder wurden für eine bessere Übersichtlichkeit in eine Exceltabelle (Ergebnisgrafiken.xls) übertragen und es wurde ein entsprechendes Diagramm erstellt, welches sich jeweils am Ende des Kapitels befindet.

2.2.2.1 D-50 (DEUTLICHKEITSGRAD)

Zuerst nun die grafische Darstellung für die Berechnungsergebnisse des Deutlichkeitsgrades D-50 bei 500 Hz:

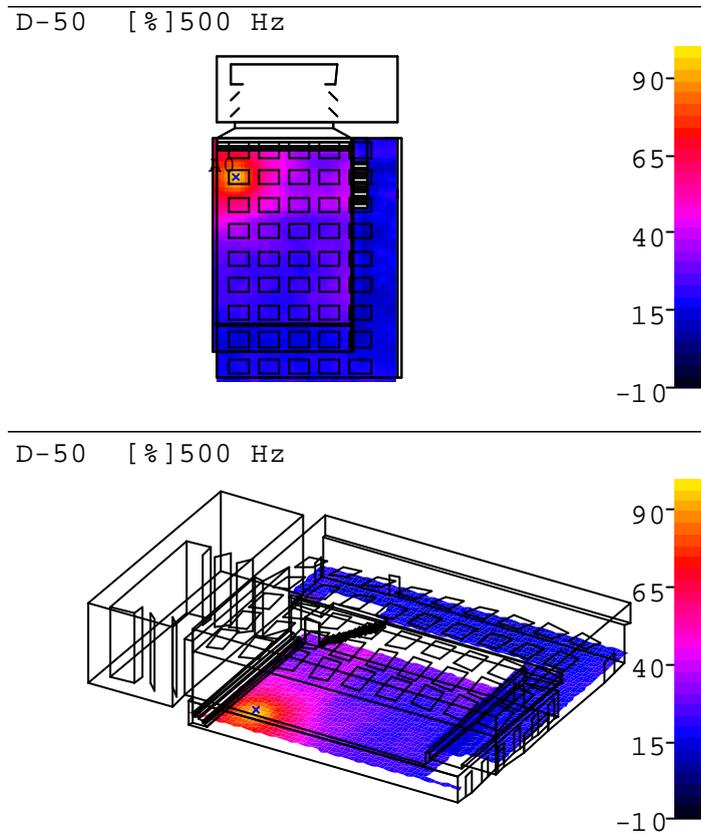


Abbildung 2.15: CATT: D-50 [%] bei 500 Hz

Die im Mapstat-File notierten Ergebnisse sind im folgenden Excel-Diagramm festgehalten:

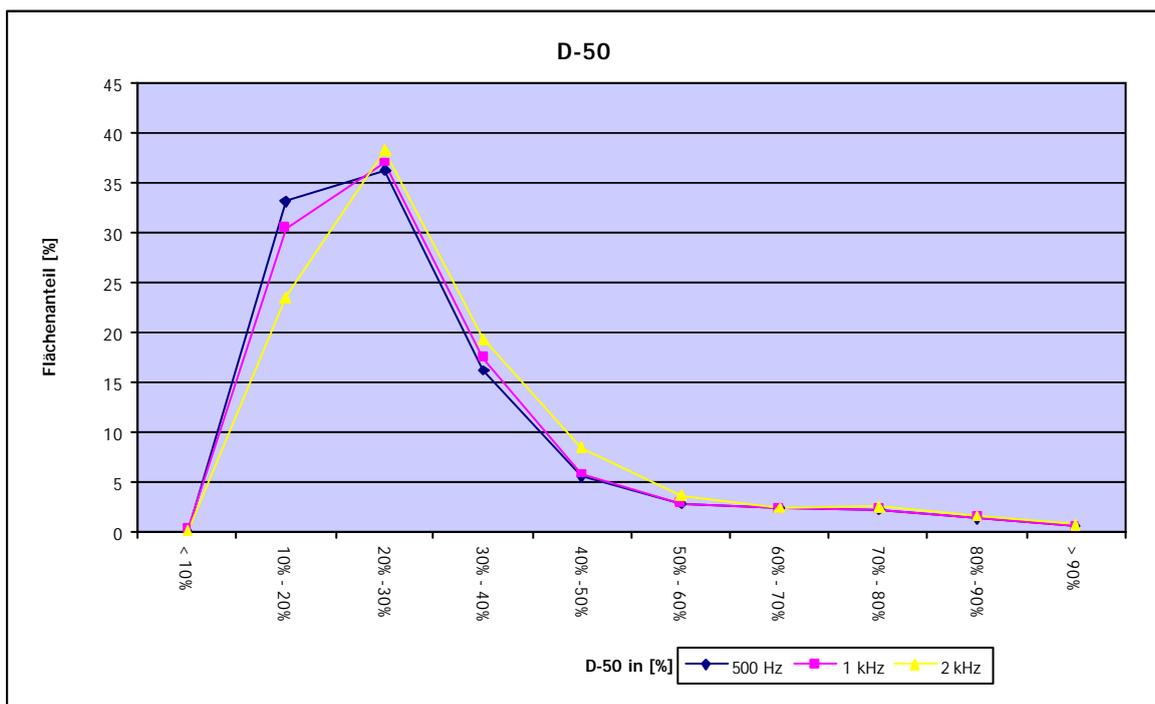
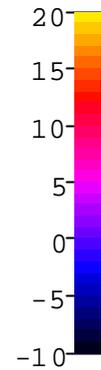
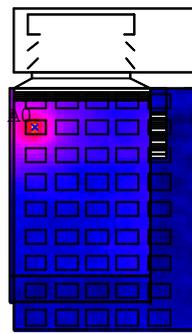


Abbildung 2.16: CATT: D-50 [%], Excel-Diagramm

2.2.2.2 C-80 (KLARHEITSMASS)

Zunächst wiederum die grafische Darstellung bei 500 Hz:

C-80 [dB] 500 Hz



C-80 [dB] 500 Hz

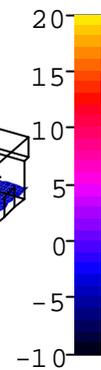
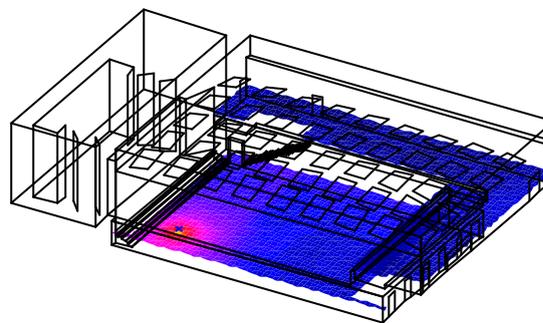


Abbildung 2.17: CATT: C-80 [dB] bei 500 Hz

Im Folgenden die Excel-Darstellung des Mapstat-Files:

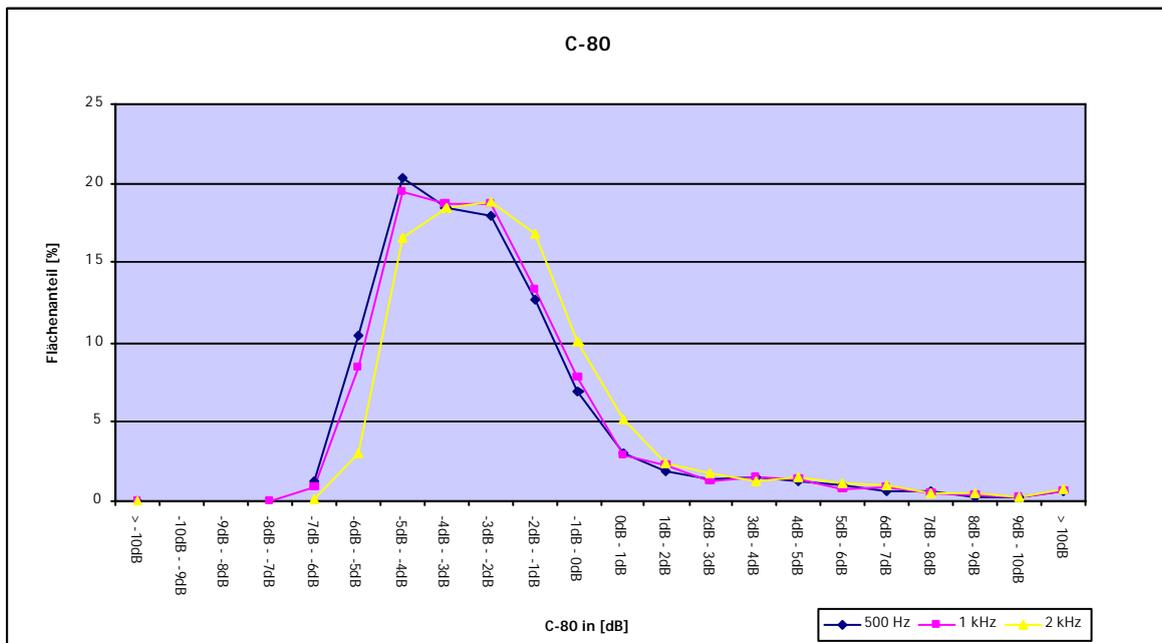


Abbildung 2.18: CATT: C-80 [dB], Excel-Diagramm

2.2.2.3 RT' (NACHHALLZEIT)

Bei 500 Hz ergibt sich folgende zeitliche Verteilung:

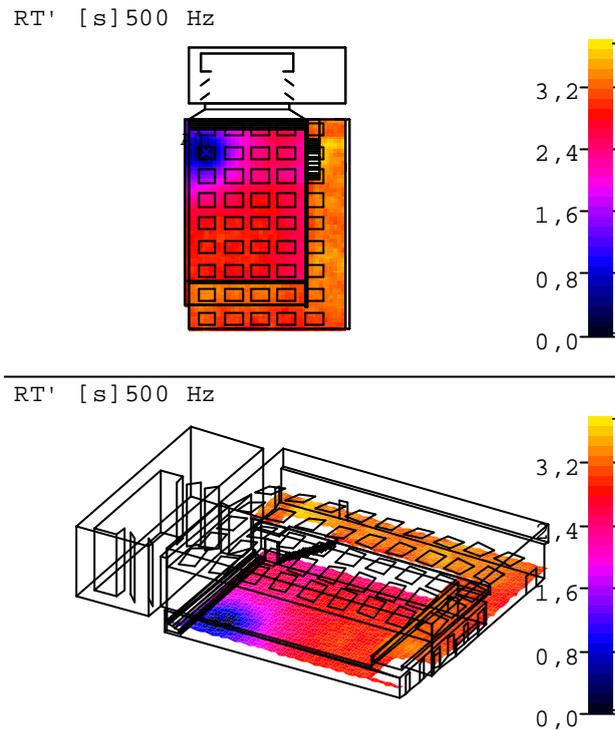


Abbildung 2.19: CATT: RT' [s] bei 500 Hz

Das nachfolgende Excel-Diagramm zeigt wieder den prozentualen Flächenanteil der einzelnen Werte der Nachhallzeit:

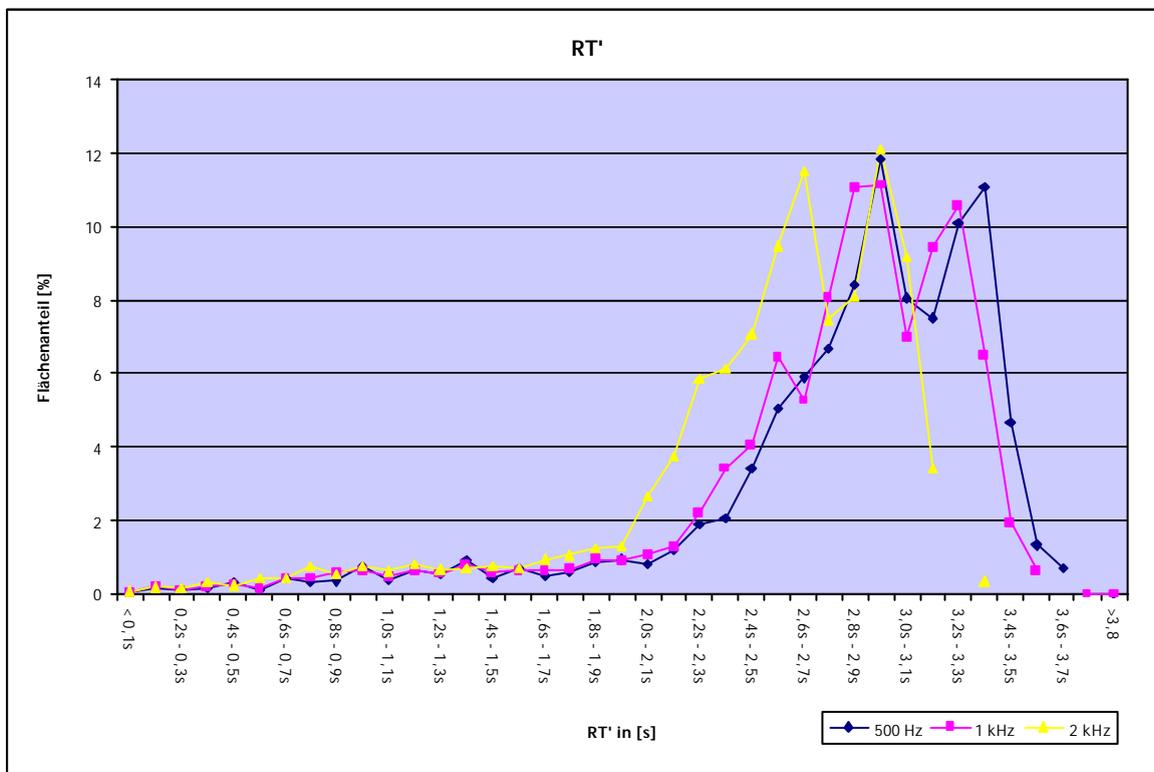


Abbildung 2.20: CATT: RT' [s], Excel-Diagramm

2.2.2.4 Ts (SCHWERPUNKTZEIT)

Zuerst nun wieder der Überblick über die Darstellung der Berechnung bei 500Hz:

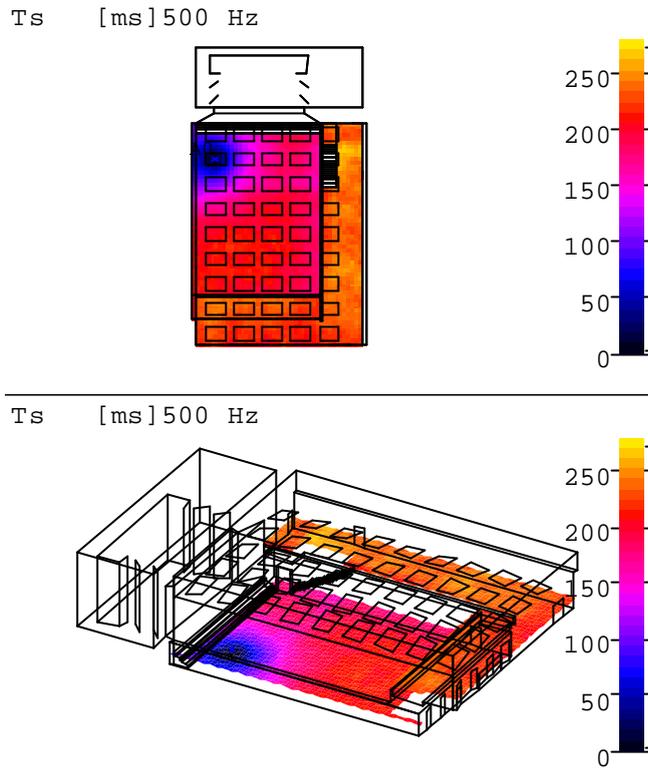


Abbildung 2.21: CATT: Ts [ms] bei 500 Hz

Das Excel-Diagramm vergleicht wiederum die Ergebnisse für alle drei Oktavbänder:

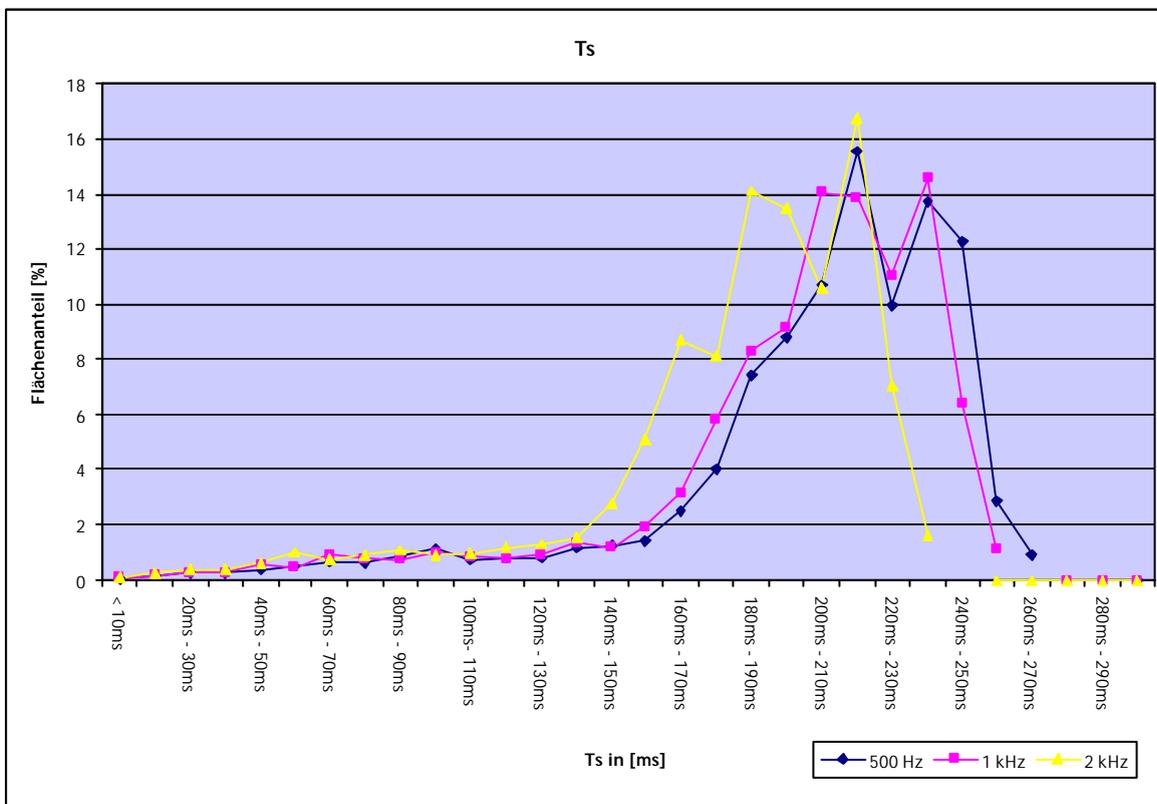


Abbildung 2.22: CATT: Ts [ms], Excel-Diagramm

2.2.2.5 SPL (SCHALLDRUCKPEGEL)

Für den SPL bietet CATT drei verschiedene Berechnungsformen an:

- SPL
- SPL des Direktschalls
- SPL im zeitlichen Verlauf

Zunächst der SPL bei 500 Hz und das dazugehörige Excel-Diagramm:

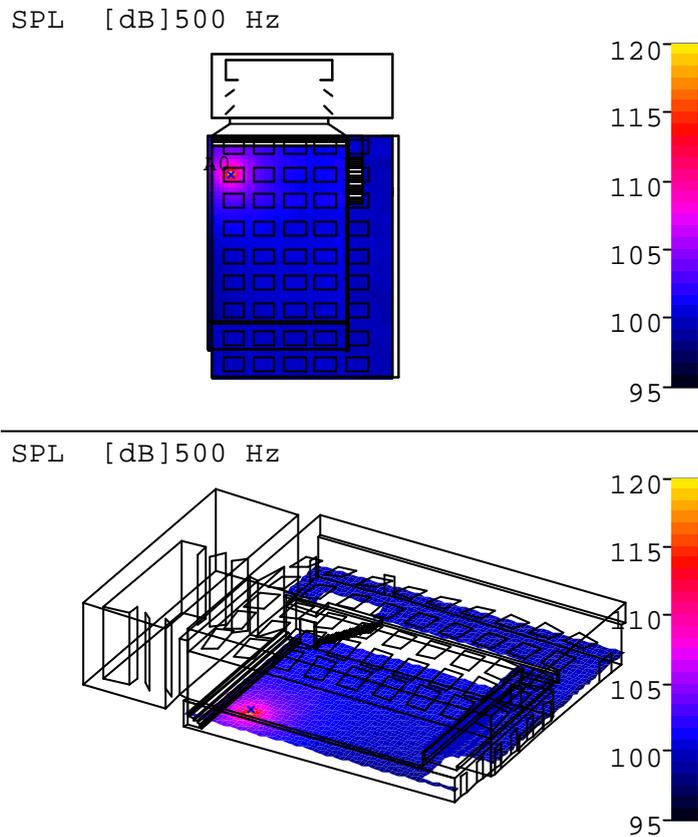


Abbildung 2.23: CATT: SPL [dB] bei 500 Hz

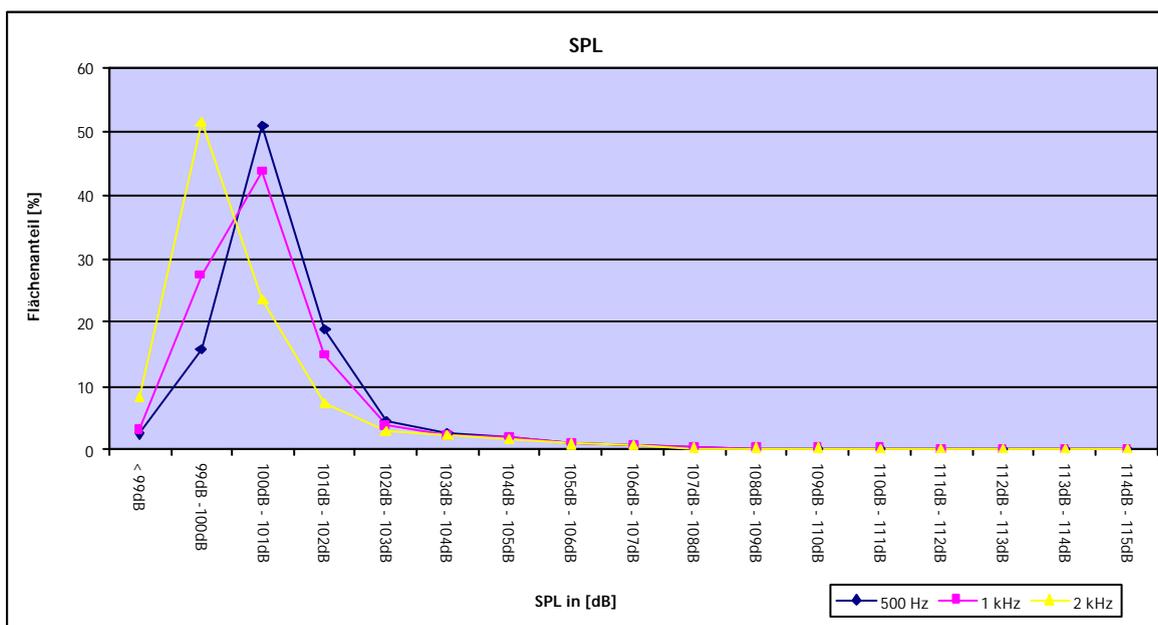


Abbildung 2.24: CATT: SPL [dB], Excel-Diagramm

Der SPL des Direktschalls wird nur grafisch berechnet, es liegen keine Mapstat-Ergebnisse vor:

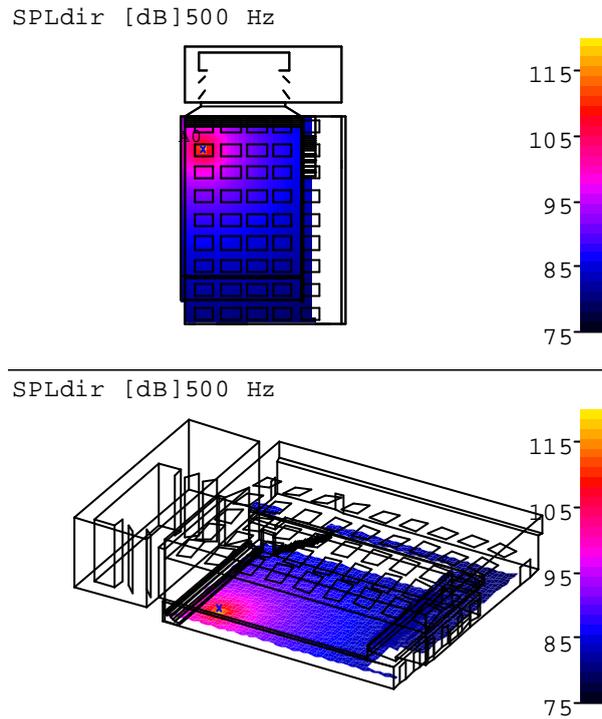


Abbildung 2.25: CATT: SPL Direktschall [dB] bei 500 Hz

Für die zeitliche Darstellung der Abnahme des SPLs wurden die Intervalle 0 bis 20 ms, 20 bis 50 ms, 50 bis 80 ms und 80 bis 200 ms gewählt. Es ergibt sich folgende grafische Darstellung:

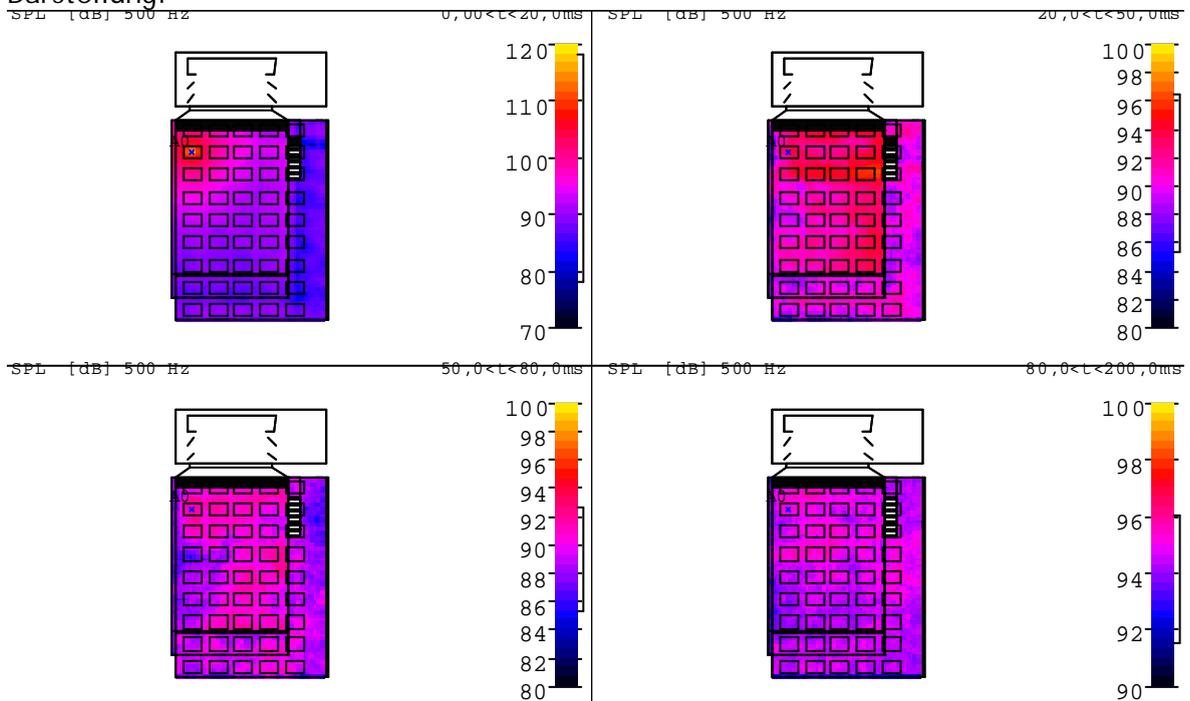


Abbildung 2.26: CATT: SPL [dB] bei 500 Hz, zeitlicher Verlauf

Aus den im Mapstat-File vorhandenen Ergebnissen konnten folgende Excel-Diagramme erstellt werden:

