


| | | |
|--|---|--|
| Die Basics der Elektroakustik |  <p>prolight+sound mediasystems Fachmesse für Medientechnik und Systemintegration Frankfurt am Main, 24.02.-25.04.2006</p> | |
| PLS mediasystems 2006, Frankfurt am Main | | |
| Referent: Volker Löwer, IFBcon | | |

Die Basics der Elektroakustik

Kann man Akustik wirklich ausrechnen?

Wie beeinflusst die Akustik eines Raumes den Klang der Lautsprecher?

Referent: Volker Löwer, IFBcon

Vorwort

Akustik im wissenschaftlichen Sinne ist eine sehr umfassende Disziplin. Sie reicht von der technischen Akustik, die sich z. B. mit der Schwingungsanalyse von Bauwerken und Fahrzeugen, der Schalldämmung von Wänden etc. auseinandersetzt, bis zur Psychologie des Hörens, die sich u. a. anderem mit der Lästigkeit von Lärm befasst.

Über einen bestimmten Teilbereich „der Akustik“ wird besonders viel geredet und diskutiert, über „die Akustik“ bei einem Konzert, „die Akustik“ von Räumen, über gute und schlechte Akustik. Oftmals wird auch behauptet, dass „Akustik“ nicht greifbar sei, da ja das akustische Erlebnis, also das Hörerlebnis, ein subjektiver Vorgang sei, der sich objektiven Kriterien entziehe. Daher hält sich auch auf breiter Front die Meinung auch die „Berechnung der Akustik“ sei nicht möglich, es sei mehr oder weniger ein Zufallsprodukt an dem die Fachleute, also die Akustiker, zusammen mit anderen herumbasteln und dann schauen was dabei herauskommt.


Sicherlich ist das Hörerlebnis ein subjektiver Prozess und unterliegt damit vielen subjektiven Einflüssen. Alle unsere Umwelterlebnisse werden mit den Sinnesorganen aufgenommen und sind so alle als subjektive Erfahrungen zu werten.

Subjektive Erfahrungen und Empfindungen berechnen oder vorausbestimmen zu wollen wäre nun wohl ein vermessenes Unterfangen, obwohl es Disziplinen gibt, die sich im weiteren Sinne damit auseinandersetzen.

Beschränken wir uns hier auf die Übertragung von Schallereignissen, mit ohne elektroakustischer Verstärkung, also den Teil „der Akustik“, über den häufig so kontrovers diskutiert wird.

Sicherlich spielt dabei die subjektive Einstellung und Wahrnehmung des Zuhörers eine wichtige Rolle, aber damit diese Wahrnehmung überhaupt geschehen kann muss zunächst einmal eine Übertragung des akustischen Ereignisses an den Zuhörerort im physischen bzw. physikalischen Sinne stattfinden.

Glaubt man an die kausalen Zusammenhänge von Ursache und Wirkung in unserer Welt, dann ist die Qualität und der Umfang dieser Übertragung die Grundlage dessen, auf dem dann die subjektive Wahrnehmung des Zuhörers aufsetzt. Anders ausgedrückt heißt dies: zu einem Ereignis können nur dann subjektive Komponenten ins Spiel kommen, wenn dieses Ereignis überhaupt wahrgenommen, empfunden werden kann.

| | |
|--|---|
| Die Basics der Elektroakustik |  <p>prolight+sound mediasystems Fachmesse für Medientechnik und Systemintegration Frankfurt am Main, 24.02.-25.04.2006</p> |
| PLS mediasystems 2006, Frankfurt am Main | |
| Referent: Volker Löwer, IFBcon | |

Das akustische Ergebnis oder Erlebnis ist dann kein Mysterium, es ist immer die Konsequenz aus den Planungen und Ausführungen, dem Handeln und Tun derjenigen, die Räume gestalten, elektroakustische Anlagen einsetzen, den Akteuren die das Programm aufführen und der subjektiven Komponente des Zuhörers.

Zur Übertragung und Qualität von Schallereignissen gibt es eine lange Tradition von wissenschaftlichen Untersuchungen, Modellvorstellungen und Rechenmodellen. Diese gestatten es uns die physikalische Qualität von Schallereignissen zu beschreiben.

Natürlich besitzen diese Beschreibungen gewissen Beschränkungen; wir benutzen Modelle, die die Zusammenhänge zwischen Ursache und Wirkung beschreiben.

Außerdem haben alle Modelle noch die Einschränkung, dass sie ihre Gültigkeit nur unter gewissen Rahmenbedingungen haben. Diese Modelle sind nie perfekt, da sie die Komplexität der Natur vereinfachen, um sie für uns überhaupt handhabbar zu machen. Aber dieser Umstand ist in allen Teilen unseres Lebens und der technischen Welt zu finden. Auch Statiker, Mathematiker, Ärzte, Soziologen, Pädagogen, Ökonomen und Ökologen benutzen Modellvorstellungen zur Beschreibung von Zusammenhängen und zur Planung und Entscheidungsfindung.


Wichtig für die praktische Anwendung und den Erfolg dieser Handlungsweise ist, dass die Modelle hinreichend genaue Aussagen liefern, um Beurteilungen und Entscheidungen über die entsprechenden Ausführungs- und Handlungsmöglichkeiten treffen zu können.

Die akustischen Modelle für raum- und elektroakustische Übertragung liefern schon seit langer Zeit recht brauchbare Ergebnisse. Sie sind teilweise auch so weit entwickelt, dass Zusammenhänge zwischen gewissen Bereichen der subjektiv empfundenen Hörerlebnisse und den objektivierbaren Parametern akustischer Übertragungsqualität beschrieben werden können. Zudem existieren inzwischen einige Software-Produkte, die die teilweise recht aufwendige Rechenarbeit für akustische Zusammenhänge übernehmen und die zu erwartenden Ergebnisse anschaulich und zum Teil sogar hörbar darstellen.

Unerwartete und unerwünschte Ergebnisse haben häufig folgende Ursachen:

- Die vorhandenen Modelle werden gar nicht angewandt
- Die Eingangsparameter für die Modelle sind zu ungenau oder falsch
- Die Ergebnisse aus den Modellen werden falsch interpretiert
- Der Gültigkeitsbereich der Modelle wird nicht beachtet
- Die Ausführungen weichen stark von den Planvorgaben ab
- Kompromisse zugunsten anderer Eigenschaften werden eingegangen

Die Übertragung von Schallereignissen, mit elektroakustischer Verstärkung, beinhaltet oft die Aufgabe Sprache verständlich zu übertragen. Ob etwas im akustischen Sinne verstanden worden ist oder nicht, lässt sich relativ leicht überprüfen, obwohl Verstehen ein sehr komplexer Vorgang ist, der neben der

| | |
|--|---|
| Die Basics der Elektroakustik |  <p>prolight+sound mediasystems Fachmesse für Medientechnik und Systemintegration Frankfurt am Main, 24.02.-25.04.2006</p> |
| PLS mediasystems 2006, Frankfurt am Main | |
| Referent: Volker Löwer, IFBcon | |

physikalischen Übertragung des Schallereignisses an sich einen großen Teil der subjektiven Erlebnisebene des Zuhörers, Gehörphysiologie und Psychologie einschließt.

Überblick

Die Qualität eines Schallereignisses am Zuhörerort wird von den Eigenschaften des Raumes, also der Raumakustik, den Eigenschaften der Schallquelle, ihrer räumlichen Anordnung zueinander und von der Empfangsposition des Zuhörers bestimmt. Sind diese Eigenschaften bekannt, kann die Qualität des Schallereignisses an den Zuhörerorten bestimmt bzw. bestimmte wesentliche Parameter am Zuhörerort auch berechnet werden.

Die Auslegung von elektroakustischen Übertragungseinrichtungen zur Verbesserung der Qualität des Schallereignisses am Zuhörerort (oder zur Vergrößerung des Zuhörerkreises) ist damit auch in starkem Maße von den raumakustischen Voraussetzungen abhängig.

Idealerweise sollte die Raumakustik auch unter dem Aspekt des Einsatzes einer Beschallungsanlage ausgelegt werden.

Eine gezielte Auslegung einer Beschallungsanlage zur Verbesserung der Qualität des Schallereignisses am Zuhörerort ist ohne Kenntnis der raumakustischen Situation nicht möglich.

Einige wesentliche Zusammenhänge und Abhängigkeiten sollen hier am akustischen Qualitätskriterium Sprachverständlichkeit beispielhaft erläutert werden.

Die nachfolgenden Darstellungen und Zusammenhänge enthalten aufgrund des zur Verfügung stehenden Rahmens der Veranstaltung einige Vereinfachungen, die nicht besonders gekennzeichnet sind. Weiterführende und detailliertere Betrachtungen können der einschlägigen Fachliteratur entnommen werden.

