

# Beschallungsanlagen Teil 1 (Lautsprecher)

**Anselm Goertz**

**Alfred Schmitz**

DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung  
am 26.Sept.2012 11:30 – 12:15



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung



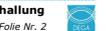
## Übersicht Lautsprecher

Allgemeines zum Thema und zur Anwendung von Lautsprechern in der professionellen Beschallungstechnik

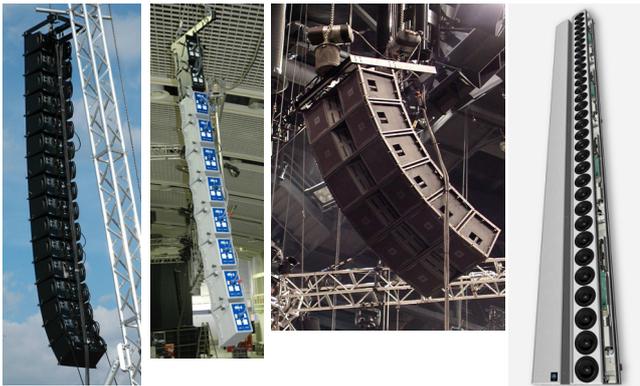
1. Schabstrahlung und Zielsetzung	3 - 5
2. Grundtypen von Schallstrahlern	6 - 13
3. Auswahl der Lautsprecher	14 - 20
4. Lautsprecherdaten	21
1. Elektrische Impedanz	22 - 23
2. Lineares Übertragungsverhalten	24 - 34
3. Räumliches Abstrahlverhalten von Lautsprechern	35 - 41
4. Nichtlineares Übertragungsverhalten	42 - 45
5. Fazit	46



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung



## Beschallung heute

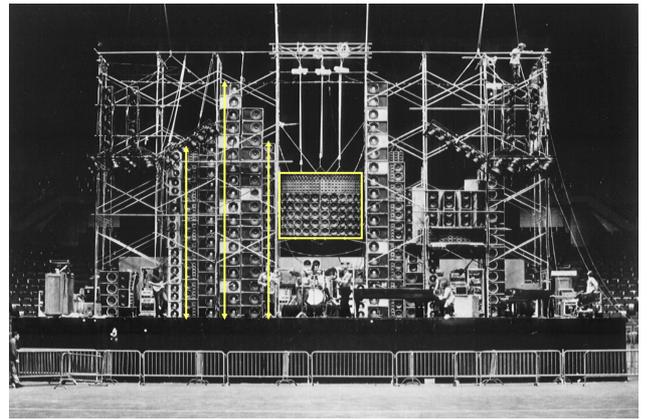


DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung

Folie Nr. 3



## ... und damals !



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung

Folie Nr. 4



## Was ist die Zielsetzung?

- Ausreichend Schalldruck in der entsprechenden Entfernung zu erzielen
  - Ein möglichst optimales Richtverhalten zu erhalten
    - gleichmäßige Pegelverteilung über der gesamten Publikumsfläche
    - möglichst wenig Schalleistung in die verbleibenden Bereiche abstrahlen
  - Für einzelne Hörner gilt:  
Die zur Verfügung stehende Schalleistung wird auf den beschallten Raumwinkel verteilt. Daher:
    - Je enger der Abstrahlwinkel desto höher der Schalldruck
    - Je breiter der Abstrahlwinkel desto geringer Schalldruck
  - Reicht ein einzelnes Horn nicht aus, dann müssen Cluster bzw. Arrays aus eng strahlenden Hörnern gebildet werden
  - Aber: Interferenzeffekte sind möglichst zu vermeiden
    - Abstrahlung möglichst nur aus einer Quelle (kohärente Wellenfront)
  - Wunschvorstellung:
    - Abstrahlung aus einer kohärent strahlenden Quelle mit flexibel skalierbarem Abstrahlwinkel und einstellbarer Intensität
- > Line-Array

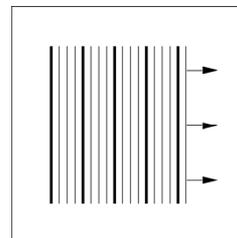


DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung

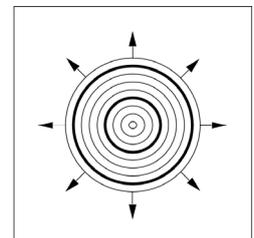
Folie Nr. 5



## Punktquellen, Linienquellen, Flächenstrahler



Wellenfront einer ebenen Welle oder einer Zylinderwelle von der Seite aus betrachtet