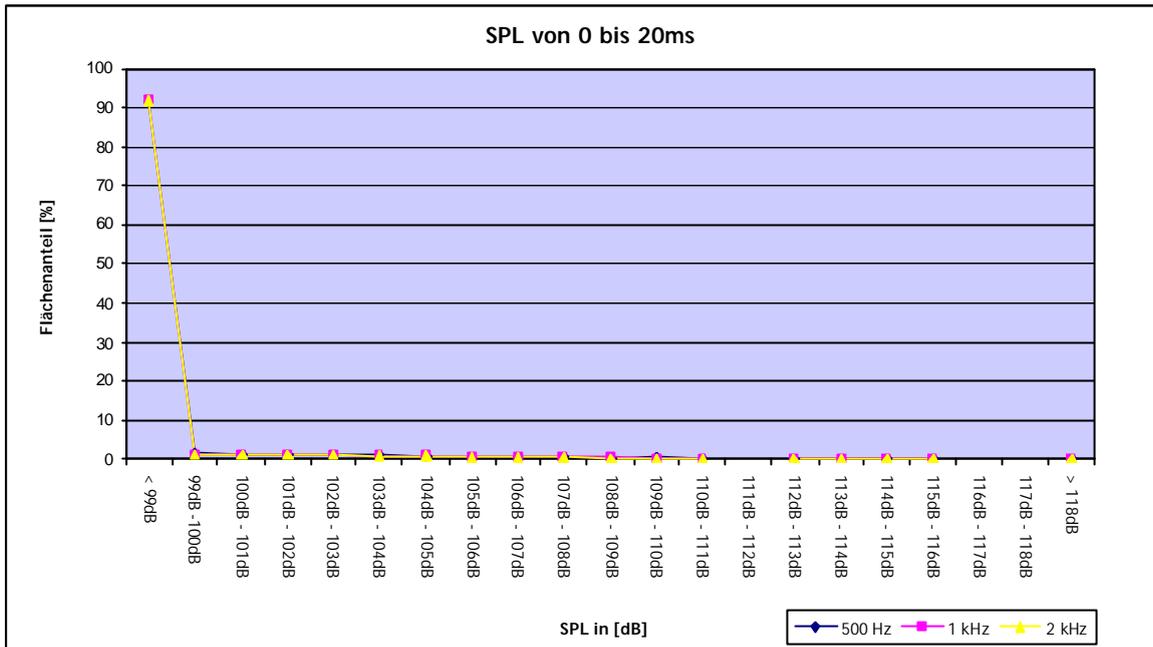


Abbildung 2.27: CATT: SPL [dB] bei 500 Hz, 0-20 ms, Excel-Diagramm

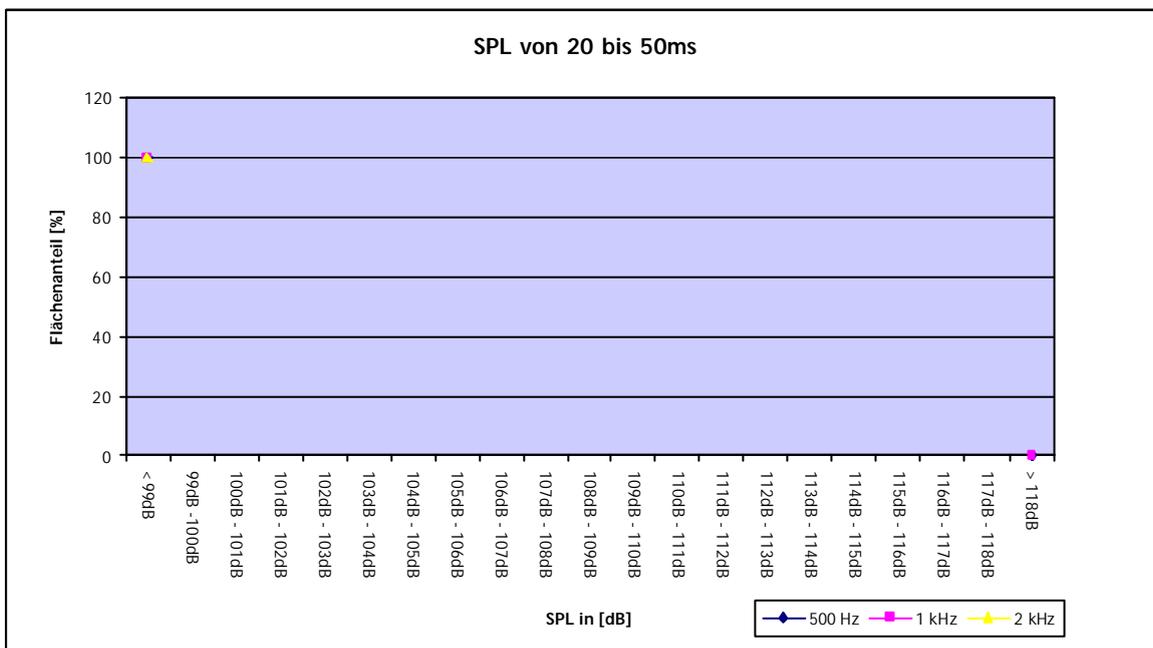


Abbildung 2.28: CATT: SPL [dB] bei 500 Hz, 20-50 ms, Excel-Diagramm

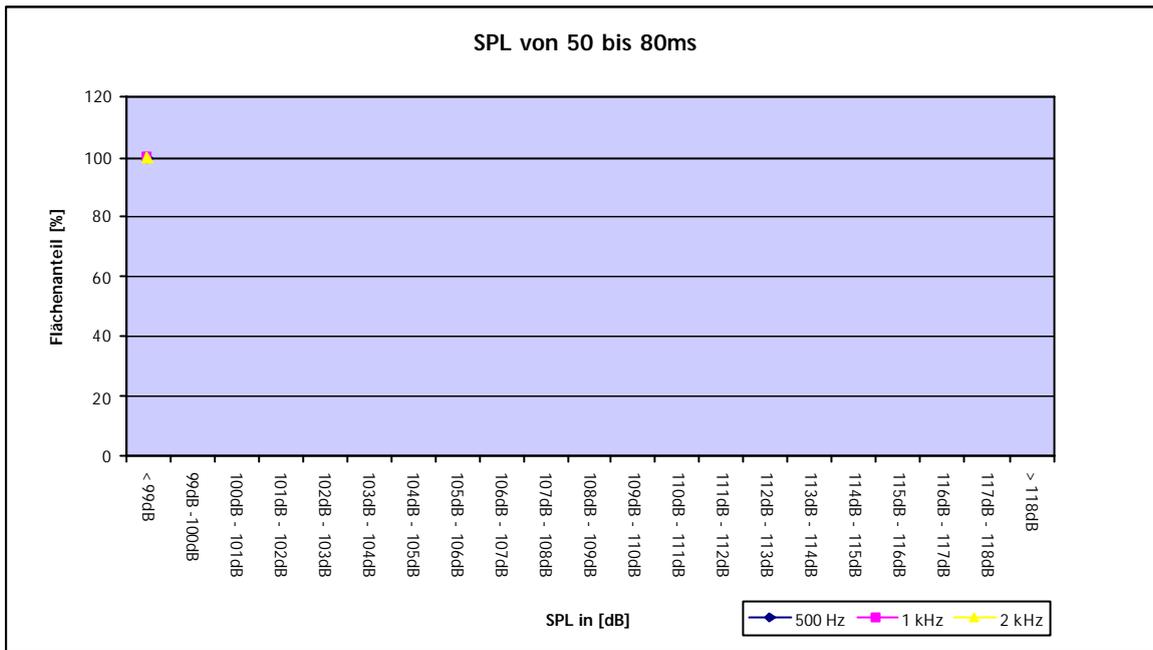


Abbildung 2.29: CATT: SPL [dB] bei 500 Hz, 50-80 ms, Excel-Diagramm

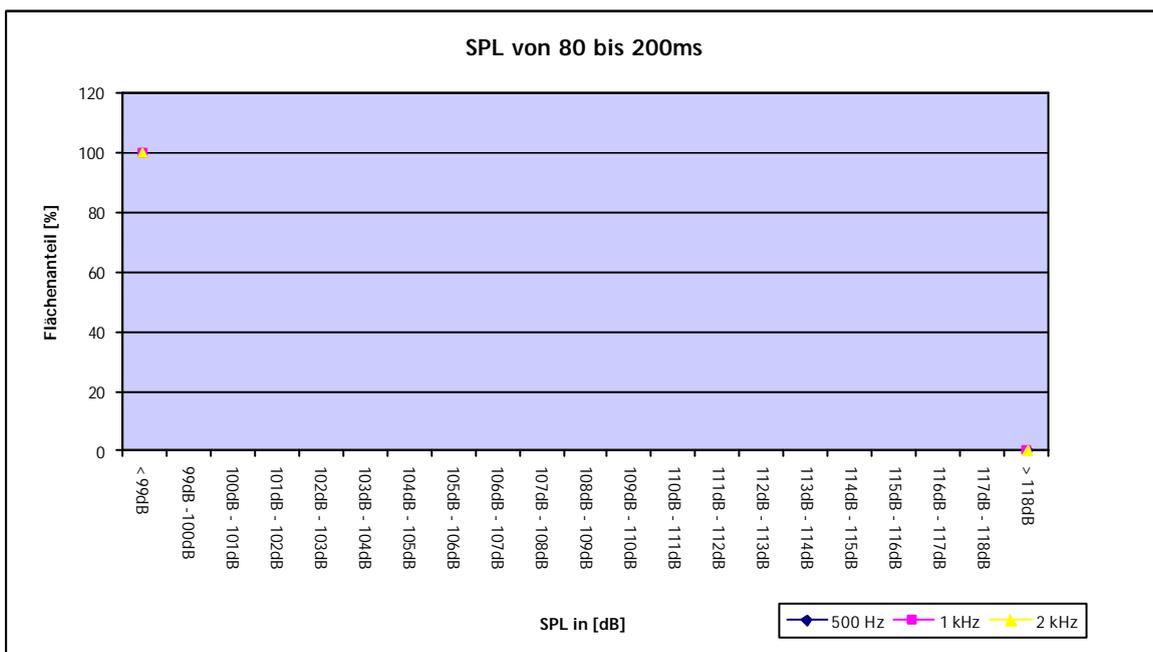


Abbildung 2.30: CATT: SPL [dB] bei 500 Hz, 80-200 ms, Excel-Diagramm

2.2.2.6 STI (SPEECH TRANSMISSION INDEX)

Der STI wurde über die Oktavbänder 125 Hz bis 16 kHz berechnet. Für die Gewichtungen der einzelnen Oktavbänder wurden die in CATT vorgegebenen Standardwerte verwendet. CATT berechnet ebenfalls den STI für vorhandene Hintergrundgeräusche, die in dem Menü „General Settings“ festgelegt werden können. Die verwendeten Werte werden unter den Grafiken in roter Schrift angegeben. Das Ergebnis sieht wie folgt aus:

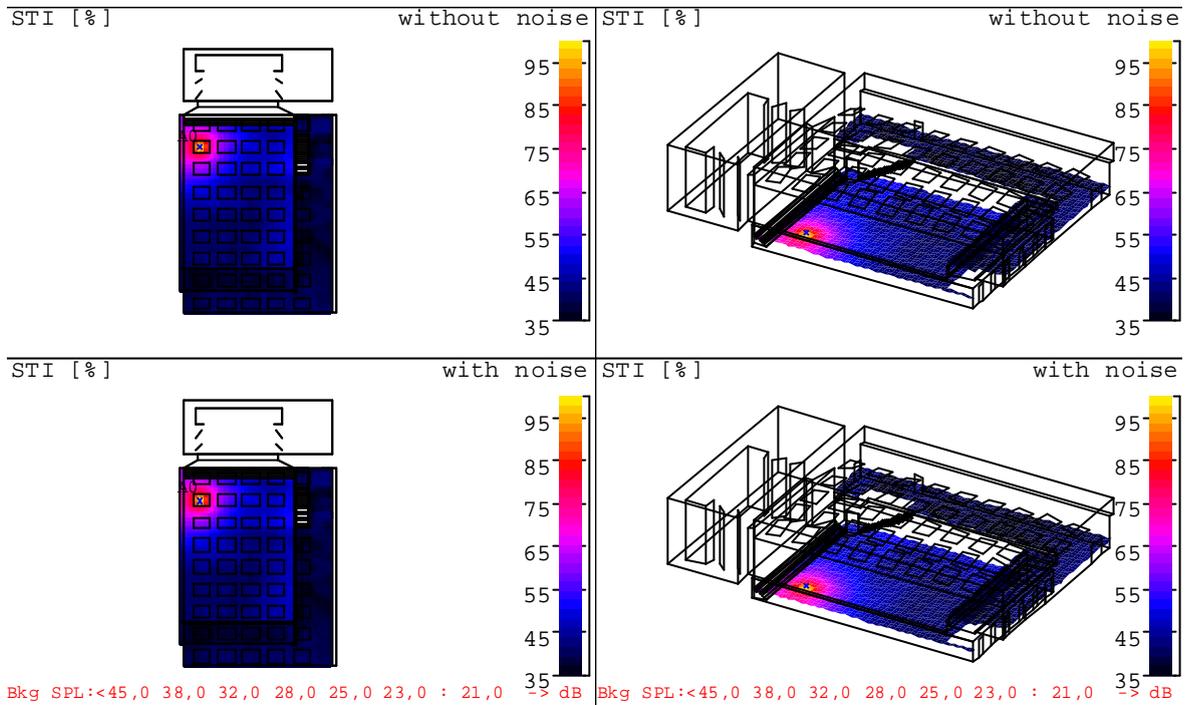


Abbildung 2.31: CATT: STI [%]

Da die im Mapstat-File ermittelten Werte für den STI mit und ohne Hintergrundgeräusch dieselben sind, wird im folgenden Excel-Diagramm nur der STI ohne Hintergrundgeräusch dargestellt:

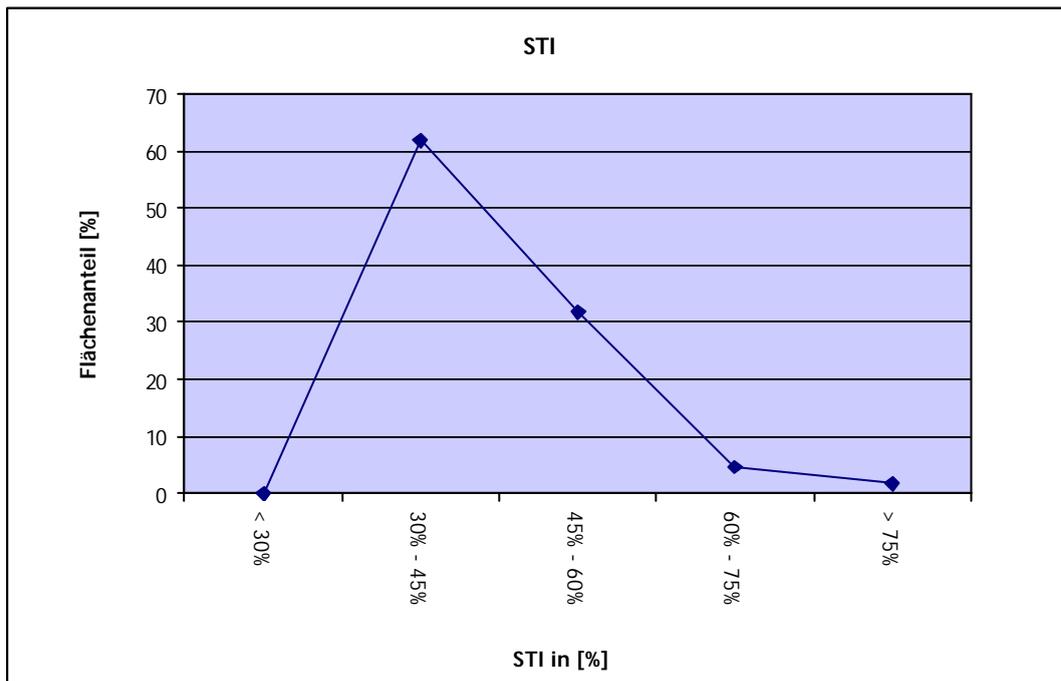


Abbildung 2.32: CATT: STI [%], Excel-Diagramm

2.2.2.7 RASTI (RAPID SPEECH TRANSMISSION INDEX)

Für den RASTI zeigt die grafische Darstellung des Ergebnisses Folgendes:

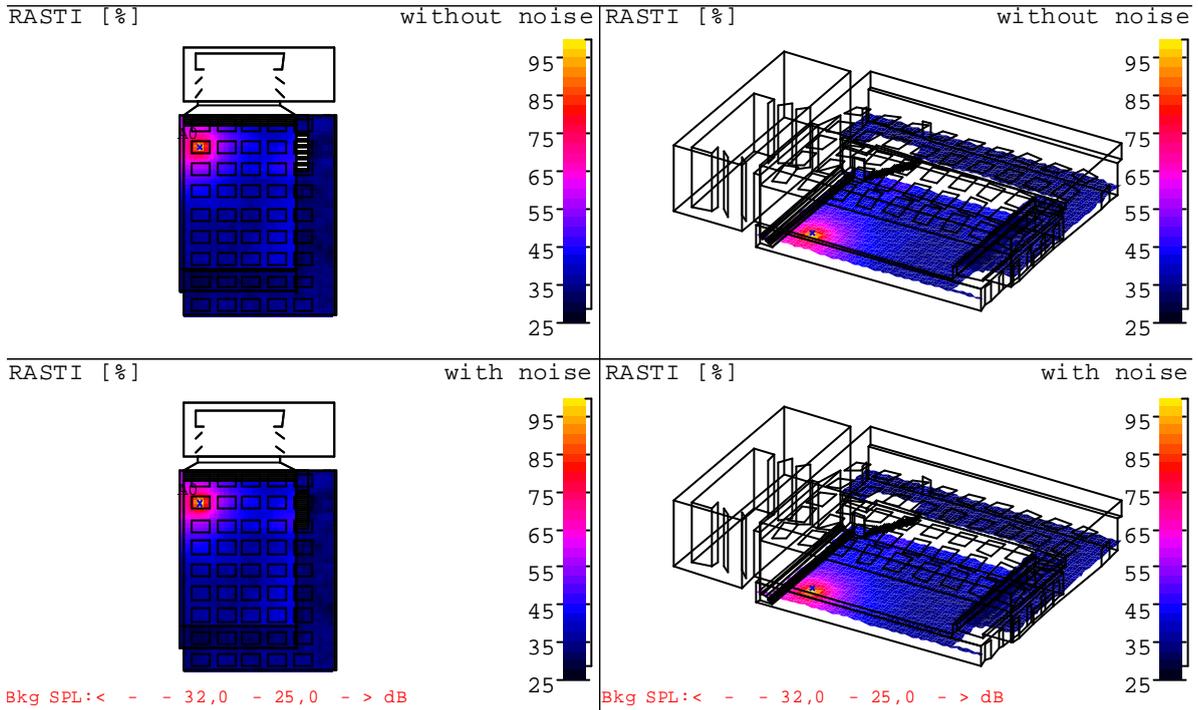


Abbildung 2.33: CATT: RASTI [%]

Wie schon beim STI wurden für nachfolgendes Excel-Diagramm ebenfalls nur die Werte für den RASTI ohne Hintergrundgeräusch verwendet, da sich auch hier eine Übereinstimmung ergab.

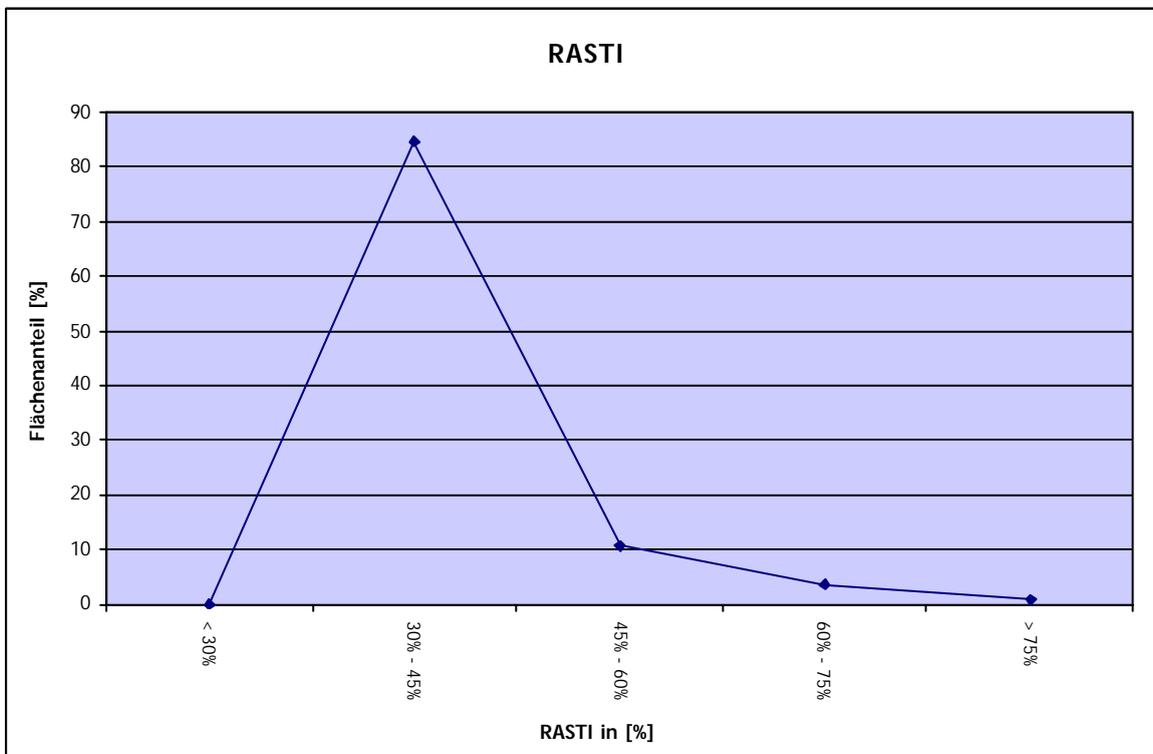


Abbildung 2.34: CATT: RASTI [%], Excel-Diagramm

2.2.2.8 LF (SEITENSCHALLGRAD)

Nun die Darstellung der Berechnungsergebnisse für den Seitenschallgrad LF bei 500 Hz:

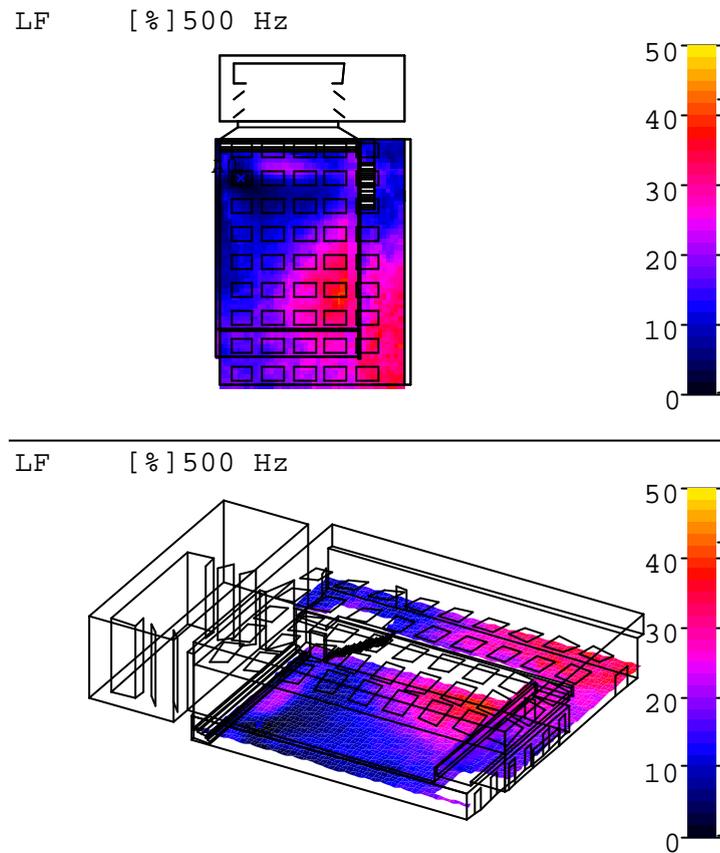


Abbildung 2.33: CATT: LF [%] bei 500 Hz

Das Excel-Diagramm hierzu sieht wie folgt aus:

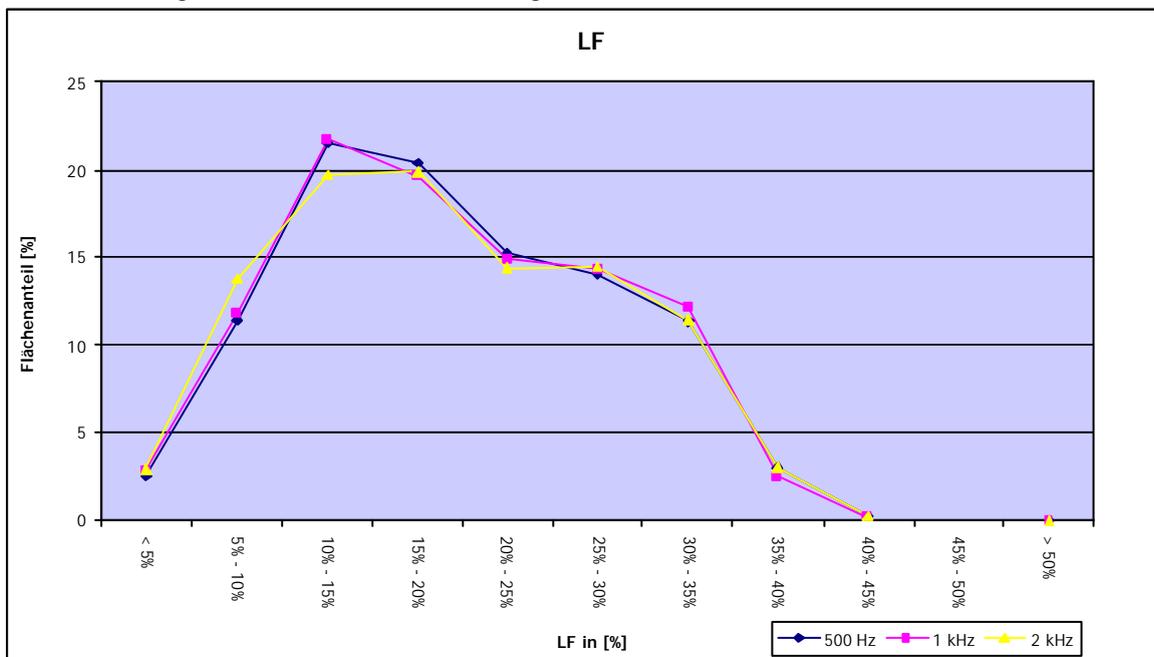


Abbildung 2.34: CATT: LF [%], Excel-Diagramm

Ebenso wie beim SPL bietet CATT auch beim LF die Möglichkeit eine zeitliche Entwicklung zu berechnen. Die Intervalle können auch wieder individuell bestimmt werden. Die grafische Berechnung zeigt Folgendes:

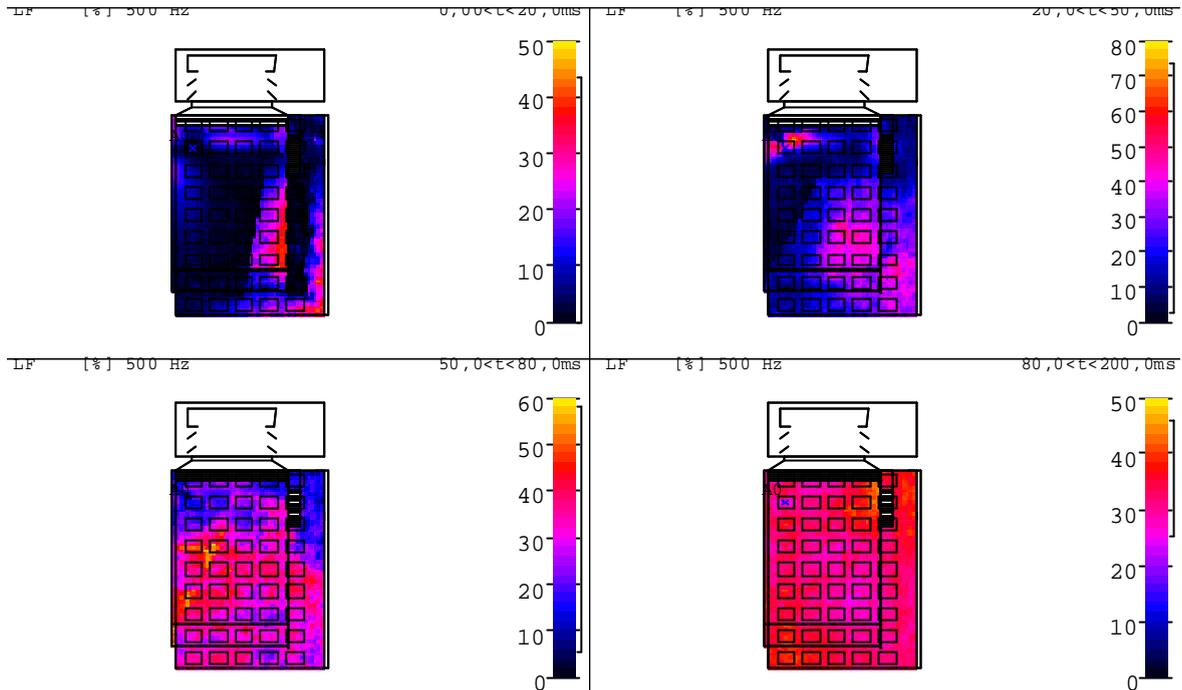


Abbildung 2.35: CATT: LF in [%] bei 500 Hz, zeitlicher Verlauf

Die Excel-Diagramme umfassen alle drei Oktavbänder:

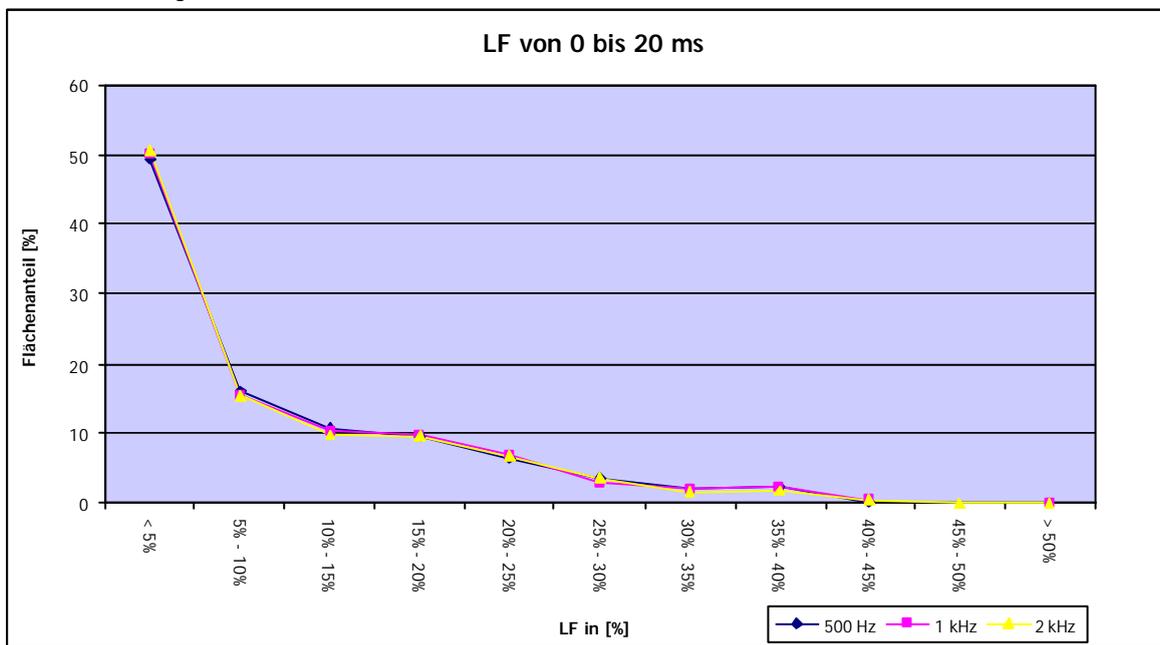


Abbildung 2.36: CATT: LF [%], 0-20 ms, Excel-Diagramm

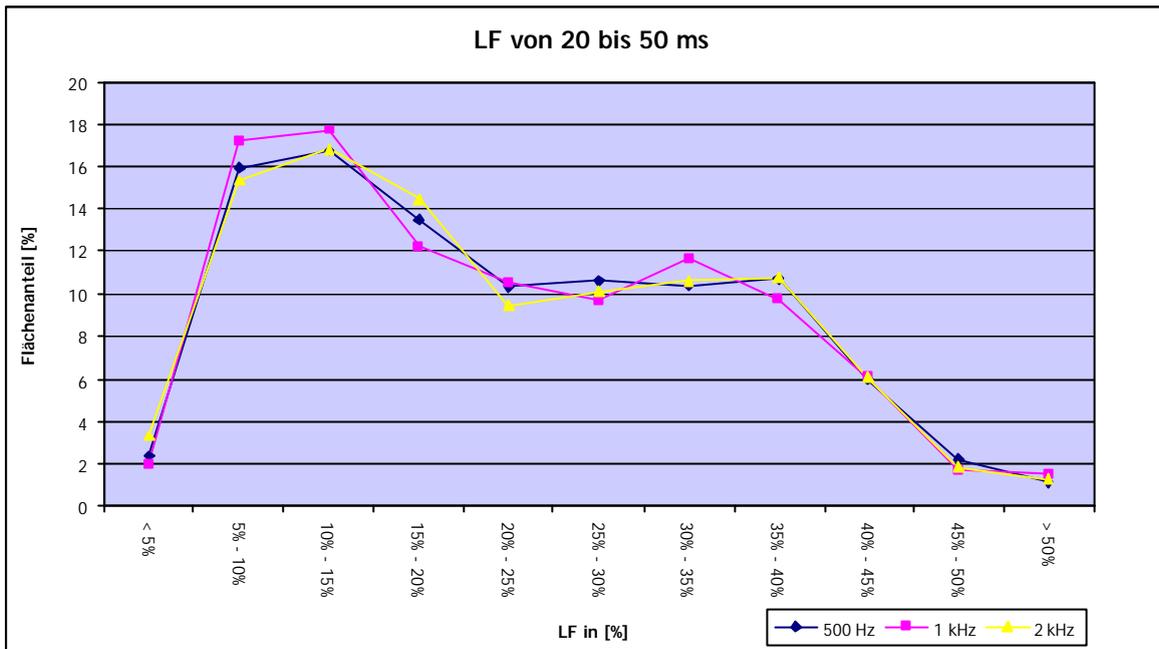


Abbildung 2.37: CATT: LF [%], 20-50 ms, Excel-Diagramm

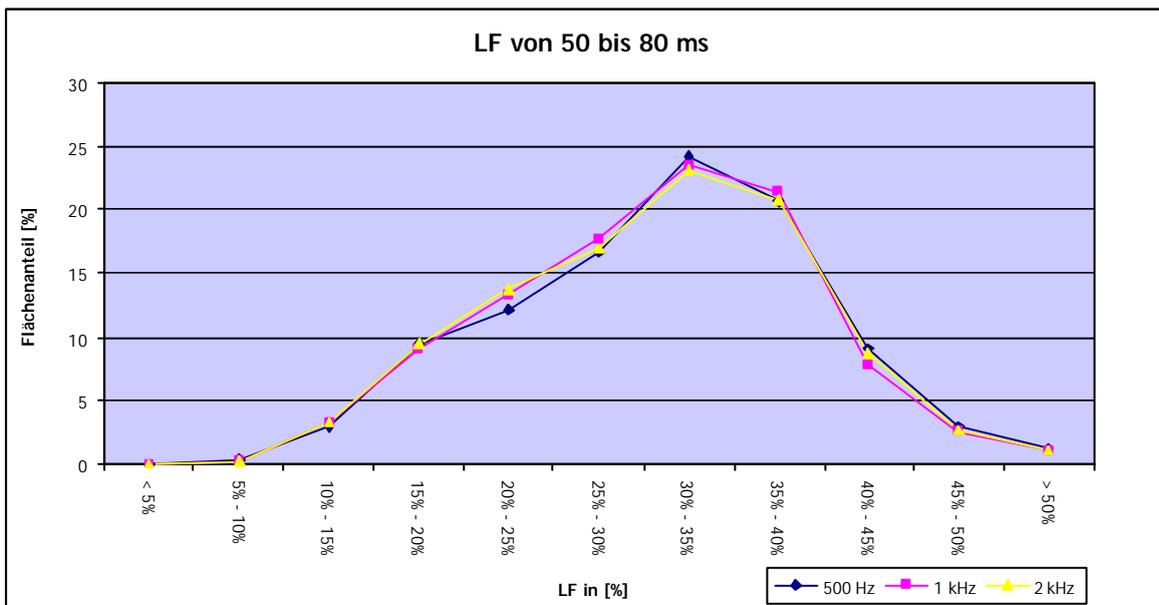


Abbildung 2.38: CATT: LF [%], 50-80 ms, Excel-Diagramm

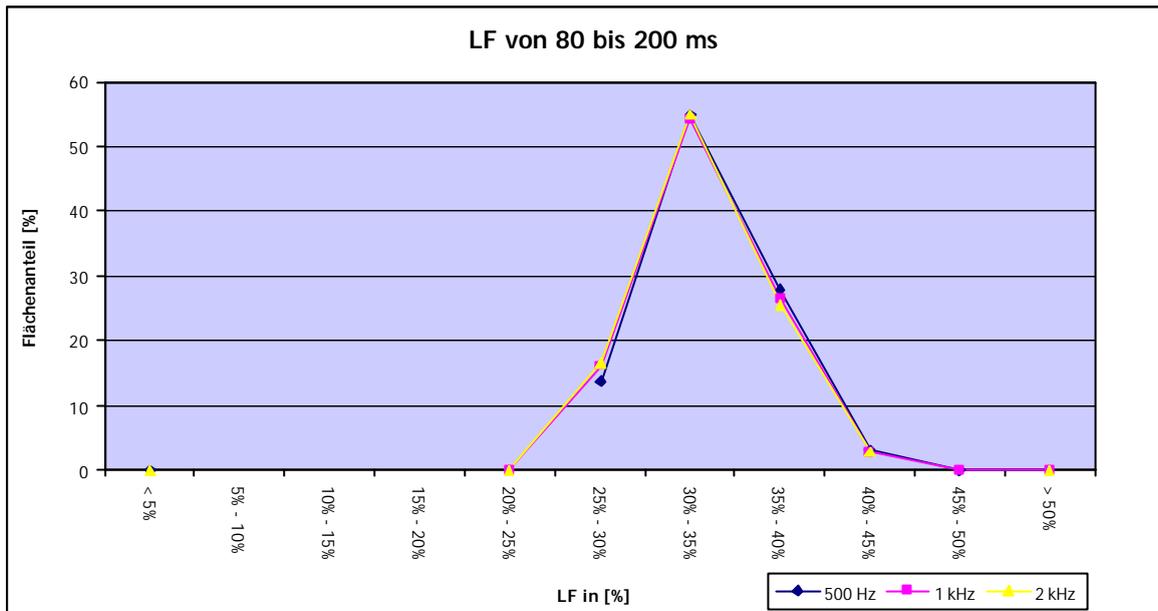


Abbildung 2.39: CATT: LF [%], 80-200 ms, Excel-Diagramm

2.2.2.9 G (STÄRKEMASS)

Die grafische Darstellung des Stärkemasses ergibt für 500 Hz folgendes Bild:

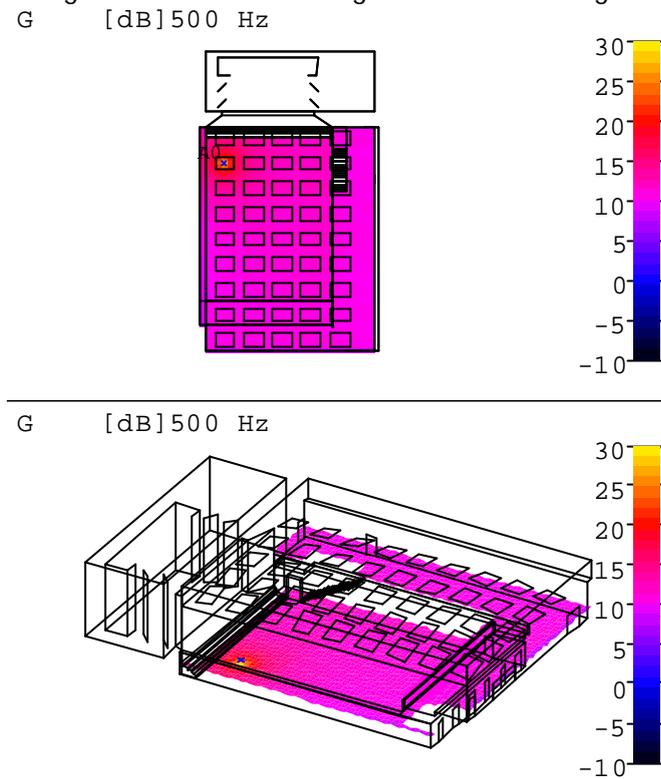


Abbildung 2.40: CATT: G [dB] bei 500 Hz

Das Excel-Diagramm stellt wieder alle drei Oktavbänder dar:

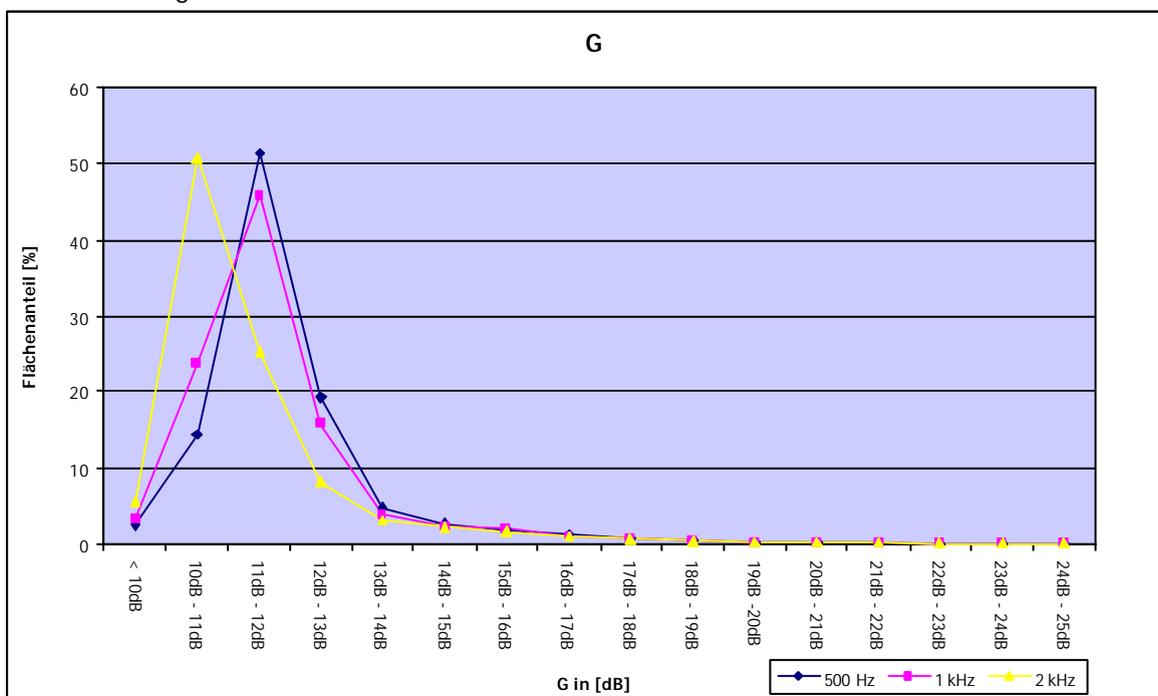


Abbildung 2.41: CATT: G [dB], Excel Diagramm

2.2.3 EARLY PART DETAILED ISM

Wie bereits in Kapitel 1.3 erwähnt, werden hier die frühen Reflexionen über das Spiegelquellenverfahren berechnet. Die Ordnung kann zwischen 0 und 9 gewählt werden, die folgenden Ergebnisse wurden mit Quellen 7. Ordnung errechnet. Als Darstellungsbeispiel dient wiederum das Oktavband 500 Hz.

2.2.3.1 REFLECTION HISTORY

In dieser Darstellung können die Richtungen des Schalls beim Auftreffen auf den Empfänger bzw. beim Verlassen des Senders sowie der zurückgelegte Weg betrachtet werden. Oben links im Fenster befindet sich das Echogramm, wobei die diffusen Reflexionen erster Ordnung rot dargestellt sind. Hier kann auch gesehen werden, auf welche Reflexion sich die anderen Fensterteile beziehen. Unten links kann der zurückgelegte Reflexionsweg betrachtet werden. Diese 3D-Darstellung kann mit Hilfe der Maus gedreht werden.

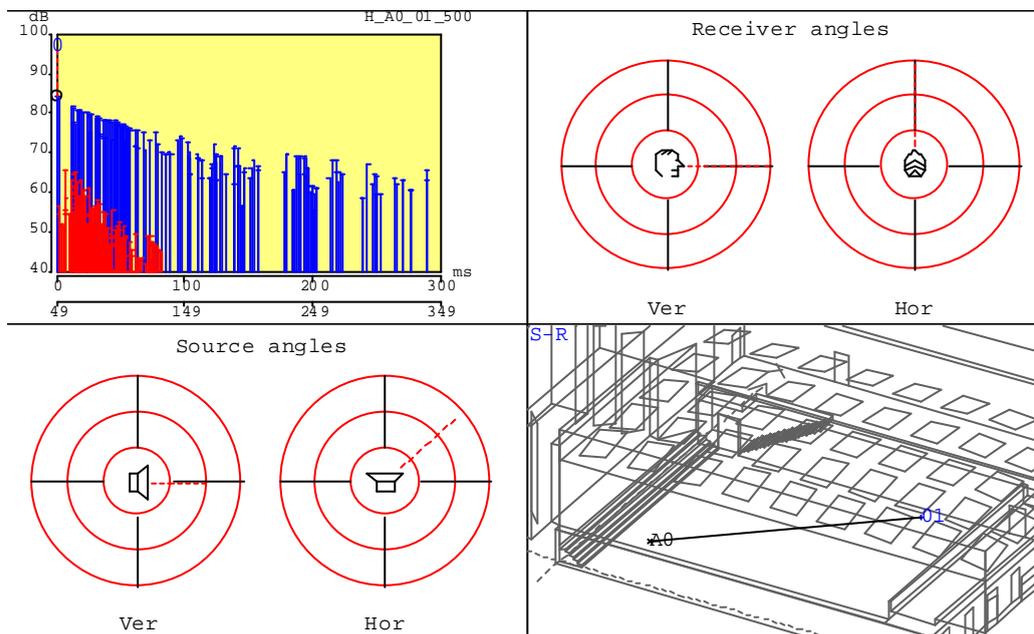


Abbildung 2.42: CATT: Reflection History, Direktschall bei 500 Hz

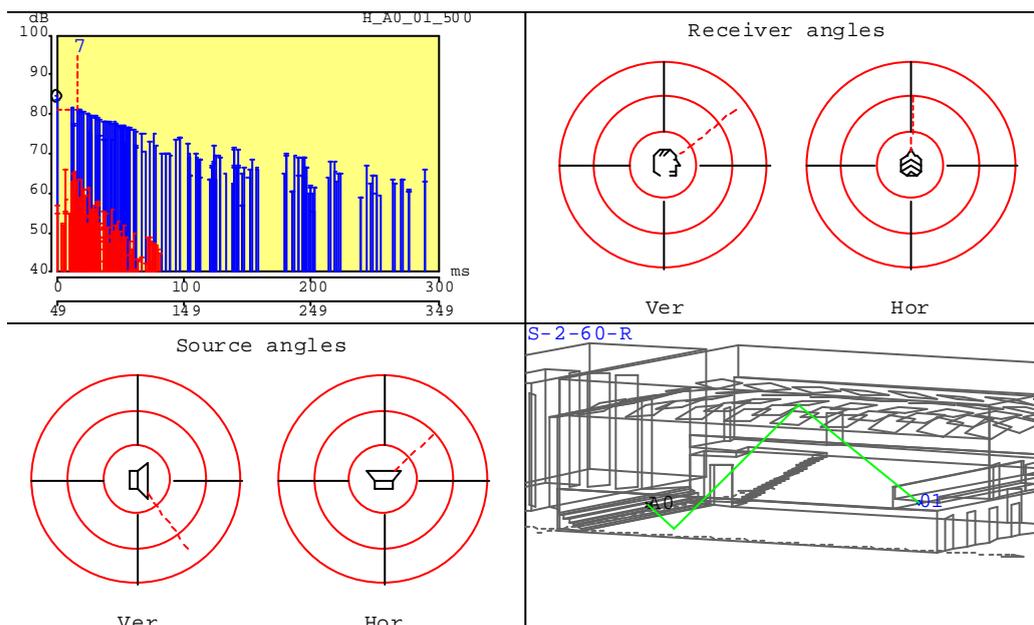


Abbildung 2.43: CATT: Reflection History, 7. Reflexion bei 500 Hz

2.2.3.2 ECHOGRAMM

Des Weiteren ist es bei der Early Part Detailed ISM möglich, sich nur ein Echogramm rechnen zu lassen. Natürlich wird jedes Frequenzband in einem eigenen Fenster dargestellt.

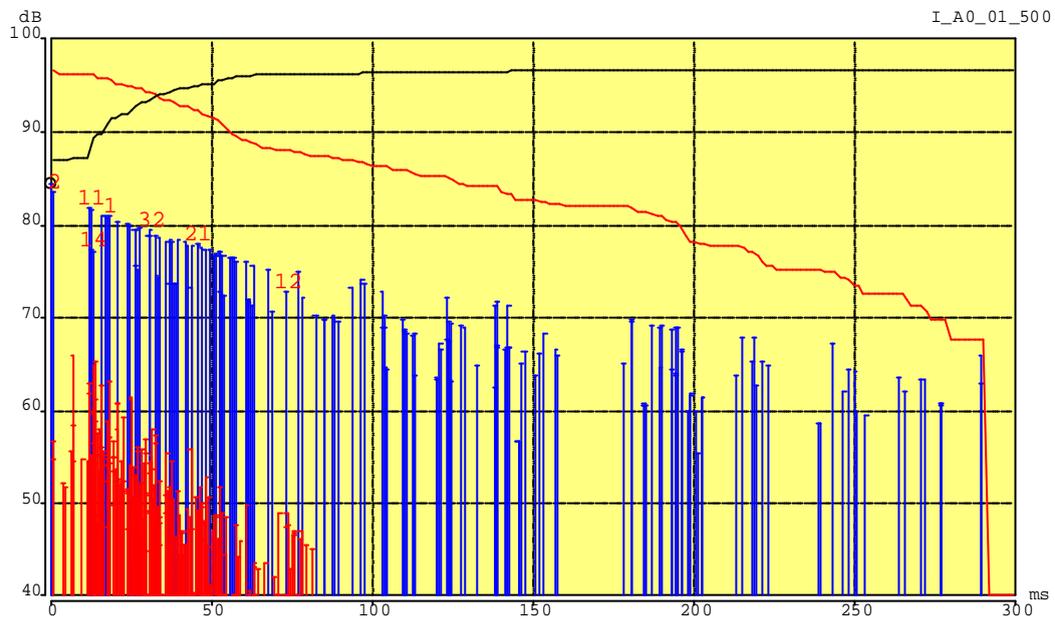


Abbildung 2.44: CATT: Echogramm bei 500 Hz

2.2.3.3 IMAGE SOURCE SPACE

Neben den beiden zuvor vorgestellten Möglichkeiten lässt sich auch noch eine Darstellung der Spiegelquellen berechnen, wobei die Größe des Kreises die Stärke der Quelle anzeigt:

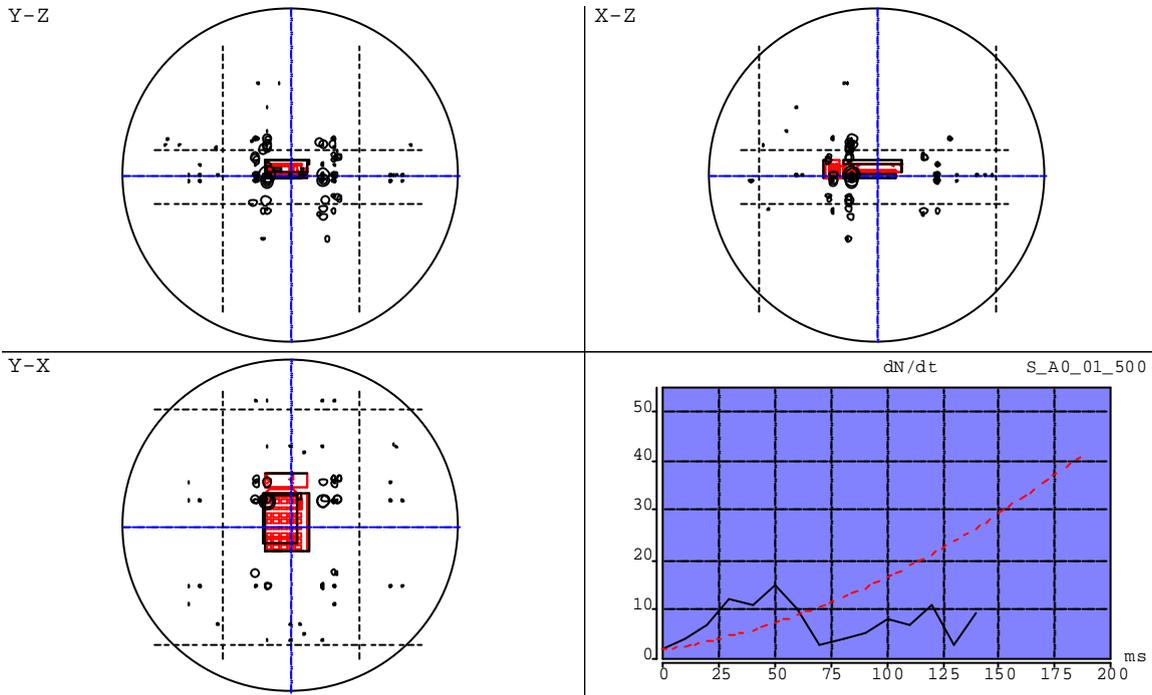


Abbildung 2.45: CATT: Image Source Model bei 500 Hz

In der Detailansicht sind die Spiegelquellen besser zu erkennen:

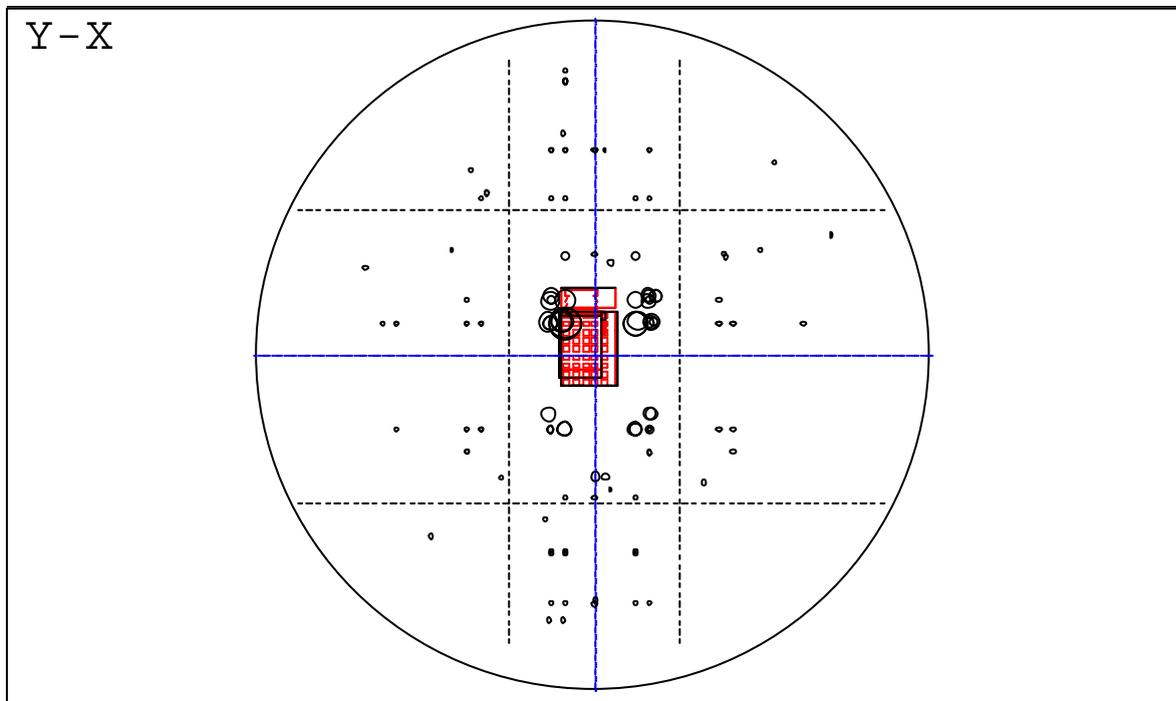


Abbildung 2.46: CATT: Image Source Model bei 500 Hz, Detailansicht

Das untere rechte Bild in Abbildung 2.45 zeigt den geschätzten Anstieg der späten Reflexionen zusammen mit dem tatsächlichen Anstieg der frühen Reflexionen.

2.2.4 FULL DETAILED CALCULATION

Über diesen Dialog können einerseits Echogramme für die einzelnen Frequenzbänder berechnet werden (auf Wunsch mit Animation (siehe Kapitel 2.2.4.1)), andererseits aber auch raumakustische Gütemaße. Im Unterschied zu den Berechnungen der Gütemaße in Kapitel 2.2.2 wird hier der Wert am gewählten Empfänger berechnet. Des Weiteren können ein Vektorgramm, eine andere Darstellungsart eines Echograms, sowie Sound Roses erstellt werden. Außerdem können hier die für den „Walkthrough“ benötigten Echo-Files erstellt werden.

Bei allen Berechnungen wurden 24954 Rays 1761 ms verfolgt. Wie auch schon bei den Berechnungen der akustischen Gütemaße im Menü „Audience Area Mapping“ (siehe Kapitel 2.2.2) wird auch hier ein Protokoll-File mit den genauen Werten erstellt (E_A0_01.txt). Im Folgenden wieder zu jeder Berechnungsmöglichkeit eine kurze Beschreibung mit grafischer Darstellung.

2.2.4.1 ANIMIERTE BERECHNUNG

Mit diesem Feature können die einzelnen Reflexionen und ihre Auswirkungen auf das Echogramm dargestellt werden. Man kann sich entweder die Animation Schritt für Schritt darstellen lassen (Schaltfläche „Step“), das heißt nach jeder Berechnung quittieren, oder aber einfach während der Berechnung zusehen wie sich das Echogramm ausbildet. Die Rechenzeit wird durch die Animation etwas verlängert. Allerdings kann die Animation jederzeit aus- und eingeschaltet werden, sodass die Rechenzeit dann wieder auf ihren ursprünglichen Wert fällt.

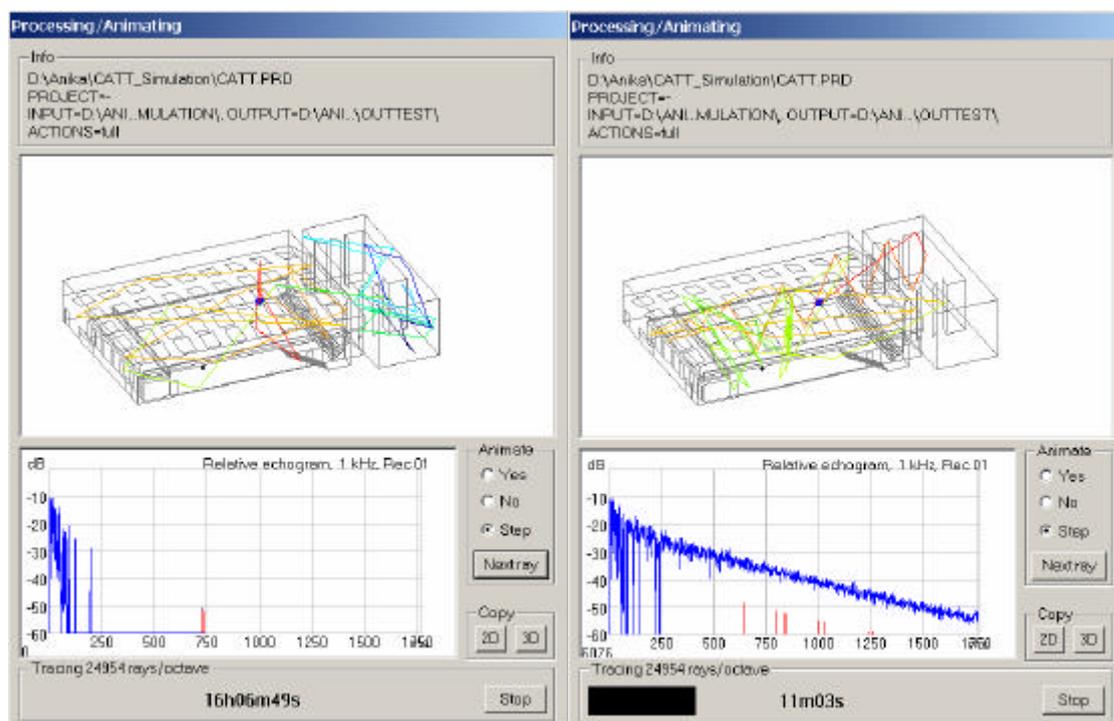


Abbildung 2.47: CATT: Animierte Berechnung, links: am Anfang, rechts: kurz vor Ende

2.2.4.2 ECHOGRAMME

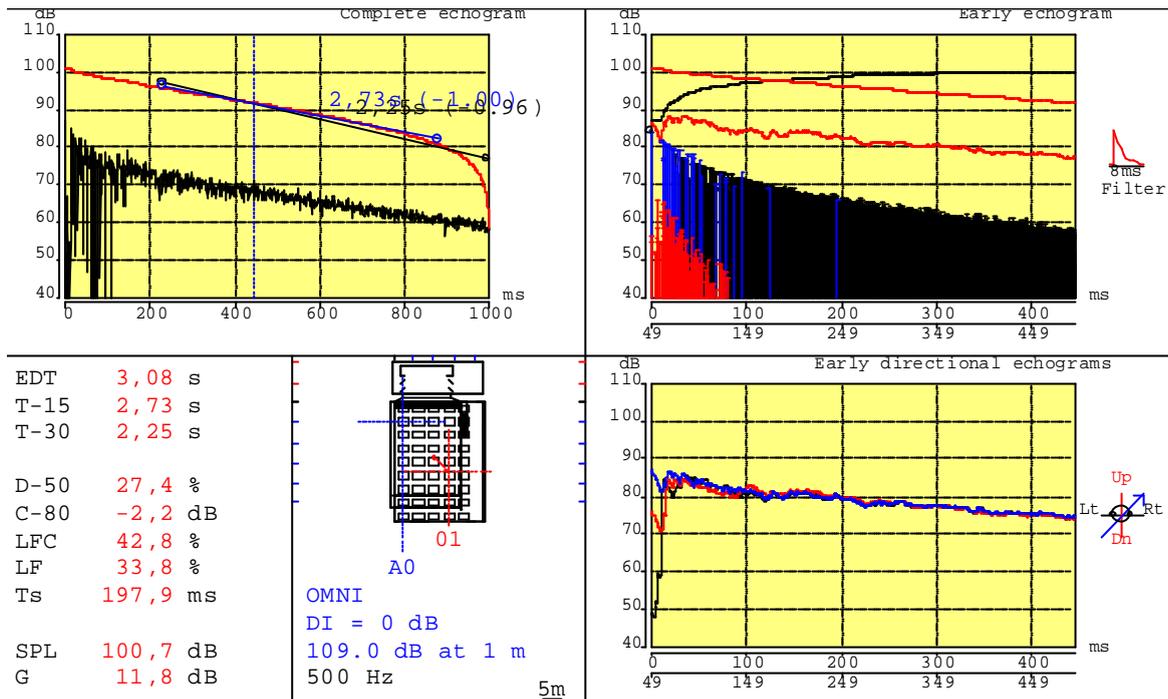


Abbildung 2.48: CATT: Echogramm für 500Hz

Oben links ist das komplette Echogramm (schwarz) mit rückwärts integrierter Verlaufskurve sowie die T_{15} und T_{30} zu sehen. Oben rechts wird das frühe Echogramm dargestellt (siehe auch Abbildung 2.49). Der Direktschall wird mit einem blauen Balken mit einem schwarzen Kreis an der Spitze gekennzeichnet. Die übrigen blauen Balken stellen die räumlichen Reflexionen erster und zweiter Ordnung dar, die roten Balken stehen für die diffusen Reflexionen erster Ordnung. Die untere rote Kurve zeigt den geglätteten Verlauf des Echogramms. Die Vorwärts- und Rückwärtsintegration wird durch die obere rote Kurve bzw. durch die schwarze Kurve dargestellt. Unten links ist das direktionale Echogramm zu sehen. Unten rechts stehen einerseits die Werte der wichtigsten akustischen Gütemaße und andererseits die wichtigsten Informationen zur Schallquelle.

