



Richard Merget Dipl. Ing. Elektrotechnik/ Regelungstechnik
RM_AUDIO ENGINEERING

ZVEI LGB (Arbeitskreis Beschallungstechnik)
auch 14675 Prüfungsfragen Planer und Errichter-Zertifizierung
ZVEI AK Störschallpegel
DKE Vornorm Aktivlautsprecher DIN VDE v 0833-4-1
DKE Erneuerung der 0833 Teil 4
DEGA Arbeitskreis Qualität in Beschallungsanlagen

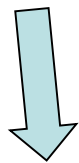
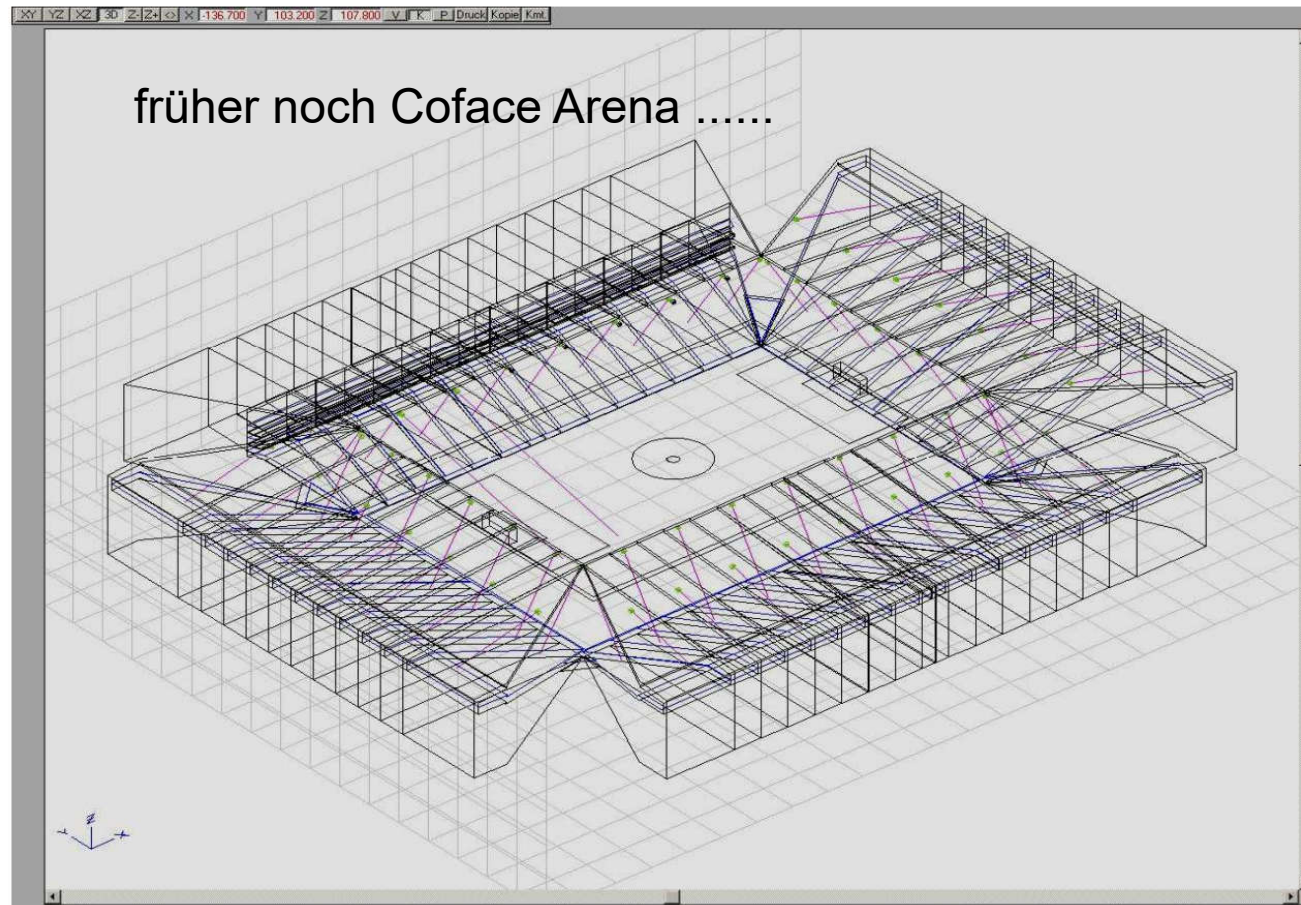
Sheppard Zone





Computer Simulation Beschallungstechnik

Vereinfachtes 3 D Modell des Raumes mit aktivierten Lautsprechern und Zielrichtungen



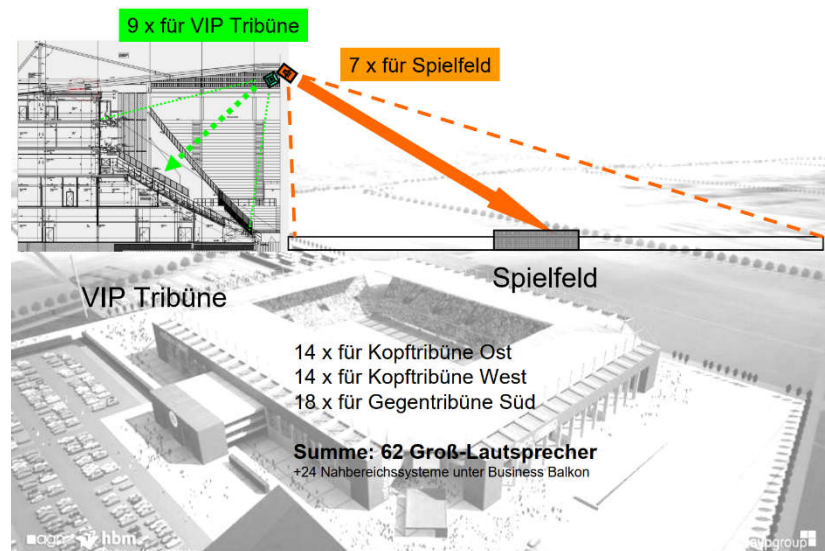
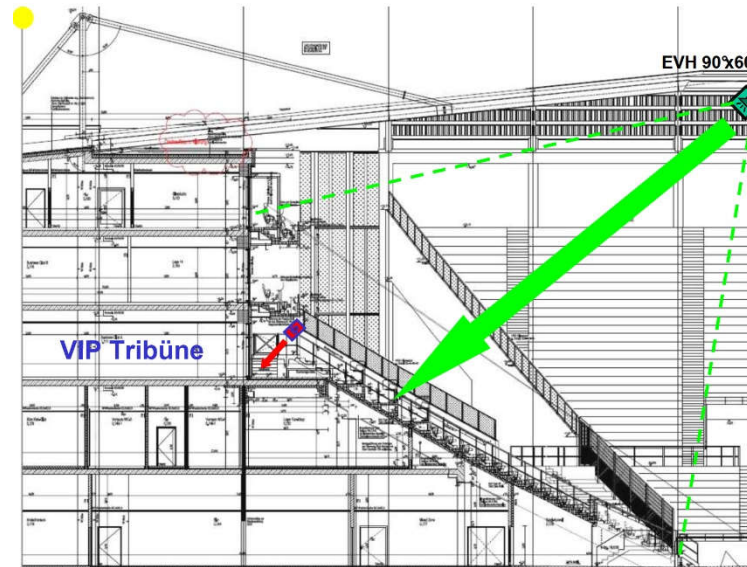
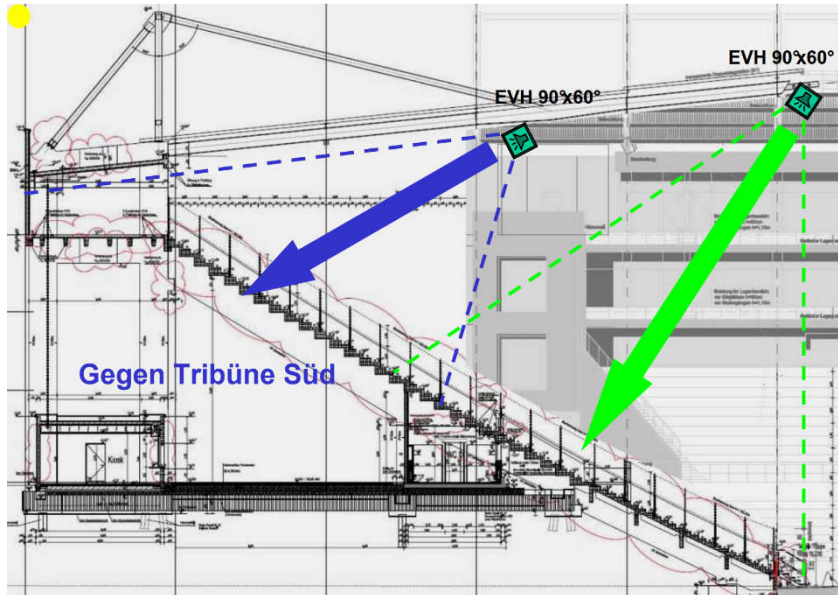
5/12/2010

1

Die Planung der Opel Arena

RM_AUDIO ENGINEERING

Richard Merget Dipl. Ing.
Planung, Simulation und
Messung elektroakustischer Anlagen

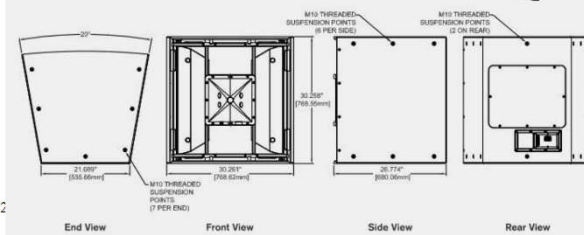


Das angebotene EV System

(wie Commerzbankarena Frankfurt, Stadion Nürnberg,
Stadion Düsseldorf, Stadion Hannover, Stadion Dresden)



Dimension Drawings:



Licht und TonAnalogien ?