Wellenfront einer Kugelwelle oder einer Zylinderwelle von oben aus betrachtet



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung

Folie Nr. 6



### Punktquellen

- Eine idealisierte Form einer Schallquelle ist die pulsierende Kugel oder **Punktquelle**. Sie strahlt **gleichmäßig in alle Richtungen** ab und weist keinerlei Vorzugsrichtung auf, völlig unabhängig von der Frequenz. Die abgestrahlten Wellen sind **Kugelwellen**. Die insgesamt abgestrahlte Leistung verteilt sich bei einer Verdopplung der Entfernung vom Mittelpunkt der pulsierenden Kugel auf eine vierfach größere Fläche, womit sich die Leistungsdichte auf  $\frac{1}{4}$  (= -6dB) reduziert und sich der Schalldruckpegel halbiert ( $\frac{1}{2}$  = -6dB).



### Linienquelle

- Eine weitere idealisierte Schallquelle ist der unendlich lange **Linienstrahler** in Form eines im Radius pulsierenden Zylinders. Dieser strahlt, wie es der Name schon vermuten lässt, eine **Zylinderwelle** ab. Die insgesamt abgestrahlte Leistung verteilt sich hier bei einer Verdopplung der Entfernung vom Mittelpunkt des pulsierenden Zylinders auf eine jetzt nur noch zweifach größere Fläche, womit sich die Leistungsdichte auf  $\frac{1}{2}$  (= -3dB) reduziert und der Schalldruckpegel nur noch um den Faktor 0,707 (= -3dB) abfällt.



### Flächenstrahler

- Als dritte idealisierte Strahlerfläche wäre eine **unendlich ausgedehnte** und homogen schwingende **Fläche** zu betrachten, die eine ebene Welle abstrahlt. Unabhängig von Entfernung und Position ist der Schalldruck im gesamten Halbraum vor der schwingenden Fläche überall konstant. Es kommt demnach zu **keinem** entfernungsabhängigen **Pegelabfall**.



### Idealisierte Betrachtungsweise

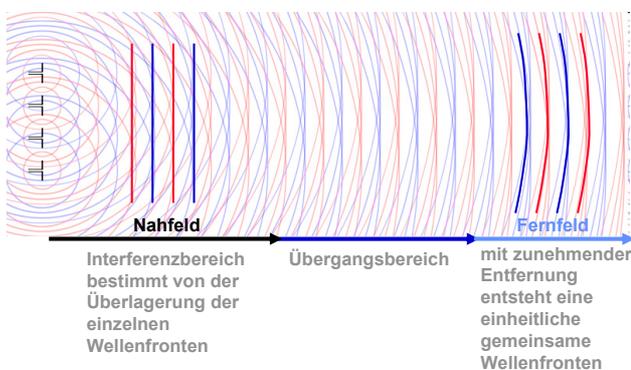
Für eine idealisierte Quellenbetrachtung gilt:

- Bei **Punktquellen** fällt der Schalldruck pro Entfernungsverdopplung von der Quelle um 6dB ab. (keine Unterscheidung Nahfeld/Fernfeld)
- Bei **unendlich ausgedehnten Linienquellen** fällt der Schalldruck pro Entfernungsverdopplung von der Quelle immer nur um 3 dB ab unabhängig von der Entfernung. Man befindet sich **immer im Nahfeld**.
- Bei **unendlich ausgedehnten Flächenstrahlern** ist der Pegel unabhängig von der Entfernung konstant. Man befindet sich **immer im Nahfeld**.

Bei unendlich ausgedehnte Quellen muß daher nicht zwischen einem Nahfeld und einem Fernfeld unterschieden werden.



### Nahfeld und Fernfeld einer Strahleranordnung



### Nahfeld und Fernfeld einer endlichen Linienquelle

Reale Linien- oder Flächenstrahler habe nur eine **endliche Ausdehnung** und damit auch nur ein **endliches Nahfeld**. (In hinreichender Entfernung wird jede nur endlich ausgedehnte Quelle zur Punktquelle)

- Im Fernfeld fällt der Schalldruck mit 6 dB pro Entfernungsverdopplung ab.
- Nur im Fernfeld ist das Richtverhalten von der Entfernung zur Quelle unabhängig.
- Der Übergang zum Fernfeld erfolgt bei:

$$r_{FF} > \frac{h^2}{\lambda}$$

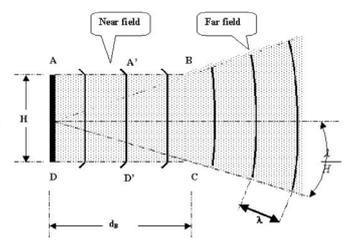
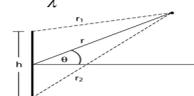


Figure 1: Radiated SPL of a line source AD of height H. In the near field, the SPL decreases as 3 dB per doubling of distance, whereas in the far field, the SPL decreases as 6 dB per doubling of distance.