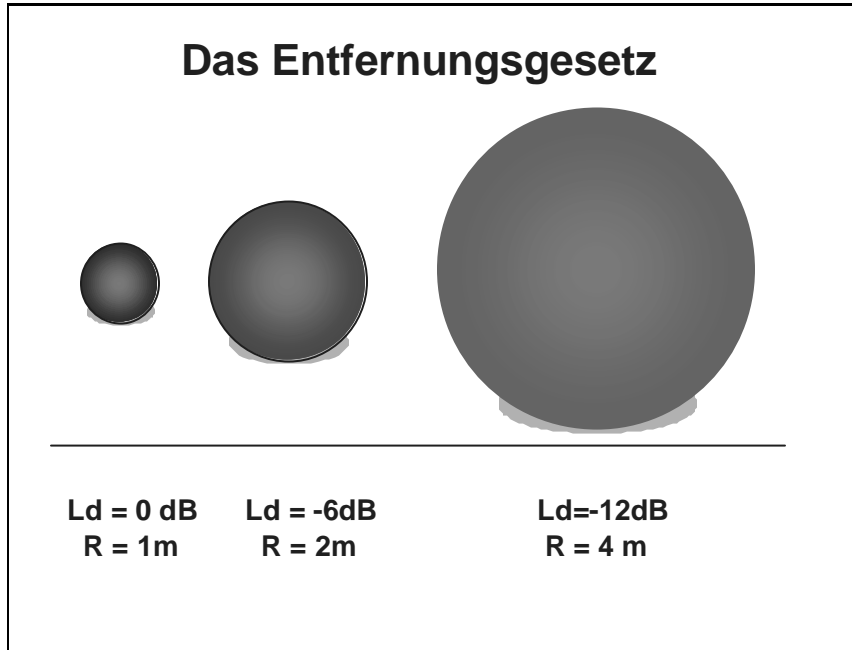
Freifeld

Unter den sogenannten Freifeldbedingungen versteht man in der Akustik eine Umgebung in der eine ungestörte Schallausbreitung (ohne die Einflüsse räumlicher Begrenzungen) gegeben ist. Man kann sich dazu näherungsweise z.B. eine sprechende Person auf einer großen, freien Fläche vorstellen.

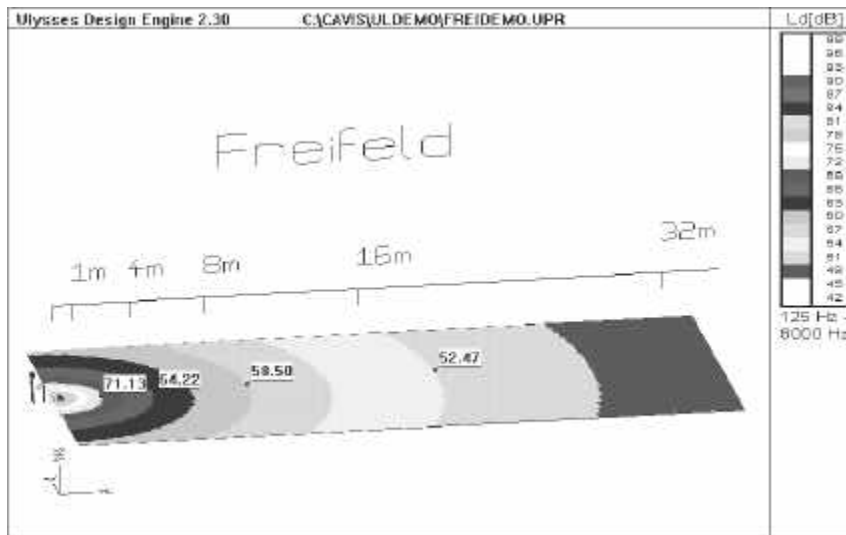
Kennt man nun die Eigenschaften der Schallquelle (Sprecher oder auch Lautsprecher) und die Entfernung zum betrachteten Zuhörerort, so kann mit der Schallgeschwindigkeit die Laufzeit und mit dem Entfernungsgesetz der Schalldruckpegel bestimmt werden.

Von einer Schallquelle aus breiten sich die Schallwellen mit konstanter Geschwindigkeit (340m/s bei 20°C, oder ca. 1m/3ms) nach allen Richtungen aus. Dabei nimmt die Intensität des Schallereignisses mit steigender Entfernung ab, ad sich die Schallenergie mit steigender Entfernung auf eine immer größere Fläche

verteilt. Die Kugelfläche um eine Quelle steigt bei jeder Verdopplung des Radius auf das 4-fache, die Intensität sinkt auf $\frac{1}{4}$, als Pegel ausgedrückt um 6 dB.



Der Schalldruckpegel sinkt daher bei jeder Entfernungsverdopplung um 6 dB (z.B. in 1m 75dB SPL, in 2m 69dB SPL, in 4m 63 dB SPL...), es wird immer leiser, je weiter man sich von der Quelle entfernt.



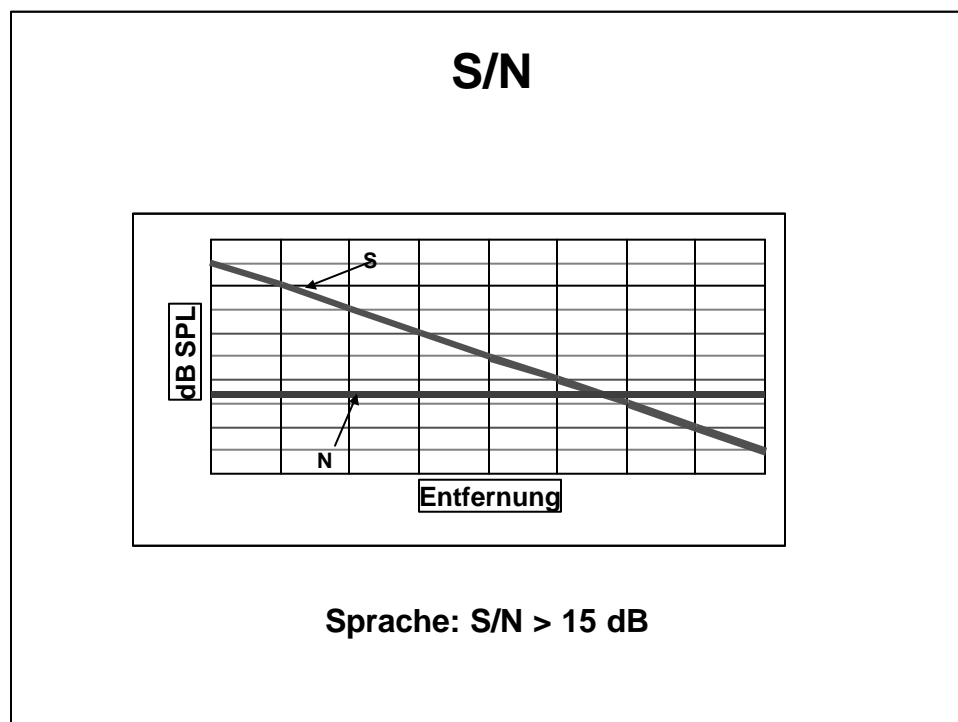
Dies entspricht auch unserer täglichen Erfahrung. Schaut (hört) man sich die Schalldruckpegel (Lautstärke) des Signals für verschiedene Entfernungen an so stellt man fest, dass ein Zuhörer in 32m Entfernung für unser Beispiel noch 45dB SPL empfängt; auch in etwa 500m sind es immerhin noch 21 dB SPL.

Da die Hörschwelle bei 0 dB SPL liegt, müsste das Signal des Sprechers am Zuhörerort in 500 oder 1.000 m Entfernung also noch gehört und verstanden werden können. Die Erfahrung lehrt jedoch, dass dies im Alltag nicht der Fall ist.

Signale/Störgeräusche


Durch die in unserer Umwelt überall vorhandenen Umgebungsgeräusche (Störgeräusche, engl.: **Noise**) wird die Qualität der akustischen Übertragung am Zuhörerort vermindert.

Das Nutzsignal (Signal, engl.: **Signal**) unseres Sprechers wird mit zunehmender Entfernung schwächer und die Störgeräusche verdecken es mehr und mehr. Das Nutzsignal ist zwar immer noch da und hörbar, aber die Störgeräusche haben ab irgendeiner bestimmten Entfernung einen so hohen Pegel, dass das Nutzsignal nicht mehr erkannt und verstanden werden kann.



Untersuchungen haben gezeigt, dass Sprache dann nahezu vollständig verstanden werden kann, wenn der Nutzpegel des Signals am Zuhörerort etwa 15 dB größer ist als der Pegel des Störsignals ($S/N > 15$ dB). Bei dieser Pegeldifferenz liegt die Modulation normaler Sprache vollständig über dem Störgeräuschpegel.

Wird die Sprachmodulation vom Störgeräusch mehr und mehr verdeckt, sinkt auch die Verständlichkeit. Dies kann soweit gehen, dass unter bestimmten Bedingungen (Gespräch in der Disco oder neben einem Jet-Triebwerk) das Nutzsignal überhaupt nicht mehr zu verstehen ist.

| | | |
|--|---|--|
| Die Basics der Elektroakustik |  <p>prolight+sound mediasystems Fachmesse für Medientechnik und Systemintegration Frankfurt am Main, 24.02.-25.04.2006</p> | |
| PLS mediasystems 2006, Frankfurt am Main | | |
| Referent: Volker Löwer, IFBcon | | |

Mit der Beschreibung der Pegeldifferenz S/N kann also auch schon ein Teil der akustischen Qualität am Zuhörerort, z.B. auch die Verständlichkeit beschrieben werden.

Das Erreichen eines ausreichenden Nutzpegels im Verhältnis zum Störgeräusch ist also immer ein ganz wesentlicher Faktor. Dies gilt bei bei der Übertragung im Freien und in Räumen genauso, wie mit oder ohne elektroakustische Anlagen.

Es ist daher leicht nachzuvollziehen, dass auch die hochwertigste Übertragung nichts nutzt, wenn sie in Störgeräuschen untergeht und dadurch nicht wahrgenommen und verstanden werden kann.

Was ist Raumakustik ?

Raumakustik beschäftigt sich mit der bautechnischen Gestaltung von Räumen im Hinblick auf ihre akustischen Eigenschaften. Wie transportiert und verteilt ein bestimmter Raum die Energie akustischer Ereignisse.