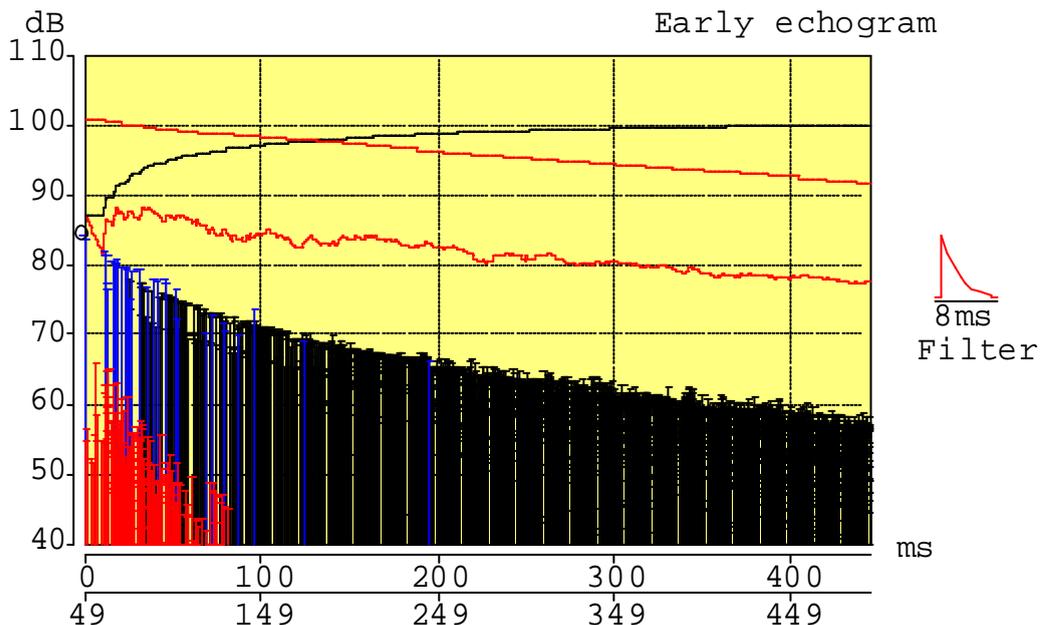


Abbildung 2.49: CATT: frühes Echogramm bei 500Hz

In einer weiteren Grafik wird eine Übersicht über alle Oktavbänder und deren rückwärts integrierte Verlaufskurven sowie der T_{15} und der T_{30} gegeben:

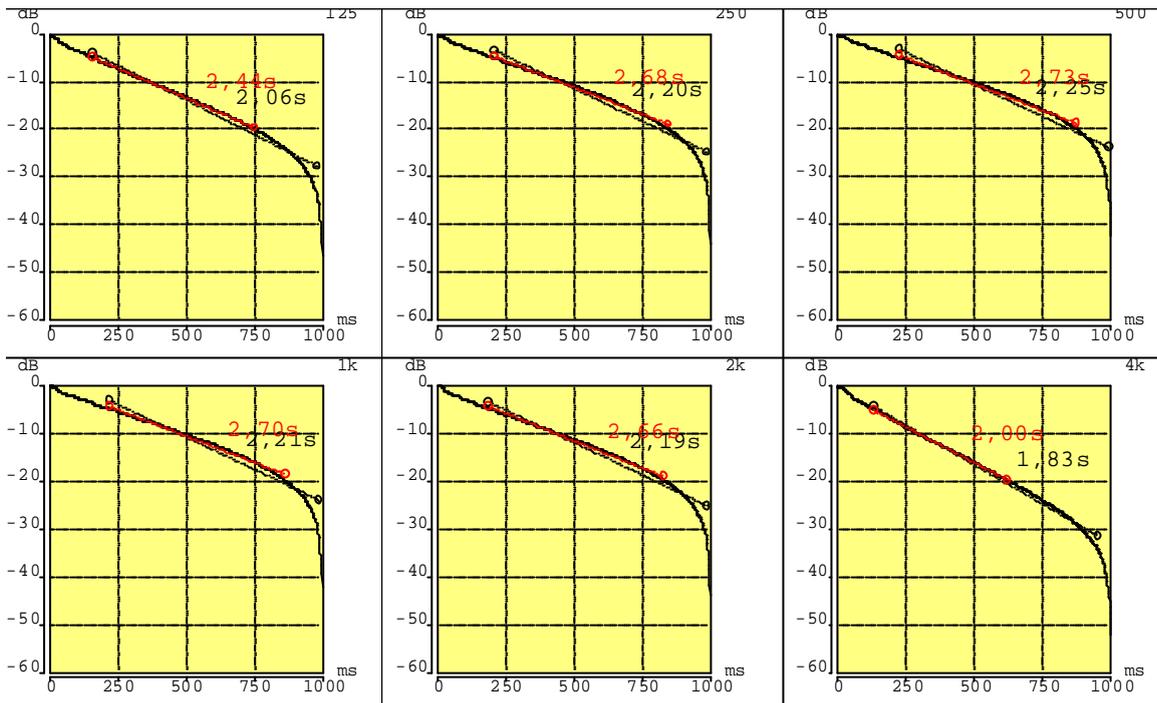


Abbildung 2.50: CATT: T_{15} , T_{30} aller Oktavbänder

2.2.4.3 SOUND ROSES

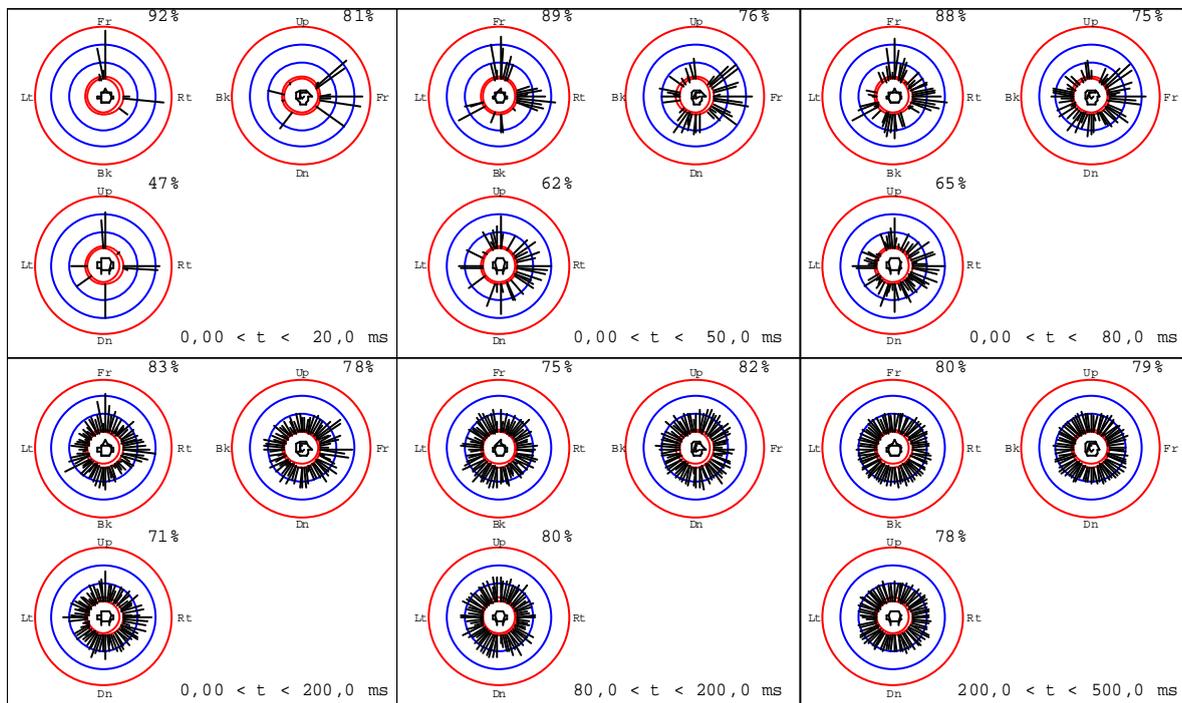


Abbildung 2.51: CATT: Sound Rose für 500Hz

In dieser Darstellung wird die zeitliche Reihenfolge, Richtung und Intensität des auftreffenden Schalls an der Position des Empfängers dargestellt. Die Prozentzahl gibt das Verhältnis zwischen der in der betrachteten Ebene vorhandenen Energie zur im zeitlichen Ausschnitt vorhandenen Gesamtenergie an.

2.2.4.4 VEKTORGRAMME

60 dB axis

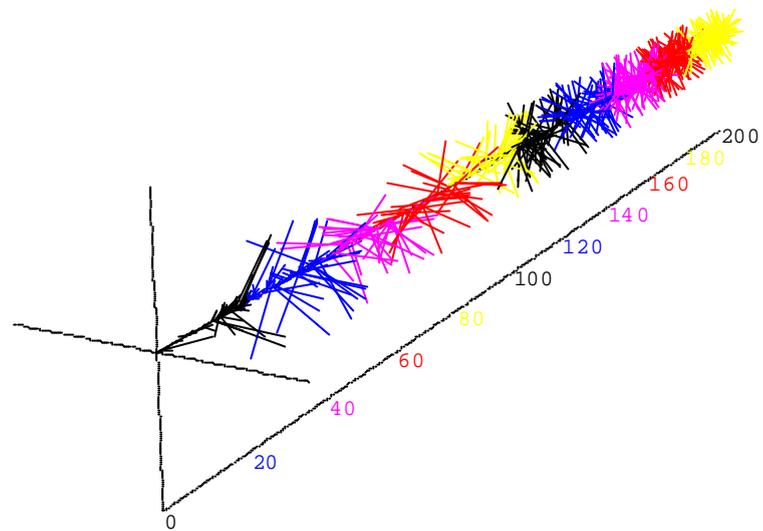


Abbildung 2.52: CATT: Vektorgramm bei 500Hz

Hier wird ein Echogramm in einer anderen Form dargestellt. Die Achse, um der die Linien angeordnet sind, entspricht der Zeitachse. Die Linien selbst stehen für die einzelnen Reflexionen, dicke Linien stellen entweder den Direktschall oder räumliche Reflexionen erster Ordnung dar.

2.2.4.5 NACHHALLZEITEN UND ABSORPTIONSKOEFFIZIENTEN

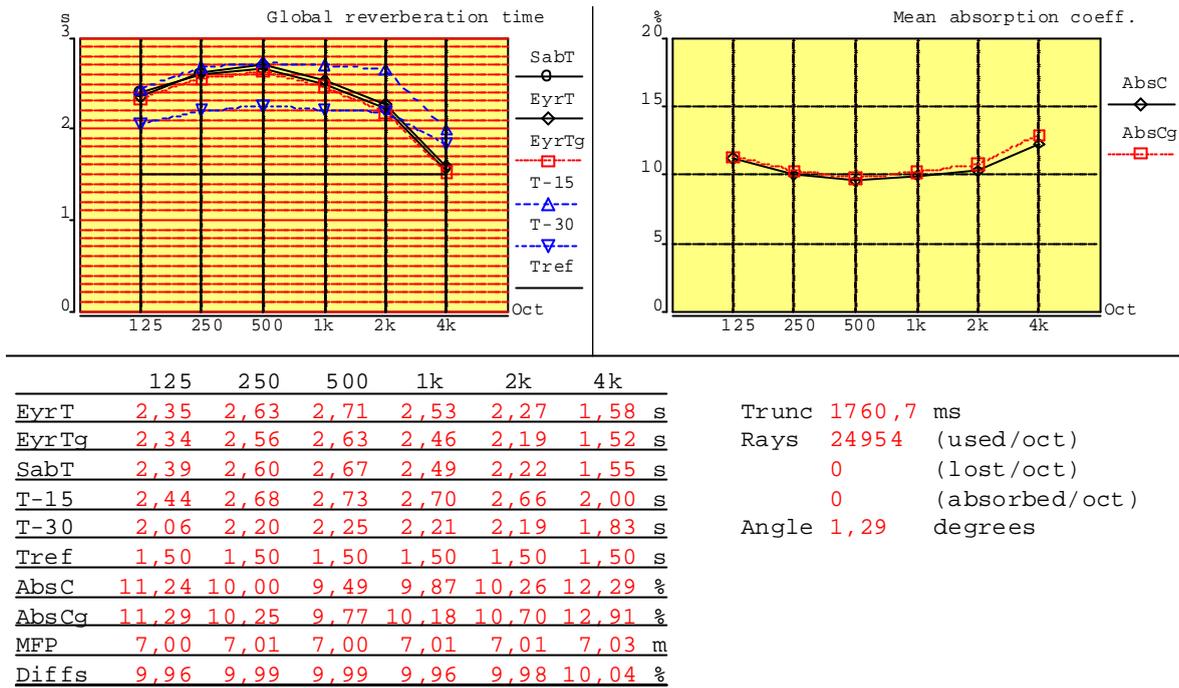


Abbildung 2.53: CATT: Nachhallzeiten, Absorptionskoeffizienten

In dieser Grafik wird eine Übersicht über das Verhalten der einzelnen Oktavbänder bei den gängigen Nachhallzeiten bzw. den durchschnittlichen Absorptionskoeffizienten gegeben. Die aufgeführten Werte können auch in einem Protokoll-File nachgesehen werden (Param_A0.txt).

In einer weiteren Darstellung (siehe Abbildung 2.54) werden die Absorptionskoeffizienten für jedes einzelne Oktavband in Abhängigkeit von der Anzahl der auftreffenden Rays sowie der daraus resultierende mittlere Gesamtabsorptionskoeffizient dargestellt:

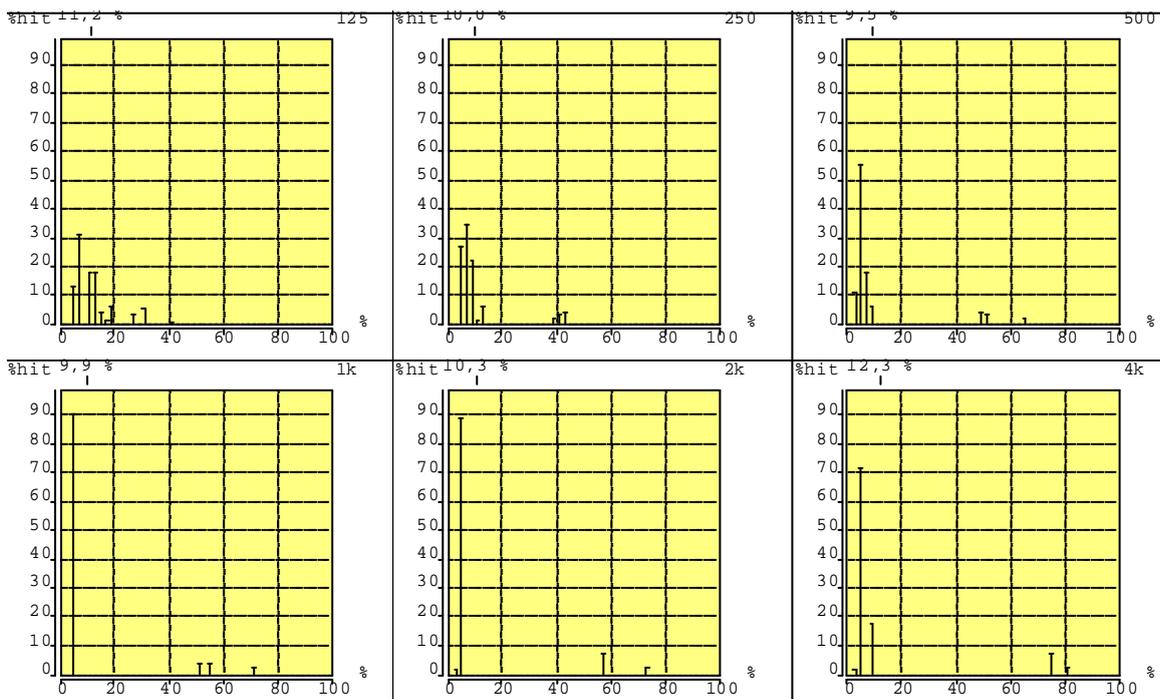


Abbildung 2.54: CATT: Absorptionskoeffizienten

2.2.4.6 PLANE HIT HISTOGRAMM

In dieser Auswertung ist zu sehen, wie viel Prozent der insgesamt verfolgten Rays auf einer Fläche aufgetroffen sind. Oberhalb der Grafik wird die Effektivität der Fläche sowie ihr prozentualer Anteil an der gesamten Absorptionsfläche angegeben. Unten stehend die Grafiken für die Decke des Saales (Abbildung 2.55) und die Seitenwand unterhalb der Galerie (Abbildung 2.56).

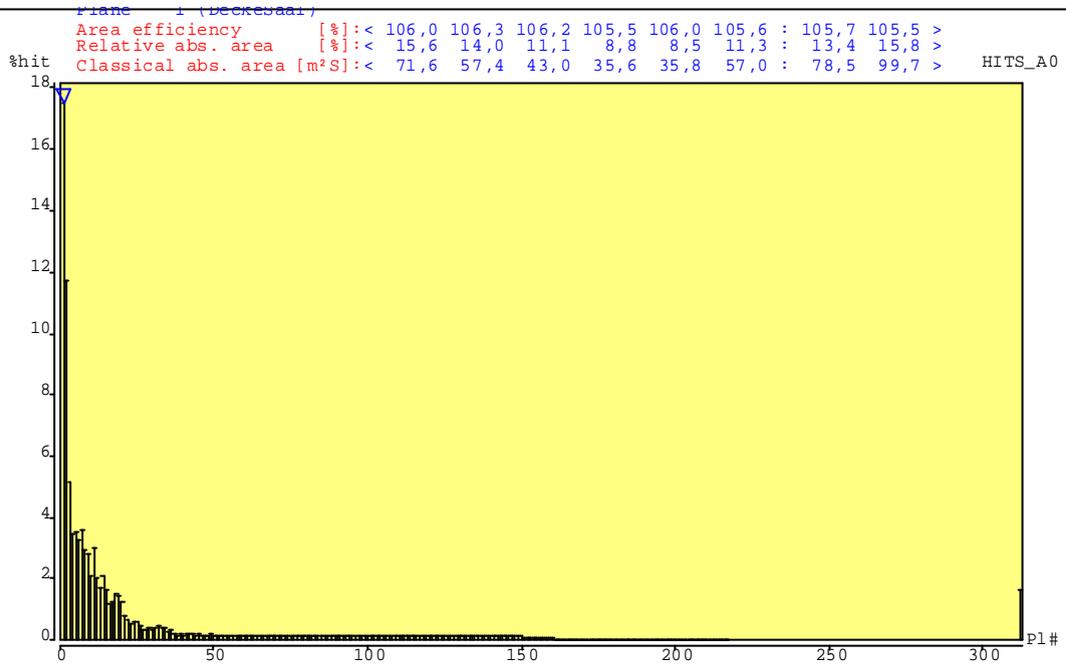


Abbildung 2.55: CATT: Plane Hit Histogramm Fläche1

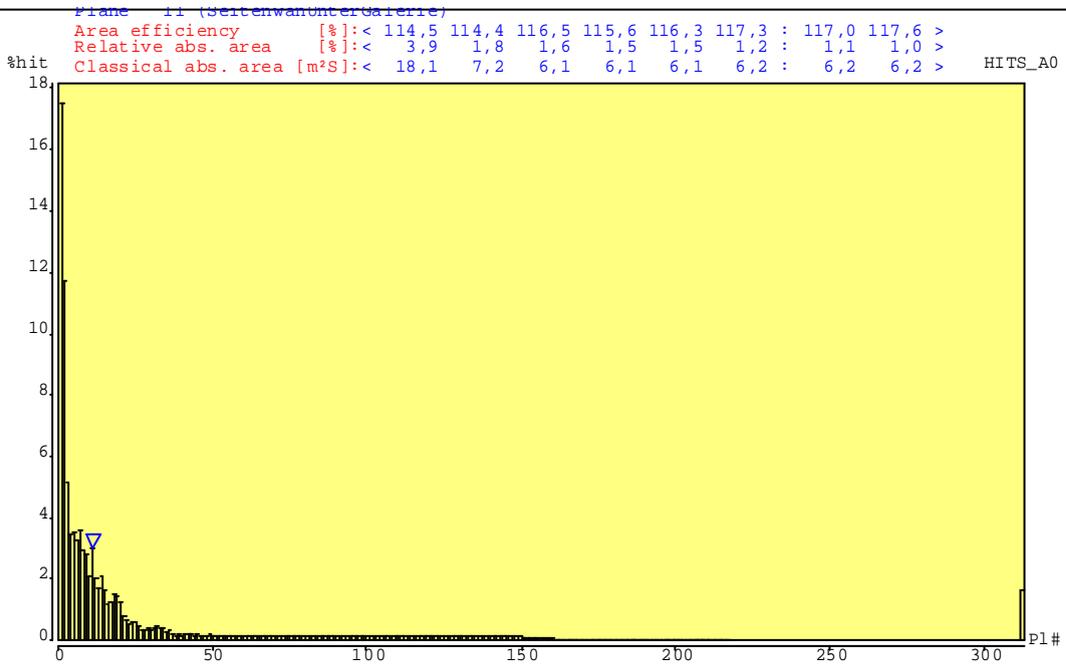


Abbildung 2.56: CATT: Plane Hit Histogramm, Fläche 11

2.2.4.7 AKUSTISCHE GÜTEMAßE

Im Gegensatz zu den Berechnungen im Kapitel 2.2.2 wird hier in jedem Fenster der exakte Wert der einzelnen Gütemaße für die Position des Empfängers dargestellt. Diese Werte werden später mit Ulysses verglichen. Oben rechts wird jeweils der empfohlene Bereich angegeben. Die folgende Abbildung dient als Darstellungsbeispiel und gilt für das 125Hz-Oktavband.

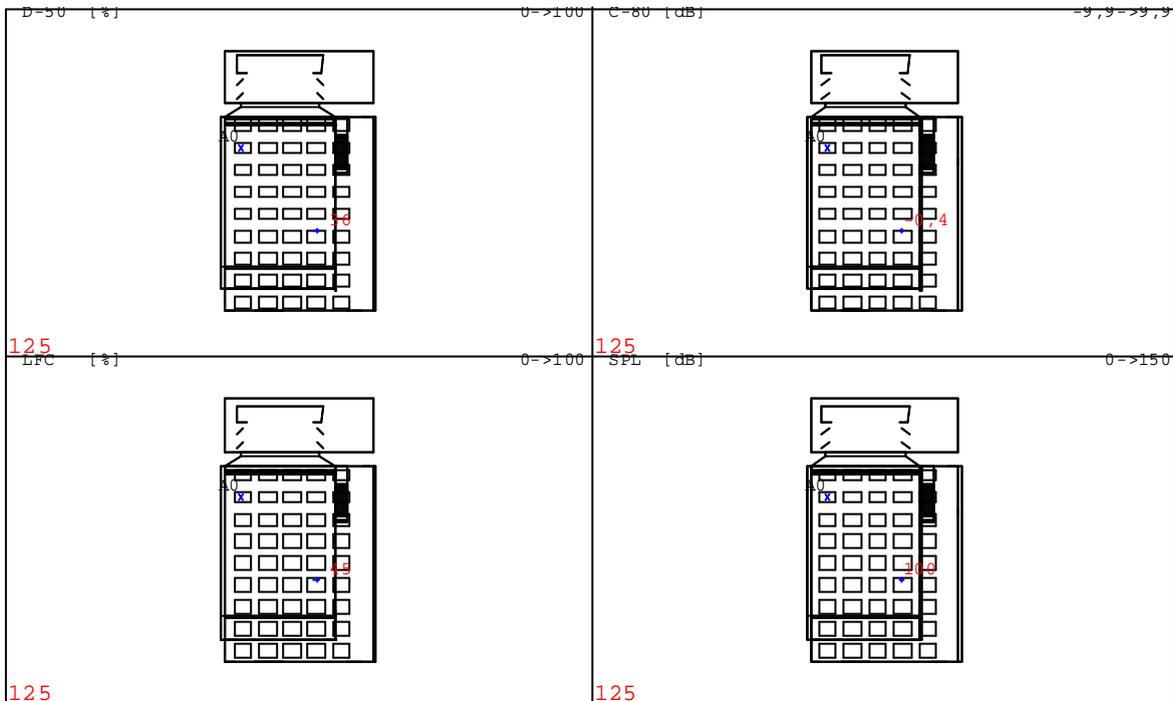


Abbildung 2.57: CATT: Akustische Gütemaße beim Empfänger

Auch hier wird wieder ein Protokoll-File (Param_A0.txt) erstellt, aus dem die Werte für alle Oktavbänder entnommen werden können. Im Folgenden ein Auszug:

```

GLOBAL RESULTS FROM TRACING - RTC-II
-----
  Trunc[s]   Rays[-]   Lost[-]   Absorbed[-]   Angle[°]
    1,76     24954         0           0           1,3
-----
RASTI
01          41,9 (POOR)      With background noise
                                41,9 (POOR)
-----
STI Original
01          46,8 (FAIR)      With background noise
                                46,8 (FAIR)
-----
TI    [%]      125      250      500      1k      2k      4k
01    45,9    41,7    39,4    41,2    43,8    49,8    63,6
-----
TI(n) [%]     125      250      500      1k      2k      4k
01    45,9    41,7    39,4    41,2    43,8    49,8    63,6
-----
Weights      130      140      110      120      190      170      140 x 0.001 (original)
-----
Ts    [ms]     125      250      500      1k      2k      4k      sum
01    146,5    182,0    197,9    191,7    170,0    119,0    165,8
-----
D-50 [%]     125      250      500      1k      2k      4k      sum
01    35,7     30,7     27,4     30,8     33,5     40,4     34,2
-----
C-80 [dB]    125      250      500      1k      2k      4k      sum
01    -0,3     -1,6     -2,2     -1,7     -0,9     0,8     -0,8
-----
LFC  [%]     125      250      500      1k      2k      4k      sum
01    45,4     43,7     42,8     41,3     46,2     45,3     43,7
-----
    
```

LF	[%]	125	250	500	1k	2k	4k	sum	
01		35,5	34,5	33,8	31,8	36,7	35,7	34,4	

G	[dB]	125	250	500	1k	2k	4k	sum	
01		11,1	11,6	11,8	11,7	11,2	9,8	10,7	

SPL	[dB]	125	250	500	1k	2k	4k	sum	
01		100,1	100,6	100,7	100,6	100,1	98,5	108,2	106,2 (A)

EDT	[s]	125	250	500	1k	2k	4k	sum	
01		2,27	2,86	3,08	3,07	2,75	1,78	---	

T-15	[s]	125	250	500	1k	2k	4k	sum	
01		2,44	2,68	2,73	2,70	2,66	2,00	---	

T-30	[s]	125	250	500	1k	2k	4k	sum	
01		2,06	2,20	2,25	2,21	2,19	1,83	---	

3 ULYSSES

3.1 VORGEHENSWEISE BEI DER PROGRAMMIERUNG

Die Eingabe der Raumgeometrie erfolgt bei Ulysses über die bereits im Kapitel 1.4 erwähnte Design-Engine. Die Entwickler haben versucht, den komplexen Eingabevorgang eines 3D-Modells so einfach wie möglich zu gestalten und verwenden dazu einen Editor, der es erlaubt, das erstellte Modell in 3D-Ansicht und auch in einer Ebenenansicht zu betrachten bzw. zu zeichnen. Zur Vereinfachung des Zeichenaufwandes kann zwischen Linien, Polygonzügen, Kreisen und Rechtecken gewählt werden. Zur Orientierung sind in der Menüleiste ständig die genauen Koordinaten zu sehen. Neben der „Freihandzeichnung“ mit der Maus gibt es auch noch die Möglichkeit die gewünschten Punkte direkt über die Tastatur einzugeben. Hierzu wird einfach ein Zeichenelement ausgewählt (z. B. „Linie“) und dann auf der Tastatur „a“ eingegeben. Nun erscheint ein Dialog zur Eingabe der exakten Koordinaten. Mit den Tasten „r“ und „p“ können die gewünschten Koordinaten auch relativ zum letzten Punkt oder relativ in Polarkoordinaten zum letzten Punkt eingegeben werden. Letztere ist allerdings nur in den Ebenenansichten gültig, nicht aber in der 3D-Ansicht. Die verschiedenen Eingabeverfahren sind miteinander kombinierbar.

Die Definition der verwendeten Materialien erfolgt in der Absorber Base. Hierbei hat Ulysses ständig zwei Datenbanken offen: die projektbezogene Datenbank, in der nur die im aktuellen Projekt verwendeten Materialien aufgeführt sind, und eine allgemeine Datenbank, in der sämtliche bekannte Materialien aufgeführt sind. Selbstverständlich lassen sich auch andere Materialien definieren.

Nach oder während der Fertigstellung des geometrischen Raummodells können den einzelnen Flächen die gewünschten Eigenschaften zugewiesen werden.