Licht und Ton.... wo liege die Unterschiede, oder was ist **"schwerer ☺"**

Schall in unserem Gebäude -Bereich:

hat Wellenlängen zwischen 2cm und 16 Metern, d.h. der Raumeinfluss ist sehr gross (Die Raumgeometrie liegt im Wellenlängen- Bereich)

hat Frequenzen zwischen 40Hz bis 18kHz, d.h. in der Regel müssen phys. Auswirkungen getrennt betrachtet werden

ist kohärent, d.h. bei Überlagerung bilden sich Frequenz und-ortsabhängig Interferenzen

hat eine Laufzeit von 330m/sec, d.h. Schall aus verschiedenen Quellen im gleichen Ortsbereich führt entfernungsabhängig zu grossen Problemen

Schall wird reflektiert, gestreut und absorbiert, diese Auswirkungen müssen berücksichtigt werden

Schall erzeugt bei hohen Pegeln Maskierungseffekte

Schall mit sehr hohen Pegeln ist gesundheitsgefährdend

Licht im Gebäude -Bereich:

die Wellenlänge hat bis auf die Farbe keine Auswirkung

die Frequenz ist konstant

ist inkohärent, d.h. es bilden sich keine Interferenzen

hat eine sehr hohe Laufzeit welche nicht berücksichtigt werden muss

wird reflektiert, gestreut und absorbiert, diese Auswirkungen müssen berücksichtigt werden

Schall erzeugt bei hohen Pegeln Maskierungseffekte
Bei hellem Licht blendet das Auge ab

Licht ist im Allgemeinen nicht gesundheitsgefährdend

Ton ist vor allem in der Planung deutlich **"schwerer"**

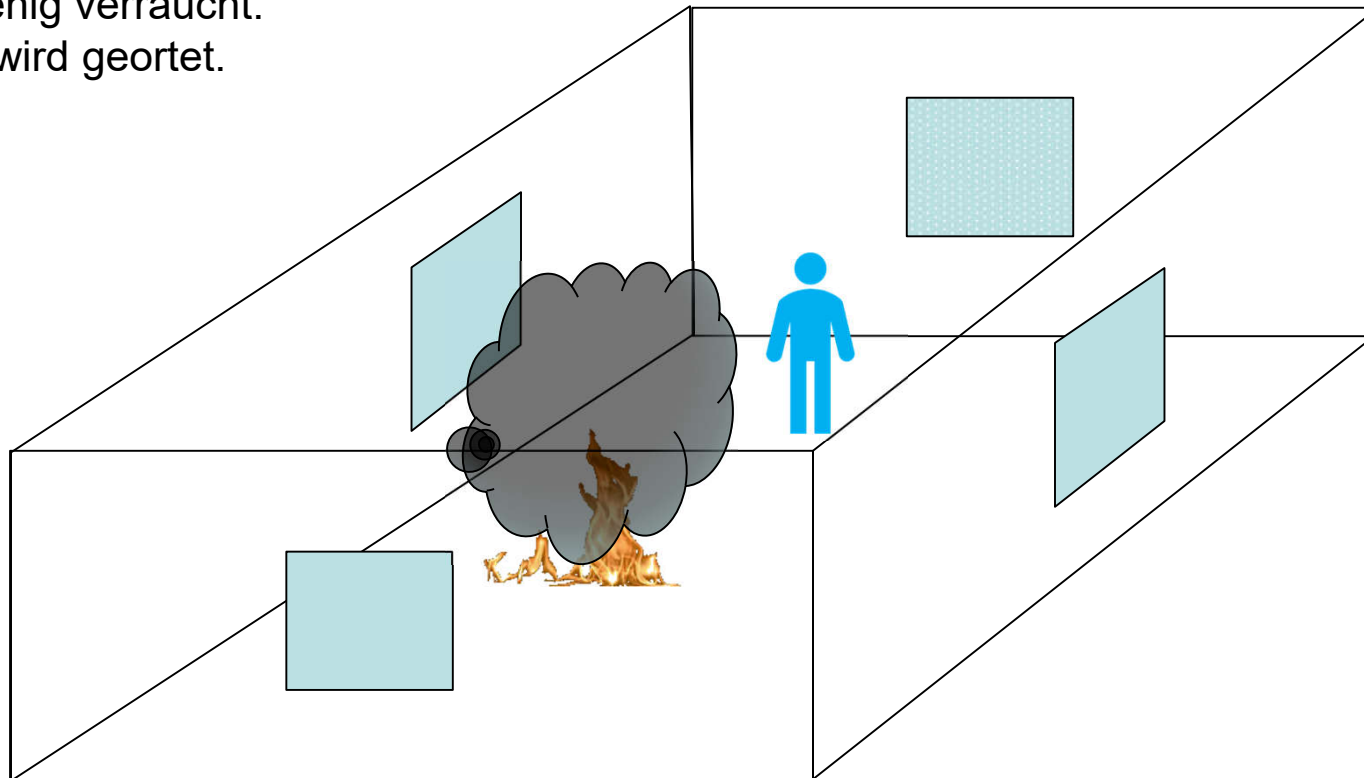
Rauch im Raum / Direkter Schall, Diffuser Schalleine Analogie

RM_AUDIO ENGINEERING

Richard Merget Dipl. Ing.
Planung, Simulation und
Messung elektroakustischer Anlagen



Die Fenster sind geschlossen.
Der Raum ist kurz nach Entstehung des
Brandes wenig verraucht.
Das Feuer wird geortet.