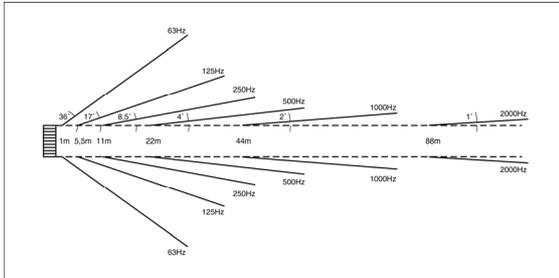
Wavefront Sculpture Technology  
**MARCEL URBAN, CHRISTIAN HEIL, PAUL BAUMAN**  
 Audio Engineering Society Convention Paper  
 Presented at the 111th Convention  
 2001 September 21-24 New York, NY, USA



### Der Übergang vom Nahfeld zum Fernfeld

$$r_{\text{Fernfeld}} = \frac{l^2 \cdot f}{340 \text{ m/s}}$$

mit der Frequenz  $f$  in Hz und Länge  $l$  in m



Beispiel für eine Quelle mit einer Ausdehnung von ca. 4m



### Nah- und Fernfeld bei Lautsprechern

- „Normale“ Lautsprecher arbeiten im Fernfeld und strahlen hier eine sphärische Wellenfront ab
- Line-Arrays arbeiten je nach Länge bei hohen Frequenzen noch im Nahfeld und strahlen hier eine Zylinderwelle ab
- Flächenstrahler arbeiten je nach Ausdehnung bei hohen Frequenzen noch im Nahfeld und strahlen hier eine ebene Welle ab



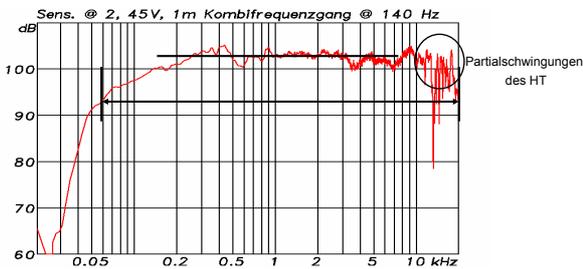
### Wo liegt der Unterschied?



### Auch ein Lautsprecher ?



### Frequenzgang und Sensivity



- Übertragungsbereich nach DIN EN 60268-5 Abschnitt 21.2.1: ... durch obere und untere Grenzen beschränkter Frequenzbereich, ... in dem der auf der Bezugsachse ... gemessene Frequenzgang ... nicht mehr als 10 dB unter dem Schallpegel liegt, der über eine Oktave im Bereich maximaler Empfindlichkeit oder in einem breiteren, vom Hersteller angegebenen Frequenzbereich gemittelt wurde. .... scharfe Einbrüche bis 1/3 Terz Breite ignorieren usw. ...



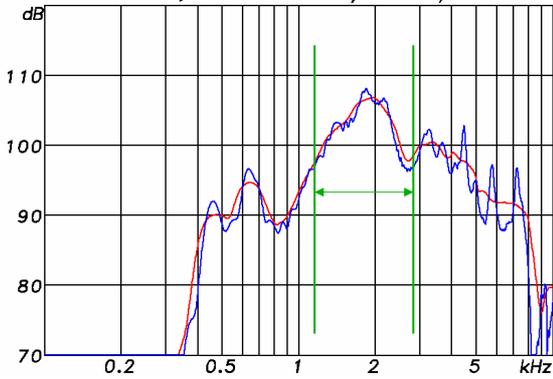
### Schalldruckfrequenzgang als Auswahlkriterium

- Übertragungsbereich und Einsatzgebiet:
  - Alarmsignale: 400 Hz – 2 kHz
  - Nur Sprache: 300 Hz – 3 kHz (besser bis 6 kHz)
  - Konzerte: 40 Hz – 15 kHz
  - Tonstudio: 20 Hz – 20 kHz (oder vielleicht sogar 40 kHz ?)
- Linearität des Frequenzgangs
  - Alarmsignale: fast unwichtig, Schalldruck zählt
  - Nur Sprache: Abweichung unproblematisch
  - Konzerte: wichtig
  - Tonstudio: sehr wichtig