Das fertige Modell sieht folgendermaßen aus:

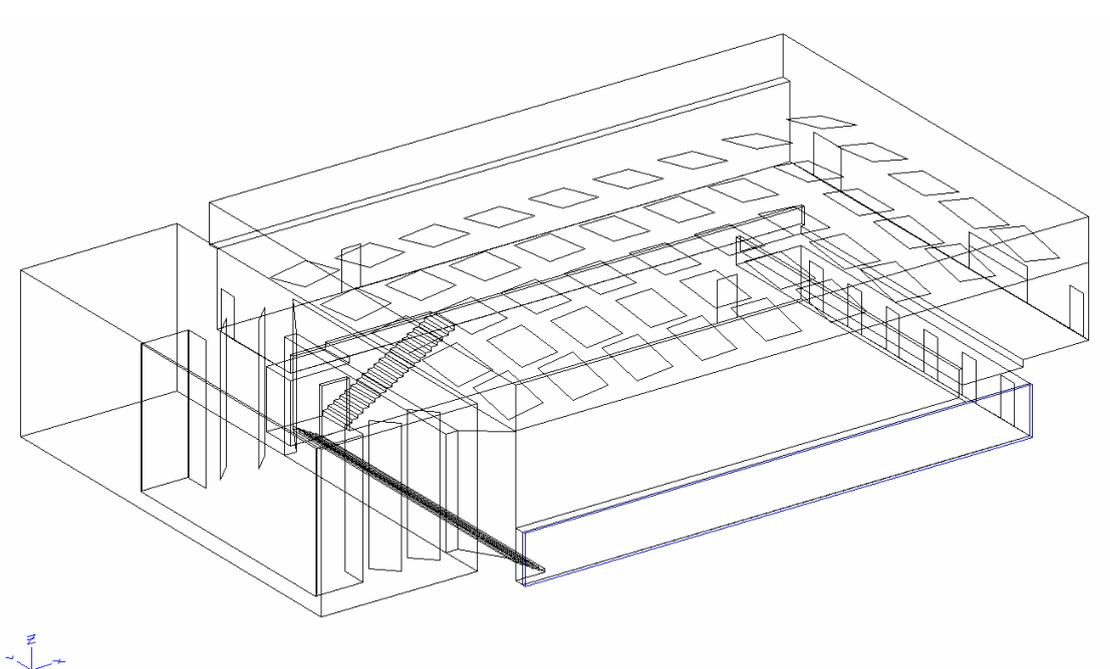
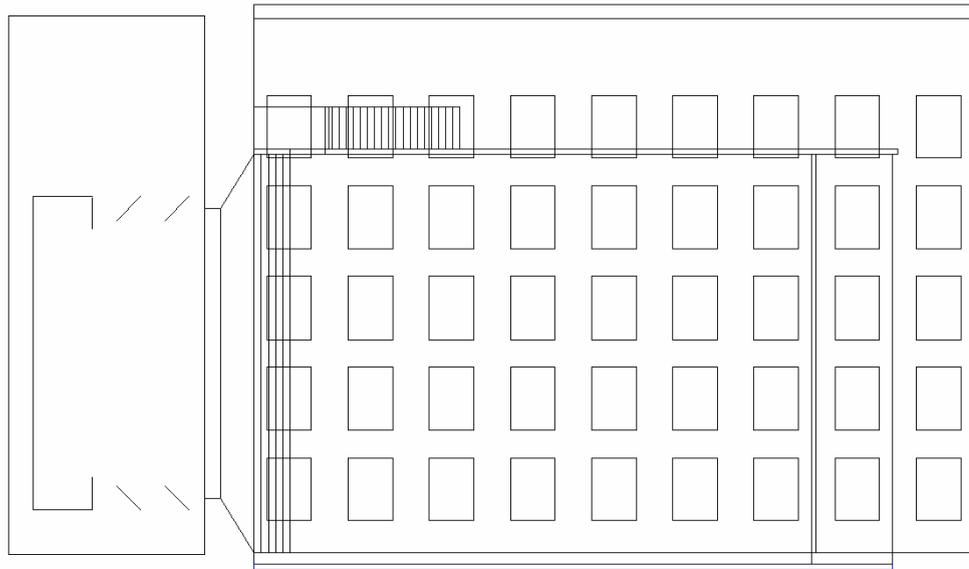
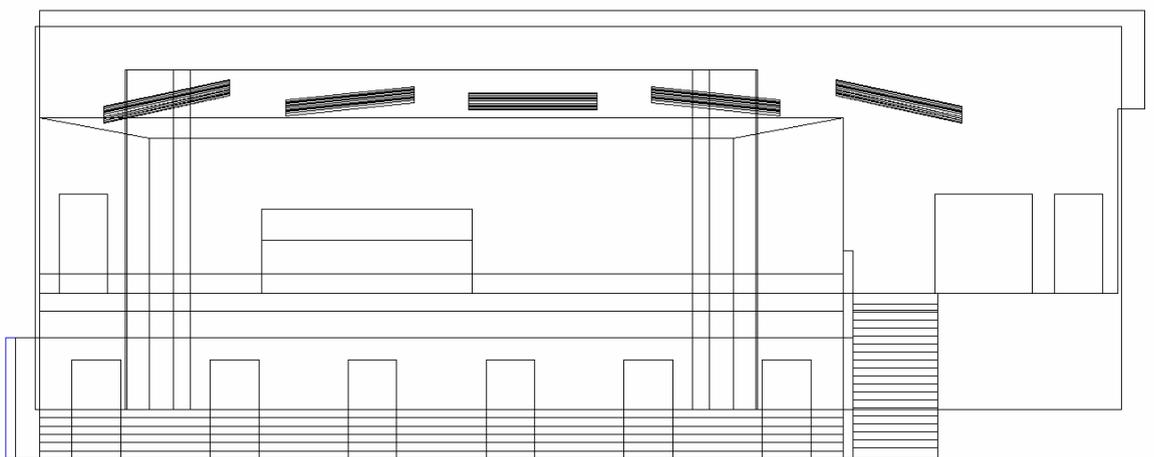


Abbildung 3.1: ULYSSES: Raumgeometrie, 3D-Ansicht



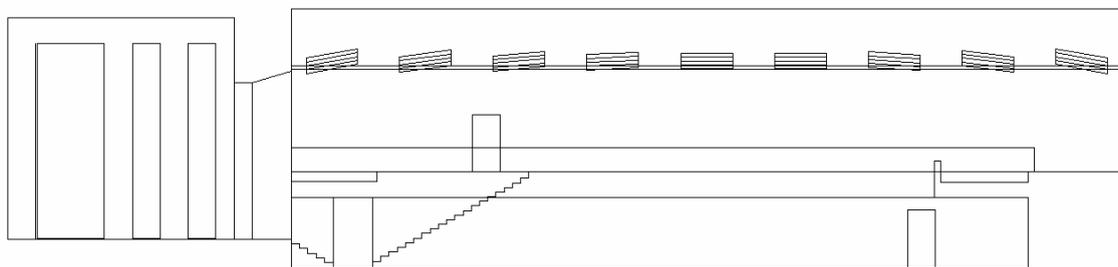
Y
L x

Abbildung 3.2: ULYSSES: Raumgeometrie, XY-Ebene



Z
L y

Abbildung 3.3: ULYSSES: Raumgeometrie, YZ-Ebene



Z
L x

Abbildung 3.4: ULYSSES: Raumgeometrie, XZ-Ebene

Ulysses arbeitet des Weiteren mit verschiedenen Layern, wodurch die Verwandtschaft mit anderen CAD-Programmen noch deutlicher wird. Jedes Layer hat seine eigene Farbe um Verwechslungen zu vermeiden. Unterschieden wird in [5]:

- Hilfszeichnungen: werden in keiner Berechnung berücksichtigt, Farbe: dunkelblau
- Hörflächen: Publikums-Ebenen, Farbe: hellblau
- Lautsprecher: eingeschaltet grün, ausgeschaltet schwarz
- LS-Zielpunkte: zeigen die Zielpunkte der Lautsprecher im Raum an, Farbe: hellrot
- Raster: Gitter mit einstellbarer Rastergröße, Farbe: hellgrau
- Raum: Raumgeometrie, Farbe: schwarz

Jeder dieser Layer kann im Menü „Ansicht“ ein- und ausgeblendet werden.

Für den Vergleich mit CATT wurden einige Messpunkte sowie der Lautsprecher (Q1) und die Publikumsebene hinzugefügt:

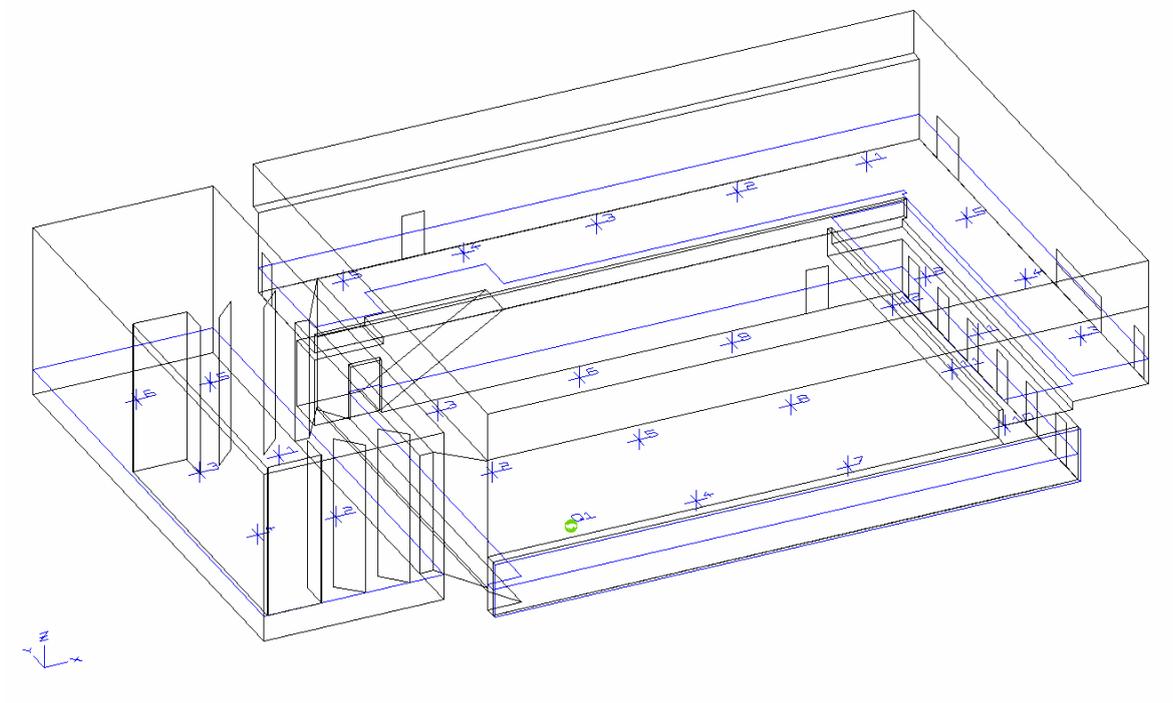


Abbildung 3.5: ULYSSES: Raumgeometrie mit Messpunkten, etc., 3D-Ansicht

Zur Verdeutlichung der Messpunkte im Folgenden noch die Ansicht in der XY-Ebene. Vergleichspunkt für beide Programme ist der Punkt 9.

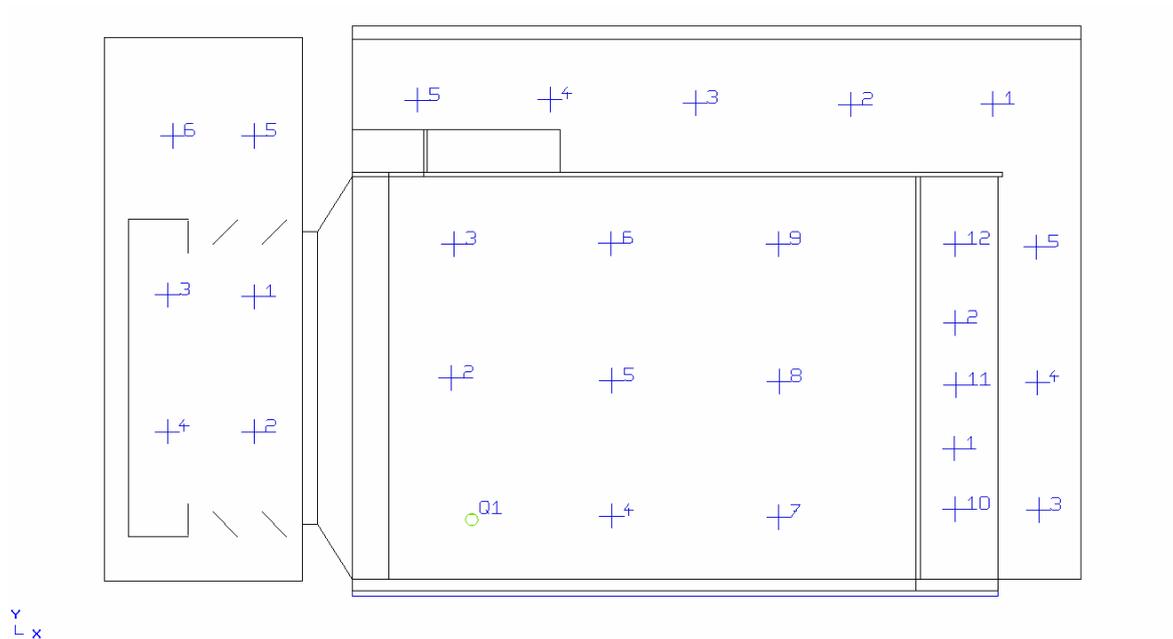


Abbildung 3.6: ULYSSES: Raumgeometrie mit Messpunkten, etc., XY-Ebene

3.2 BERECHNUNGSEINSTELLUNGEN, BERECHNUNG UND ERGEBNISDARSTELLUNG

Aufgrund seiner Zielsetzung kann Ulysses nicht die Vielfalt an Berechnungsmöglichkeiten bieten wie dies in CATT der Fall ist. Im Wesentlichen beschränken sich hier die akustischen Gütemaße auf die Nachhallzeiten nach Sabine, Eyring und Fitzroy sowie Pegel- und Zeitberechnungen (AlCons, STI, Direktschallpegel, Verzögerungen, Summe aus Direkt- und Indirektschallpegel und Differenz zwischen Direkt- und Indirektschallpegel) und Ray-Tracing mit daraus berechneten Energie-Zeit-Diagrammen. In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse mit Grafiken und einer Erklärung kurz dargestellt.

3.2.1 NACHHALLZEITEN

3.2.1.1 NACHHALLZEIT NACH SABINE

In Abbildung 3.7 sind die berechneten Verläufe für die Nachhallzeit nach Sabine zu sehen. Die grüne Kurve entspricht der Berechnung unter Berücksichtigung der Luftabsorption, die rosa Kurve stellt den Verlauf ohne Luftabsorption dar.

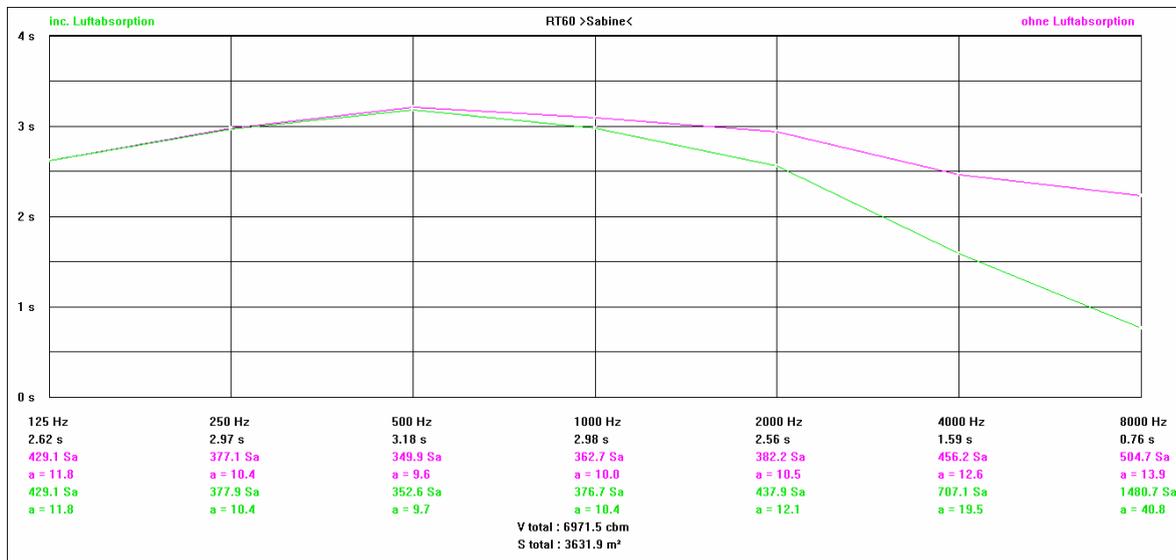


Abbildung 3.7: ULYSSES: Nachhallzeit nach Sabine

3.2.1.2 NACHHALLZEIT NACH EYRING

Wie schon im Kapitel zuvor stellt die grüne Kurve den Verlauf der Nachhallzeit nach Eyring unter Berücksichtigung der Luftabsorption dar, die rosafarbene den Verlauf ohne Berücksichtigung der Luftabsorption.

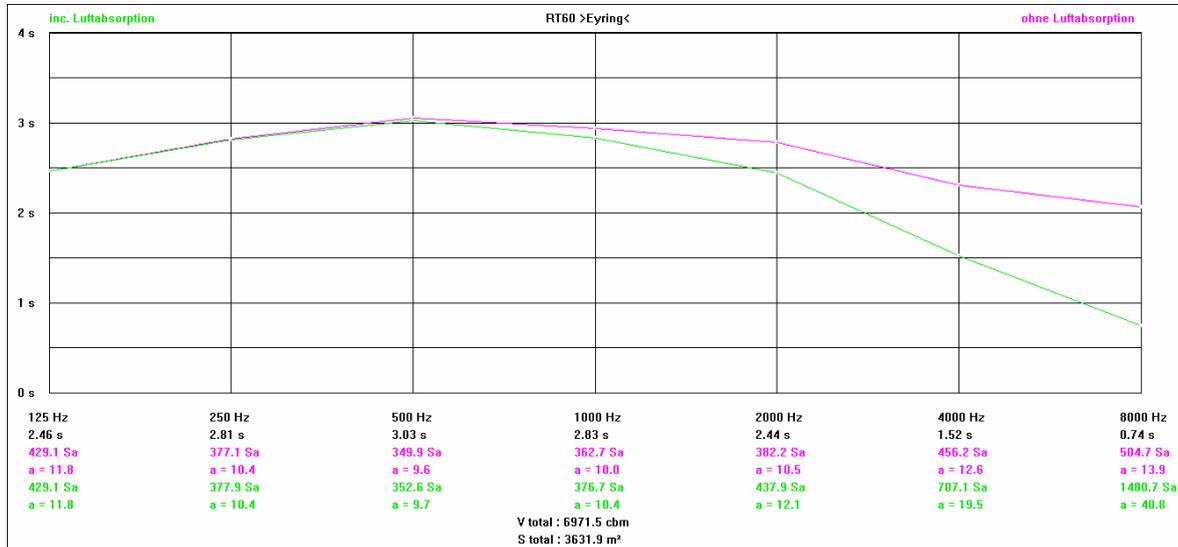


Abbildung 3.8: ULYSSES: Nachhallzeit nach Eyring

3.2.1.3 NACHHALLZEIT NACH FITZROY

In der folgenden Abbildung 3.9 steht die grüne Kurve wiederum für die Nachhallzeit nach Fitzroy unter Berücksichtigung der Luftabsorption, die rosa Kurve stellt den Verlauf ohne Berücksichtigung der Luftabsorption dar.

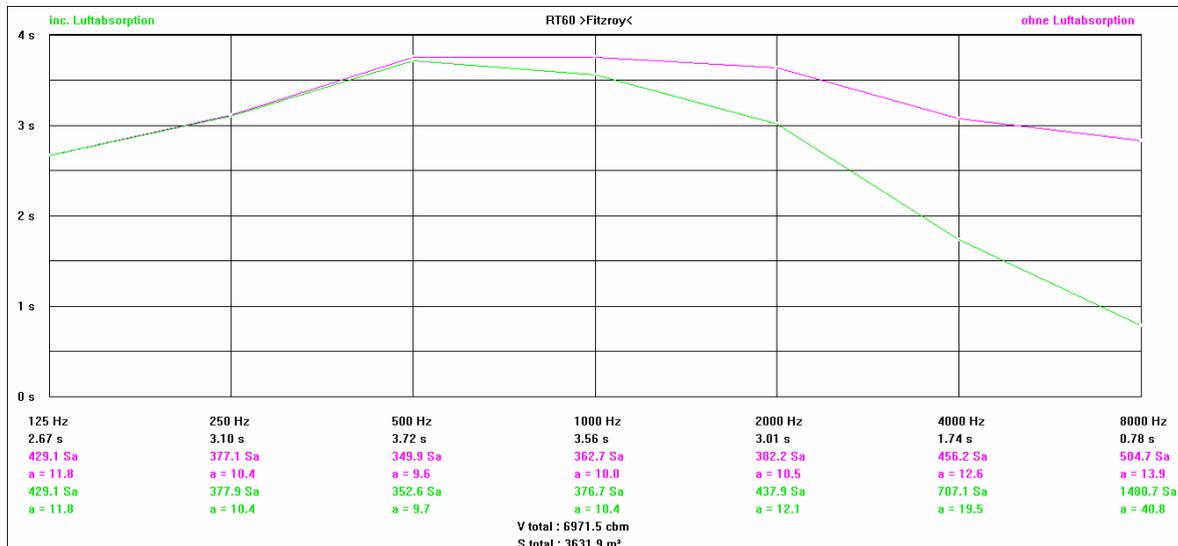


Abbildung 3.9: ULYSSES: Nachhallzeit nach Fitzroy

3.2.2 PEGEL- UND ZEITBERECHNUNGEN

Hier werden verschiedene Pegel- und Zeitberechnungen durchgeführt und anschließend dargestellt (siehe Kapitel 3.2.2.1 ff.). Berechnet werden die Summe des Direktschallpegels, die Zeitverzögerung, die Summe aus Direktschallpegel und Indirektschallpegel, der STI, der AI_{cons} sowie die Differenz zwischen Direktschallpegel und Indirektschallpegel.

Ulysses stellt hier mehrere Einstellungsmöglichkeiten zur Auswahl. Neben der Rastergröße, die je nach Auswahl von „Minimum“ bis 10m reicht, kann auch die Signalkohärenz gewählt werden. Hier wird unterschieden in [5]:

- Zufall: es erfolgt eine geometrische Addition, wobei die Phasenwinkel jeweils um 90° versetzt sind.
Anwendungsempfehlung: allenfalls für Deckenlautsprecher
- Einzelfrequenz: es wird die Phasenbeziehung der Oktav-Mittenfrequenz berücksichtigt.
Anwendungsempfehlung: Verdeutlichung dramatischer Interferenzeffekte
- Oktavband: es werden die Phasenbeziehungen der drei Terzbänder in Oktavmitte berücksichtigt. Jede Terzmittenfrequenz wird separat betrachtet und anschließend über alle 3 Terzmittenfrequenzen gemittelt.
Anwendungsempfehlung: sollte möglichst immer angewendet werden, da diese Methode zwar die rechenintensivste aber auch die realistischste ist.

Zusätzlich können mit dem Auswahlpunkt „Abschattung“ Hindernisse zwischen Quelle und Empfänger berücksichtigt werden. Bei Auswahl des Punktes „1. Reflexion“ werden alle Reflexionen, die in den ersten 35 ms beim Empfänger auftreffen, zum Direktschall hinzugewertet.

In den folgenden Berechnungen wurde als Signalkohärenz „Oktavband“ und auch „1. Reflexion“ ausgewählt. Die Rastergröße wurde auf „Minimum“ gesetzt.

Die Darstellung der Berechnungsergebnisse kann sowohl über alle Oktavbänder (125 Hz bis 8 kHz) erfolgen, aber auch für jedes Oktavband einzeln. In den folgenden Kapiteln wird jeweils die Grafik des Berechnungsergebnisses über alle Oktavbänder gezeigt und eine Excel-Grafik mit zugehöriger Datentabelle, die Messwerte der einzelnen Oktavbänder am Messpunkt 9 aufführt.