Oft wird im Sprachgebrauch von guter oder schlechter Akustik gesprochen. Diese Bewertung ist als solche nicht interpretierbar, da für einen bestimmten Zweck bestimmte akustische Eigenschaften günstig sind, die für einen anderen Zweck ungünstig sein können. So eignet sich z.B. die lange Nachhallzeit einer Kirche gut für Orgelmusik, aber weniger gut für eine Konferenz.

Die Frage nach der Qualität von raumakustischen Eigenschaften kann also nur in Verbindung mit der angestrebten Nutzung beantwortet werden.

Ganz besonders wichtig sind die raumakustischen Eigenschaften, wenn ein Beschallungsanlage eingesetzt werden soll, da die Lautsprecher zusammen mit der Raumakustik insgesamt eine neue akustische Situation schaffen.

Mechanismen der Raumakustik

Hier sollen nur die wesentlichen Mechanismen der Ausbreitung akustischer Energie in Räumen betrachtet werden.

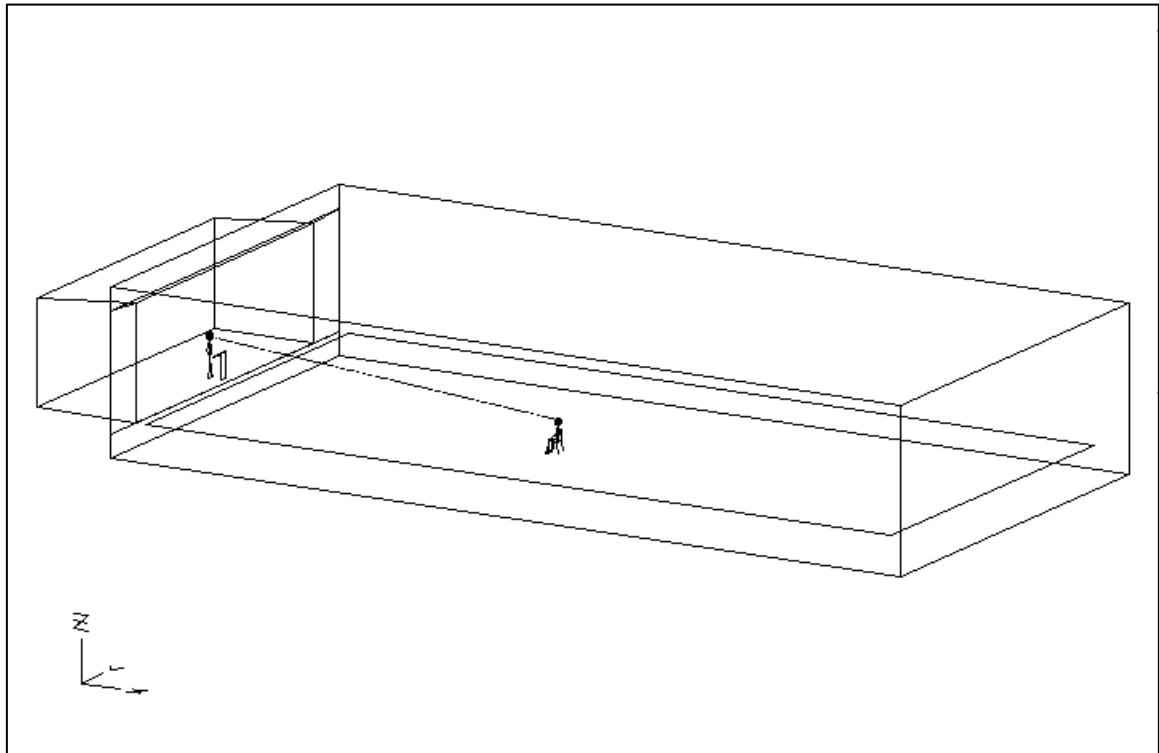
Den Teil der akustischen Energie, der auf direktem Weg von der Quelle zum Zuhörer gelangt, wird Direktschall genannt.

Der Direktschall ist, da er der Anteil mit dem kürzesten Weg ist, auch immer zuerst am Ziel. Der Direktschall ist frei von Einflüssen der Raumakustik und entspricht den Verhältnissen, wie sie für das Freifeld bereits beschrieben wurden.

