



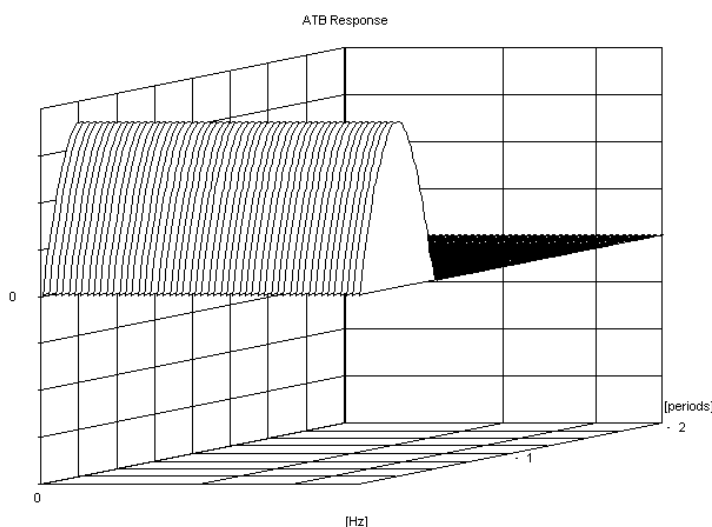
# 1 Theorie der 3D Step-Response Messung

## Der Klang des Lautsprechers sichtbar gemacht

Lautsprecherentwickler, Tester und Käufer haben immer mehr Schwierigkeiten bei der Beurteilung des Lautsprecherklanges. Die hochwertigen Lautsprecher haben ausgeglichene Frequenzgänge, sind im Klang aber vollkommen unterschiedlich. Dies zeigt, dass der Frequenzgang für die Beurteilung nicht ausreichend ist. Der Frequenzgang wird mit gleichbleibenden (statischen) Signalen wie Sinus oder berechnetes Rauschen gemessen. Musik dagegen besteht aus wechselnden (dynamischen) Signalen. Die Erforschung von Musik zeigt, dass der Klang eines Instrumentes durch Impulse bestimmt wird. Gerade der erste Impuls wie das Zupfen der Gitarrenseite, der Anschlag der Klaviertaste, der Schlag auf eine Trommel und das Anblasen einer Orgelpfeife oder Blasinstrumentes. Da der Lautsprecher diese Signale überträgt, muss er auch mit dem dynamischen Signal, dem Sprung, getestet werden. Das Ergebnis ist die Sprungantwort (Step-Response). In der Sprungantwort ist die gesamte Information über die akustischen Eigenschaften des Lautsprechers enthalten. Hierzu gehören der Frequenzgang, der Phasengang und das Einschwingverhalten. Daher ist diese Darstellung so komplex, dass eine Beurteilung des Lautsprechers anhand der Messung kaum möglich ist. Deshalb wurde die 3D Step-Response Messung entwickelt. Bei der Messung wird die Sprungantwort analysiert und als 3D Grafik gezeigt. Die 3D Messung zeigt die Impulswiedergabe für jede einzelne Frequenz durch die zusätzliche Frequenzachse. Die Messung ermöglicht erstmalig eine messtechnische Analyse des Lautsprecherklanges und ist ein unverzichtbares Hilfsmittel für Entwickler, Tester und Kunden.

## Das Messsignal der 3D Step-Response Messung

Das Messsignal für die 3D Step-Response Messung ist die Sinus-Halbperiode. Bei der Betrachtung von Musiksignalen auf dem Oszilloskope erscheint bei dem klangentscheidenden ersten Impuls ein der Sinus-Halbperiode entsprechendes Signal. Der Impuls ist entsprechend der Tonhöhe, Frequenz des gespielten Tones, schmaler oder breiter. Daher wird die Messung mit Sinus-Halbwellen verschiedener Frequenz durchgeführt. Diese Messung ist gleichzeitig die Analyse der Sprungantwort. Die Deutung der 3D Step-Response Messung ist durch einen Vergleich von der Darstellung des Messsignals und der Darstellung des gemessenen Signals einfach. Alle Abweichungen von dem Messsignal sind Fehler des Lautsprechers. Bei elektrischen Geräten wie Verstärkern ist bei der Messung kein bedeutender Unterschied zwischen Eingangs- und Ausgangssignal zu erkennen.