3.2.2.1 SUMME DES DIREKTSCHALLPEGELS

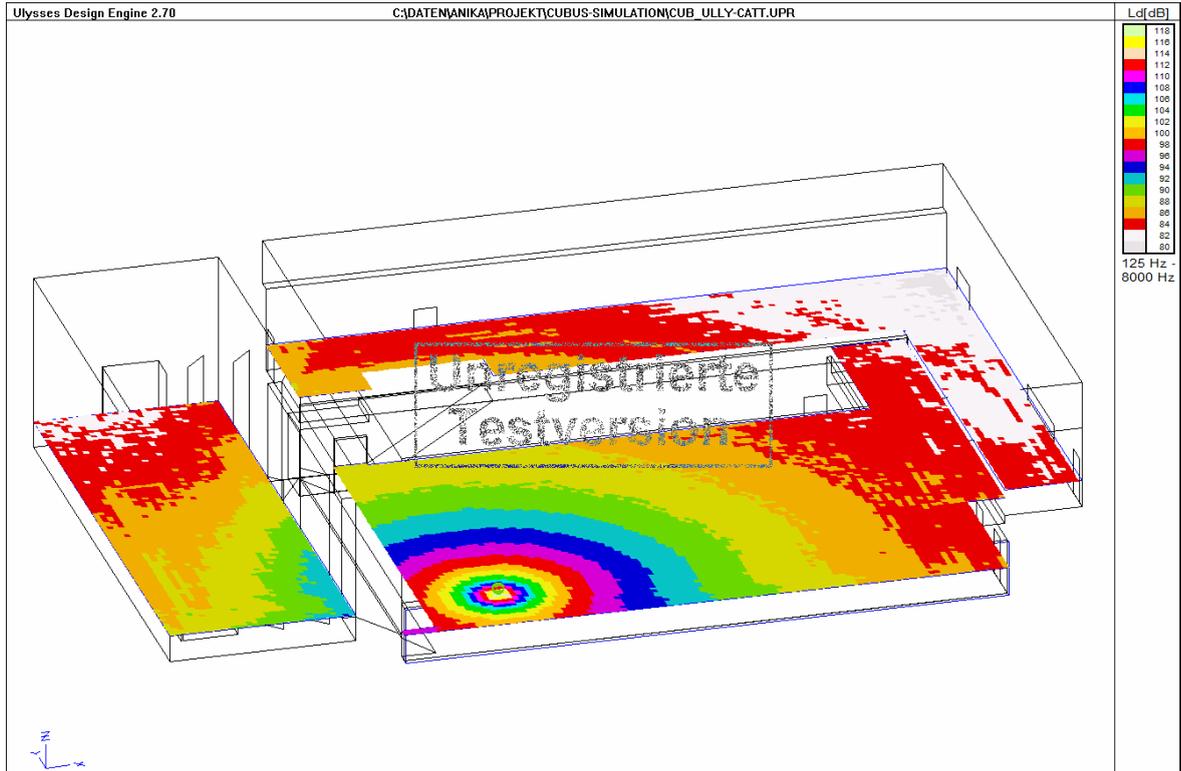


Abbildung 3.10: ULYSSES: Summe des Direktschallpegels über alle Oktavbänder

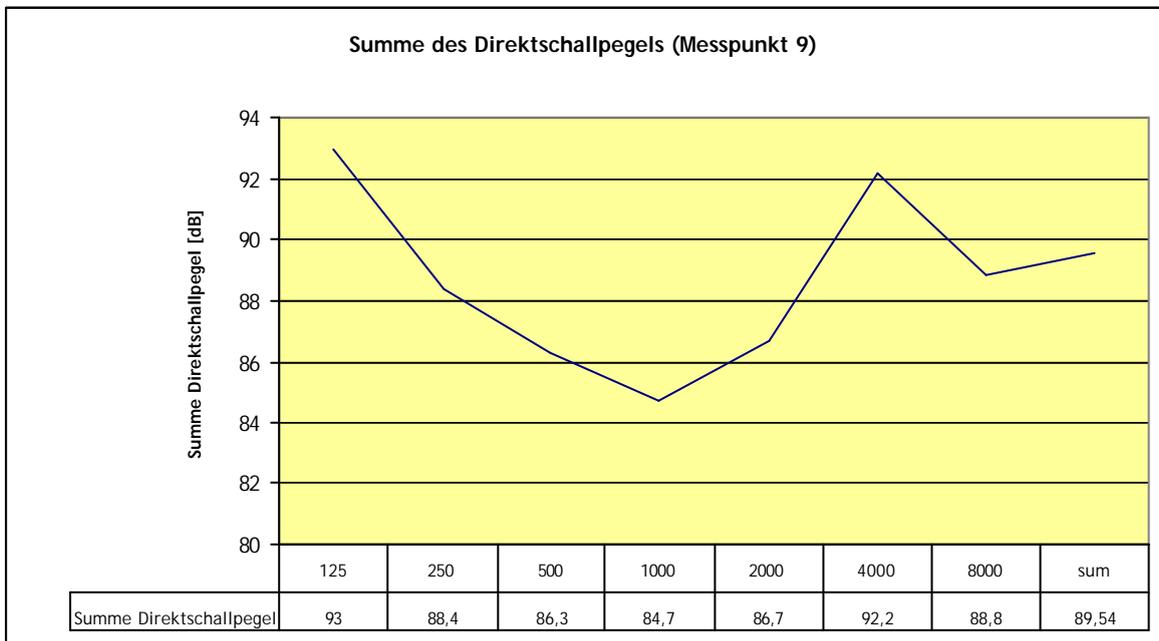


Abbildung 3.11: ULYSSES: Summe des Direktschallpegels, Excel-Diagramm

3.2.2.2 DELAY

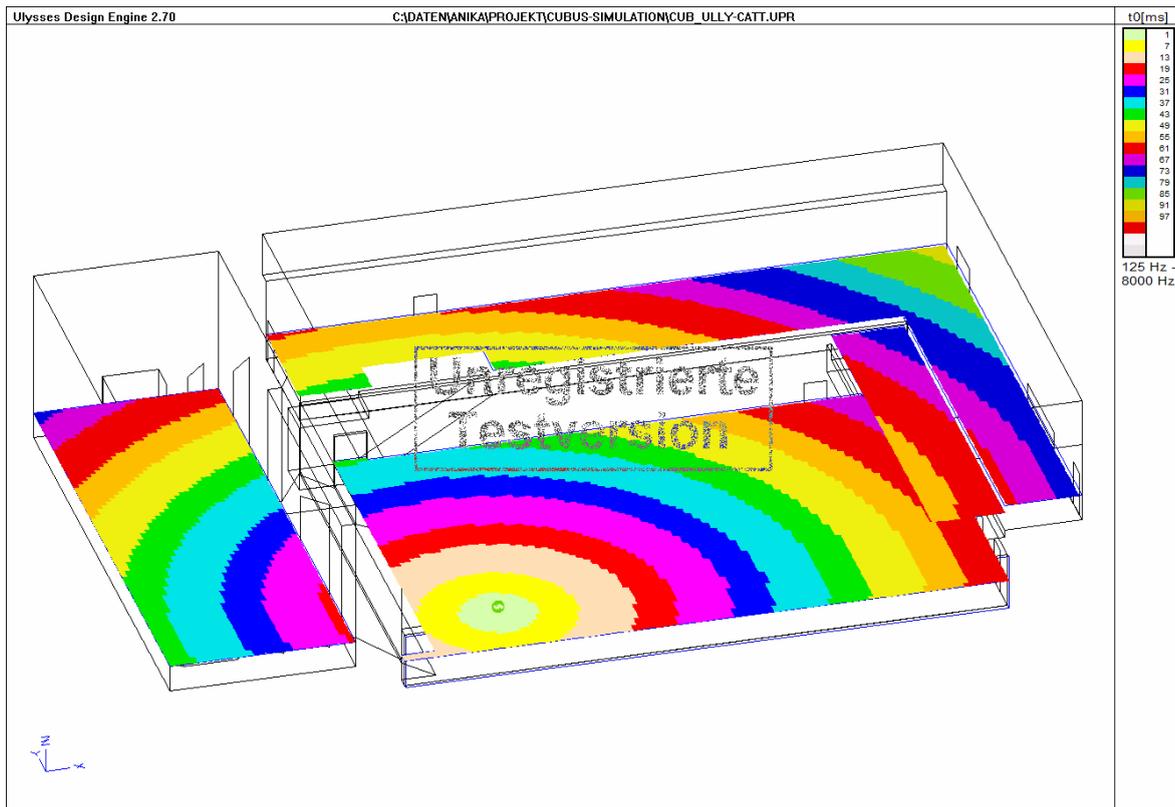


Abbildung 3.12: ULYSSES: Delay über alle Oktavbänder

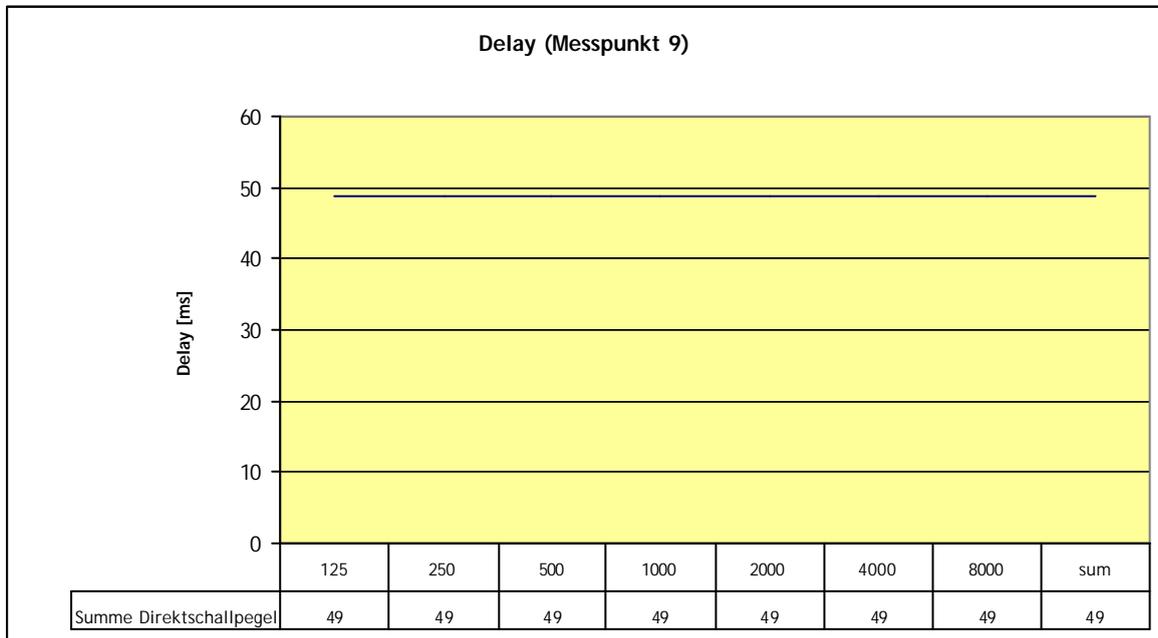


Abbildung 3.13: ULYSSES: Delay, Excel-Diagramm

3.2.2.3 SUMME DES DIREKT- UND INDIREKTSCHALLPEGELS

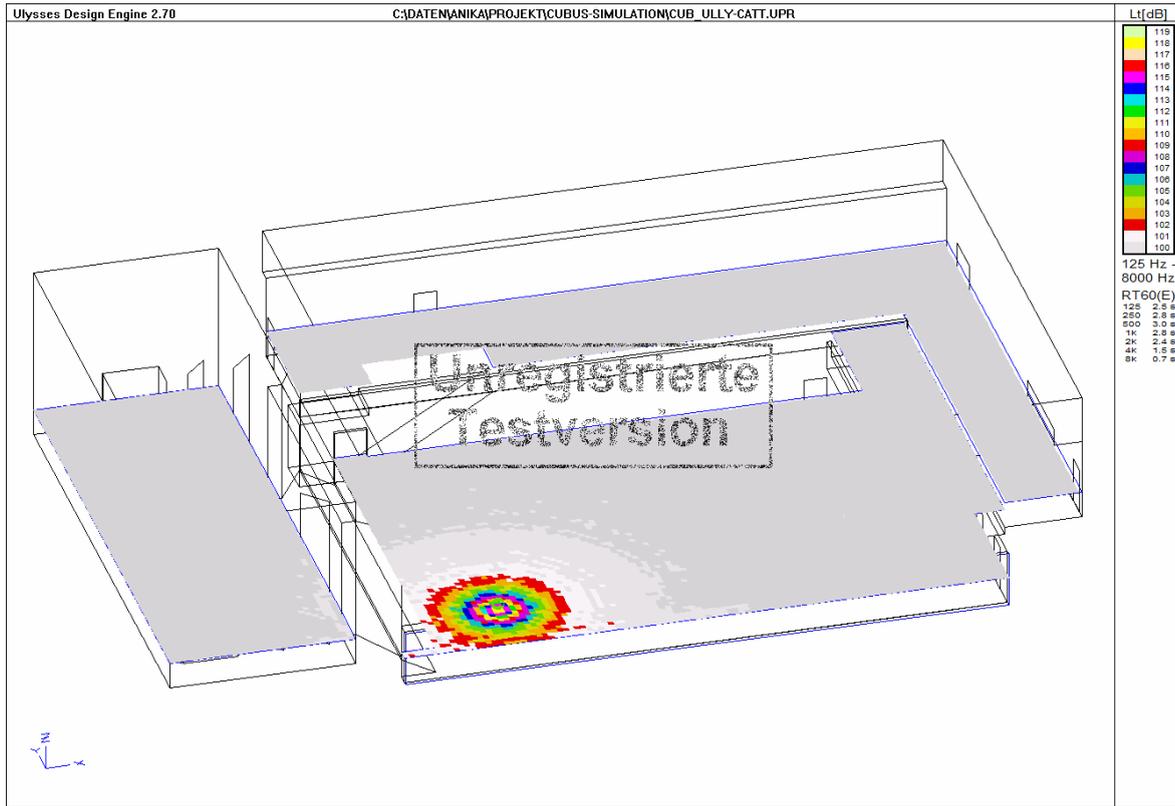


Abbildung 3.14: ULYSSES: Summe Direkt- / Indirektschallpegel über alle Oktavbänder

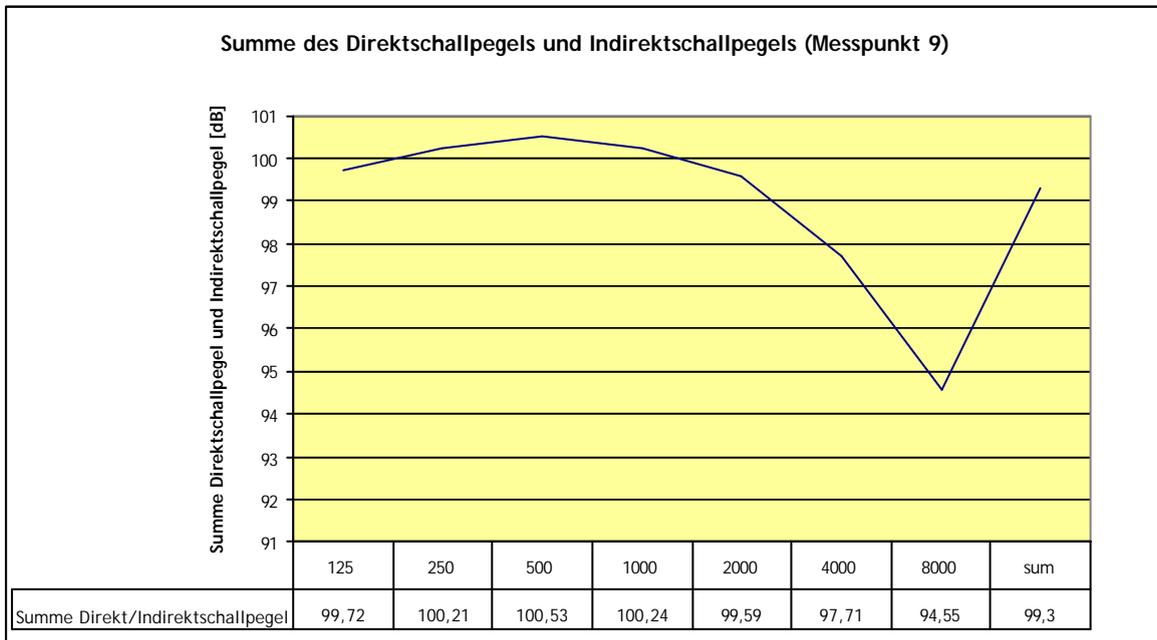


Abbildung 3.15: ULYSSES: Summe Direkt- /Indirektschallpegel, Excel-Diagramm

3.2.2.4 AL_{CONS}

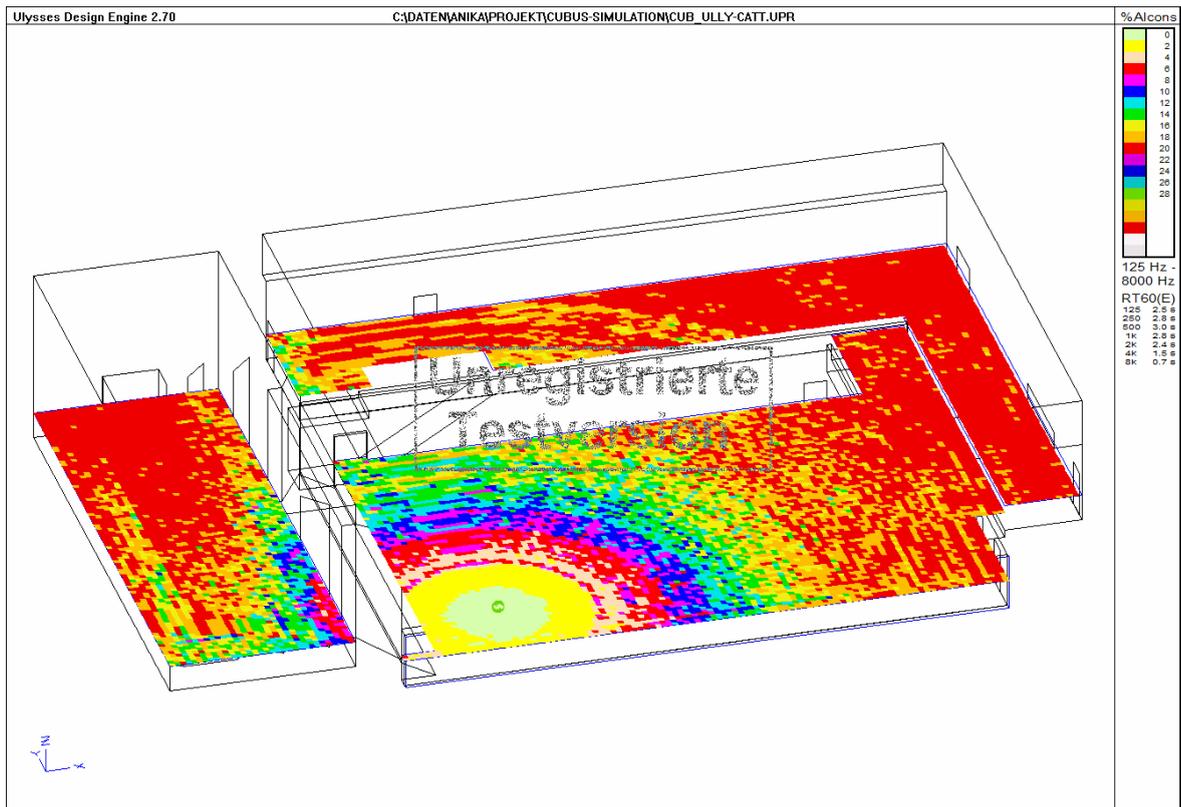


Abbildung 3.16: ULYSSES: AL_{CONS} über alle Oktavbänder

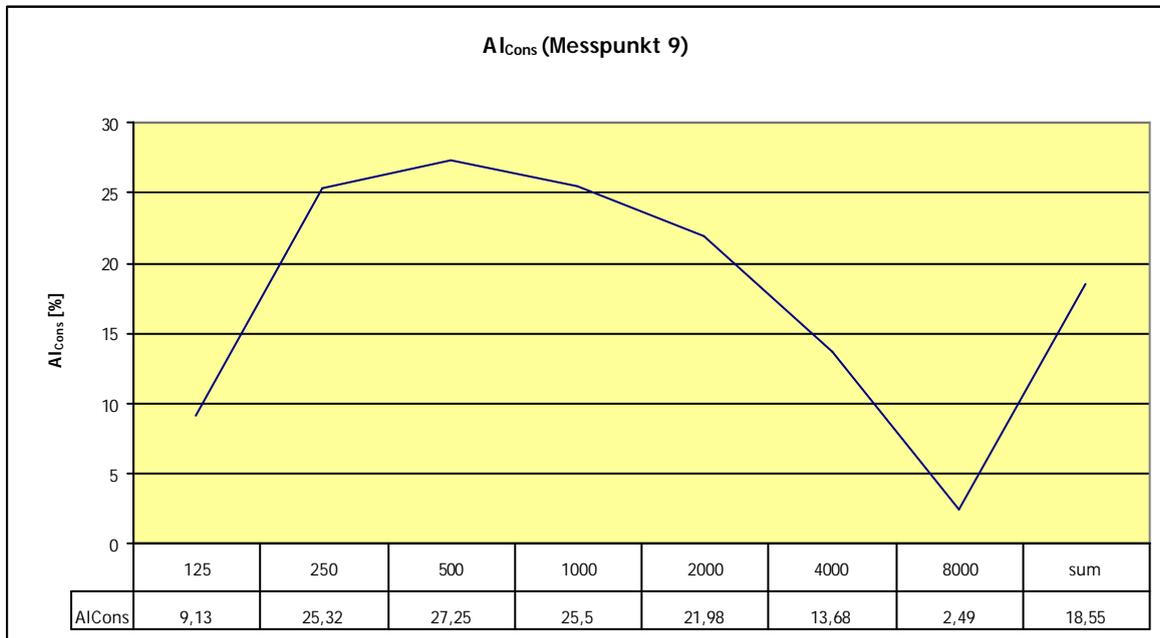


Abbildung 3.17: ULYSSES: AL_{CONS}, Excel-Diagramm

3.2.2.5 SPEECH TRANSMISSION INDEX (STI)

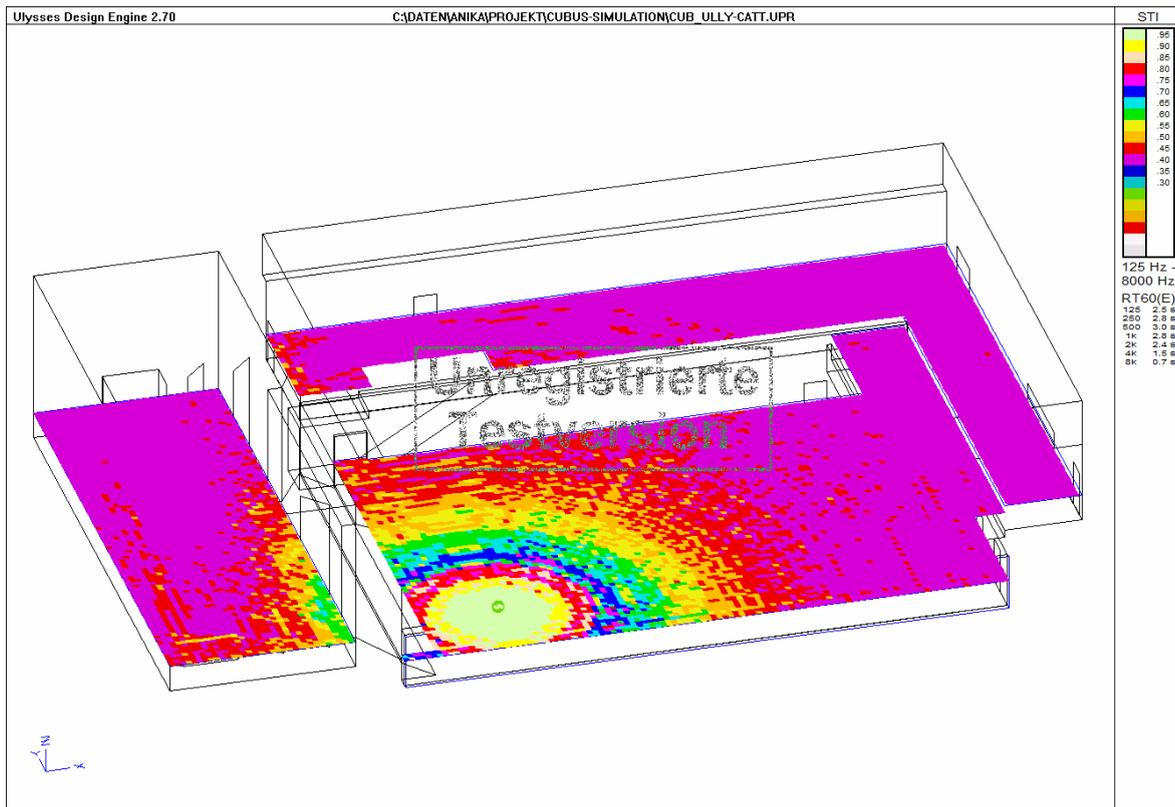


Abbildung 3.18: ULYSSES: STI über alle Oktavbänder

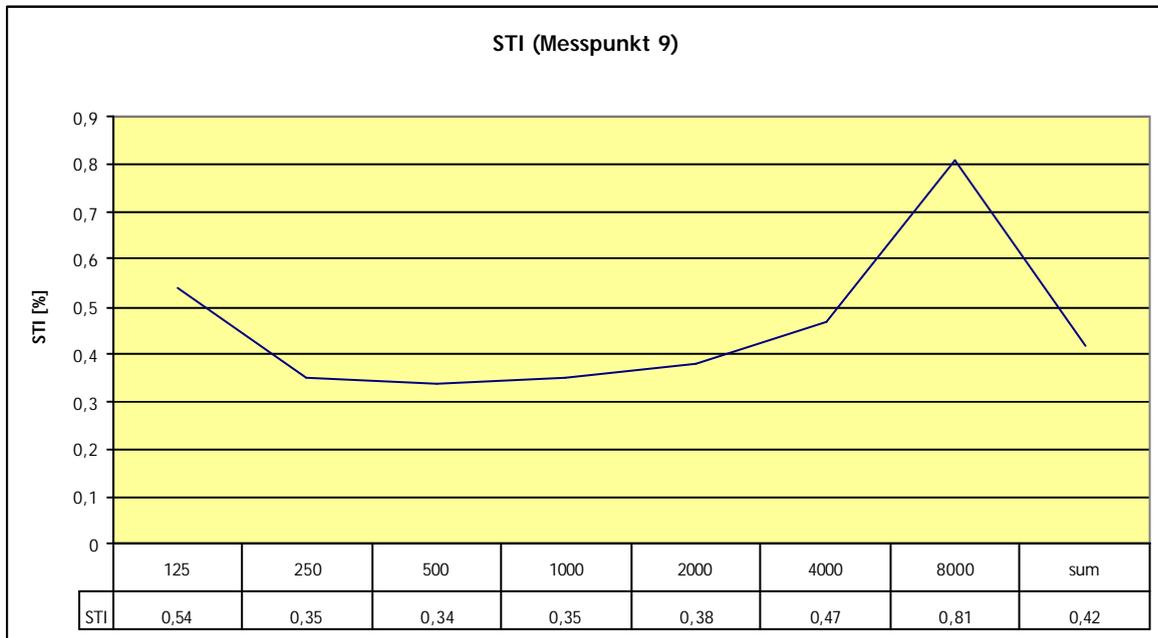


Abbildung 3.19: ULYSSES: STI, Excel-Diagramm

3.2.2.6 DIFFERENZ ZWISCHEN DIREKT- UND INDIREKTSCHALLPEGEL

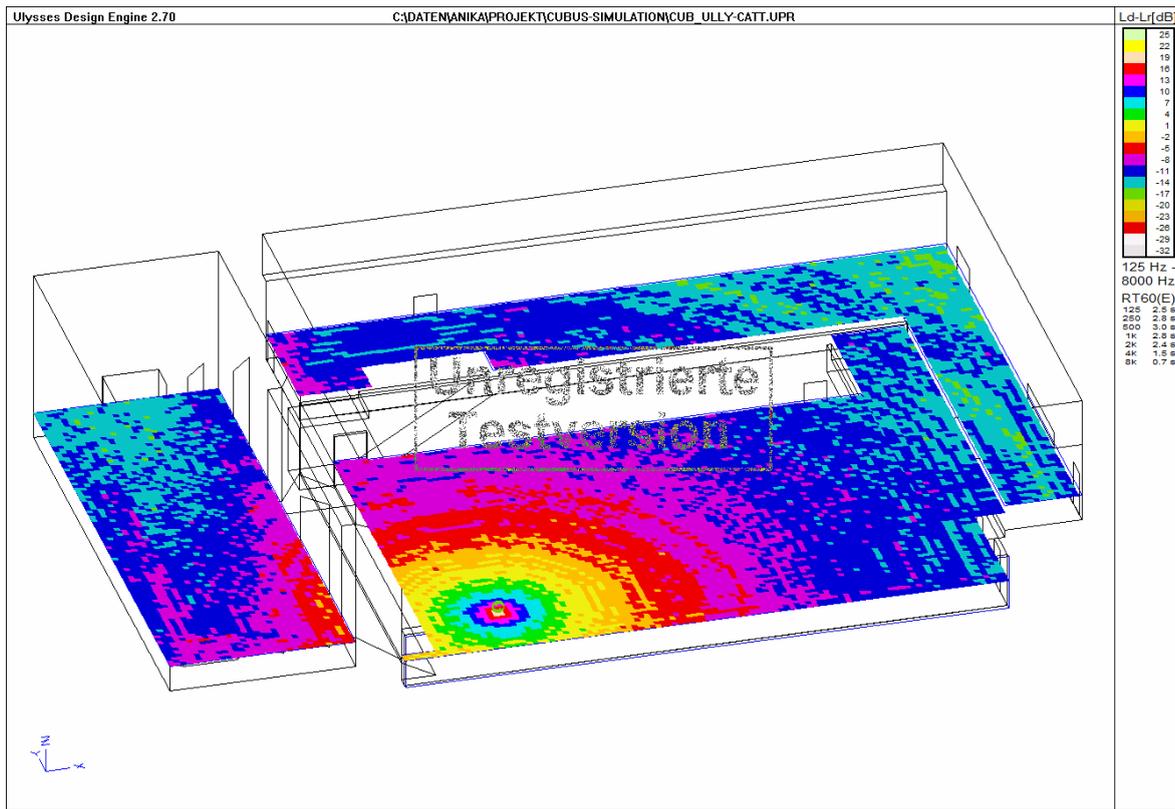


Abbildung 3.20: ULYSSES: Differenz Direkt- / Indirektschallpegel über alle Oktaven

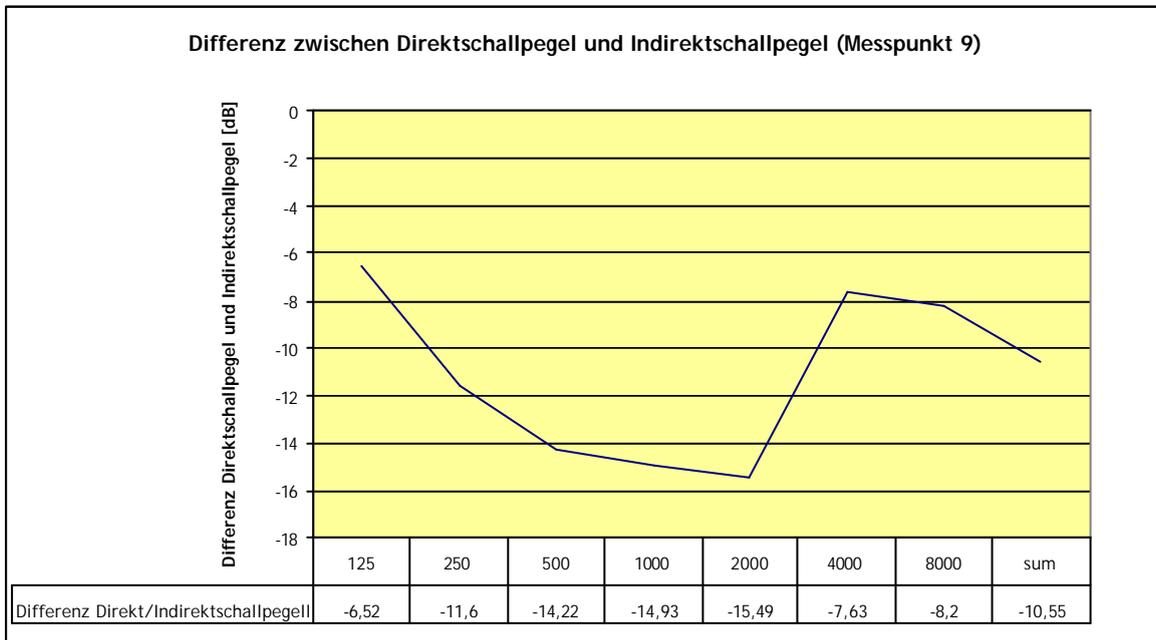


Abbildung 3.21: ULYSSES: Differenz Direkt- / Indirektschallpegel, Excel-Diagramm

3.2.3 RAY-TRACING UND ENERGIE-ZEIT-DIAGRAMME

Das Ray-Tracing stellt die Basis für die Erstellung der Energie-Zeit-Diagramme dar. Der hier verwendete Algorithmus ist ein Gemisch aus Spiegelquellenverfahren und Partikel-Verfahren, wodurch Raum-Reflexionen bis zur 15. Ordnung berechnet werden können. Da beim Spiegelquellenverfahren der Rechenaufwand mit zunehmender Ordnung exponentiell ansteigt, werden damit die niedrigeren Ordnungen berechnet. Die Berechnung der höheren Ordnungen erfolgt mit dem Partikel-Verfahren, das zwar ungenauer ist, dafür aber im Rechenaufwand nur linear mit zunehmender Ordnung ansteigt. [5]

Die folgenden Berechnungen wurden in 40. Ordnung durchgeführt und beinhalten 350 Pfade.

In der Abbildung 3.22 sind alle Reflexionen zu sehen. Es ist aber auch möglich, jeden einzelnen Weg zu betrachten, daher sind in den beiden darauf folgenden (Abbildung 3.23 und Abbildung 3.24) der erste und der zuletzt berechnete Weg dargestellt.

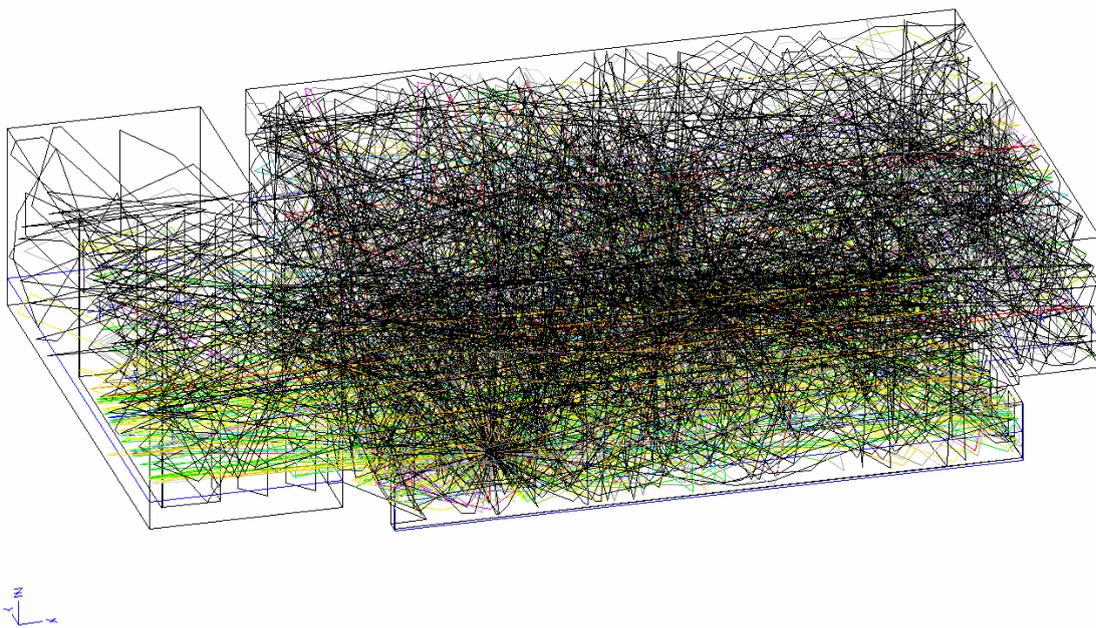


Abbildung 3.22: ULYSSES: Ray-Tracing, alle Pfade

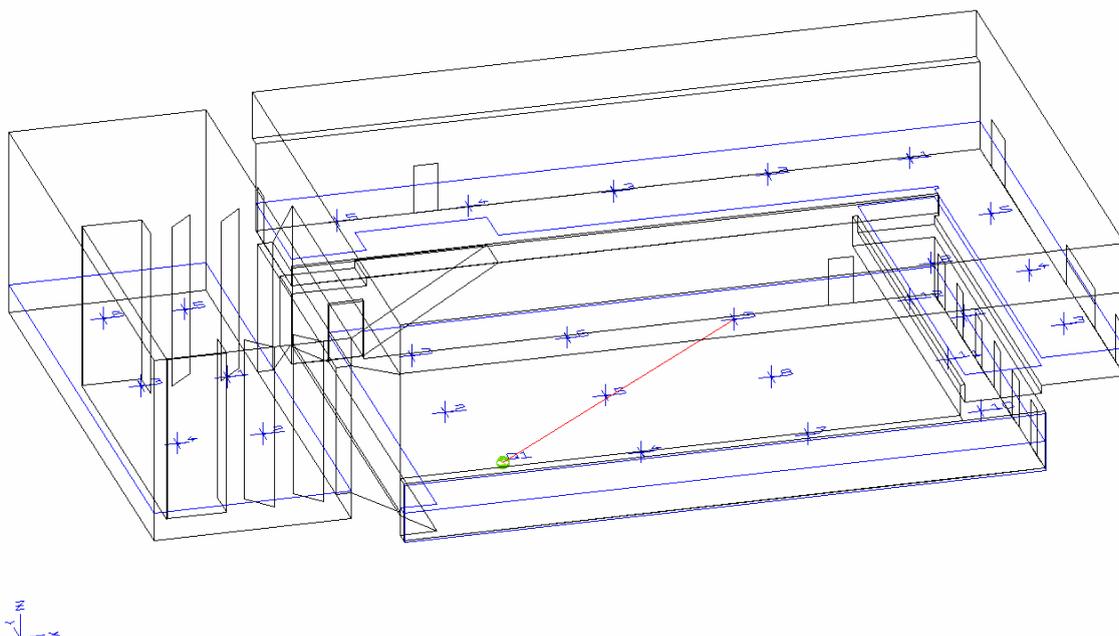


Abbildung 3.23: ULYSSES: Ray-Tracing, erster Pfad

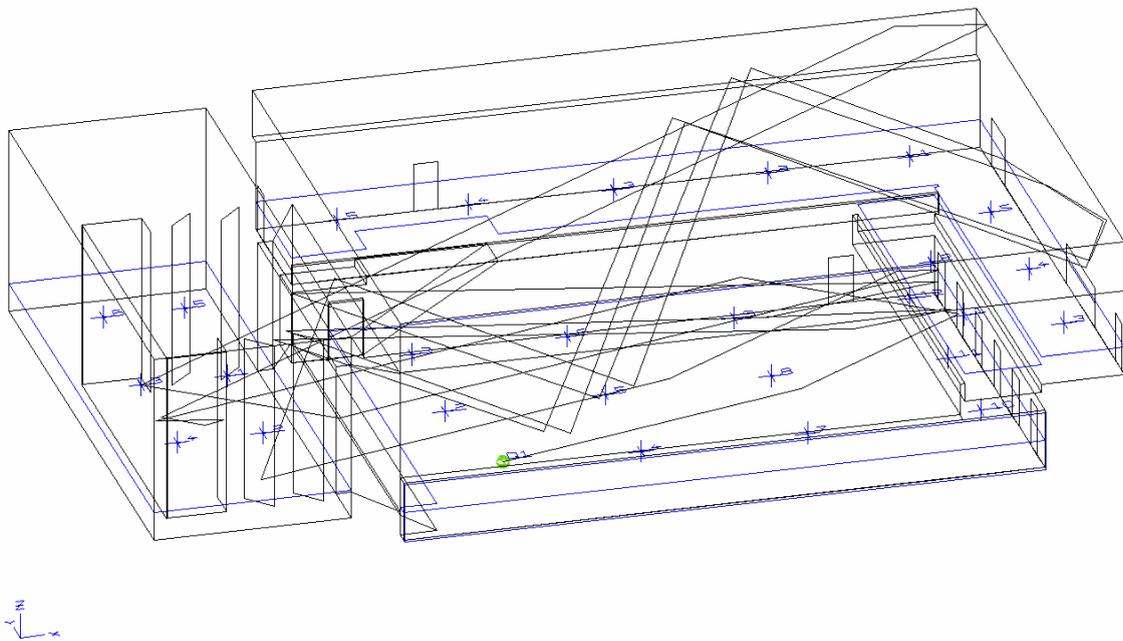


Abbildung 3.24: ULYSSES: Ray-Tracing, letzter Pfad

Aus der Reflexionsanzeige kann nun mit dem Button „ETC“ in die Energie-Zeit-Diagramm-Darstellung gewechselt werden. Der ausgewählte Pfad wird dabei beibehalten. Natürlich kann auch innerhalb des Energie-Zeit-Diagramms der Pfad gewechselt werden. Wie auch schon in den Pegel-Zeit-Berechnungen können die Berechnungen der einzelnen Frequenzbändern und der Summe aller Oktavbänder angewählt werden. Des Weiteren bietet Ulysses aus diesem Fenster heraus eine Echtzeit-Auralisation an, die aber nur einen groben Eindruck vermittelt. Außerdem ist es möglich, eine Audio-Processing-Datei zu speichern, mit der später eine bessere Auralisation durchgeführt werden kann.