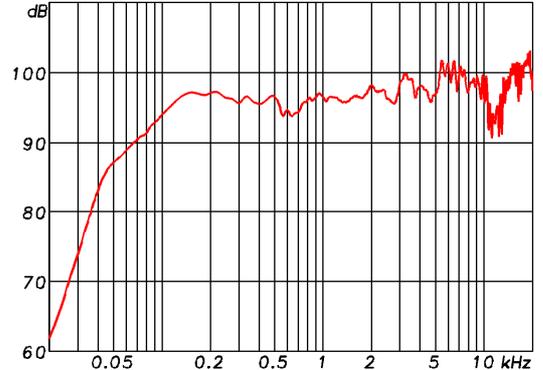
### Gefaltetes Kompakthorn (Alarmhorn)

Sens. @31.62V, 1m Penton PH10/T 100V/10W



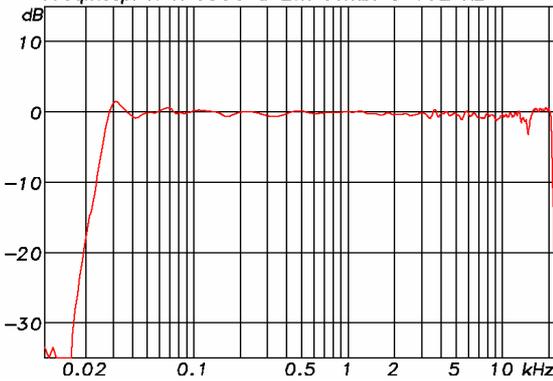
### Beschallungslautsprecher

Sens. @2V, 1m Klein + Hummel IS153 50x40 mit Gitter d=4m NF



### Studiomonitor (voll aktiv und linearphasig entzerrt mit FIR-Filtern)

Freq.Resp. K+H O500 d=2m Combi @ 162 Hz

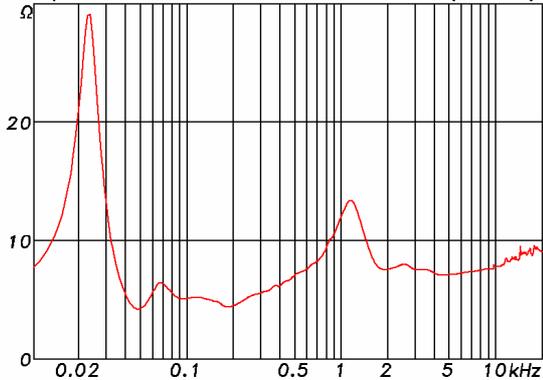


### Technische Daten von Lautsprechern

- Elektrische Anschlusswerte
- Lineares Übertragungsverhalten
- Räumliches Abstrahlverhalten
- Nichtlineares Verhalten

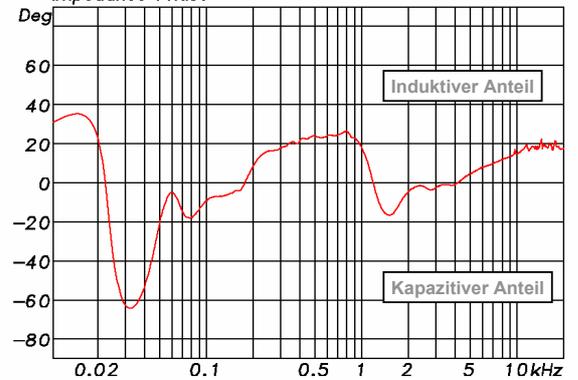
### Elektrische Impedanz (Amplitude)

Impedance Nom.= 6 Ohm ; Min.= 4, 2 Ohm (@ 48Hz)



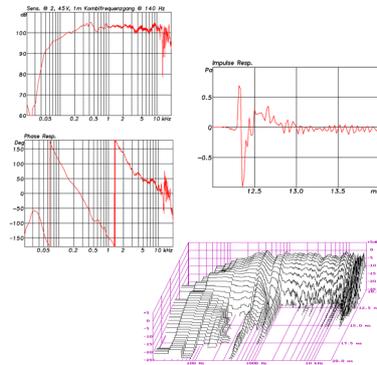
### Phase der elektrischen Impedanz

Impedance Phase



### Lineares Übertragungsverhalten

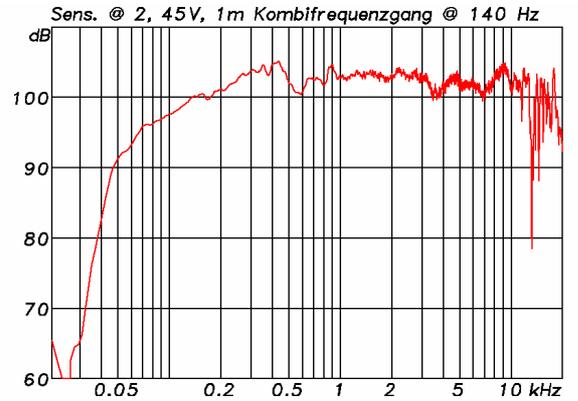
- Frequenzgang
- Phasengang
- Laufzeitverhalten
- Impulsantwort
- Sprungantwort
- Zerfallsspektrum