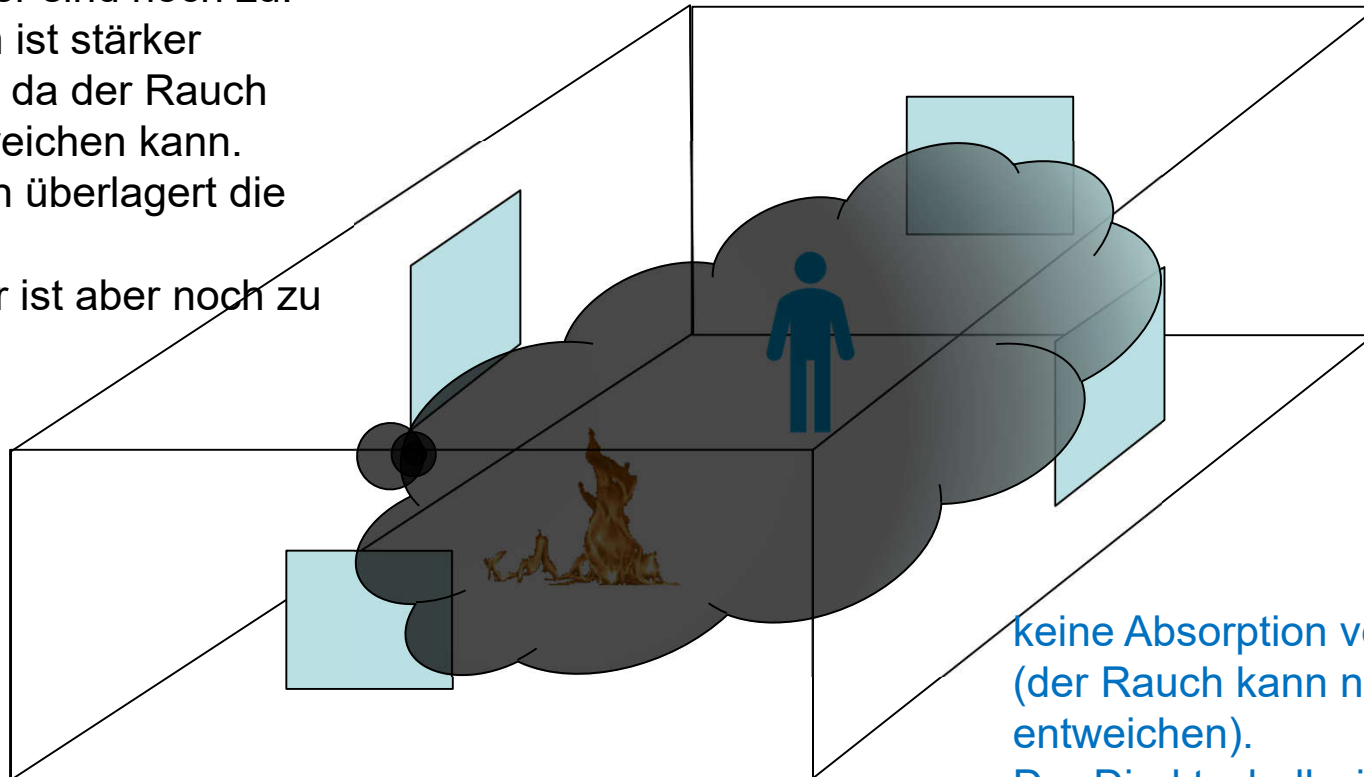


Die Sichtbarkeit des Feuers entspricht dem Direktschall.
Der Rauch im Raum entspricht dem Diffusschall.
Die Fenstergrösse entspricht der Absorption (wenn sie offen sind).



Die Sichtbarkeit des Feuers entspricht dem Direktschall.
Der Rauch im Raum entspricht dem Diffusschall.
Die Fenstergrösse entspricht der Absorption (wenn sie offen sind).

Die Fenster sind noch zu.
Der Raum ist stärker
verraucht, da der Rauch
nicht entweichen kann.
Der Rauch überlagert die
Flammen.
Das Feuer ist aber noch zu
sehen.

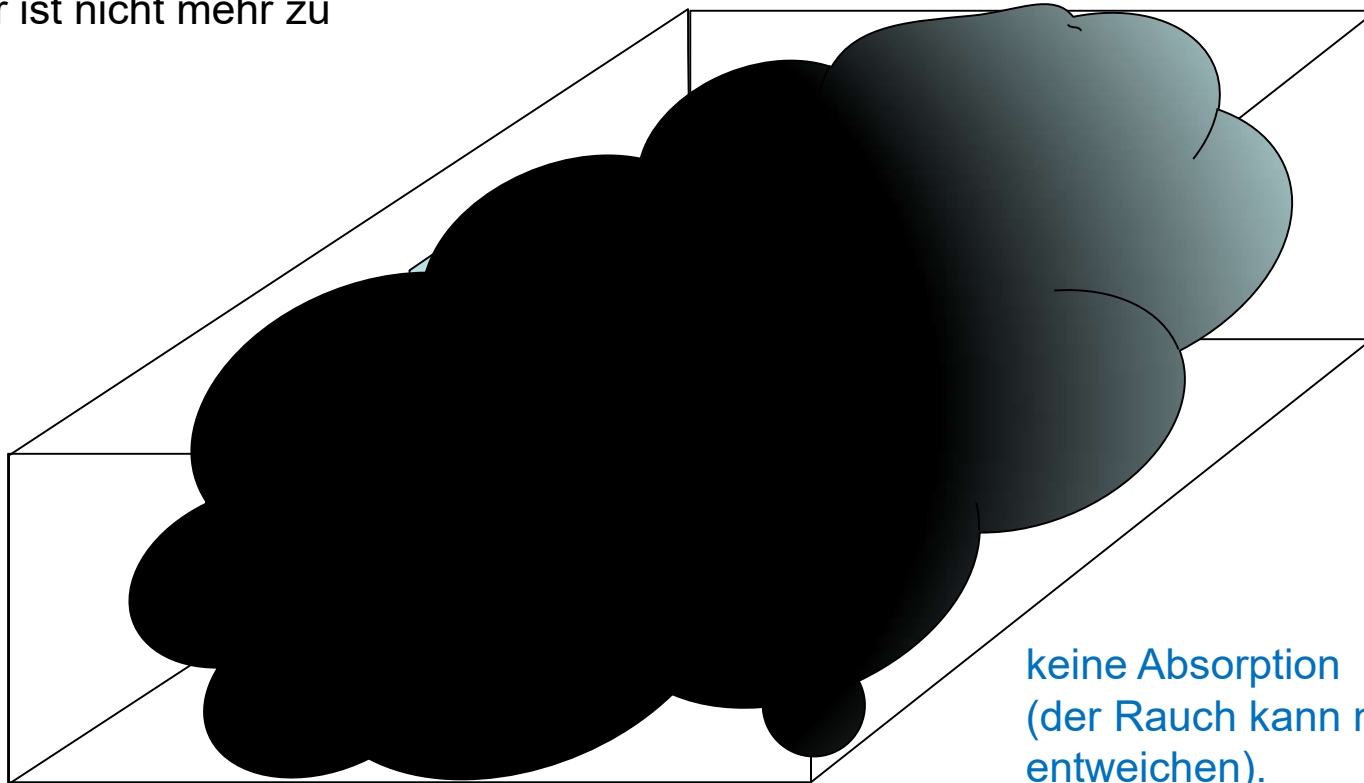


keine Absorption vorhanden,
(der Rauch kann nicht
entweichen).
Der Direktschall wird vom
Diffusschall überlagert.
....Die Sprachverständlichkeit
wird schlechter.



Der Raum stark verraucht.
Das Feuer ist nicht mehr zu
sehen.

Die Sichtbarkeit des Feuers entspricht dem Direktschall.
Der Rauch im Raum entspricht dem Diffusschall.
Die Fenstergrösse entspricht der Absorption (wenn sie offen sind).



keine Absorption
(der Rauch kann nicht
entweichen).
Der Diffusschall überdeckt
den Direktschall völlig...
Sprache ist nicht mehr zu
verstehen.

Direkter Schall, Diffuser Schall



Raum ist stark verraucht.

Die Fenster werden geöffnet.

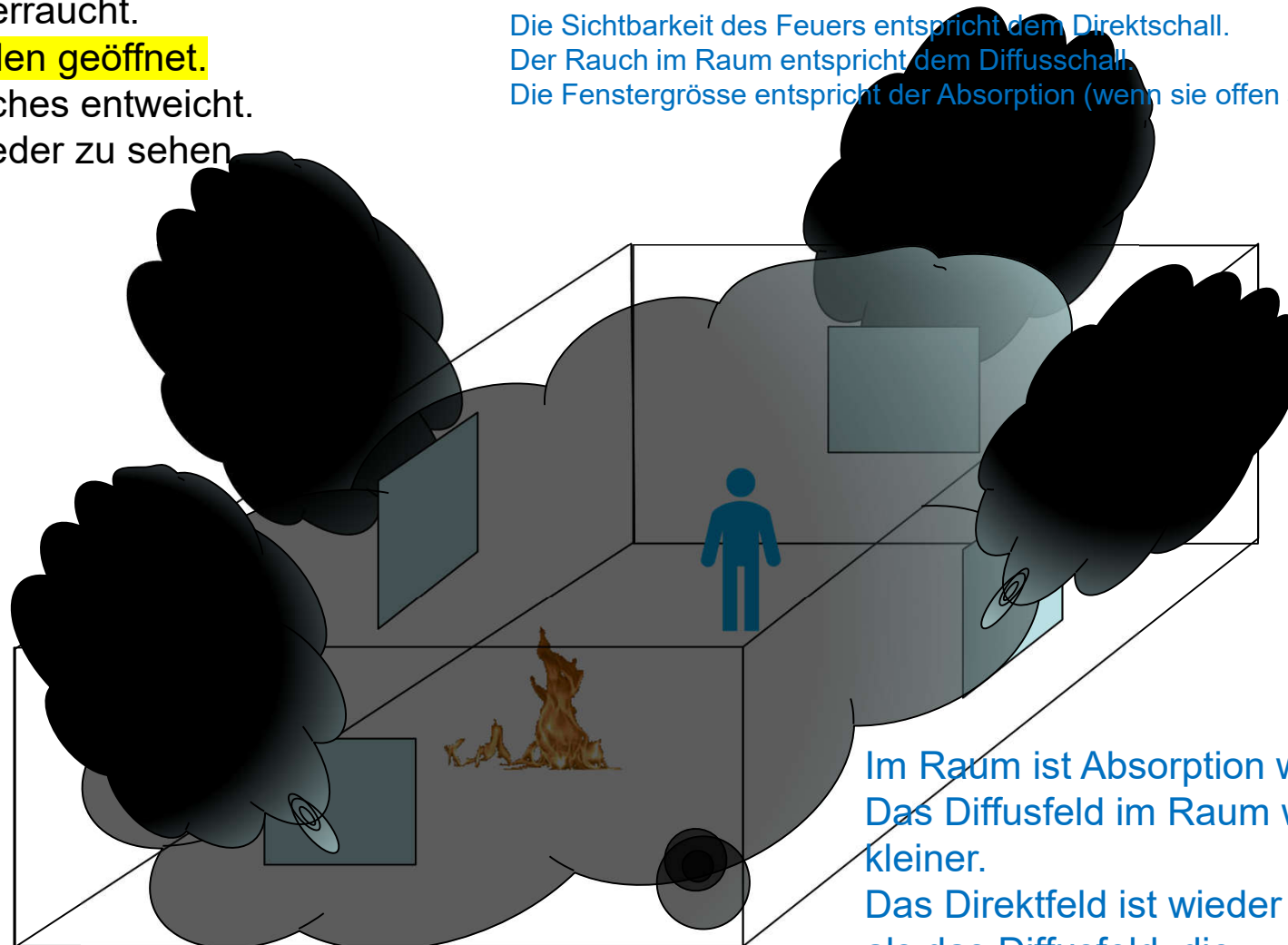
Ein Teil des Rauches entweicht.