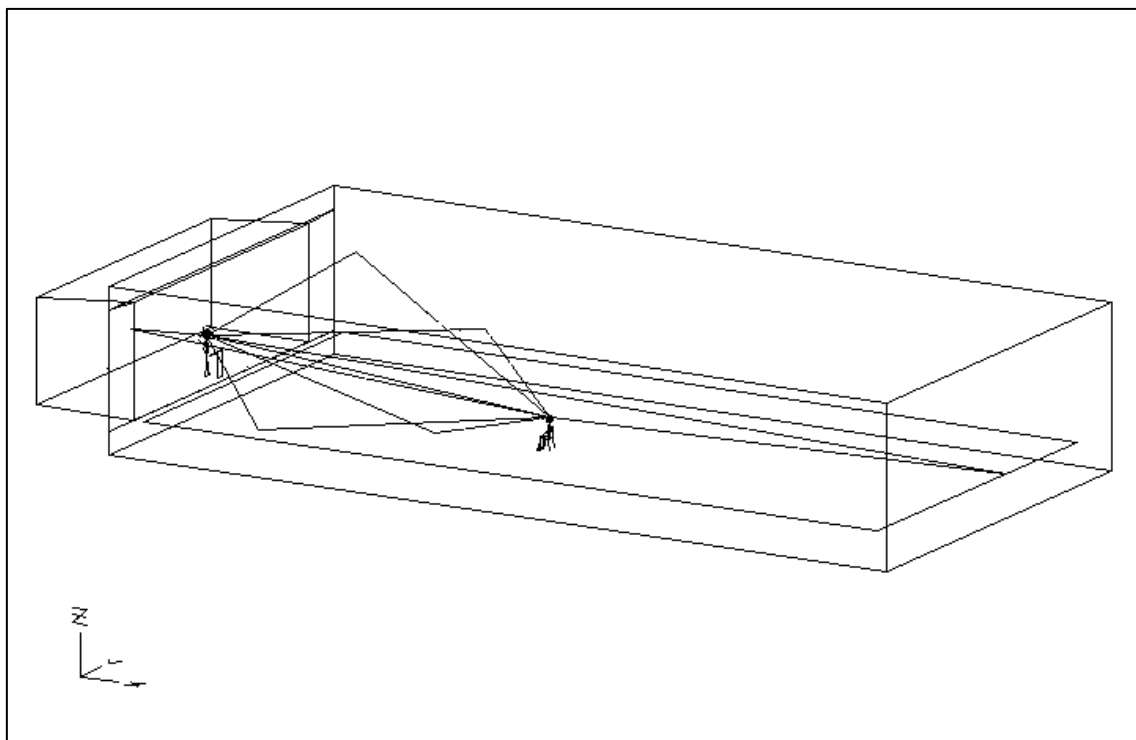
Die Basics der Elektroakustik

PLS mediasystems 2006, Frankfurt am Main

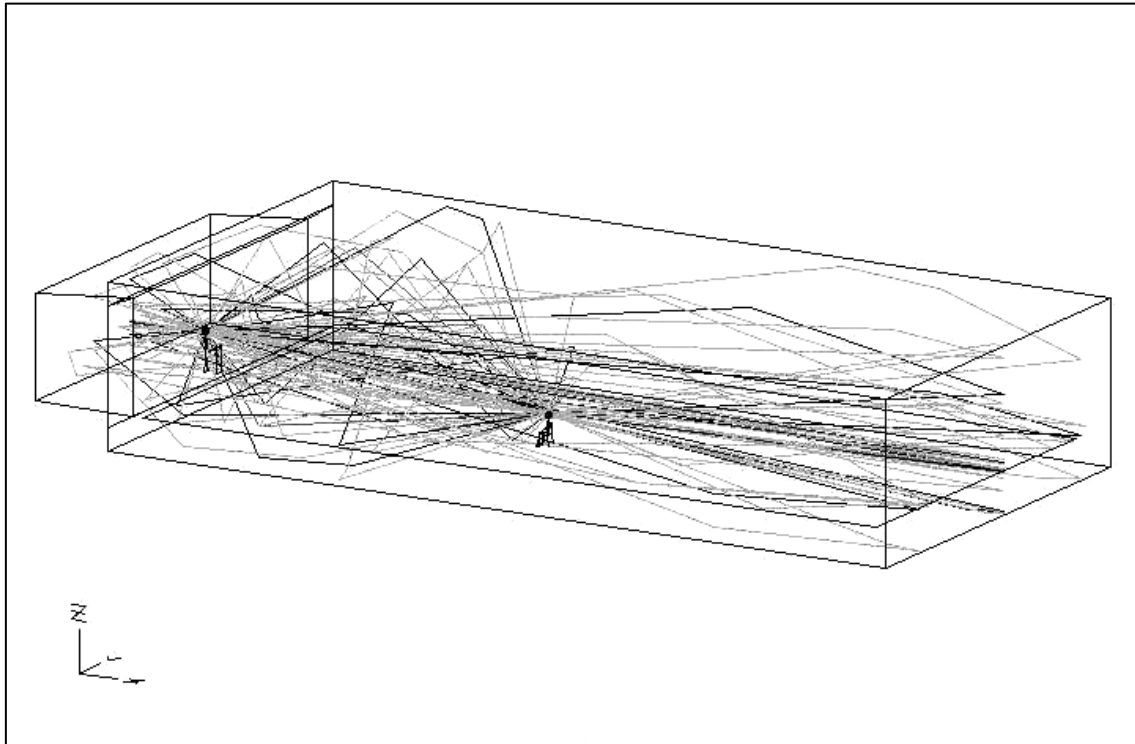
Referent: Volker Löwer, IFBcon



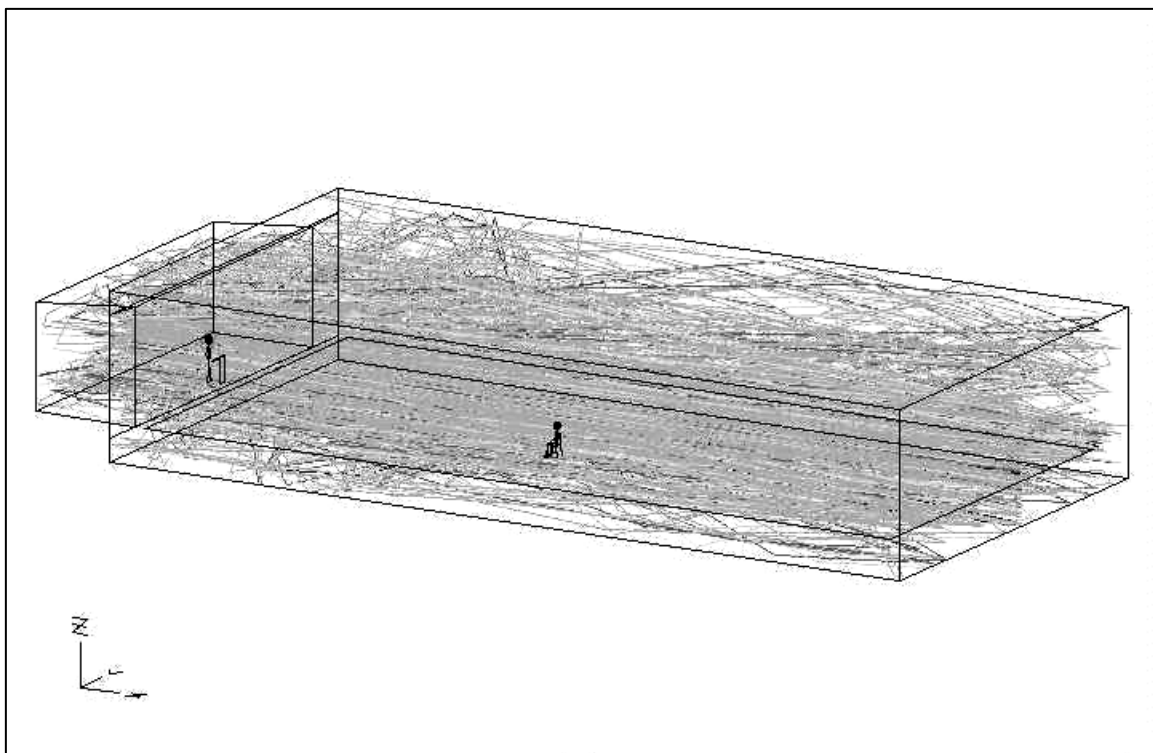
In Räumen trifft der Schall, je nach Größe und Form des Raumes, irgendwann auf Begrenzungen, auf Wände, den Boden, die Decke. Die Schallenergie kann nun zurückgeworfen (Reflexion), geschluckt (Absorption) oder durchgelassen (Transmission) werden. Je nachdem, welche akustischen Eigenschaften die Begrenzungsfläche hat, wird mehr oder weniger geschluckt, reflektiert oder durchgelassen.



Dadurch, dass die akustische Energie von den Raumbegrenzungen zu einem mehr oder weniger großen Teil in den Raum zurückgeworfen wird, entstehen eine Vielzahl von Reflexionen.



Durch wiederholte Reflexionen und weitere Ausbreitung ist die verbleibende Schallenergie irgendwann nahezu gleichmäßig im Raum verteilt.



Die Basics der Elektroakustik

PLS mediasystems 2006, Frankfurt am Main

Referent: Volker Löwer, IFBcon



Das so entstandene Schallfeld wird als Nachhall bezeichnet. Mit der Nachhallzeit wird nun angegeben, wie schnell die gleichmäßig verteilte Schallenergie von den Begrenzungsflächen geschluckt wird.

Mit der örtlichen, zeitlichen und frequenzmäßigen Zusammensetzung von Direktschall, Reflexionen und Nachhall können die wichtigsten akustischen Eigenschaften eines Raumes beschrieben werden.

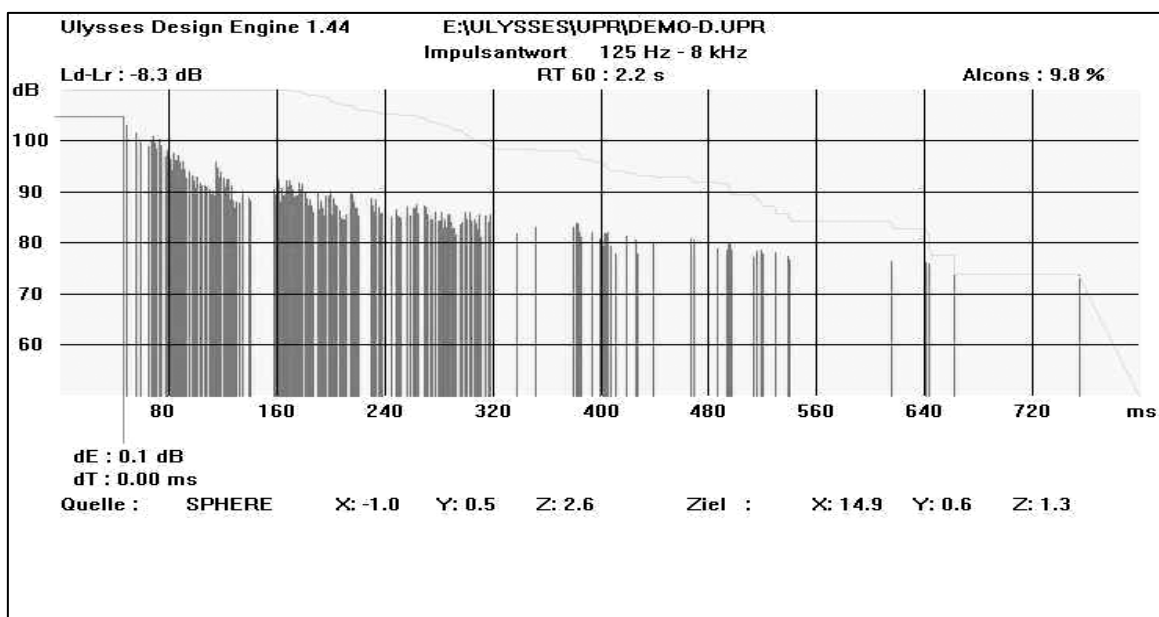
Direktschall


Kennt man die Eigenschaften der Schallquelle und die Entfernung zum betrachteten Zuhörerort, so kann (wie im Freifeld) mit der Schallgeschwindigkeit die Laufzeit und mit dem Entfernungsgesetz der Schalldruckpegel am Zuhörerort bestimmt werden (**Direktschallfeld**, engl.: **Direct Sound**)

Reflexionen

Alle Reflexionen treffen zeitlich nach dem Direktschall, und im Normalfall, d.h. wenn keine konzentrierenden Effekte der Raumbegrenzungen vorliegen, auch mit geringerer Energie beim Zuhörer ein.

Kennt man die Lage, Entfernung und Reflexions- oder Absorptionseigenschaften der Flächen, die den Raum begrenzen, so können auch die Laufzeiten, Richtungen und die Schalldruckpegel der einzelnen Reflexionen für den jeweiligen Zuhörerort bestimmt werden. Die zeitliche Darstellung heißt auch für einen Impuls wird auch Impulsantwort oder allgemeiner als Reflektogramm bezeichnet. Sie gilt jeweils nur für einen Empfangsort.



| | |
|--|---|
| Die Basics der Elektroakustik |  <p>prolight+sound mediasystems Fachmesse für Medientechnik und Systemintegration Frankfurt am Main, 28.02.-01.03.2006</p> |
| PLS mediasystems 2006, Frankfurt am Main | |
| Referent: Volker Löwer, IFBcon | |

Die unterschiedlichen Ankunftszeiten des gleichen akustischen Ereignisses am Ohr können sich sowohl positiv als auch negativ auswirken.

Es hängt von den Pegelverhältnissen und den Zeitdifferenzen ihres Eintreffens am Hörerort ab, ob sie für den Hörer zu einem Ereignis verschmelzen (nützlicher Rückwurf), oder als getrennte Ereignisse wahrgenommen werden (Echo).

Eine Grundaufgabe der Raumakustik ist es nützliche Rückwürfe zu schaffen und gleichzeitig schädliche Rückwürfe zu vermeiden bzw. zu minimieren.

Diese Bedingungen sollten natürlich auch für den Einsatz einer Beschallungsanlage gewährleistet sein.

Hierbei ist besonders zu beachten, dass die natürlichen Quellen (Redner, Instrumente) von anderen Stellen im Raum abstrahlen, als es die eingesetzten Lautsprecheranlagen tun.

Durch diese anderen Anordnungen der Quellen werden auch andere Reflexionsstrukturen erzeugt, die dadurch auch andere nützliche und schädliche Rückwürfe enthalten. Diese Tatsache wird bei vielen Projekten leider oft übersehen.

Nachhall

Die Nachhallzeit T_{60} ist eine der am häufigsten verwendeten Größen der Raumakustik. Sie beschreibt die Zeit, nach der ein Schallereignis in einem Raum auf ein Millionstel (-60 dB) der Anfangsenergie abgefallen ist. Dies entspricht einer Abnahme des Schalldruckes von ebenfalls 60 dB.

Aus dem Volumen des Raumes und den Schallschluckeigenschaften aller Begrenzungsflächen kann die Nachhallzeit bestimmt werden (s. a. Wallace. C. Sabine).