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung  
Folie Nr. 25



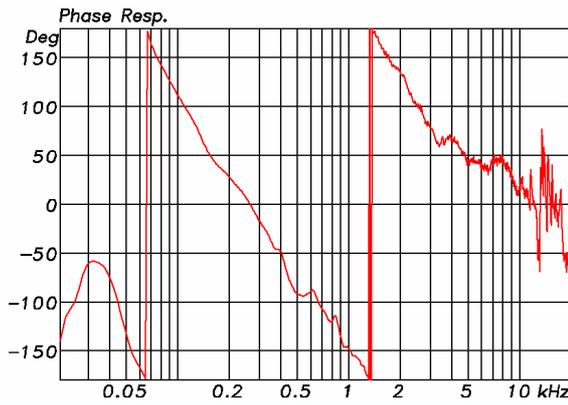
### Frequenzgang



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung  
Folie Nr. 26



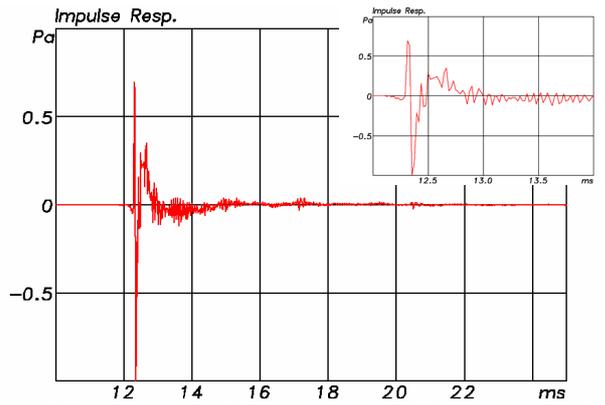
### Phasengang



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung  
Folie Nr. 27



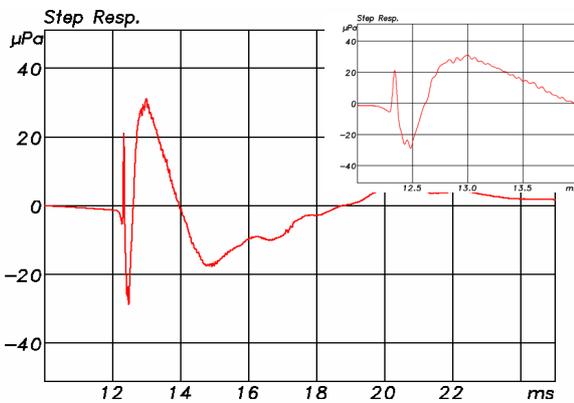
### Impulsantwort



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung  
Folie Nr. 28



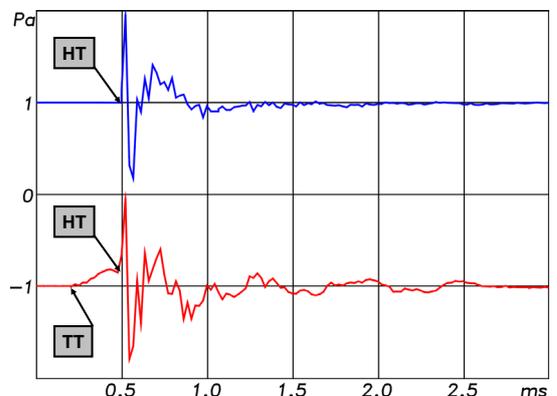
### Sprungantwort



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung  
Folie Nr. 29



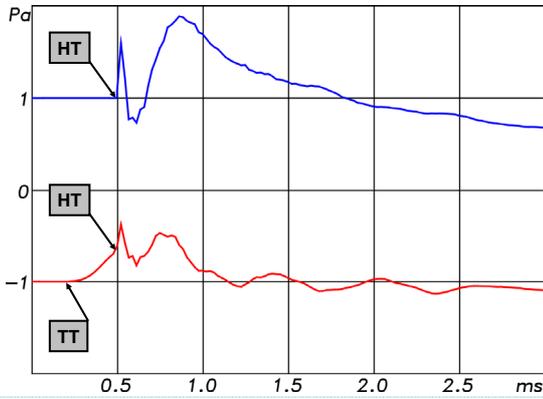
### Laufzeitanpassung zwischen TT und HT in der Impulsantwort