Das Feuer ist wieder zu sehen.

Die Sichtbarkeit des Feuers entspricht dem Direktschall.

Der Rauch im Raum entspricht dem Diffusschall.

Die Fenstergrösse entspricht der Absorption (wenn sie offen sind).



Im Raum ist Absorption wirksam.
Das Diffusfeld im Raum wird
kleiner.

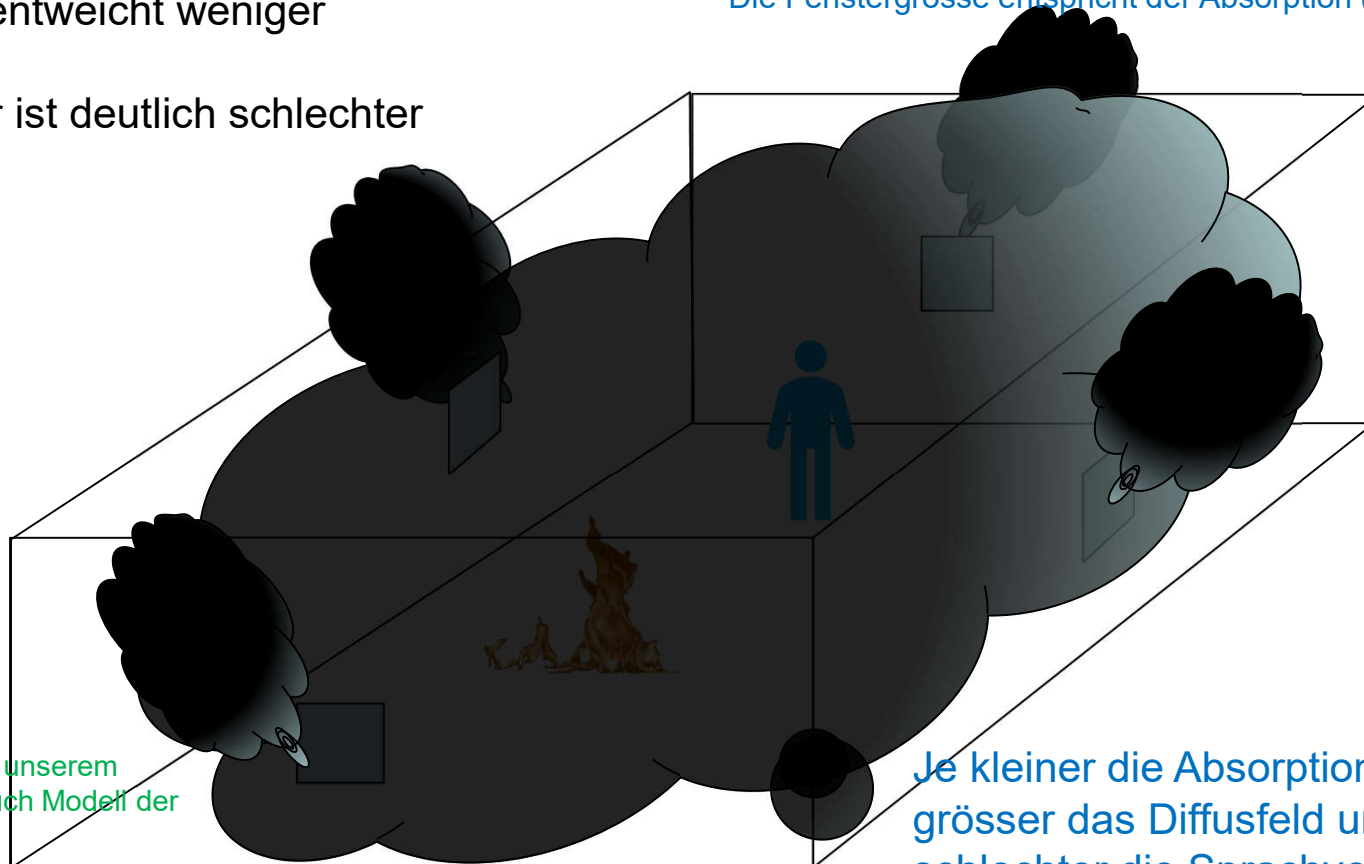
Das Direktfeld ist wieder grösser
als das Diffusfeld, die
Sprachverständlichkeit steigt.

Direkter Schall, Diffuser Schall



Mit kleineren geöffneten Fenstern entweicht weniger Rauch.
Das Feuer ist deutlich schlechter zu sehen.

Die Sichtbarkeit des Feuers entspricht dem Direktschall.
Der Rauch im Raum entspricht dem Diffusschall.
Die Fenstergrösse entspricht der Absorption (wenn sie offen sind).



Frage:

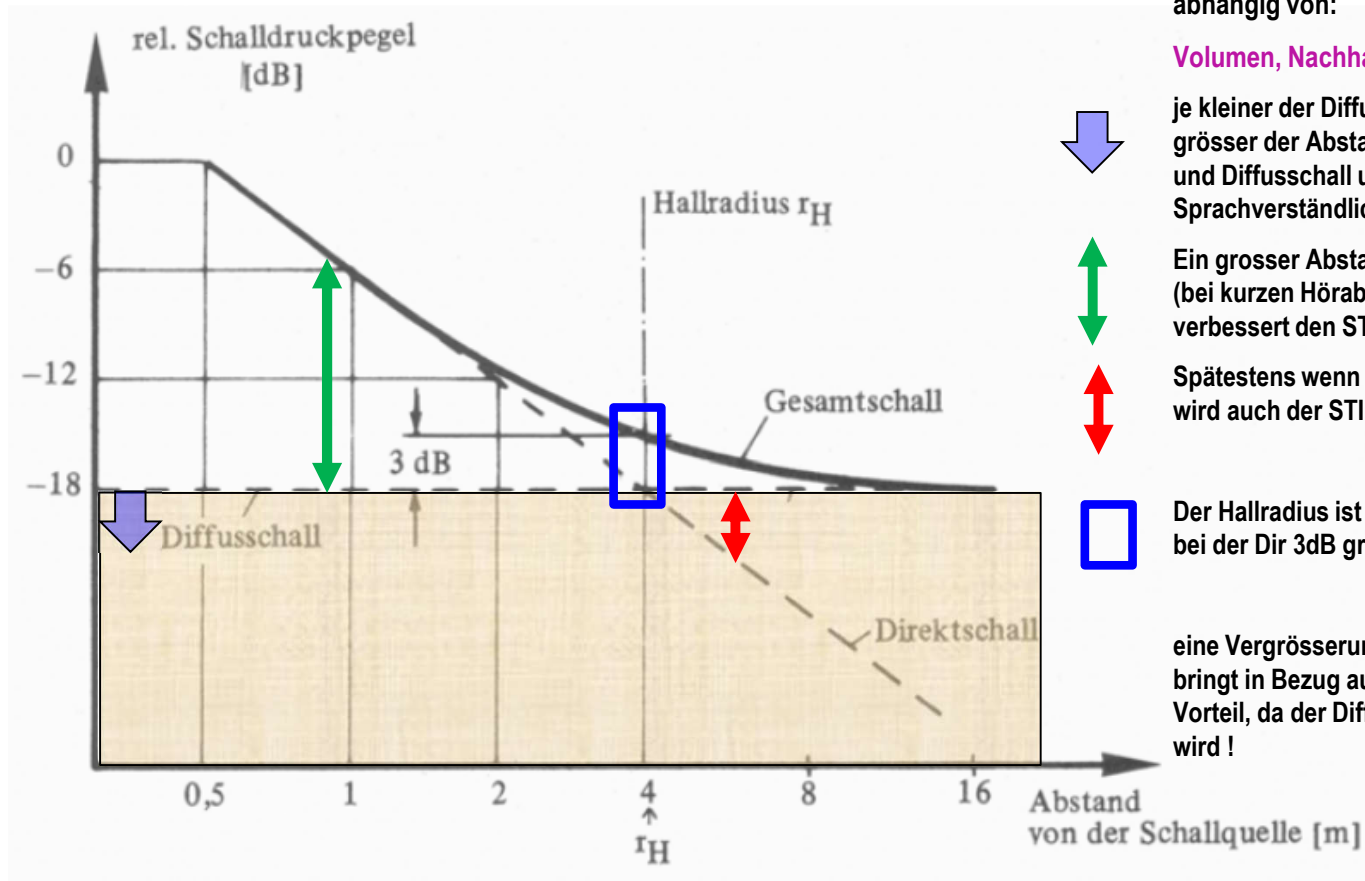
was entspricht in unserem Raum/Feuer/Rauch Modell der Nachhallzeit ?