Voraussetzung für die Übereinstimmung von Berechnung und Realität ist ein gleichmäßige Verteilung der Nachhallenergie im Raum (statistisches Modell, diffuses Nachhallfeld), die wiederum eine gleichmäßige Verteilung der absorbierenden Flächen im Raum voraussetzt.

Die Nachhallzeit alleine eignet sich nicht unbedingt direkt und alleine zur Beurteilung der akustischen Qualität eines Raumes. Zusätzlich müssen in jedem Fall mindestens noch der Verwendungszweck und das Raumvolumen berücksichtigt werden. Allgemein kann gesagt werden, dass in größeren Räumen längere Nachhallzeiten toleriert werden können als in kleinen Räumen. Weiterhin sind bei gleichem Raumvolumen für Musikveranstaltungen längere und für Sprachdarbietungen kürzere Nachhallzeiten günstig.

Es ist also nicht unbedingt richtig zu behaupten, dass ein Raum mit 2,0s Nachhallzeit eine "schlechtere Akustik besitzt, als ein anderer Raum mit 1,2s.

Außerdem ist die Nachhallzeit eine frequenzabhängige Größe, da auch die Raumbegrenzungen frequenzabhängige Absorptionseigenschaften besitzen. Daher sollte auch immer ein Nachhall-Frequenzgang angegeben, berechnet oder gemessen werden. Im allgemeinen sind größere Nichtlinearitäten im Nachhall-Frequenzgang nicht erwünscht.

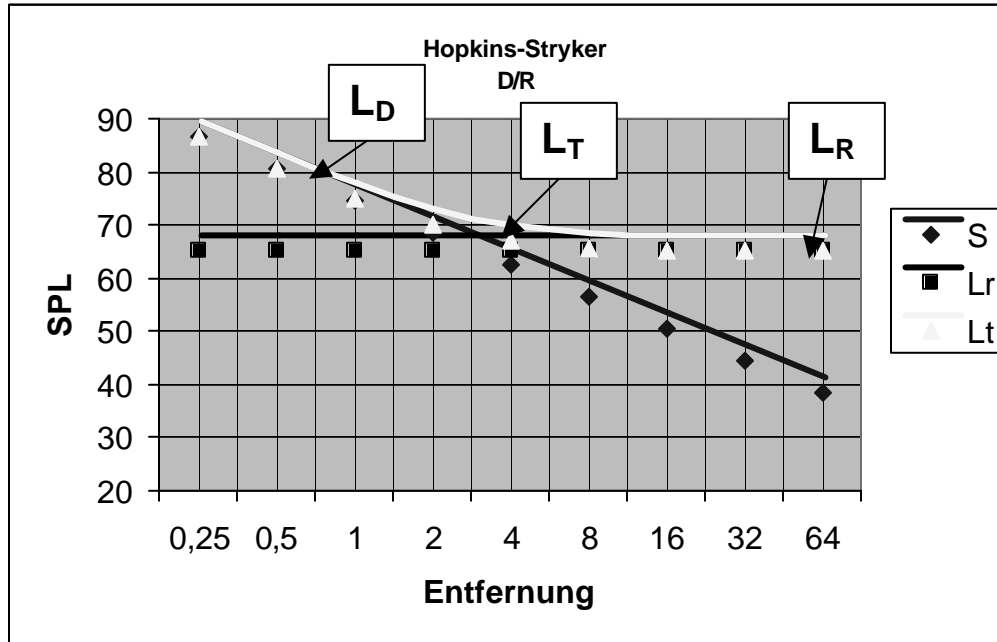
Schließlich muss noch damit gerechnet werden, dass bei verschiedenen Veranstaltungen mit unterschiedlicher Publikumsabsorption zu rechnen ist. Hierbei muss sichergestellt werden, dass auch bei einer festgelegten Minimalbesetzung noch geeignete akustische Verhältnisse zu erwarten sind.

Hallradius

Für die Beurteilung der Nachhalleigenschaften eines Raumes gibt es eine wesentlich aussagefähigere Größe, den Hallradius. Der Hallradius beschreibt den Abstand von einer kugelförmig abstrahlenden Schallquelle in einem Raum, bei welchem das Direktschallfeld genauso groß ist wie das Nachhallfeld.

Trägt man nun den Direktschallverlauf und den Nachhallpegel über der Entfernung auf, so schneiden sich beide Kurven beim Hallradius. Die Nachhallkurve (Nachhallpegel, engl.: Reverberant Sound) verschiebt sich für größere Nachhallzeiten nach oben und für kleinere Nachhallzeiten nach unten (Verdopplung der Nachhallzeit +3dB, Halbierung -3dB). Der Hallradius r_H kann aus dem Raumvolumen V und der Nachhallzeit T_{60} bestimmt werden.

Pegel im Raum nach Hopkins-Stryker



L_D : Direktschallpegel, Abnahme 6 dB pro Entfernungsverdopplung

L_R : Nachhallpegel, aus Raumvolumen und Schluckfläche

L_T : Total, Summe aus L_D und L_R

Die Basics der Elektroakustik

PLS mediasystems 2006, Frankfurt am Main

Referent: Volker Löwer, IFBcon



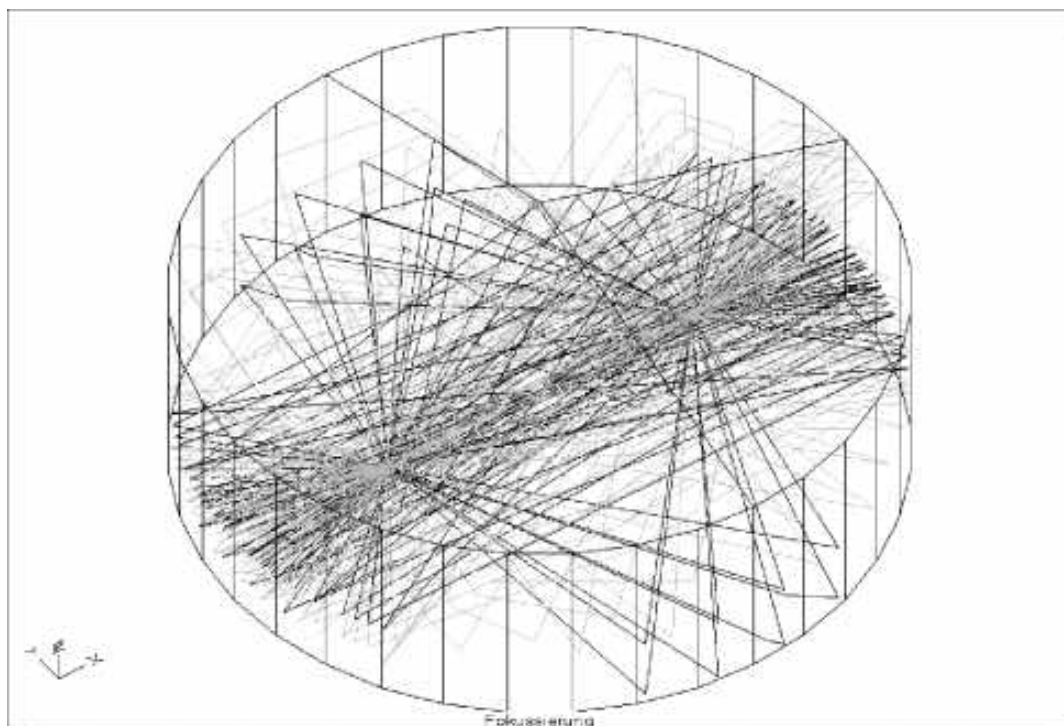
Für unterschiedliche Entfernungen von der Schallquelle kann aus dieser Darstellung das Verhältnis von Direktschallpegel zu Nachhallpegel (L_d, L_r , engl.: **Level direct, reverberant**), wie auch der Gesamtpegel (L_t engl.: **total**) als Summe dieser Pegel ermittelt werden. Dieses Verhältnis stellt einen wesentlichen Faktor für die Verständlichkeit und Klarheit des akustischen Ereignisses dar.

Mit der Beschreibung der Pegeldifferenz Direktschall zu Nachhall (D/R) erhält man so das zweite wichtige Kriterium für die Beschreibung von Verständlichkeit.

Am Verlauf der Schallfelder kann auch die Gesamtproblematik des Nachhallfeldes erkannt werden: Zum einen hilft das Nachhallfeld den weiter entfernten Zuhörern durch einen Lautstärkegewinn gegenüber dem Freifeld. Zum anderen beeinträchtigt all zu viel Nachhallfeld, im Verhältnis zum Direktschall, die Verständlichkeit und Klarheit.


Besondere Phänomene

Oftmals treten bei realen Räumen besondere Phänomene auf. So sind z.B. die schon erwähnten Echoerscheinungen, mehrfach separat hörbare Rückwürfe oder Konzentrationen von Schallenergie in einem bestimmten Raumbereich (z.B. in der Mitte eines schallharten, zylindrischen Raumes) oft die Ursache von Klagen über die "Akustik".



Diese Phänomene werden allerdings häufig als "zu lange Nachhallzeit" interpretiert.

Als Folge dieser Fehlinterpretation wird in diese Räume dann zusätzliches schallschluckendes Material eingebracht und das Nachhallfeld gesenkt. Vielfach

| | | |
|--|---|--|
| Die Basics der Elektroakustik |  <p>prolight+sound mediasystems Fachmesse für Medientechnik und Systemintegration Frankfurt am Main, 28.02.-01.03.2006</p> | |
| PLS mediasystems 2006, Frankfurt am Main | | |
| Referent: Volker Löwer, IFBcon | | |

treten dann die bemängelten Effekte noch stärker hervor, da das nun schneller abklingende Nachhallfeld sie noch weniger verdeckt. In sehr ungünstigen Fällen werden sogar noch zusätzliche störende Effekte hörbar, die vorher vom Nachhall völlig verdeckt wurden.