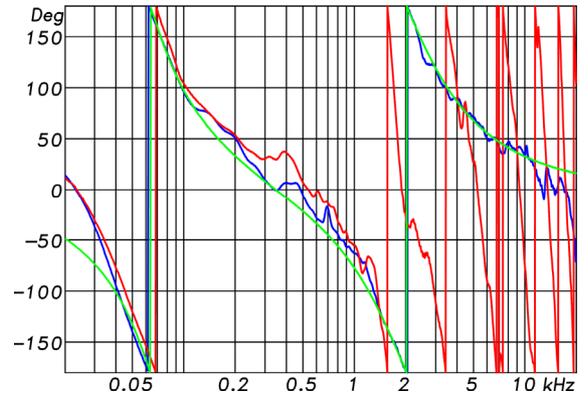
DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung  
Folie Nr. 30



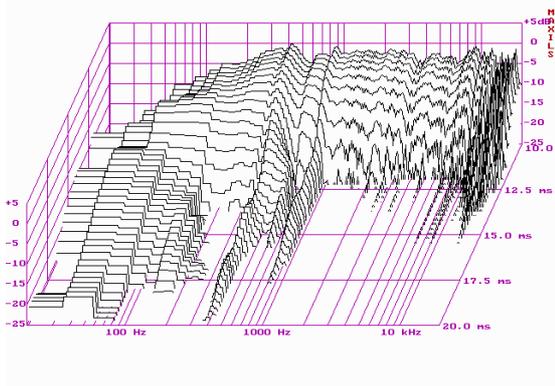
Laufzeitanpassung zwischen TT und HT in der Sprungantwort