Antwort:

Die Zeit die vergeht bis der Rauch bei geöffneten Fenstern komplett entwichen ist, wenn das Feuer gelöscht ist.

Je kleiner die Absorption desto grösser das Diffusfeld und desto schlechter die Sprachverständlichkeit.
Die Höhe der Absorption bestimmt ganz wesentlich die Sprachverständlichkeit.

Die Konsequenz aus der
 Analogie:



Die Höhe des Diffusschallpegels ist abhängig von:

Volumen, Nachhallzeit, Direktpegel.

je kleiner der Diffusschallpegel, desto grösser der Abstand zwischen Direktschall und Diffusschall und.....desto besser die Sprachverständlichkeit.

Ein grosser Abstand zwischen Dir und Diff (bei kurzen Hörabständen der Fall) verbessert den STI.

Spätestens wenn Dir kleiner als Diff wird, wird auch der STI schlecht.

Der Hallradius ist die Entfernung zur Quelle bei der Dir 3dB grösser ist als Diff

eine Vergrösserung des Direktschallpegles bringt in Bezug auf den Diffusschall keinen Vorteil, da der Diffusschall auch grösser wird !



die Nachhallzeit errechnet sich aus:

0,163 * Volumen / absorbierende (normierte) Fläche

dies ist ein umgekehrt proportionaler Zusammenhang !

Die Nachhallzeit lässt sich relativ einfach messen, im Gegensatz zur Absorption...
Infolge dessen ist die Nachhallzeit die für den Elektroakustiker massgebende Grösse, welche zur Berechnung (Simulation) der Sprachverständlichkeit unverzichtbar ist !

Die raumakustische Nachhallzeit geht quadratisch in die Sprachverständlichkeit ein.

Der Nachweis der Sprachverständlichkeit muss laut den massgebenden Normen verbindlich unter Berücksichtigung von Störgeräuschpegel und Maskierung erfolgen (Erklärung folgt).

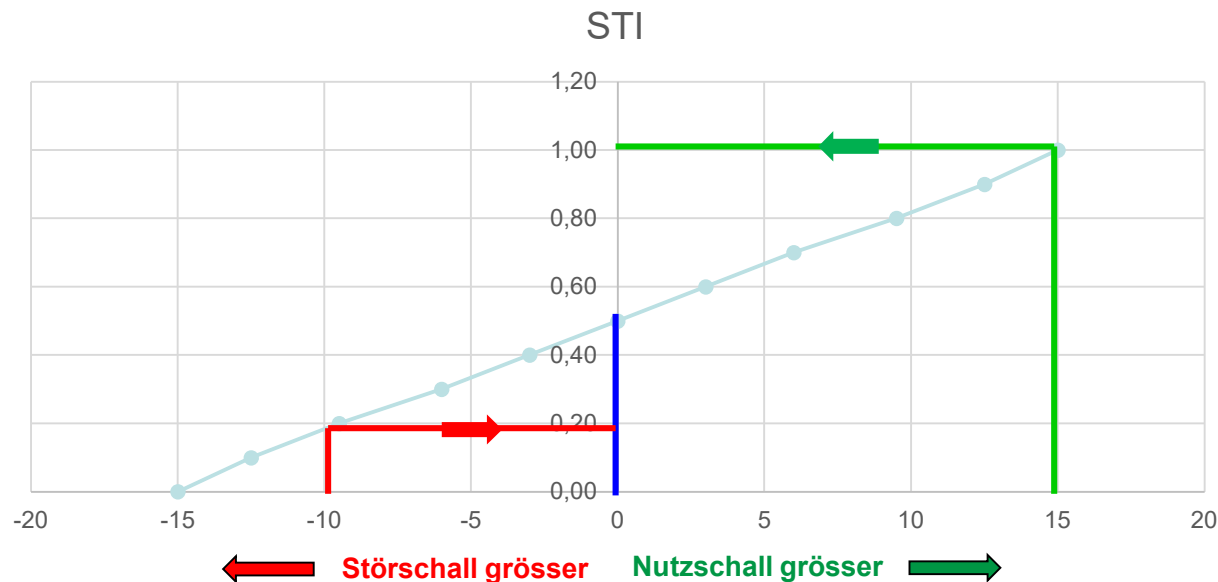
D.h. ein Nachweis von zu erreichenden Pegeln ist **nicht mehr notwendig**, da der ermittelte STI diese Werte einschliesst.

Als Faustformel kann bei der Planung des notwendigen Nutzpegels trotzdem von 10dB über Störpegel ausgegangen werden. Dies setzt die Kenntnis des Störpegels voraus.....
und genau das ist das Problem !

Woher nehmen ? **Vorschläge ????**



Störschalleinfluss auf den STI



diese Betrachtung erfolgt unabhängig von sonstigen Einflussgrössen wie Maskierung oder Nachhall

Der Störschall ist eine ganz wesentliche Einflussgrösse auf die Sprachverständlichkeit und laut Normenvorgabe, genauso wie die Maskierung, entsprechend zu berücksichtigen.

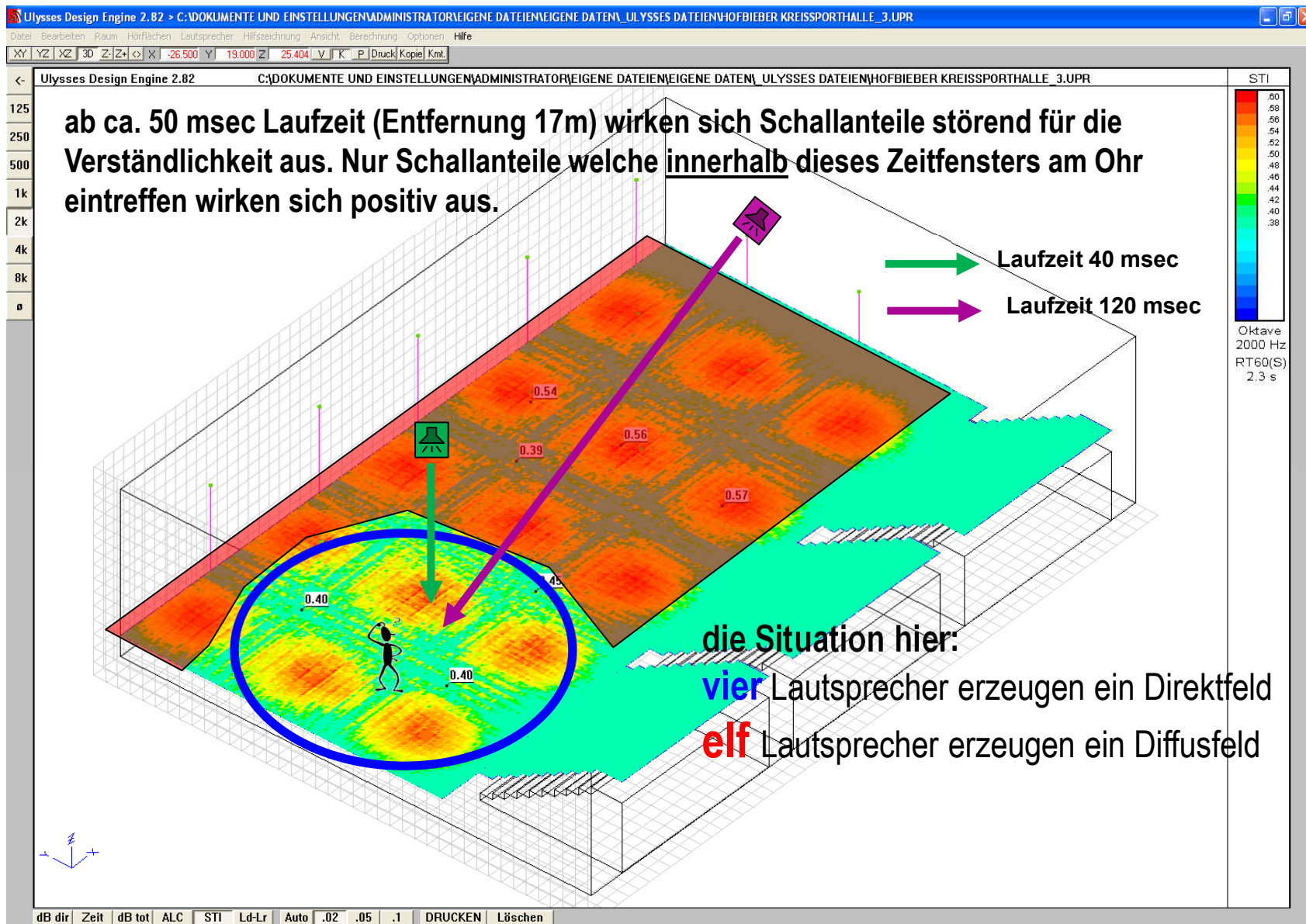
Wenn der Störschallpegel genauso gross ist wie der Nutzschaalpegel haben wir einen STI von 0,5 => Normenanforderung