Bei der Minimierung störender Effekte sind daher immer genau die Ursachen festzustellen und auch genau diese zu bekämpfen. So kann z.B. eine störende Rückwandreflexion, die auf der Bühne als Echo wahrnehmbar ist, raumakustisch auch nur durch Maßnahmen auf der Rückwand beseitigt werden. Zusätzliche Absorption auf den Seitenwänden verringert in diesem Fall zwar die Nachhallzeit, macht aber gleichzeitig den Rückwurf noch besser hörbar.

Diese Effekte sind sowohl mit, wie auch ohne elektroakustische Anlagen zu beobachten. Allerdings ist zu beachten, dass je nach räumlicher Lage der Quellen (natürlicher Redner, Lautsprecher) eben auch unterschiedliche Raumflächen kritische Rückwürfe und Konzentrationen hervorrufen können.

Für weitere Informationen muss auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen werden.

Zusammenhänge

Wie bereits erörtert sind die beiden Hauptmechanismen zur Erzielung von Verständlichkeit und Klarheit einer akustischen Übertragung in den Verhältnissen von S/N und D/R zu sehen.


Einerseits muss man also dafür sorgen, dass man das Nutzsignal im Verhältnis zu Störsignalen möglichst groß machen kann, oder, wenn möglich, das Störsignal minimieren.

Die Aufgabe kann eine Beschallungsanlage z.B. bei einer Open-Air Veranstaltung leisten, wenn die Lautstärke der natürlichen Quellen an weiter entfernten Zuhörerorten nicht mehr ausreicht.

Hier wird Verständlichkeit also einfach durch die Erzeugung größerer Nutzpegel erreicht. Grenzen sind dabei die Belastbarkeit und Leistungsfähigkeit der Lautsprechersysteme und die maximale akustische Verstärkung des System, bevor es zu Rückkopplungen kommt.

In Räumen gilt natürlich auch, dass zunächst ein ausreichender Nutzpegel gegenüber dem herrschenden Störpegel erzielt werden muss. Auch hier setzen die Leistungsfähigkeit der Lautsprechersysteme und die maximale akustische Verstärkung des System die Grenzen der Möglichkeiten.

Nun muss in Räumen aber zusätzlich noch berücksichtigt werden, dass ein ausreichendes Verhältnis von Direktschall zu Nachhallpegel erforderlich ist, um eine ausreichende Verständlichkeit sicherzustellen. Eine einfache Erhöhung der abgestrahlten akustischen Energie (Lautstärke der Quelle erhöhen) oder eine Vergrößerung der Anzahl der Quellen (mehr Lautsprecher) führt zwar zu mehr direktem Schallpegel am Zuhörerort, der Nachhallpegel wird jedoch in gleichem

| | |
|--|---|
| Die Basics der Elektroakustik |  <p>prolight+sound mediasystems</p> <p>Fachmesse für Medientechnik und Systemintegration</p> <p>Frankfurt am Main, 24.02.-25.04.2006</p> |
| PLS mediasystems 2006, Frankfurt am Main | |
| Referent: Volker Löwer, IFBcon | |

Maße mit vergrößert, da die Nachhallenergie ja aus der Summe der insgesamt abgestrahlten akustischen Energie der Quellen resultiert. Hier liegt ein ganz deutlicher Unterschied zur Nutzsinal/Störsinal-Problematik vor, da Nutz- und Störsinal, im Gegensatz zu Direktschall und Nachhall, voneinander unabhängige Signale sind.

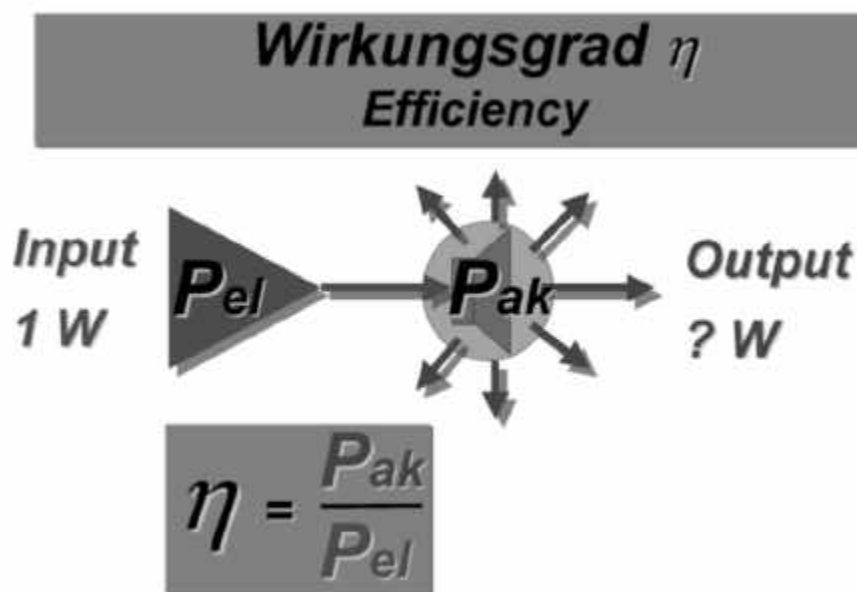
Eine Verbesserung der Verständlichkeit ist also nur dann zu erzielen, wenn das Verhältnis von D/R zugunsten eines größeren Direktschallanteils oder eines kleineren Nachhallanteils am Zuhörerort verschoben werden kann. Als eine Lösung kann man die Richtcharakteristik von Lautsprechersystemen, bzw. die Bündelungseigenschaften heranziehen. Diese Eigenschaften beschreiben, wie ein Lautsprechersystem die akustische Energie als Direktschall in die verschiedenen Raumrichtungen abstrahlt. Strahlt ein System akustische Energie nach allen Seiten mit gleichem Pegel ab, so spricht man auch von einem Kugelstrahler. Strahlt das System die Energie bevorzugt in einen Raumwinkelbereich ab, so spricht man von einem Richtstrahler. Der Vorteil eines solchen Richtstrahler gegenüber einem Kugelstrahler liegt nun darin, dass er, bei insgesamt gleicher abgestrahlter Energie, in der Hauptabstrahlrichtung ein größeres Direktschallfeld erzeugt. Da das Nachhallfeld nun aber durch die insgesamt abgestrahlte Energie und die Schallabsorptionsfläche des Raumes bestimmt wird, vergrößert sich in der Hauptabstrahlrichtung des Richtlautsprechers der Direktschall bei gleichbleibenden Nachhallpegel. Dies führt im Ergebnis zu einer Verbesserung von D/R für die Zuhörerorte in der Hauptabstrahlrichtung und damit dort auch zu besserer Verständlichkeit.

Für die Auslegung einer Beschallungsanlage bedeutet dies, dass durch den Einsatz von Richtstrahlern mit entsprechenden Eigenschaften die Verständlichkeit der Übertragung erhöht werden kann.

Lautsprecher, einige Kenngrößen

Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad η beschreibt das Verhältnis von (als Schall) abgestrahlter Leistung gegenüber der zugeführten elektrischen Leistung. Er sagt also aus wie viel akustische Watt wir für die elektrisch zugeführten Watt aus dem Verstärker bekommen.

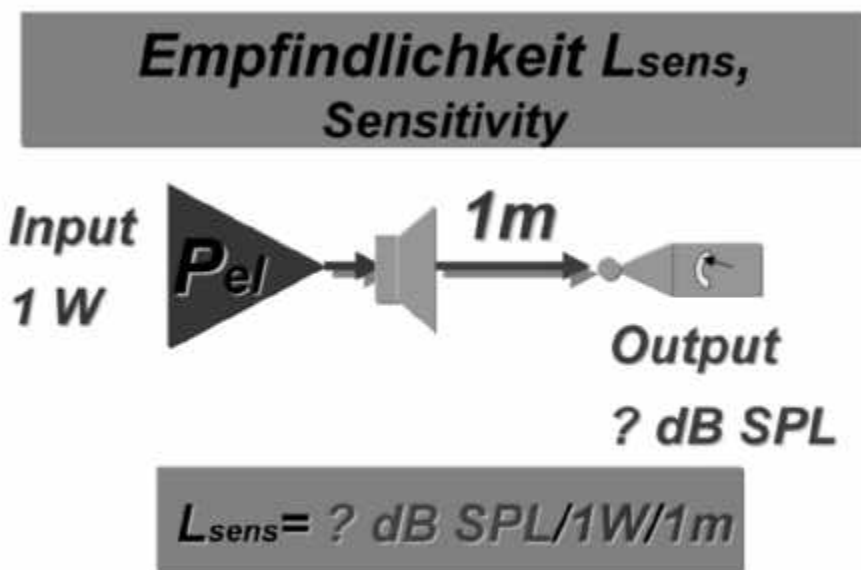


Typische Werte liegen zwischen $\eta = 0,1-1\%$ für HiFi-Regal-Lautsprecher und bis zu $\eta = 25-30\%$ für professionelle Hochleistungssysteme.

Empfindlichkeit L_{sens} (Sensitivity)

Die Empfindlichkeit beschreibt welcher Schalldruckpegel (SPL) in einer bestimmten Entfernung vom Lautsprecher auf seiner Haupt-Abstrahlachse erzeugt wird, wenn wir eine bestimmte elektrische Leistung zuführen.

Sie sagt also aus wie viel Schalldruckpegel wir in einer bestimmten Entfernung auf der Hauptachse für die elektrisch aus dem Verstärker zugeführten Watt bekommen.