Über dem Diagramm werden auch die Werte der Nachhallzeit, Differenz zwischen Direkt- und Indirektschallpegel sowie der AI_{cons} angezeigt. Unterhalb stehen Energieänderung, Zeitverzögerung, beteiligte Flächen und Positionen von Quelle und Ziel (siehe Abbildung 3.25 und Abbildung 3.26).

Die Nachhallzeit wird hier über das Ray-Tracing berechnet und zwar nach der Formel

$$RT60 = 6 \cdot \frac{\ln(10) \cdot c}{-\ln(1-a) \cdot MFP \cdot kMPF}$$

wobei MFP ... mittlere freie Wegstrecke, a ... mittlere Absorption der Pfade bei Reflexion an Raumflächen, c ... Schallgeschwindigkeit und k ... frequenzabhängige Absorptionskonstante der Luft bei 60% rel. Luftfeuchte. [5]

Daher ergibt sich für die Nachhallzeit bei dieser Berechnungsmethode der in Abbildung 3.27 zu sehende Verlauf.

Auch die Werte für die Differenz zwischen Direkt- und Indirektschallpegel sowie der AI_{cons} werden aus den Ray-Tracing-Ergebnissen berechnet. Die Unterschiede zu den Berechnungen in den Kapiteln 3.2.2.4 und 3.2.2.6 sind in Abbildung 3.28 und Abbildung 3.29 dargestellt.

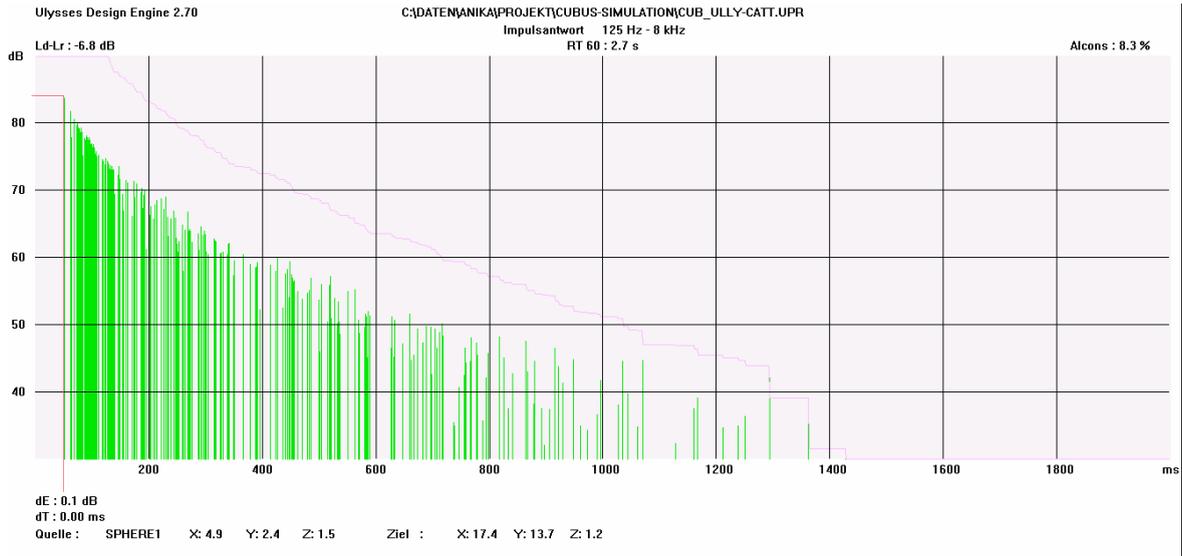


Abbildung 3.25: ULYSSES: E-t-Diagramm über alle Oktavbänder, erste Reflexion

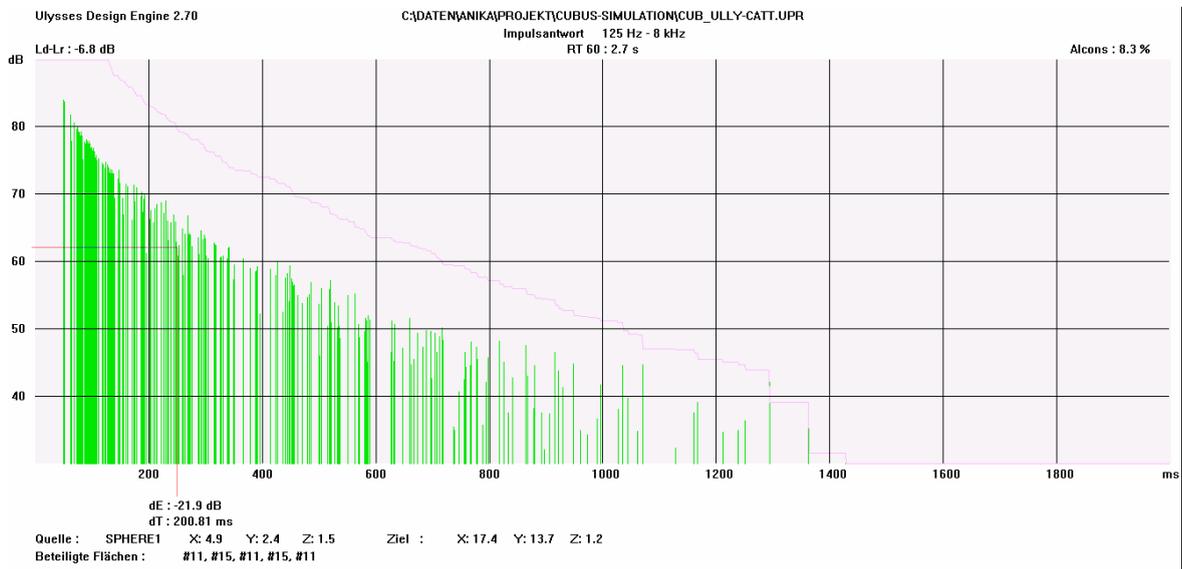


Abbildung 3.26: ULYSSES, E-t-Diagramm über alle Oktavbänder, spätere Reflexion

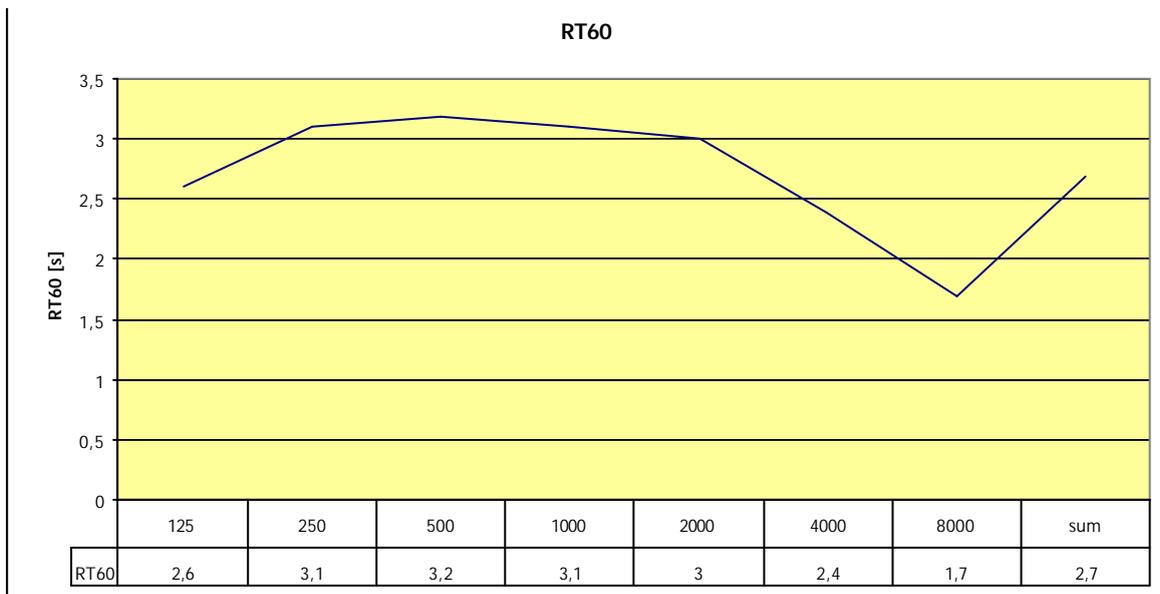


Abbildung 3.27: ULYSSES, RT60 nach Ray-Tracing-Methode, Excel-Diagramm

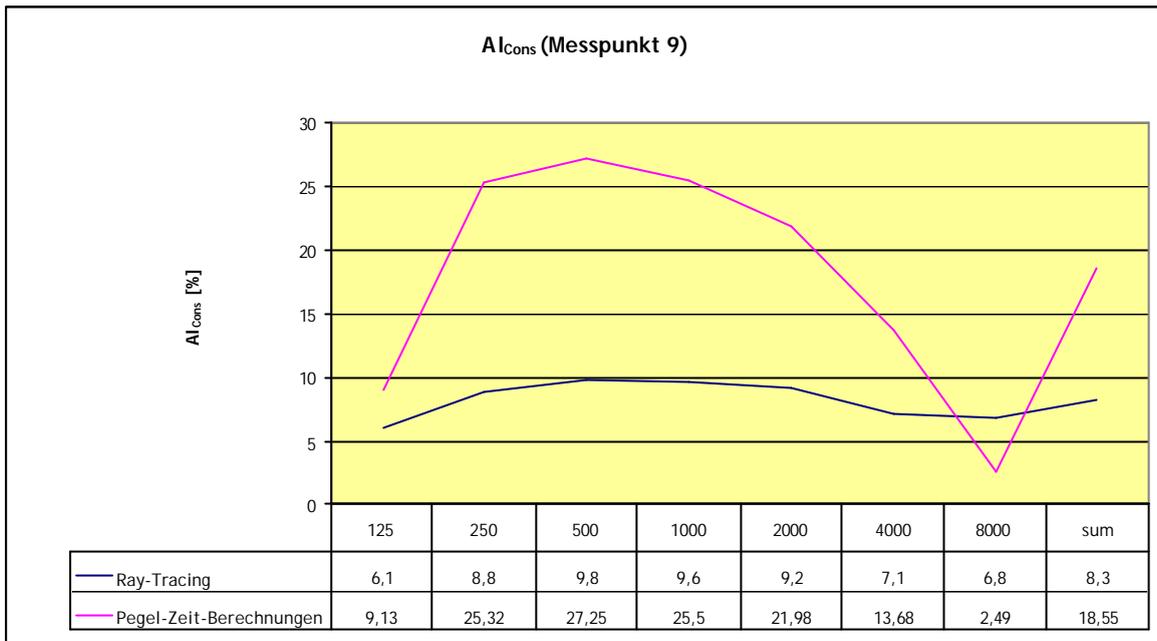


Abbildung 3.28: ULYSSES: Unterschied zw. Ray-Tracing und Pegel-Zeit-Berechnung 1

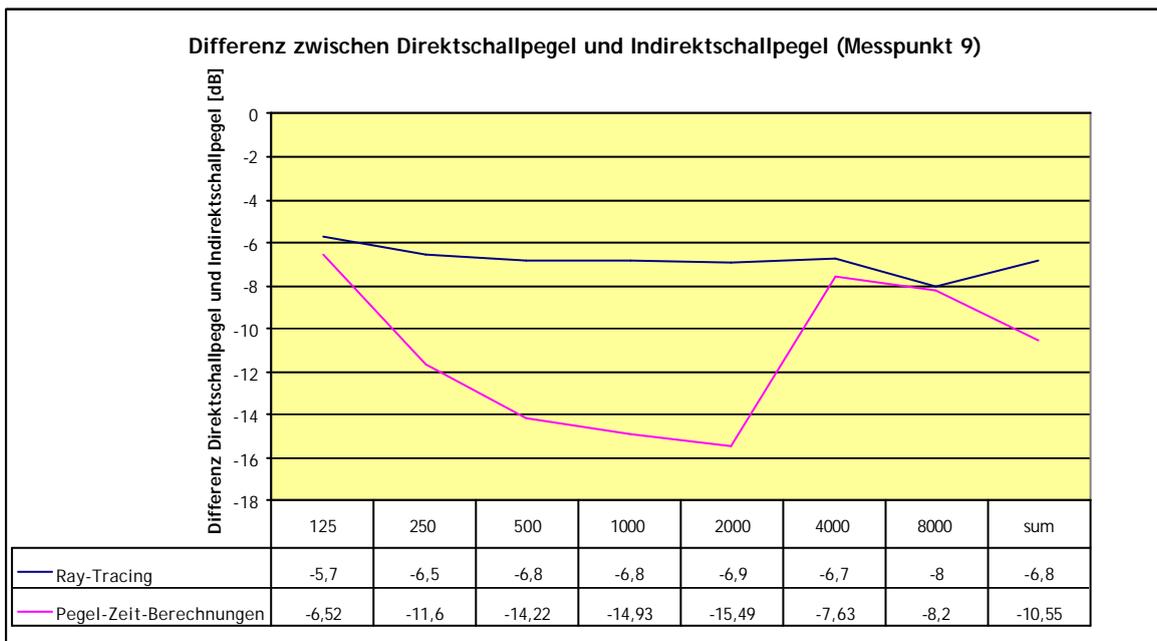


Abbildung 3.29: ULYSSES: Unterschied zw. Ray-Tracing und Pegel-Zeit-Berechnung 2

4 VERGLEICH DER ERGEBNISSE

In diesem Kapitel werden nun die Ergebnisse der zuvor durchgeführten Simulationen verglichen. Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass das bereits in Ulysses existierende Modell mit den exakten Koordinaten und Absorptionskoeffizienten nach CATT übernommen wurde. Die verwendeten Werte entsprechen jeweils den Berechnungen bei 20 °C und einer relativen Luftfeuchte von 60 %.

Wie aus den Kapiteln 2 und 3 zu ersehen ist, lassen sich die beiden Programme aufgrund ihrer unterschiedlichen Ausrichtung nur schwer vergleichen. Daher werden neben den konkreten Ergebnissen für Nachhallzeiten, STI und SPL auch die Erstellung der Modelle, die Berechnungsmöglichkeiten sowie grafische Aufbereitung und die Bedienerfreundlichkeit behandelt.

4.1 RAUMAKUSTISCHE GÜTEMASSE

4.1.1 SOUND PRESURE LEVEL (SPL)

Bei der SPL-Berechnung liefern beide Programme in etwa die gleichen Werte:

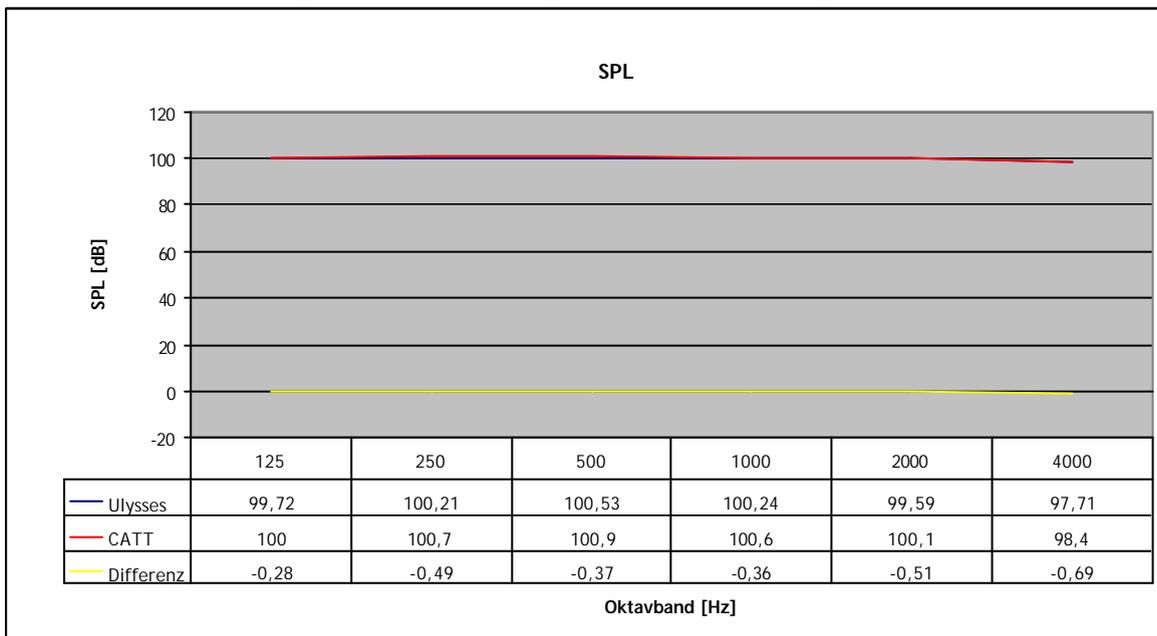


Abbildung 4.1: VERGLEICH: SPL

4.1.2 NACHHALLZEITEN

Ulysses und CATT berechnen beide die Nachhallzeiten nach Sabine und Eyring. Ulysses ermittelt zusätzlich noch nach Fitzroy (siehe Kapitel 3.2.1.3) und über die Ray-Tracing-Methode, CATT stellt T15, T30 und eine geometrische Form der Eyring-Nachhallzeit zur Verfügung (siehe Kapitel 2.2.4.5). Bei der Betrachtung der Vergleichsdiagramme für die Berechnungen nach Sabine (Abbildung 4.2) und Eyring (Abbildung 4.3), fällt auf, dass Ulysses mit Ausnahme des 4 kHz-Oktavbandes leicht oberhalb der CATT-Werte liegt. Die jeweils rote Linie zeigt die Messwerte an, die am 17.12.2003 bei 21°C und 22% rel. Luftfeuchte vor Ort gemessen wurden [6]. Im Vergleich zu den beiden berechneten Kurven ist auffällig, dass Ulysses bei der Sabine'schen Berechnung gleichmäßig über den gemessenen Werten liegt, wohingegen CATT in den mittleren Oktavbändern eine höhere Abweichung aufweist wie in den unteren und oberen Bändern.

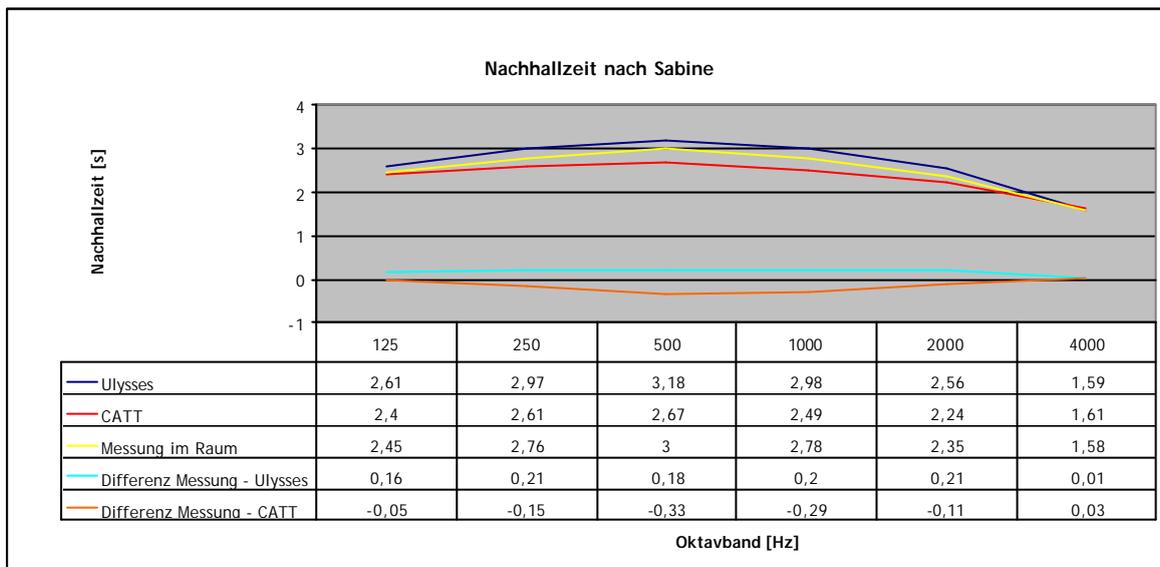


Abbildung 4.2: VERGLEICH: Nachhallzeit nach Sabine

Vergleicht man die Eyring'schen Berechnungen mit den Messungen vor Ort, so liefert Ulysses eindeutig das bessere Ergebnis.

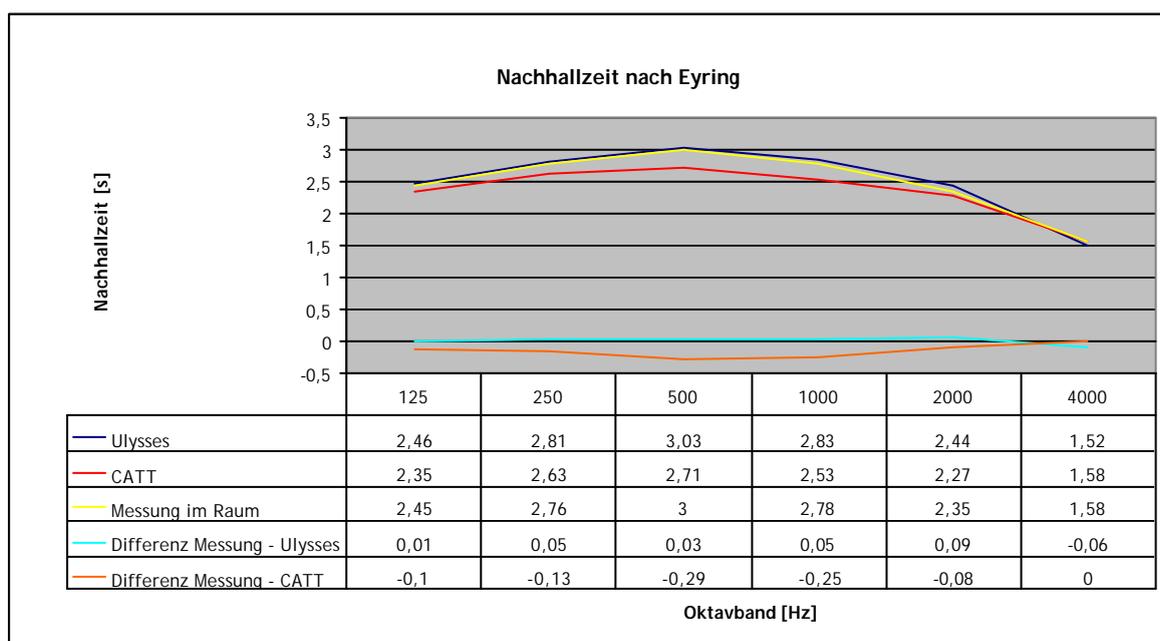


Abbildung 4.3: VERGLEICH: Nachhallzeit nach Eyring

4.1.3 SPEECH TRANSMISSION INDEX (STI)

Der Vergleich der STI-Werte zeigt deutlichere Unterschiede als die, die bei den anderen Parametern auftreten:

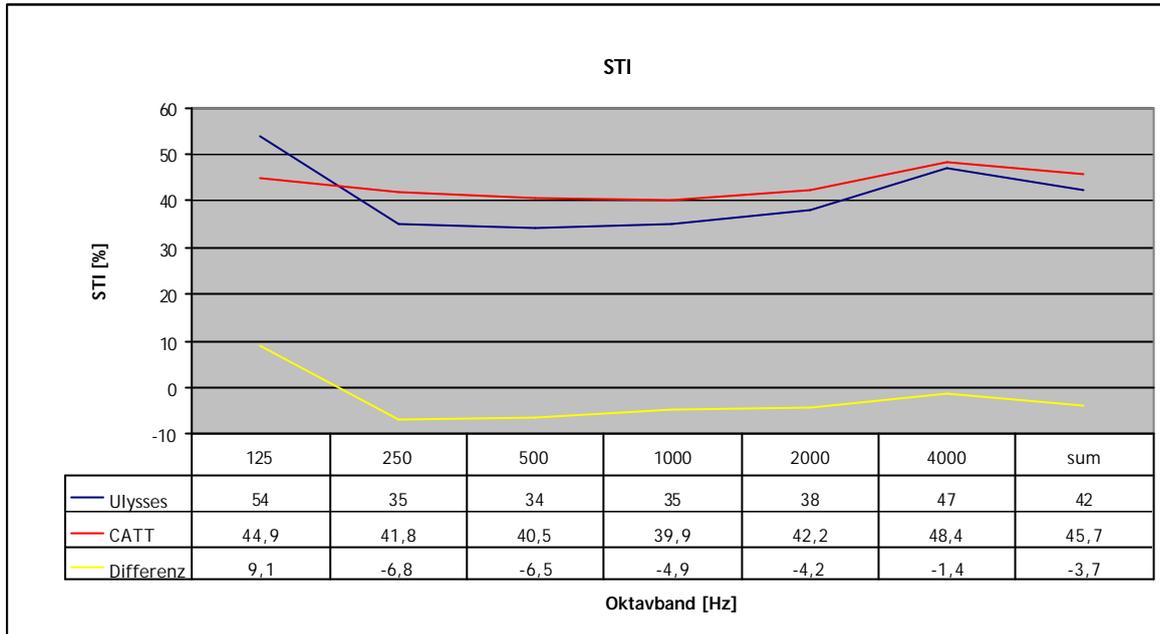


Abbildung 4.4: VERGLEICH: STI

Insgesamt befindet Ulysses den Raum bezüglich seines Sprachübertragungsindex als eher schlecht, wobei CATT sich schon auf die Bewertung „durchschnittlich“ zu bewegt. Da mit Ausnahme des 125-Kz-Oktavbandes der Abstand zwischen beiden Programmen relativ konstant ist, wird die Ursache wohl in der Bewertung durch die Gewichtungskoeffizienten zu suchen sein. Leider können bei Ulysses die verwendeten Koeffizienten nicht eingesehen werden. CATT verwendet standardmäßig folgende Werte:

Oktavband	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Koeffizient	0,13	0,14	0,11	0,12	0,19	0,17	0,14

Die Werte der Koeffizienten können auch vom Benutzer individuell eingestellt werden. Des weiteren bietet CATT einen „STI modified“ an, welcher auf den AI-Koeffizienten nach French und Steinberg basiert.

4.2 ERSTELLUNG DER BERECHNUNGSMODELLE

In dieser Kategorie ist die Verschiedenheit der beiden Programme mit am deutlichsten zu erkennen. CATT arbeitet wie im Kapitel 2.1 beschrieben mit einem Text-Editor, wohingegen bei Ulysses die Flächenbegrenzungen direkt eingegeben werden können. Durch die Option „Punkt-Fang“ hat Ulysses hier einen leichten Vorteil, da die Konstruktion insgesamt etwas schneller geht. Bei CATT können aber Variablen definiert werden, die die Eingabe erheblich erleichtern, besonders wenn der Raum Achsensymmetrien vorweisen kann.

Bei sehr großen, etwas unübersichtlichen Räumen (beispielsweise eine Kirche) mit vielen kleinen Flächen ist eine Konstruktion in CATT sicherlich wesentlich aufwendiger als in Ulysses. Ist allerdings eine Import-Möglichkeit über eine bereits vorhandene AutoCAD-Datei möglich, so ist CATT klar im Vorteil. Mit einem speziellen Plug-In für AutoCAD lassen sich Geometrien relativ einfach in beide Richtungen transformieren. Ulysses bietet trotz seiner Ähnlichkeit mit einem CAD-Programm keine Import- oder Export-Möglichkeit für gängige Konstruktionsprogramme wie Auto-CAD oder Nemecek an.

Die Überprüfung auf Richtigkeit der geometrischen Eingaben ist bei beiden Programmen gut gelöst. CATT erstellt bei der Berechnung „Geometry View/Check“ ein txt-File, in dem Unstimmigkeiten angegeben werden (doppelte Punkte, etc.), zusätzlich kann man sich evt. vorhandene Löcher im Raum anzeigen lassen. Ulysses hat einen Assistenten, der den Raum auf Fehler überprüft.

Bei der Definition der Quellen bietet Ulysses aufgrund seiner Ausrichtung wesentlich mehr Möglichkeiten, wobei CATT sich als reines Raumakustik-Programm auch hier nicht verstecken muss.

Da es bei Ulysses um eine Einschätzung der Raumsituation unter der gewählten Beschallung geht, gibt es keine Möglichkeit gezielte Messpunkte zu wählen. Bei CATT hingegen können exakte Empfängerpunkte definiert werden, für die dann auch die entsprechenden Messergebnisse grafisch dargestellt werden.