Wenn der Störschallpegel 10dB grösser als der Nutzschaalpegel ist, ergibt sich ein STI von ca. 0,2

Wenn der Störschallpegel 15dB kleiner als der Nutzschaalpegel ist, ergibt sich ein STI von 1

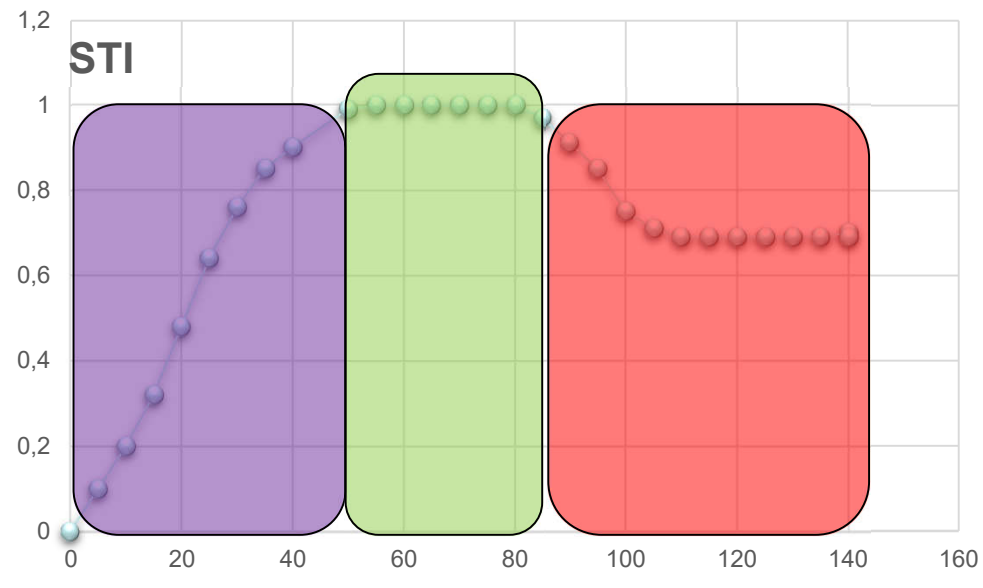
Anmerkung: dies sind Bedingungen welche bei der **Messung** des STI herrschen sollten

Auch entfernte Lautsprecher erzeugen ein Diffusfeld





hörphysiologischer Verdeckungs (Maskierungs) - Effekt



diese Betrachtung erfolgt unabhängig von sonstigen Einflussgrößen wie Störpegel oder Nachhall

...wenn aber der STI sowieso schon grenzwertig ist,

Beispiel Stadion....

führt die Maskierung oft zur Nichterreichung von Normvorgaben !

Pegel/dB

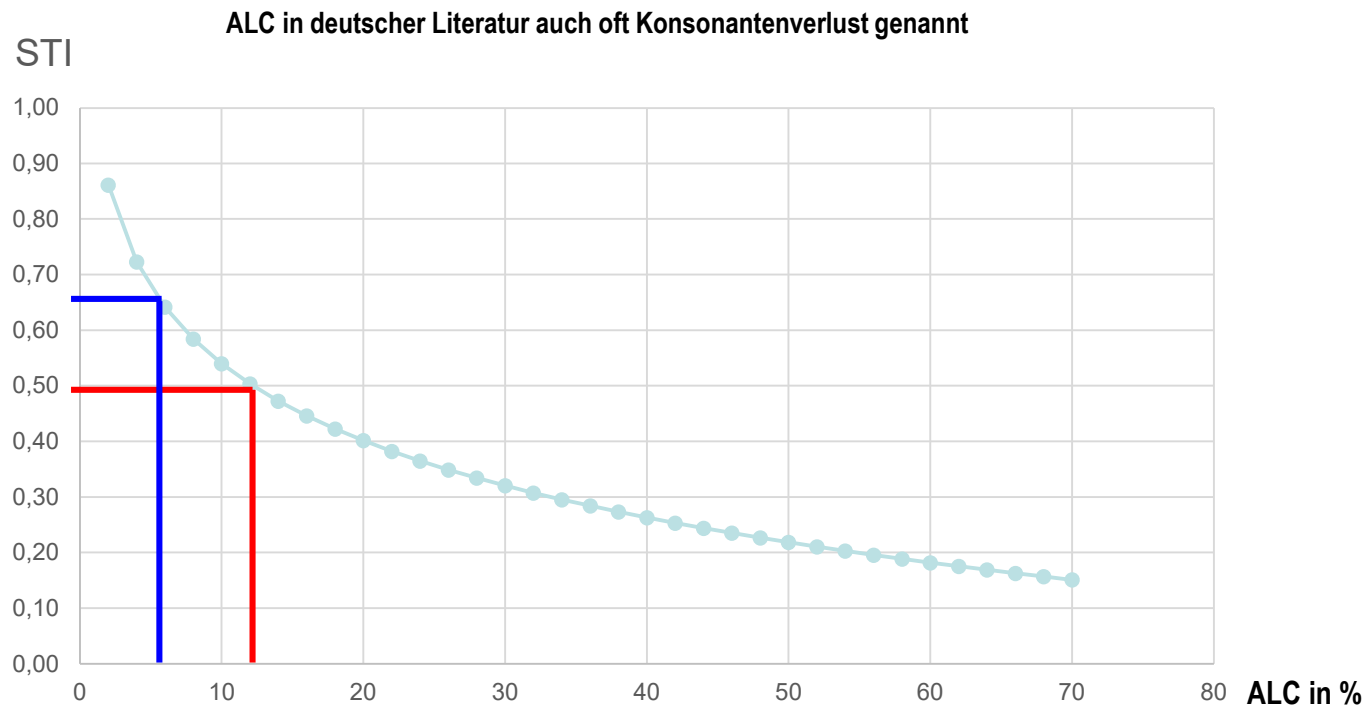
dieser sagt aus: dass bei sehr leisen Sprachinformationen (bis 49 dB) ein Verstehen von Sprache schwierig ist ...trivial

dass bei mittleren Sprachpegeln (50-84 dB) Sprache sehr gut verstanden wird

dass bei hohen Sprachpegeln (ab 85 dB) Sprache schlechter verstanden wird



Zusammenhang ALC (Artikulationsverlust) / STI

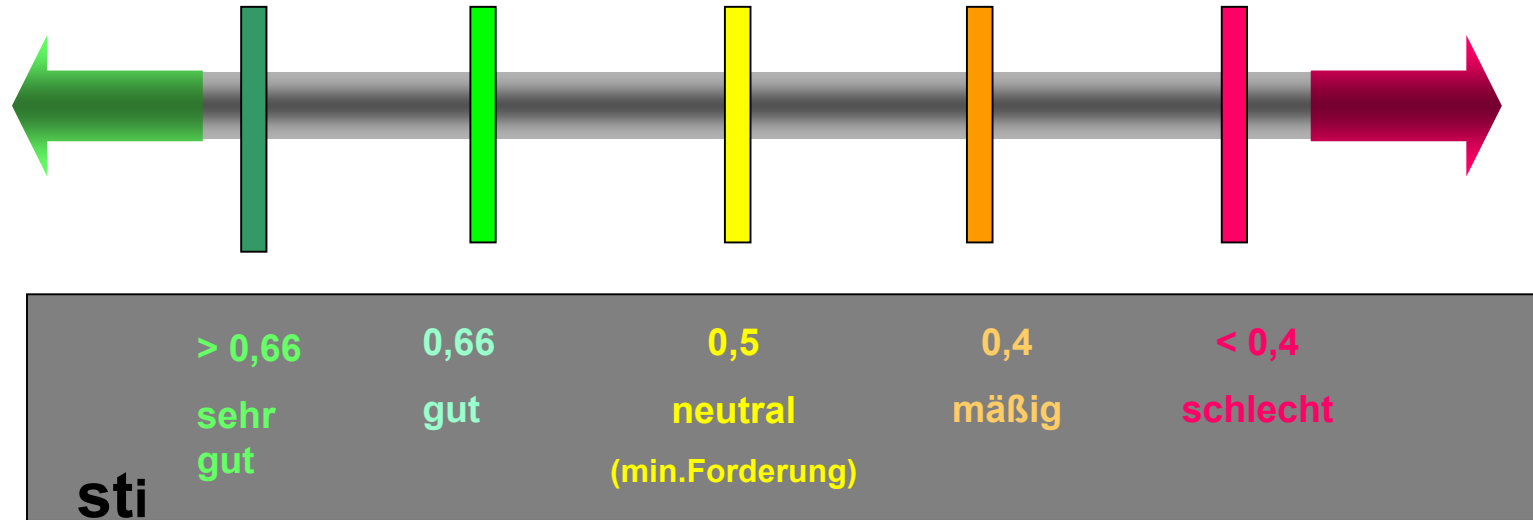


einem STI von 0,5 entspricht ein Artikulationsverlust ALC von 12,5 %

einem STI von 0,74 entspricht ein Artikulationsverlust ALC von 7 %

d.h. je weniger Konsonanten verloren gehen, desto besser ist die Sprachverständlichkeit !