Typische Werte liegen zwischen $L_{sens} = 88 dB SPL/1W/1m$ für HiFi-Regal-Lautsprecher und bis zu $L_{sens} = 117 dB SPL/1W/1m$ für professionelle Hochleistungssysteme.

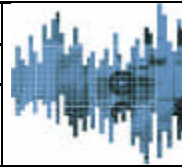
Nenn-Abstrahlwinkel (Coverage Angle)

Der Nennabstrahlwinkel gibt den Winkelbereich an, in welchem der Schalldruckpegel einen gewissen Toleranzbereich nicht überschreitet. Er sagt also aus, in welchem Winkelbereich um die Hauptabstrahlachse Schalldruck mit einer gewissen Gleichmäßigkeit abgestrahlt wird. (meist $\pm 3dB$ oder aber $\leq 6dB$). Meist werden Angaben für die horizontale und vertikale Ebene angegeben, z. B. $90^\circ \times 60^\circ$ steht für 90 Grad horizontalen und 60 Grad vertikalen Abstrahlwinkel. Wie viel Energie oder Schalldruckpegel außerhalb dieser Winkelbereiche erzeugt wird ist aus dieser Angabe nicht ersichtlich.

Die Basics der Elektroakustik

PLS mediasystems 2006, Frankfurt am Main

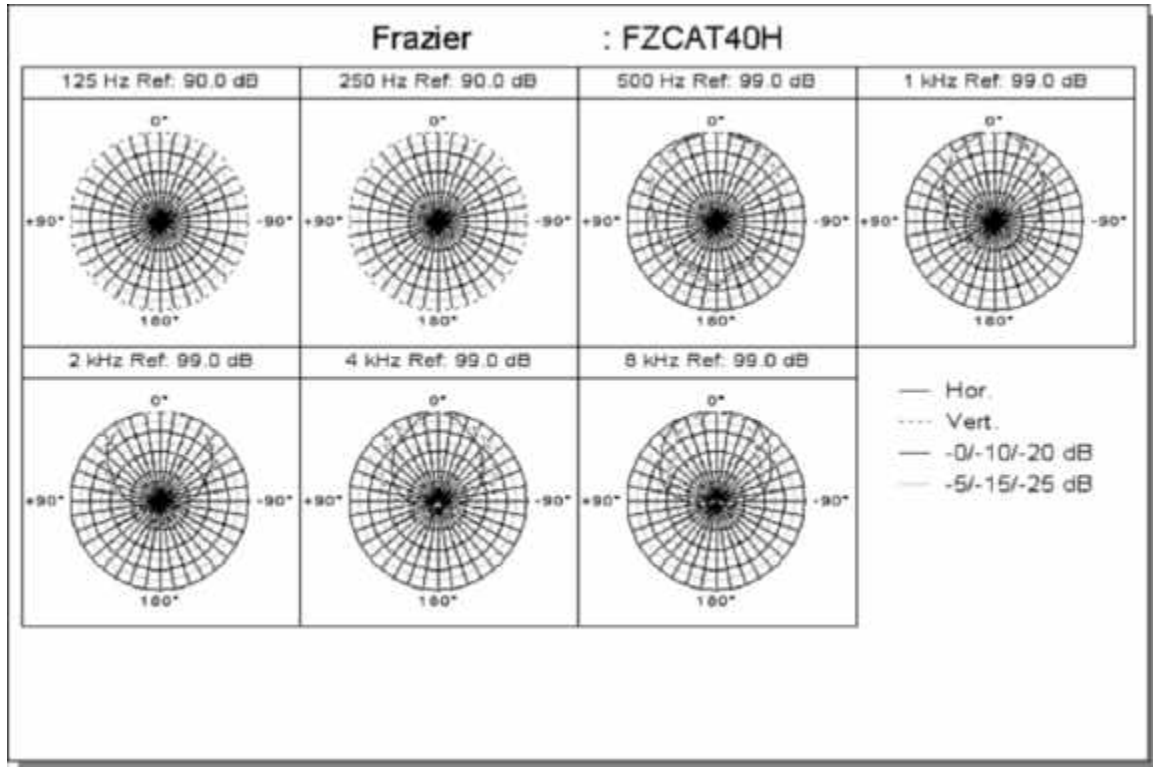
Referent: Volker Löwer, IFBcon



prolight+sound
mediasystems

Fachmesse für Medientechnik
und Systemintegration
Frankfurt am Main,
24.02.-23.04.2006

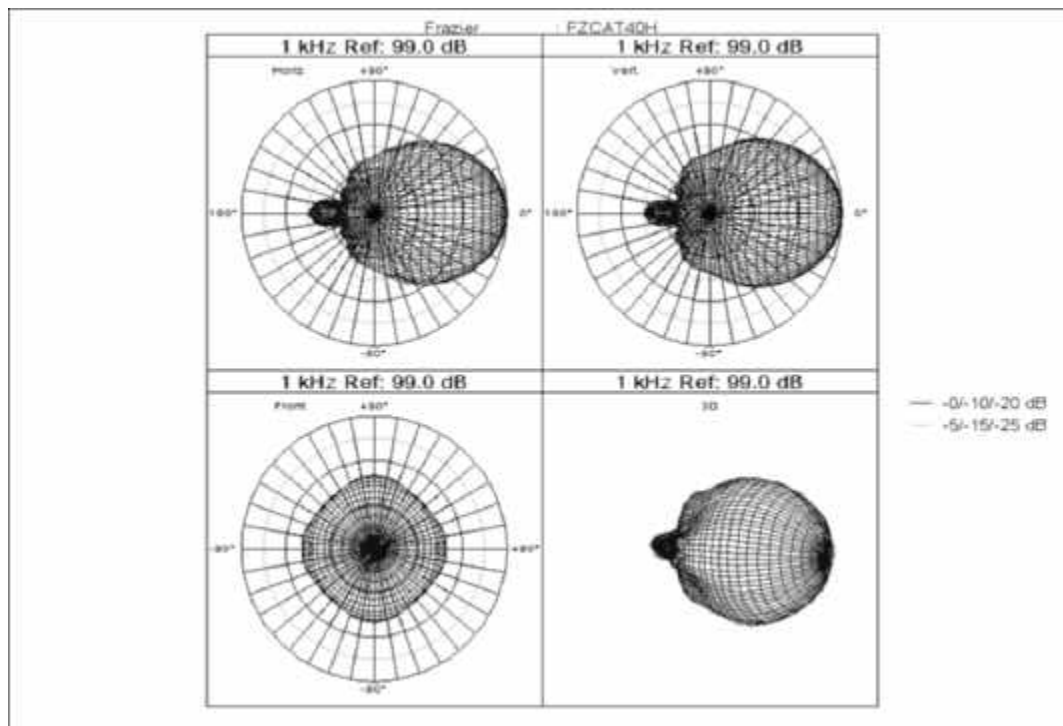
Polardiagramme



Wie viel Energie oder Schalldruckpegel außerhalb diese Winkelbereiches erzeugt wird ist aus dieser Angabe nicht ersichtlich.

Ballons

Dazu benötigt man eine 3-dimensionale Darstellung, den sogenannten Ballon. Der Ballon gibt die Abstrahlung in alle Richtungen an.



Für die verschiedenen Frequenzbereiche könne verschieden Ballons dargestellt werden, die die Veränderung der Richtcharakteristik mit der Frequenz zeigen.

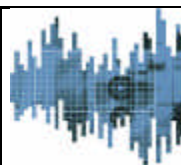
Bündelungsfaktor Q/Bündelungsmaß DI (Directivity Factor, Directivity Index)

Strahlt ein System akustische Energie nach allen Seiten mit gleichem Pegel ab, so spricht man auch von einem Kugelstrahler. Dieser besitzt einen Bündelungsfaktor von $Q=1$ bzw. $DI=0\text{dB}$.

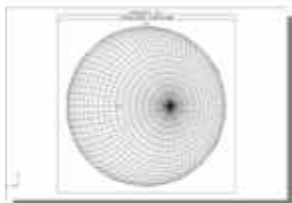
Strahlt nun ein System insgesamt die gleiche Energie ab wie der zuvor betrachtete Kugelstrahler, aber bevorzugt in einen bestimmten Raumwinkelbereich, so spricht man von einem Richtstrahler.

In dem Raumwinkelbereich kommt es dann zu einer Energie- und Schalldruckerhöhung ($Q>1$, $DI>0\text{dB}$) in den weniger versorgten Raumwinkeln sinkt die Energie und damit der Schalldruckpegel ($Q<1$, $DI<0\text{dB}$).

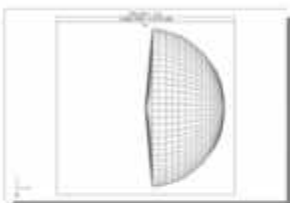
Die Bündelungsdaten werden meist auf der Hauptabstrahlachse angegeben; andere Abstrahlrichtungen besitzen andere Bündelungsdaten, weil sie auch andere Schalldruckpegel besitzen.