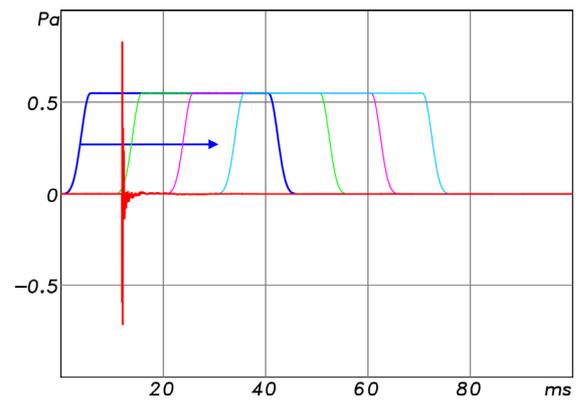
Phasendarstellung mit Bezug auf den TT



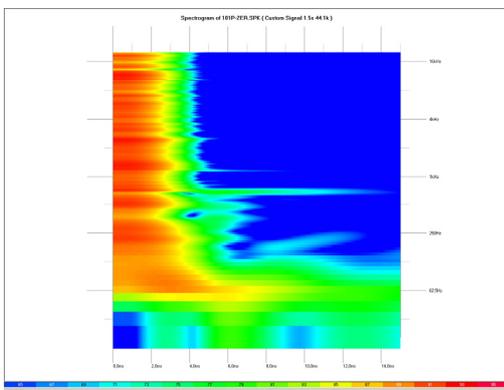
Zerfallsspektrum



Fensterung der Impulsantwort

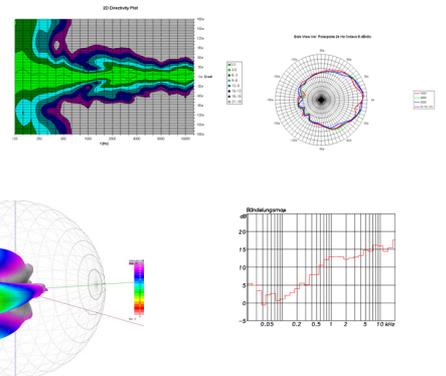


Spectrogramm

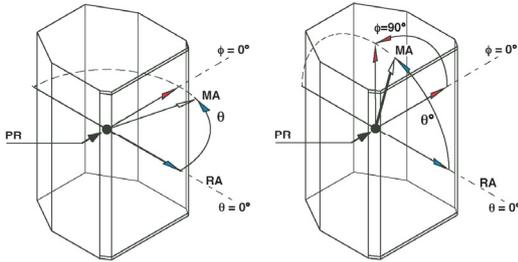


Räumliches Abstrahlverhalten

- Polardiagramme
- Isobaren
- Bündelungsgrad
- Balloon Daten



### Mechanik, Winkeldefinitionen



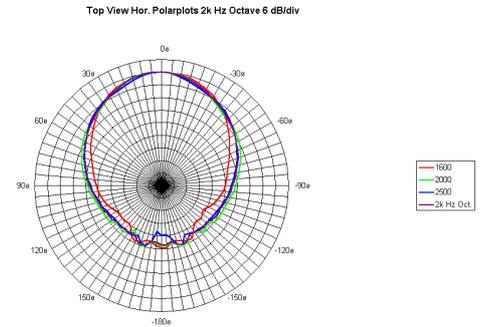
- Winkelbereiche :**
  - Vollkugel:  $\theta = 0 \dots 180^\circ$   $\phi = -180^\circ \dots 180^\circ$
  - Halbkugel:  $\theta = 0 \dots 180^\circ$   $\phi = -90^\circ \dots 90^\circ$
  - Viertelkugel:  $\theta = 0 \dots 180^\circ$   $\phi = 0^\circ \dots 90^\circ$
- Winkelauflösung:**
  - Genaue Messung:  $5^\circ$  oder weniger
  - Weniger genaue Messung bis  $15^\circ$
  - Bei Linearray entsprechend der Bauhöhe
- Frequenzauflösung**
  - Empfohlen: 8193 Linien (  $\sim 2.3$  Hz bei 48 kHz)



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung

Folie Nr. 37

### Polardiagramme



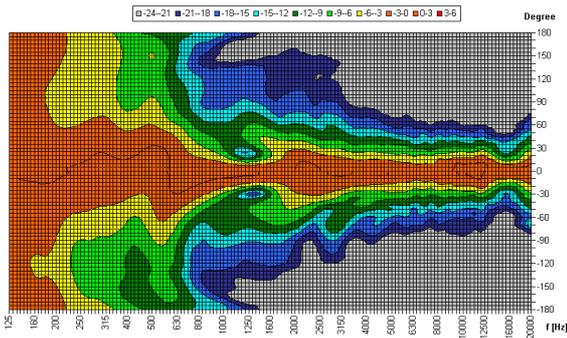
DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung

Folie Nr. 38

### Isobarendarstellung für die hor. und ver. Ebene

Source Data: E:\SABoon-Messungen\Oct20081\Top-par\M12-V230M12-7550-V23\_P02 Copyright by Four-Audio GmbH & Co. KG Licensed to AAC

Vertical Isobars of: Manufacturer XXX



Parameters: Cyclic Move:  $0^\circ$ ; Symmetry: no symmetry; Freq Smooth: 1/3 Oct; Ang Resol:  $5^\circ$ ; Rel. to  $0^\circ$  Axis  $0^\circ$

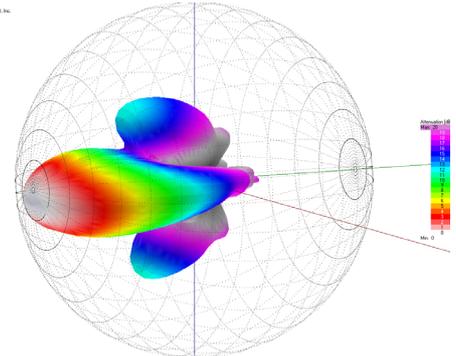


DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung

Folie Nr. 39

### Balloondaten

Source: SPKATED 7  
Manufacturer: SOUNDFIELD, Inc.  
Part Edition:  
Rev: 10/03



MSD48E 4.8 / EASE v4.8 / 7/20/05 11:24:14 / Audio & Acoustics Consulting GmbH - GmbH - GmbH



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung

Folie Nr. 40

### Messaufbau



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung

Folie Nr. 41

### Aktuelle Datenformate



Winkelaufösung in $^\circ$	Anzahl Messpunkte	Frequenzauflösung in Oct.	Messdauer in h <sup>*1</sup>	Nahfeld-Fernfeld-Betrachtung	Phasendaten	Formate
10	614	1/1	1	Fernfeld	Nein	EASE 2.1 CATT Modeler CADP2
5	2522	1/1	1-3	Fernfeld	Nein	Ulysses 2.60
5	2522	1/3	1-3	Fernfeld	Nein	EASE 3.0 CLF
5	2522	1/3	1-3	Fernfeld	Ja	EASE 4.0
beliebig	-	beliebig	1-48	Nahfeld-Fernfeld mit Einzelquellen	Ja	EASE bzw. CATT DLL
beliebig	-	beliebig	1-48	Nahfeld-Fernfeld mit Einzelquellen	Ja	Speaker LAB GLL