Welche Grössen sind für die Sprachverständlichkeit massgebend vorgezogen



Wenn der Nutzpegel (Lautsprecherpegel) deutlich grösser als Störpegel ist gilt:

sti proportional $\frac{V \times Q}{Rt60^2 \times D^2 \times N}$ trocken

- Rt60** = Nachhallzeit
- D** = Abstand der Hörer zur Quelle
- V** = Volumen der Halle
- N** = Anzahl der Lautsprecher
- Q** = Bündelungsfaktor des Lautsprechers

2,5 sec





sti proportional

$$\frac{V \times Q}{Rt60^2 \times D^2 \times N}$$

Rt60 = Nachhallzeit /sec

D = Abstand der Hörer zur Quelle /m

V = Volumen der Halle /m³

N = **Anzahl der Lautsprecher**

Q = Bündelungsfaktor des Lautsprechers

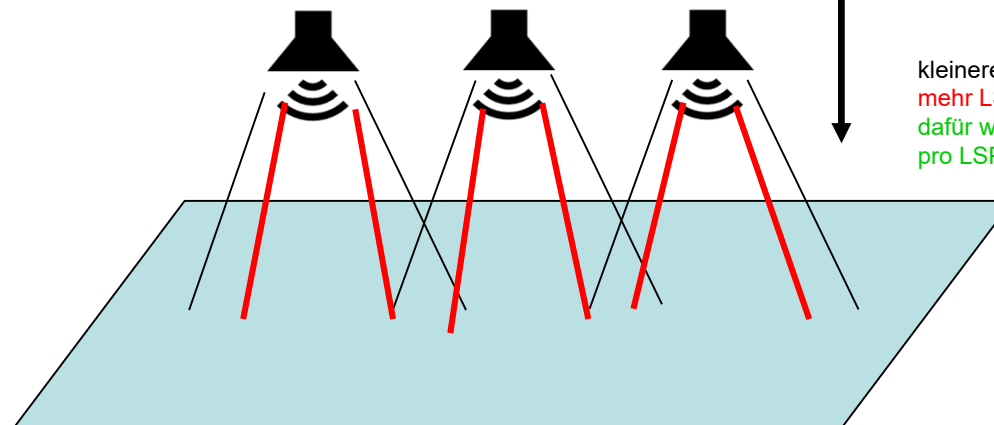
die Hörfläche soll in der Regel
komplett abgedeckt werden

größerer Abstand heisst:
weniger LSP nötig
aber mehr Pegel pro LSP erforderlich

kleinerer Abstand heisst:
mehr LSP nötig
dafür weniger Pegel
pro LSP erforderlich

grösseres Q heisst stärkere Bündelung
mehr LSP notwendig,

kleineres Q heisst schwächere Bündelung
weniger LSP notwendig,



Kehrwert = $\frac{D^2 \times N}{Q}$ = beschallte Fläche in m²

Sprachverständlichkeit auf das Wesentliche reduziert



Gilt nicht für Linienstrahler !!!

$$\text{Kehrwert} = \frac{D^2 \times N}{Q} = \text{beschallte Fläche in m}^2$$

sti proportional

$$\frac{V \times Q}{Rt60^2 \times D^2 \times N}$$

Rt60 = Nachhallzeit /sec

D = Abstand der Hörer zur Quelle /m

V = Volumen der Halle /m³

N = Anzahl der Lautsprecher

Q = Bündlungsfaktor des Lautsprechers

Für die Sprachverständlichkeit ist es unerheblich ob die Beschallung über viele nahe Lautsprecher erfolgt, oder über wenige Entfernte.

Voraussetzung der Pegel im Hörbereich passt.

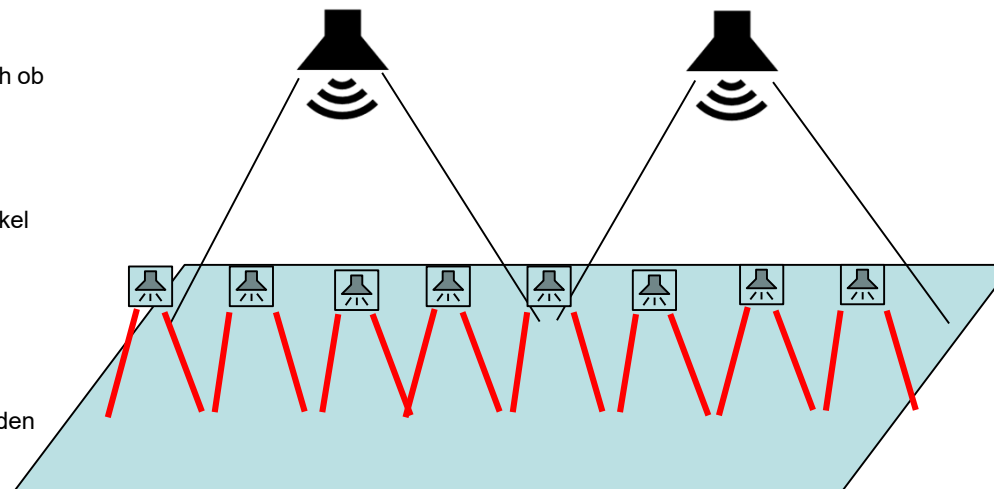
Es ist unerheblich ob über enge oder weite Winkel beschallt wird.

Voraussetzung: Die Schallanteile werden ausschliesslich auf die Hörfläche konzentriert.

Es gibt keinen Beschallungsansatz der grundsätzlich besser ist, als ein Anderer.

Der Beschallungsansatz ergibt sich immer aus den Rahmenbedingungen.

Stichworte: Architektur, Statik, Reflektierende Flächen, Pegelbedarf, Montagemöglichkeiten usw.



die Hörfläche soll in der Regel komplett abgedeckt werden

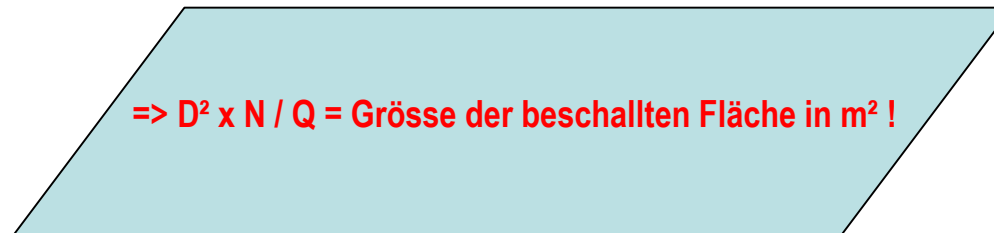
Sprachverständlichkeit auf das Wesentliche reduziert



Sti proportional

$$\frac{V \times Q}{RT60^2 \times D^2 \times N}$$

- RT60 = Nachhallzeit /sec
- D = Abstand der Hörer zur Quelle /m
- V = Volumen der Halle /m³
- N = Anzahl der Lautsprecher
- Q = Bündelungsfaktor des Lautsprechers



○ = 1/ beschallte Fläche in m²

da wir in der Regel die Fläche komplett beschallen, wird auch die komplette Fläche bei der Berechnung angesetzt !

STI ist somit proportional : $\frac{\text{Raumvolumen}}{RT60^2} \times \frac{1}{\text{beschallte Fläche}}$

je grösser das Raumvolumen desto besser der STI ! warum ???

je grösser die zu beschallende Fläche desto schlechter der STI ! warum ???

je grösser die Nachhallzeit desto schlechter der STI !!! (quadratisch) warum ???