4.3 BERECHNUNGSMÖGLICHKEITEN

In dieser Kategorie sind die beiden Programme nur schwer zu vergleichen, da hier ihre unterschiedliche Ausrichtung besonders deutlich wird. Mit CATT können nahezu alle akustischen Gütemaße berechnet werden, wohingegen sich Ulysses auf die wichtigsten beschränkt. Dafür können mit Ulysses Lautsprecher-Cluster berechnet und entworfen werden. Entsprechend der Zielsetzung der Ulysses-Entwickler können Beschallungsanlagen relativ einfach und schnell auf ihre Wirksamkeit hin überprüft werden. Auch einfache raumtechnische Änderungen können schnell und unkompliziert mit einbezogen werden. Als eine Software, die auf Raumakustik spezialisiert ist, muss CATT hier den Kürzeren ziehen.

Bezüglich der Rechenzeit weisen die Programme bei komplexen Aufgaben vermutlich keine großen Differenzen auf. Bei diesem Vergleich jedoch rechnete Ulysses deutlich schneller, was aber auf den Berechnungsumfang zurückzuführen ist. In CATT wurden immerhin nahezu alle Berechnungsmöglichkeiten ausgenutzt, wohingegen bei Ulysses bedingt durch die Aufgabenstellung nur ein Teil benutzt wurde.

Einen klaren Vorteil hat Ulysses, wenn es darum geht, verschiedene Raummaterialien oder kleine Änderungen im Raum zu testen. Hierfür sind in der Regel keine erneuten Berechnungen erforderlich, sondern die bereits existierenden Werte werden entsprechend geändert. Dieser zeitsparende Faktor ist nicht zu vernachlässigen. In diesem Zusammenhang sollte auch erwähnt werden, dass die Werte für einen beliebigen Punkt im Raum direkt mit Klick einsehbar sind, wohingegen bei CATT hierfür ein Empfänger definiert werden muss. Je nach gewünschtem Ziel kann das jeweils als Vor- oder Nachteil gewertet werden.

Leider fehlt bei Ulysses die Möglichkeit, die Raumregel auf ihre Ausrichtung hin zu überprüfen. Dieses CATT-Feature erleichtert erheblich die gezielte Verbesserung akustischer Schwachpunkte des Raumes.

Besonders positiv ist bei CATT ebenfalls die Zusammenfassung aller Ergebnisse in einem txt-File. Dadurch besteht die Möglichkeit, sich zusätzlich zur grafischen Aufbereitung einen eigenen Eindruck der tatsächlichen Ergebnisse zu machen. Zusätzlich erleichtern sie die Aufarbeitung der Ergebnisse in anderen Programmen wie zum Beispiel Excel. Diese Option fehlt bei Ulysses.

Auch die Einstellungsmöglichkeiten der Umgebungsparameter wie Hintergrundgeräusch oder Raumtemperatur und Luftfeuchte sind bei Ulysses nicht frei wählbar. Hier wird immer von einer relativen Luftfeuchte von 60% ausgegangen. Bei CATT hingegen kann der Benutzer alles selbst auswählen, was in der unterschiedlichen Ausrichtung der beiden Programme seinen Ursprung hat. Bei Ulysses werden unterschiedliche Beschallungsanlagen in ein und derselben Umgebung getestet, wohingegen eben CATT auch unterschiedliche Umgebungen berücksichtigen kann.

4.4 GRAFISCHE DARSTELLUNG

In der grafischen Darstellung überzeugt definitiv CATT. Die 2D- und 3D-Darstellungen werden fast jedem Anspruch gerecht. Besonders positiv fiel bei CATT auf, dass es nicht möglich ist, das 3D-Modell des Raumes in sich zu verdrehen. Leider passiert dies bei Ulysses sehr leicht und man hat einiges an Denk- und Drehleistung zu vollbringen, um die ursprüngliche Ansicht wieder herzustellen. Auch die verschiedenen geometrischen Darstellungsmöglichkeiten des Raumes machen die Orientierung und Überprüfung des Raumes bei CATT einfacher.

Für einen in der Planung befindlichen Raum ist sicherlich auch die interaktive OpenGL-Grafik des Raumes von Vorteil. Hier können die Beleuchtungsverhältnisse sowie die Farben der verschiedenen Materialien individuell angepasst werden, sodass es nicht schwer fällt, sich den Raum in fertigem Zustand vorzustellen.

Bei Ulysses erinnert alles sehr stark an ein CAD-Programm, worauf die Software letztendlich auch basiert. Eine architektonische Vorstellung des konstruierten Raumes bekommt man daher nur schwerlich. Allerdings muss man Ulysses an dieser Stelle zugestehen, dass es für das Design und die Verwendung von Beschallungsanlagen entworfen und programmiert wurde und daher für die Entwicklung eines Konzertsaaes oder Ähnlichem nicht gedacht ist.

Die Aufbereitung der Berechnungsergebnisse beider Programme ist Geschmackssache. Insbesondere bei den Diagrammen bietet Ulysses einfache Darstellungen an, aus denen sehr schnell das Wichtigste entnommen werden kann. CATT ist etwas verspielter und hat meistens noch zusätzliche Features integriert, die das Ganze unter Umständen etwas unübersichtlich machen. Die Darstellung von grafischen Ergebnissen (zum Beispiel die Pegelverteilung beim STI) ist bei beiden Programmen ähnlich und gleich gut zu verstehen.

Beiden Programmen ist es hingegen nicht ohne Weiteres möglich, verschiedene Berechnungen parallel dazustellen. Hierzu müssen die gespeicherten Berechnungen jedes Mal aufs Neue geöffnet werden. Ein einfaches Wechseln zwischen den verschiedenen Fenstern wäre da einfacher. Auch ein Anordnen der verschiedenen Fenster mit den wieder geöffneten Berechnungen ist bei CATT nicht möglich: öffnet man eine alte Berechnung ist die zuvor geöffnete verschwunden. Bei Ulysses muss zwischen den verschiedenen Ansichten mit einem Button gewechselt werden, was auch nicht gerade komfortabel ist.

4.5 BEDIENERFREUNDLICHKEIT UND ZUVERLÄSSIGKEIT

Für beide Programme ist eine gewisse Einarbeitungszeit erforderlich. Allerdings bieten auch beide ein Tutorial, nach dessen Bearbeitung man mit den wichtigsten Features und der grundlegenden Bedienung vertraut ist.

Die Online-Hilfe ist bei CATT sehr umfangreich und lässt kaum Fragen offen. Unter anderem wird auch ein Teil der Theorie, die hinter dem Programm steht, erläutert. Die Ulysses-Hilfe hingegen ist weniger detailliert und erklärt nur, was man wo findet und wie was berechnet werden kann. In den meisten Fällen kommt aber die Theorie hinter den Berechnungen zu kurz. Hier wird auf das vorhandene Fachwissen des Anwenders gezählt.

Die Bedienung beider Programme ist nicht kompliziert und eigentlich intuitiv beherrschbar. Da bei CATT die Berechnungsmenüs zum Teil sehr umfangreich sind, sollte jedoch mit der Online-Hilfe genau überprüft werden, was tatsächlich benötigt wird, um Rechenzeit einzusparen.

Die Ergebnisdarstellung ist ebenfalls bei beiden intuitiv bedienbar, wobei auch hier wieder für CATT gilt: es gibt etliche versteckte Features, die man nur mit viel Aufmerksamkeit oder mit der Online-Hilfe entdecken kann.

Bei allen durchgeführten Berechnungen stürzte weder CATT noch Ulysses auch nur einmal ab. Lediglich bei der Erstellung der Raumgeometrien gab es ein paar kleinere Probleme mit CATT, wobei sich dabei alles auf Bedienungsfehler zurückführen ließ. Da die eingegebenen Daten vor jeder Berechnung gespeichert werden, kommt es aber zu keinem Datenverlust. Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang auf jeden Fall das Engagement des Entwicklers von CATT, der einem jederzeit mit Rat und Tat und hilfreichen Tipps zur Seite steht.

Die Zuverlässigkeit ist bei beiden Programmen sehr gut. Bei keiner einzigen Berechnung blieb die Software hängen oder stürzte der Rechner ab. Auch bei den Berechnungsergebnissen wurden bei mehreren Berechnungen mit exakt denselben Einstellungen an verschiedenen Rechnern immer die gleichen Ergebnisse erzielt.

5 FAZIT

Beide Programme haben in jeweils ihrem Anwendungsbereich deutliche Vorteile gegenüber der anderen Software. Vorweg kann daher gesagt werden, dass CATT im raumakustischen Bereich klare Vorteile hat, Ulysses dagegen, wenn es um Lautsprecher-Cluster-Berechnungen oder der Veränderung oder des Entwurfes von Beschallungsanlagen geht.

Ulysses hat Schwächen, wenn es um detaillierte raumakustische Berechnungen oder Problemstellungen geht, da wichtige Parameter wie D-50 oder C-80 nicht mitberechnet werden können. Der Schwerpunkt liegt bei dieser Software eindeutig im Testen von möglichen Beschallungsanlagen und Auswirkungen kleinerer Änderungen im Raum auf die Raumbeschallung. Die raumgeometrischen Parameter lassen sich schnell und problemlos verändern, ohne dass die Berechnungen aufs Neue gestartet werden müssen. Die Diagramme und die Darstellung der Berechnungsergebnisse sind eher technisch und übersichtlich.

Die Grafik und die Vielfältigkeit der Berechnungsmöglichkeiten sind die große Stärke von CATT. Hier wird mit einer (auch für den Akustik-Laien) ansprechenden grafischen Darstellung viel Information übertragen. Für die Präsentation eines geplanten Projektes liefert CATT gleich die für das Auge und das Vorstellungsvermögen so wichtigen detaillierten Farbverläufe und 3D-Grafiken mit. Aus den farbigen Darstellungen können auch Laien relativ leicht Problembereiche in einem Raum erkennen. Der Profi kann mit Hilfe der erstellten txt-Ergebnisfiles weiteres Verbesserungspotential entdecken. Benutzt man CATT allerdings nicht regelmäßig, so gerät sicherlich das eine oder andere in den verschiedenen Darstellungsfenstern versteckte Feature in Vergessenheit. Für eine schnelle Erstellung eines Raumes oder den Test von verschiedenen Beschallungsmöglichkeiten ist CATT deutlich weniger geeignet. Der Aufwand der Positionierung und Einstellung von diversen Quellen ist hier deutlich höher, vor allem, da die zum Teil sehr langwierigen Berechnungen jedes Mal erneut durchgeführt werden müssen.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1.1: Cubus Wolfurt: Grundriss Erdgeschoss	1
Abbildung 1.2: Cubus Wolfurt: Grundriss 1. Stock (Galerien)	1
Abbildung 1.3: Cubus Wolfurt: Ostseite	2
Abbildung 1.4: Cubus Wolfurt: Südseite	2
Abbildung 1.5: Cubus Wolfurt: Nordseite	2
Abbildung 1.6: Cubus Wolfurt: Blick von der Bühne	3
Abbildung 1.7: Cubus Wolfurt: Blick auf den Nordbalkon	3
Abbildung 1.8: Cubus Wolfurt: Blick vom Ostbalkon auf die Bühne	4
Abbildung 1.9: Cubus Wolfurt: Blick in die Deckenkonstruktion	4
Abbildung 2.1: CATT: Decke des Saales von außen betrachtet	7
Abbildung 2.2: CATT: Decke des Saales von innen betrachtet	8
Abbildung 2.3: CATT: Farbiger Plot der Raumgeometrie	9
Abbildung 2.4: CATT: Darstellung aller Eckpunkte mit Nummerierung	9
Abbildung 2.5: CATT: Darstellung der einzelnen Flächen	10
Abbildung 2.6: CATT: einfarbige schattierte Darstellung der Raumgeometrie	10
Abbildung 2.7: CATT: Darstellung des Reflexionsbereichs einzelner Flächen	11
Abbildung 2.8: CATT: 3D-Darstellung der Quelle	11
Abbildung 2.9: CATT: Darstellung der Quelle inkl. aller Eigenschaften	12
Abbildung 2.10: CATT: koordinatensystem-abhängige Darstellung des Raums	12
Abbildung 2.11: CATT: Außenansicht	13
Abbildung 2.12: CATT: Blick von der Ostgalerie auf die Bühne	13
Abbildung 2.13: CATT: Blick in den Treppenaufgang neben der Bühne	14
Abbildung 2.14: CATT: Blick von der Bühne ins Publikum	14
Abbildung 2.15: CATT: D-50 [%] bei 500 Hz	16
Abbildung 2.16: CATT: D-50 [%], Excel-Diagramm	16
Abbildung 2.17: CATT: C-80 [dB] bei 500 Hz	17
Abbildung 2.18: CATT: C-80 [dB], Excel-Diagramm	17
Abbildung 2.19: CATT: RT' [s] bei 500 Hz	18
Abbildung 2.20: CATT: RT' [s], Excel-Diagramm	18
Abbildung 2.21: CATT: Ts [ms] bei 500 Hz	19
Abbildung 2.22: CATT: Ts [ms], Excel-Diagramm	19
Abbildung 2.23: CATT: SPL [dB] bei 500 Hz	20
Abbildung 2.24: CATT: SPL [dB], Excel-Diagramm	20
Abbildung 2.25: CATT: SPL Direktschall [dB] bei 500 Hz	21
Abbildung 2.26: CATT: SPL [dB] bei 500 Hz, zeitlicher Verlauf	21
Abbildung 2.27: CATT: SPL [dB] bei 500 Hz, 0-20 ms, Excel-Diagramm	22

Abbildung 2.28: CATT: SPL [dB] bei 500 Hz, 20-50 ms, Excel-Diagramm	22
Abbildung 2.29: CATT: SPL [dB] bei 500 Hz, 50-80 ms, Excel-Diagramm	23
Abbildung 2.30: CATT: SPL [dB] bei 500 Hz, 80-200 ms, Excel-Diagramm	23
Abbildung 2.31: CATT: STI [%]	24
Abbildung 2.32: CATT: STI [%], Excel-Diagramm	24
Abbildung 2.33: CATT: LF [%] bei 500 Hz	26
Abbildung 2.34: CATT: LF [%], Excel-Diagramm	26
Abbildung 2.35: CATT: LF in [%] bei 500 Hz, zeitlicher Verlauf	27
Abbildung 2.36: CATT: LF [%], 0-20 ms, Excel-Diagramm	27
Abbildung 2.37: CATT: LF [%], 20-50 ms, Excel-Diagramm	28
Abbildung 2.38: CATT: LF [%], 50-80 ms, Excel-Diagramm	28
Abbildung 2.39: CATT: LF [%], 80-200 ms, Excel-Diagramm	29
Abbildung 2.40: CATT: G [dB] bei 500 Hz	30
Abbildung 2.41: CATT: G [dB], Excel Diagramm	30
Abbildung 2.42: CATT: Reflection History, Direktschall bei 500 Hz	31
Abbildung 2.43: CATT: Refelction History, 7. Refelxion bei 500 Hz	31
Abbildung 2.44: CATT: Echogramm bei 500 Hz	32
Abbildung 2.45: CATT: Image Source Model bei 500 Hz	33
Abbildung 2.46: CATT: Image Source Model bei 500 Hz, Detailansicht	33
Abbildung 2.47: CATT: Animierte Berechnung, links: am Anfang, rechts: kurz vor Ende	34
Abbildung 2.48: CATT: Echogramm für 500Hz	35
Abbildung 2.49: CATT: frühes Echogramm bei 500Hz	35
Abbildung 2.50: CATT: T_{15} , T_{30} aller Oktavbänder	36
Abbildung 2.51: CATT: Sound Rose für 500Hz	36
Abbildung 2.52: CATT: Vektorgramm bei 500Hz	37
Abbildung 2.53: CATT: Nachhallzeiten, Absorptionskoeffizienten	38
Abbildung 2.54: CATT: Absorptionskoeffizienten	38
Abbildung 2.55: CATT: Plane Hit Histogramm Fläche1	39
Abbildung 2.56: CATT: Plane Hit Histogramm, Fläche 11	39
Abbildung 2.57: CATT: Akustische Gütemaße beim Empfänger	40
Abbildung 3.1: ULYSSES: Raumgeometrie, 3D-Ansicht	42
Abbildung 3.2: ULYSSES: Raumgeometrie, XY-Ebene	43
Abbildung 3.3: ULYSSES: Raumgeometrie, YZ-Ebene	43
Abbildung 3.4: ULYSSES: Raumgeometrie, XZ-Ebene	43
Abbildung 3.5: ULYSSES: Raumgeometrie mit Messpunkten, etc., 3D-Ansicht	44
Abbildung 3.6: ULYSSES: Raumgeometrie mit Messpunkten, etc., XY-Ebene	45
Abbildung 3.7: ULYSSES: Nachhallzeit nach Sabine	46
Abbildung 3.8: ULYSSES: Nachhallzeit nach Eyring	47

Abbildung 3.9: ULYSSES: Nachhallzeit nach Fitzroy	47
Abbildung 3.10: ULYSSES: Summe des Direktschallpegels über alle Oktavbänder	49
Abbildung 3.11: ULYSSES: Summe des Direktschallpegels, Excel-Diagramm	49
Abbildung 3.12: ULYSSES: Delay über alle Oktavbänder	50
Abbildung 3.13: ULYSSES: Delay, Excel-Diagramm	50
Abbildung 3.14: ULYSSES: Summe Direkt- / Indirektschallpegel über alle Oktavbänder	51
Abbildung 3.15: ULYSSES: Summe Direkt- /Indirektschallpegel, Excel-Diagramm	51
Abbildung 3.16: ULYSSES: Al_{cons} über alle Oktavbänder	52
Abbildung 3.17: ULYSSES: Al_{cons} , Excel-Diagramm	52
Abbildung 3.18: ULYSSES: STI über alle Oktavbänder	53
Abbildung 3.19: ULYSSES: STI, Excel-Diagramm	53
Abbildung 3.20: ULYSSES: Differenz Direkt- / Indirektschallpegel über alle Oktaven	54
Abbildung 3.21: ULYSSES: Differenz Direkt- / Indirektschallpegel, Excel-Diagramm	54
Abbildung 3.22: ULYSSES: Ray-Tracing, alle Pfade	55
Abbildung 3.23: ULYSSES: Ray-Tracing, erster Pfad	55
Abbildung 3.24: ULYSSES: Ray-Tracing, letzter Pfad	56
Abbildung 3.25: ULYSSES: E-t-Diagramm über alle Oktavbänder, erste Reflexion	57
Abbildung 3.26: ULYSSES, E-t-Diagramm über alle Oktavbänder, spätere Reflexion	57
Abbildung 3.27: ULYSSES, RT60 nach Ray-Tracing-Methode, Excel-Diagramm	57
Abbildung 3.28: ULYSSES: Unterschied zw. Ray-Tracing und Pegel-Zeit-Berechnung 1	10
Abbildung 3.29: ULYSSES: Unterschied zw. Ray-Tracing und Pegel-Zeit-Berechnung 2	10
Abbildung 4.1: VERGLEICH: SPL	59
Abbildung 4.2: VERGLEICH: Nachhallzeit nach Sabine	60
Abbildung 4.3: VERGLEICH: Nachhallzeit nach Eyring	60
Abbildung 4.4: VERGLEICH: STI	61

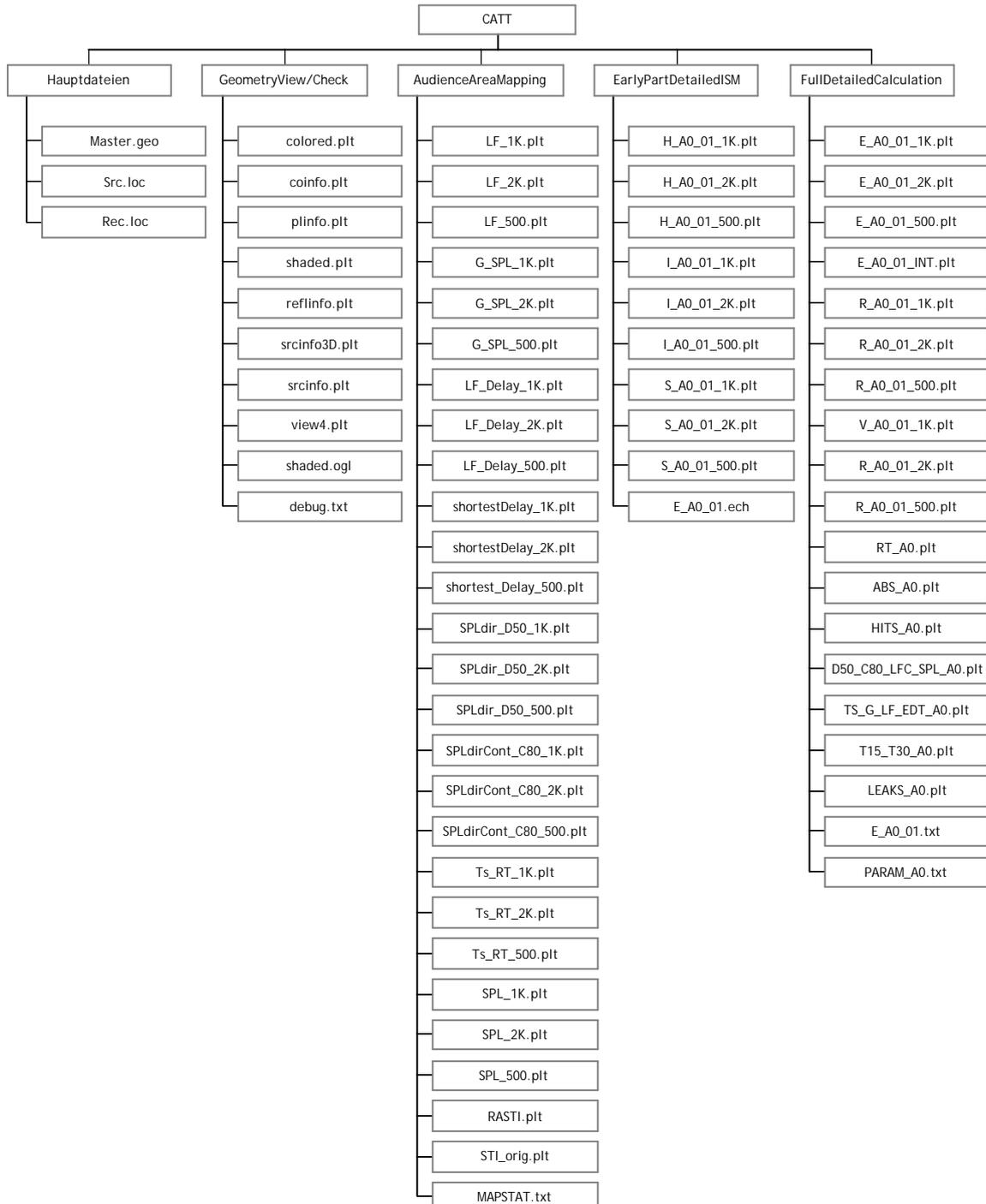
LITERATURVERZEICHNIS

- [1] <http://www.catt.se> - Herstellerseite CATT-Acoustic
- [2] <http://www.ifbsoft.de> - Herstellerseite Ulysses
- [3] <http://www.austria-architects.com/content/profiles/index.cfm?fuseaction=project&lang=d&locale=d&id=2528>
- [4] Skriptum zur Vorlesung "Raumakustik" von Prof. Gerhard Graber / Werner Weselak, 2001
- [5] Ulysses Online-Hilfe, Testversion von Ulysses
- [6] Aus dem Abschlußbericht zum „Cubus Wolfurt - Planung von raumakustischen Verbesserungsmaßnahmen“ des Joanneum Research, Graz

ANHANG

Auf der beiliegenden CD befinden sich sämtliche in der Projektarbeit verwendeten und erstellten Dateien sowie die Demoverionen von CATT und Ulysses inklusive der Hilfe-Dateien (zufinden jeweils im Verzeichnis „Software“). Im folgenden ein Überblick über die Dateien und deren Inhalte.

1 VERZEICHNIS DER EINZELNEN CATT-ACOUSTIC-DATEIEN UND DEREN INHALTE



1.1 HAUPTDATEIEN

Dateiname	Inhalt
Master.geo	Geometriefile zur Definition der Materialien, der Raumpunkte und der Flächen
Rec.loc	Receiver-File, Angaben zum Empfänger
Src.loc	Source-File, Definition der Quelle mit Koordinaten, Zielkoordinaten und Eigenschaften

1.2 AUSGABEDATEIEN DES „GEOMETRY VIEW / CHECK“

Dateiname	Inhalt
colored.plt	farbiger Plot des Raumes
coinfo.plt	Darstellung aller Ecken mit Nummerierung
plinfo.plt	Darstellung der einzelnen Flächen
shaded.plt	einfarbige schattierte Darstellung der Raumgeometrie
reflinfo.plt	Darstellung der Reflexionsbereiche der einzelnen Flächen in Abhängigkeit von der Quellenposition
srcinfo3D.plt	3D-Darstellung der Quelle inkl. der -3dB-Linien für die einzelnen Oktavbänder
srcinfo.plt	Darstellung der Quelle in Abhängigkeit vom Koordinatensystem sowie der Eigenschaften der Quelle
view4.plt	Darstellung des Raumes in Abhängigkeit vom Koordinatensystem sowie Angabe des Raumvolumens
shaded.ogl	Interaktive 3D-Darstellung des Raumes im 3D-Viewer
debug.txt	Liste mit möglichen Fehlern und Ungereimtheiten des Geo-Files (master.geo)

1.3 AUSGABEDATEIEN DES „AUDIENCE AREA MAPPING“

Dateiname	Inhalt
LF_1K.plt	Seitenschallgrad bei 1 kHz
LF_2K.plt	Seitenschallgrad bei 2 kHz
LF_500.plt	Seitenschallgrad bei 500 Hz
G_SPL_1K.plt	G [dB], SPL [dB] in 2D und 3D für 1 kHz
G_SPL_2K.plt	G [dB], SPL [dB] in 2D und 3D für 2 kHz
G_SPL_500.plt	G [dB], SPL [dB] in 2D und 3D für 500 Hz
LF_Delay_1K.plt	LF [%], Delay [ms] in 2D und 3D für 1 kHz
LF_Delay_2K.plt	LF [%], Delay [ms] in 2D und 3D für 2 kHz
LF_Delay_500.plt	LF [%], Delay [ms] in 2D und 3D für 500 Hz
shortestDelay_1K.plt	Group with shortest Delay in 2D für 1 kHz
shortestDelay_2K.plt	Group with shortest Delay in 2D für 2 kHz
shortestDelay_500.plt	Group with shortest Delay in 2D für 500 Hz
SPLdir_D50_1K.plt	SPLdir [dB], D-50 [%] in 2D und 3D für 1 kHz
SPLdir_D50_2K.plt	SPLdir [dB], D-50 [%] in 2D und 3D für 2 kHz
SPLdir_D50_500.plt	SPLdir [dB], D-50 [%] in 2D und 3D für 500 Hz
SPLdirCont_C80_1K.plt	SPLdir with contour [dB], C-80 [dB] in 2D und 3D für 1 kHz
SPLdirCont_C80_2K.plt	SPLdir with contour [dB], C-80 [dB] in 2D und 3D für 2 kHz
SPLdirCont_C80_500.plt	SPLdir with contour [dB], C-80 [dB] in 2D und 3D für 500 Hz
Ts_RT_1K.plt	Ts [ms], RT' [s] in 2D und 3D für 1 kHz
Ts_RT_2K.plt	Ts [ms], RT' [s] in 2D und 3D für 2 kHz
Ts_RT_500.plt	Ts [ms], RT' [s] in 2D und 3D für 500 Hz

Dateiname	Inhalt
SPL_1k.plt	SPL Direktschall [dB] von 0 ms bis 0,1 ms für 1 kHz
SPL_2k.plt	SPL Direktschall [dB] von 0 ms bis 0,1 ms für 2 kHz
SPL_500.plt	SPL Direktschall [dB] von 0 ms bis 0,1 ms für 500 Hz
RASTI.plt	RASTI [%] mit und ohne Hintergrundgeräusch in 2D und 3D
STI_orig.plt	STIuser [%] mit und ohne Hintergrundgeräusch in 2D und 3D
Mapstat.txt	Protokoll der Berechnungsergebnisse für alle berechneten Parameter

1.4 AUSGABEDATEIEN DES „EARLY PART DETAILED ISM“

Dateiname	Inhalt
H_A0_01_1K.plt	Echogramm, Darstellung der Reflexionen am Empfänger für 1 kHz
H_A0_01_2K.plt	Echogramm, Darstellung der Reflexionen am Empfänger für 2 kHz
H_A0_01_500.plt	Echogramm, Darstellung der Reflexionen am Empfänger für 500 Hz
I_A0_01_1K.plt	Echogramm für 1 kHz
I_A0_01_2K.plt	Echogramm für 2 kHz
I_A0_01_500.plt	Echogramm für 500 Hz
S_A0_01_1K.plt	Darstellung der berechneten Spiegelquellen für 1 kHz
S_A0_01_2K.plt	Darstellung der berechneten Spiegelquellen für 2 kHz
S_A0_01_500.plt	Darstellung der berechneten Spiegelquellen für 500 Hz
E_A0_01.ech	Datei, die für die Auralisation benötigt wird

1.5 AUSGABEDATEIEN DER „FULL DETAILED CALCULATION“

Dateiname	Inhalt
E_A0_01_1K.plt	Echogramme, akustische Gütemaße und statistische Daten für 1 kHz
E_A0_01_2K.plt	Echogramme, akustische Gütemaße und statistische Daten für 2 kHz
E_A0_01_500.plt	Echogramme, akustische Gütemaße und statistische Daten für 500 Hz
E_A0_01_INT.plt	Schallpegelabfall mit T_{15} und T_{30} für alle Oktavbänder
R_A0_01_1K.plt	Sound Roses in Zeitintervallen für 1 kHz
R_A0_01_2K.plt	Sound Rose in Zeitintervallen für 2 kHz
R_A0_01_500.plt	Sound Rose in Zeitintervallen für 500 Hz
V_A0_01_1K.plt	Vektorgramm für 1 kHz
V_A0_01_2K.plt	Vektorgramm für 1 kHz
V_A0_01_500.plt	Vektorgramm für 1 kHz
RT_A0.plt	Nachhallzeiten inkl. Diagramme
ABS_A0.plt	Absorptionsgrade aller Oktavbänder
HITS_A0.plt	Statistik über Anzahl der Ebenenkontakte der verfolgten Strahlen
D50_C80_LFC_SPL_A0.plt	Akustische Gütemaße für alle Oktavbänder an der Position des Empfängers
TS_G_LF_EDT_A0.plt	Akustische Gütemaße für alle Oktavbänder an der Position des Empfängers
T15_T30_A0.plt	Akustische Gütemaße für alle Oktavbänder an der Position des Empfängers
LEAKS_A0.plt	Überprüfung auf im Modell vorhandene „Löcher“
E_A0_01.txt	Zusammenfassung der Ergebnisse
PARAM_A0.txt	Zusammenfassung der Ergebnisse, gedacht als Überblick bei mehreren Empfängern

2 VERZEICHNIS DER EINZELNEN ULYSSES-DATEIEN UND DEREN INHALTE

Dateiname	Inhalt
CUBUS.upr	Raumgeometrie der Mehrzweckhalle
CUB_Ully_Catt.upr	Raumgeometrie der Mehrzweckhalle mit Messpunkten, Publikumsebene und der Quelle
Absorb_CUBUS.uab	Absorber-Datenbank mit den verschiedenen in der Mehrzweckhalle vorhandenen Materialien