\*1 Messdauer je nach Symmetrie der Box ohne Interpolation

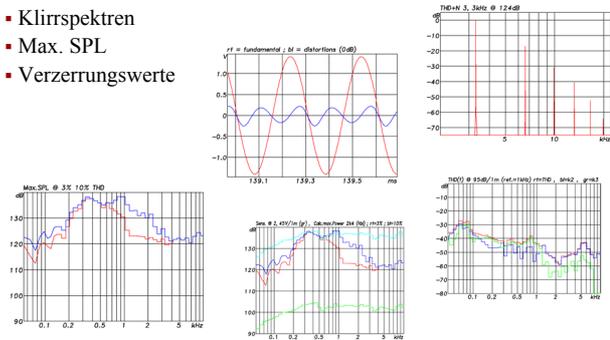


DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung

Folie Nr. 42

### Nichtlineares Verhalten

- Klirrspektren
- Max. SPL
- Verzerrungswerte

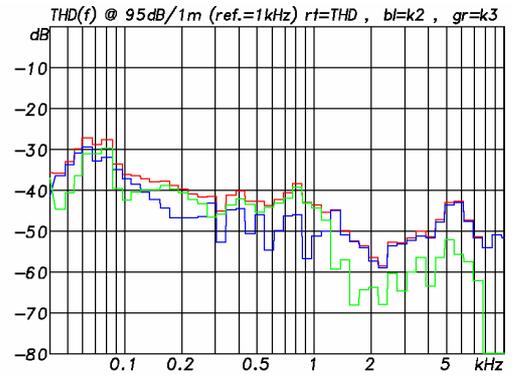


DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung

Folie Nr. 43



### Verzerrungen bei konstantem Eingangspegel

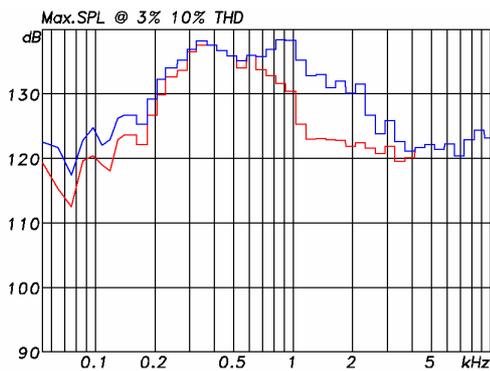


DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung

Folie Nr. 44



### Maximalpegel

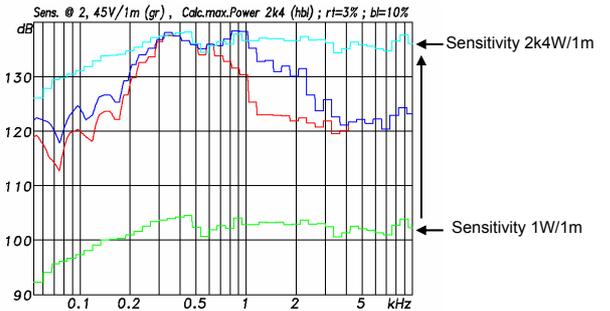


DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung

Folie Nr. 45



### Berechneter Maximalpegel



- Berechneter Max.SPL aus der 1W/1m Sensitivity und dem Leistungslimit ohne Berücksichtigung der Verzerrungen



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung

Folie Nr. 46



### Fazit

- Die wichtigsten Kriterien bei der Lautsprecherauswahl
  - Abstrahlverhalten (Directivity)
    - die Directivity eines Lautsprechers ist nicht „gut“ oder „schlecht“ sondern nur passend oder unpassend
    - in der Regel nicht veränderbar
    - Lautsprecher mit (in gewissen Grenzen) variablem Abstrahlverhalten
  - Maximalpegel
    - abhängig vom Signal (spektrale Verteilung und Crestfaktor)
  - Frequenzgang
    - kann in Grenzen durch Filterung noch beeinflusst werden
  - Daten der Lautsprecher
    - hoch aufgelöste Simulationsdaten
    - für „normale“ Lautsprecher genügen einfache Balloondaten
    - DSP-Zeilen und Line-Arrays benötigen zwingend GLL- oder DLL-Daten für eine korrekte Nahfeld – Fernfeld Darstellung



DEGA Akademie Raumakustik und Beschallung

Folie Nr. 47