Es fehlen für die tatsächliche Berechnung des STI über den Artikulationsverlust ALC noch zwei Faktoren, auf die ich hier nicht näher eingehe.....



sti proportional

$$\frac{V \times Q}{Rt60^2 \times D^2 \times N}$$

- Rt60 = Nachhallzeit /sec
- D = Abstand der Hörer zur Quelle /m
- V = Volumen der Halle /m³
- N = Anzahl der Lautsprecher
- Q = Bündlungsfaktor des Lautsprechers

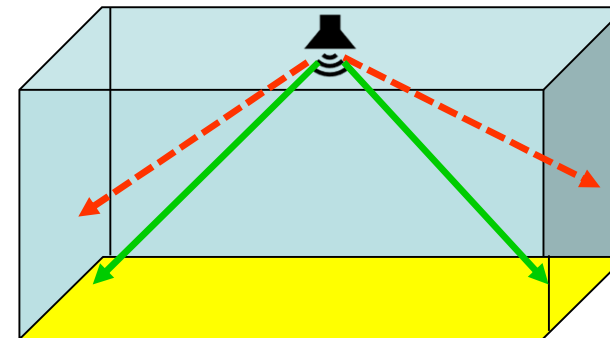
Es fehlen für die tatsächliche Berechnung des STI über den Artikulationsverlust ALC noch zwei Faktoren, auf die ich hier nicht näher eingehe....

Was schert mich mein Geschwätz von gestern...
eine Einflussgröße (Faktor) möchte ich hier doch ansprechen:

Lautsprecher haben keine idealen Eigenschaften, sondern strahlen auch Energie in Bereiche ausserhalb der Hörfläche ab und erzeugen damit diffuse Energie welche den STI verschlechtert.

In unserem Beispiel wäre die beschallte Fläche damit grösser als die Hörfläche (Aufenthaltsfläche des Publikums) und würde den STI damit verschlechtern. Je kleiner die beschallte Fläche, desto besser der STI...das ist allgemeingültig

Je idealer Lautsprecher nur die Hörfläche abdecken, ohne doppelt zu versorgen..... also jeder Lautsprecher nur seinen Bereich abdeckt, ohne sich zu mit anderen Lautsprechern überschneiden, desto besser das Ergebnis



→ gewollt

- - - → oft real

STI ist proportional : $\frac{\text{Raumvolumen}}{Rt60^2 \times \text{Grundfläche}}$

noch einfacher !!!

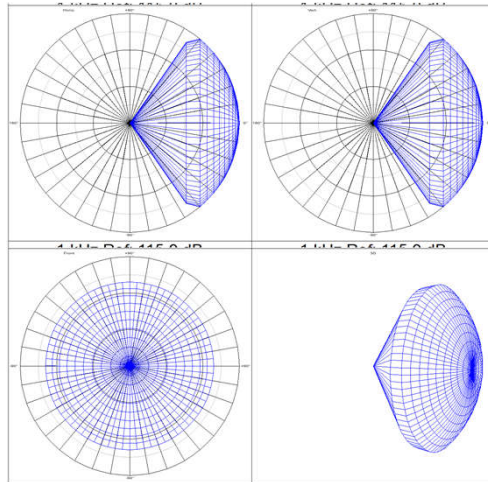
STI ist proportional : $\frac{\text{Raumhöhe}}{Rt60^2}$



Die Wirklichkeit:

1. ein idealer 110° Lautsprecher

theoretisches Modell

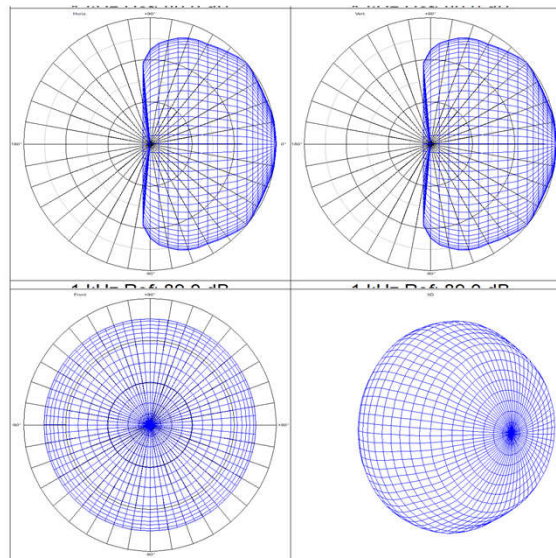


mittlerweile halten viele Hersteller eine LSP -Datenbank für einen Zielort für eine Werbeveranstaltung, als für eine Berechnungsgrundlage

....mit dahinter liegen Datensätzen

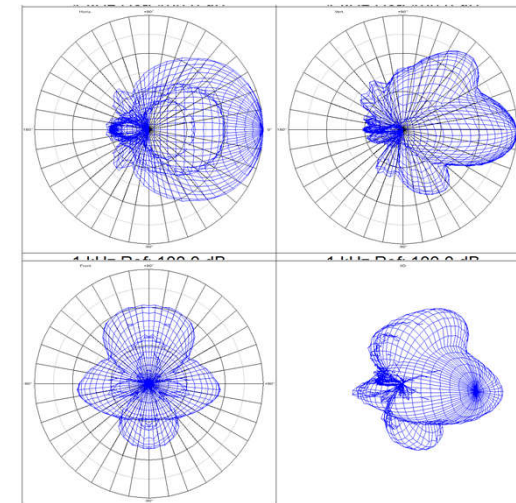
Mit diesen Datensätzen soll der Planer rechnen

3. ein Paintshop Pro 110° Decken-Lautsprecher eines deutschen Herstellers aus der 40 Euro Klasse



2. ein realer 110° Lautsprecher

aus dem Pro Sound Bereich **1.800 Euro**
ohne Hersteller Lüge ohne Paintshop Pro



heisst aber auch:

Es muss ein **Lautsprecher-Korrektur-Faktor** eingeführt werden, welcher die nicht ideale Pegelverteilung auf der Hörfläche und die nicht gewollte Beschallung von Wänden und Decke einbezieht. Wir erinnern uns, **Direktschall** ausserhalb der Hörfläche vergrößert die Berechnungsfläche und **verschlechtert den STI**

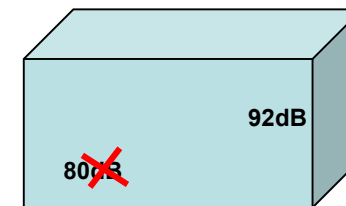
zum Abschluß... Fehler die man vermeiden sollte:



Keine unterschiedlichen Direktpegel in EINEM abgeschlossenen Luftraum !

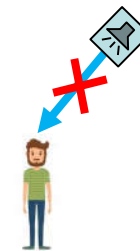
Warum? Weil das Diffusfeld überall gleich gross ist und bei kleinerem Direktfeld durch das schlechtere Verhältnis Direkt / Diffus der STI schlechter wird.

Man kann in einer Sporthalle z.B. NICHT den Bereich z.B. für die Presse leiser machen.



Keine Beschallung von hinten !

Warum? Weil dann akustische und optische Achse 180° versetzt sind, dies wird als unangenehm empfunden und passt nicht zu dem natürlichen Empfinden nachdem ein Geräusch immer aus der Richtung der Erzeugung kommt.



Keine Beschallung von mehr als einer Quelle in EINEN Ortsbereich.

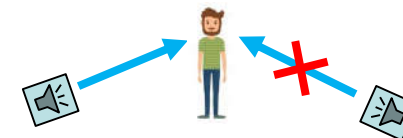
Warum? Weil die Überlagerung mehrerer Quellen immer zu Interferenzen (Phasenproblemen) und Laufzeiteffekten am Ort der Überlagerung führen.

Einfach gesagt: **EINE** Quelle für **EINEN** Zielbereich, die Zielbereiche können (sollen) aneinander anschliessen, sich aber nicht überlagern.



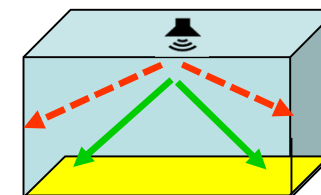
Nach Möglichkeit keine Beschallung mit Zielrichtungen welche sich kreuzen, bzw. gegeneinander "zielen"

Warum? Weil sich der oben beschriebene Effekt auch bei diesem Ansatz auswirkt.



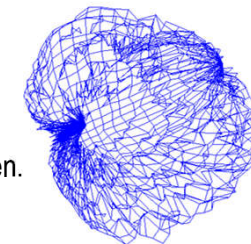
Keine (ungewollte) Beschallung von nicht zum Zielbereich gehörenden Flächen.

Warum? Weil dies zu Erhöhung des Diffusfeldpegels beiträgt und damit den STI verschlechtert.



Bei kritischer Raumakustik keine Lautsprecher verwenden welche eine undefinierte Abstrahlcharakteristik (kein constant directivity) haben.

Warum? Weil dann zwangsläufig vielen Schallanteile nicht im Zielbereich landen, sondern an Wänden und Decken.



RM_AUDIO ENGINEERING

**Richard Merget Dipl Ing.
Planung, Simulation und
Messung elektroakustischer Anlagen**



Danke für Ihre Aufmerksamkeit