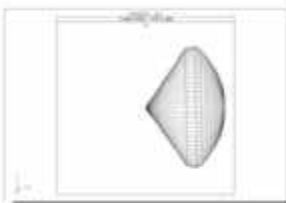
Bündelung/ Directivity Q , D_l



$Q=1$
 $D_l=0\text{ dB}$



$Q=2$
 $D_l=3\text{ dB}$



$Q=4$
 $D_l=6\text{ dB}$

$$D_l = 10 \log Q$$

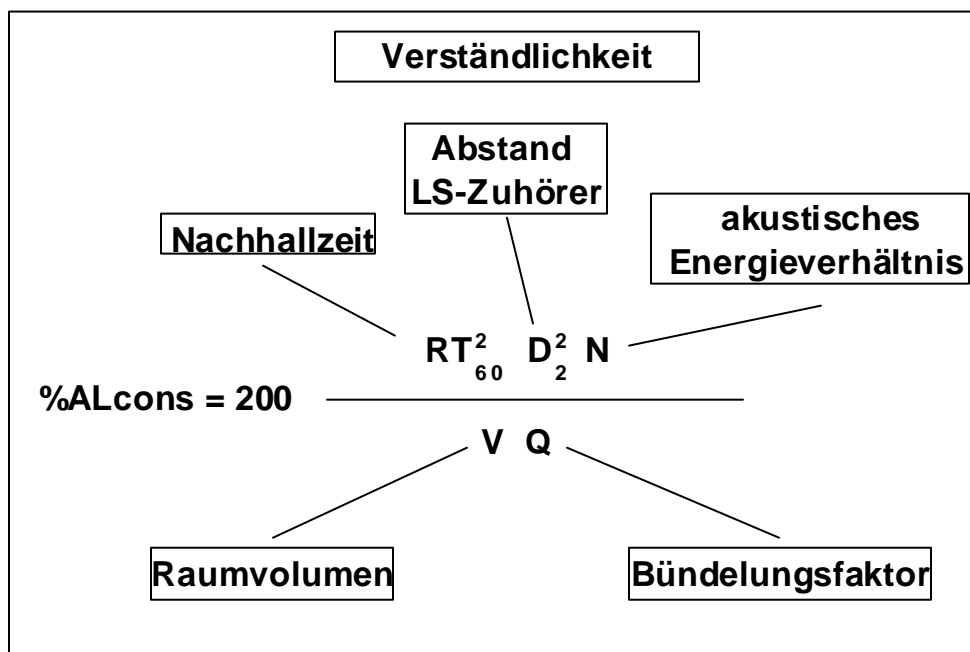
Die Summe aller Bündelungsfaktoren eines Systems über seine ganze Oberfläche ist immer 1 (mathematisch gesagt das Flächenintegral der Bündelung Q über die gesamte Kugel­fläche).

Dies bedeutet, dass die Vergrößerung der Bündelung in einem Raumwinkelbereich immer eine Verminderung der Bündelung in einem anderen Raumwinkelbereich zur Folge hat (einfach ausgedrückt: kriegt man vorne mehr ist es hinten immer verhältnismäßig dazu weniger).

Verständlichkeit, Klarheit

Für die einfachsten Fall einer Auslegung kann über das Raumvolumen, die Nachhallzeit, den Bündelungsfaktor der Quelle (Lautsprecher) und der Entfernung zwischen Quelle und Zuhörer der sogenannte zu erwartende Konsonantenverlust in %ALcons (**A**rticulation**L**oss of **C**onsonants) als Anhaltspunkt für die Sprachverständlichkeit ermittelt werden.

Die recht einfache Beziehung (nach V.M.A. Peutz, D. Davis) geht allerdings davon aus, dass ein ausreichendes S/N von min. 25 dB und ein statistisches, diffuses Nachhallfeld ohne sonstige Anomalien vorliegt.



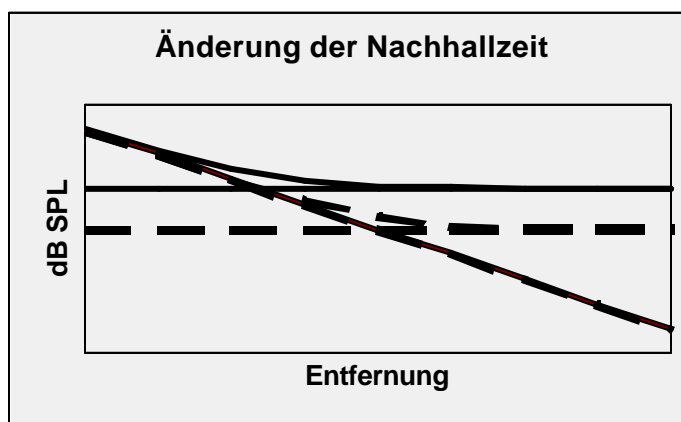
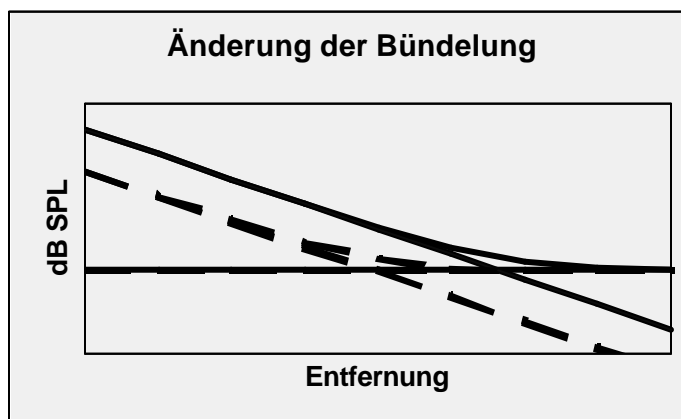
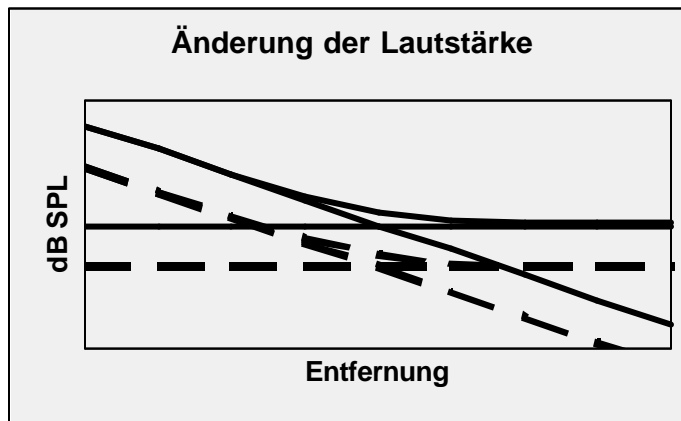
Eine weitere Möglichkeit die Verständlichkeit zu verbessern, liegt noch in der Senkung der Nachhallzeit des Raumes, die ja eine Verringerung des Nachhallpegels und damit eine Verbesserung des Verhältnisses D/R zur Folge hätte.


Allerdings ist zur Verringerung des Nachhallpegels um 3 dB (dies entspricht einer Halbierung der Nachhallzeit) auch die doppelte Absorptionsfläche im Raum erforderlich.

Solche Eingriffe in die Gestaltung sind aber in der Praxis nicht nur sehr aufwendig, sondern werden auch wegen architektonischer Einwände meist nicht durchgeführt.

Änderungen der verschiedenen Parameter

Nachfolgend sind verschieden Änderungen der Schallfeldparameter schematisch dargestellt.



| | | |
|--|---|--|
| Die Basics der Elektroakustik |  <p>prolight+sound mediasystems Fachmesse für Medientechnik und Systemintegration Frankfurt am Main, 24.02.-25.04.2006</p> | |
| PLS mediasystems 2006, Frankfurt am Main | | |
| Referent: Volker Löwer, IFBcon | | |

Zusammenfassung

Die Qualität einer akustischen Übertragung wird wesentlich von den Eigenschaften des Raumes, also der Raumakustik, den Eigenschaften der Schallquellen, ihrer räumlichen Anordnung zueinander und von der Empfangsposition des Zuhörers bestimmt.

Die Auslegung von elektroakustischen Übertragungseinrichtungen ist damit in wesentlichem Maße von den raumakustischen Voraussetzungen abhängig.

Idealerweise sollte die Raumakustik auch unter dem Aspekt des Einsatzes einer Beschallungsanlage ausgelegt werden.

Neben einer Auslegung für moderate Nachhallzeiten ist auch darauf zu achten, dass mit und ohne Beschallungsanlage keine anomalen raumakustischen Effekte, wie störende Reflexionen, Fokussierungen oder Echos entstehen.

Die hauptsächlich bestimmenden Kenngrößen der akustischen Übertragungsqualität für die Verständlichkeit sind das Verhältnis von Nutz- und Störsignalpegel S/N und das Verhältnis von Direktschall zu Nachhallpegel D/R am Zuhörerort.

Diese sind sowohl von den Lautsprechereigenschaften als auch von der raumakustischen Situation abhängig.

Die wichtigsten Lautsprechereigenschaften dazu sind die Abstrahleigenschaften. Sie beschreiben wie der Lautsprecher seine Energie räumlich verteilt. Hierzu zählen besonders der Nenn-Abstrahlwinkel und der Bündelungsfaktor bzw. das Bündelungsmaß sowie die gesamte räumliche Energieverteilung, der sogenannte Ballon.

Für die Beschreibung der raumakustischen Situation sollte mindestens die Nachhallzeit und das Raumvolumen und eine Anpassung für den jeweiligen Nutzungsfall berücksichtigt werden.

Bestimmte Schlüsselp Parameter der akustischen Übertragungsqualität lassen sich dann mit den entsprechenden Modellen tatsächlich hinreichend genau bestimmen.

Damit ist auch eine der Grundlagen für das subjektive Hörerlebnis, in diesem Fall das Verstehen, recht genau bestimmbar.

Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Gültigkeitsbereiche der benutzten Modelle beachtet werden, die Eingangsparameter genügend genau sind und die Ergebnisse der Modellrechnung richtig interpretiert werden.

Folgt dann noch eine entsprechende Ausführung und Umsetzung, so sind insgesamt Ergebnisse zu erwarten, die nicht wesentlich von denen abweichen, wie sie aus den Modellrechnungen gewonnen wurden.