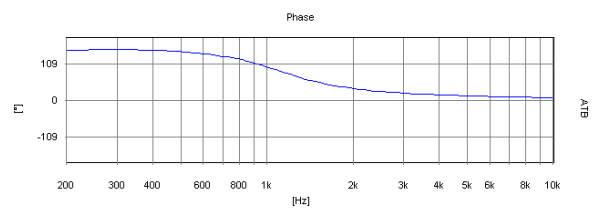
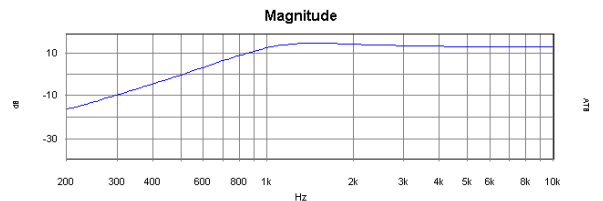
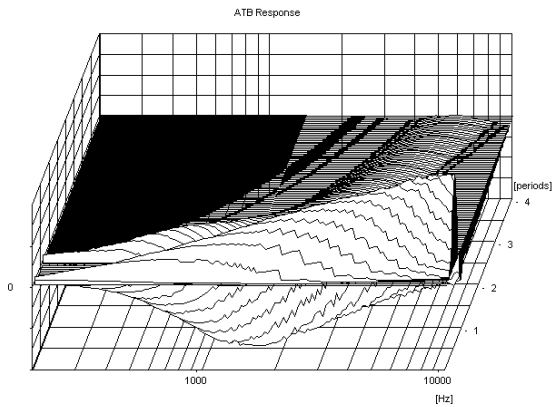
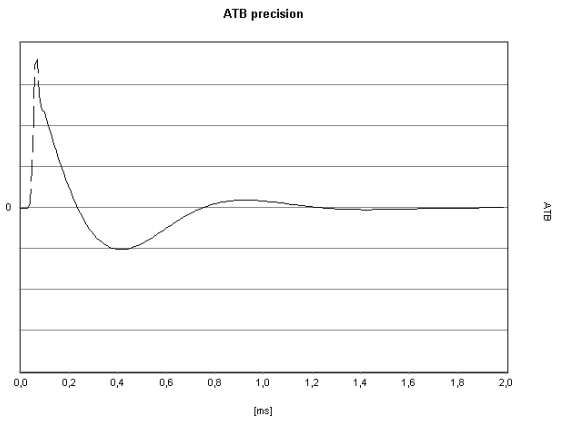
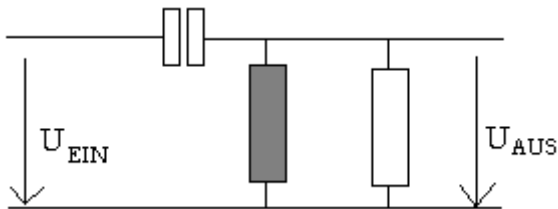


Die Grafik zeigt das Messsignal für die 3D Step-Response Messung. Die y-Achse ist die Amplitude als absolute Darstellung mit +/- also Über- und Unterdruck des Lautsprechersignals. Die x-Achse ist die Frequenz. Die z-Achse ist die Zeit in Perioden normiert. So können tiefe und hohe Frequenzen mit sehr unterschiedlichen Periodenlängen gleichzeitig dargestellt werden. Außerdem ist die akustische Phase ersichtlich.

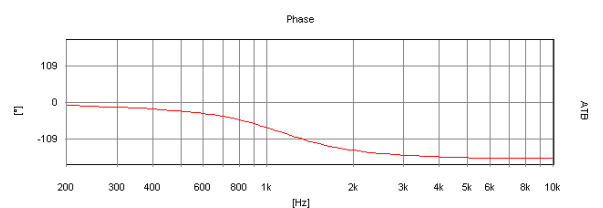
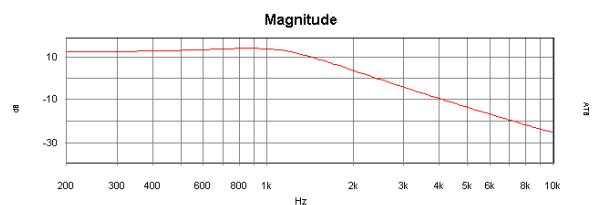
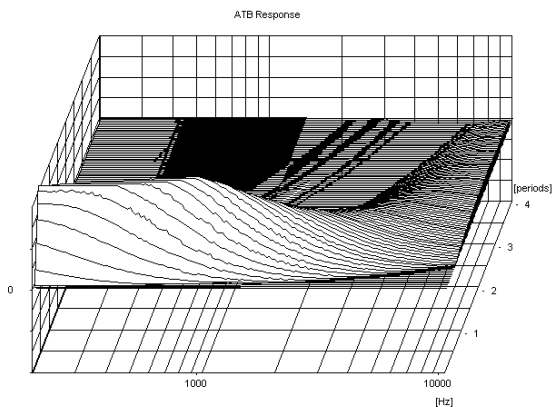
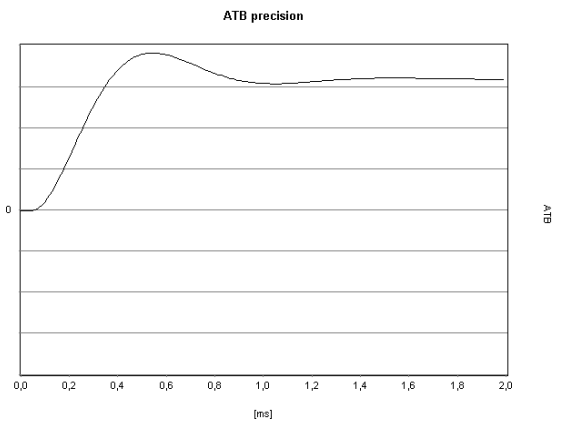
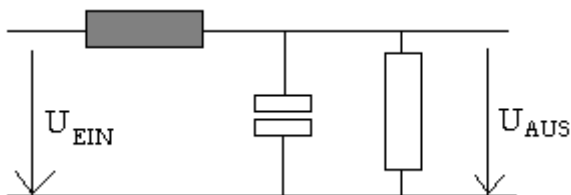
## 2. Beispiele für elektrische 3D Step-Response Messung

Mit der Messung sollen 3 Grundschaltungen gemessen werden.

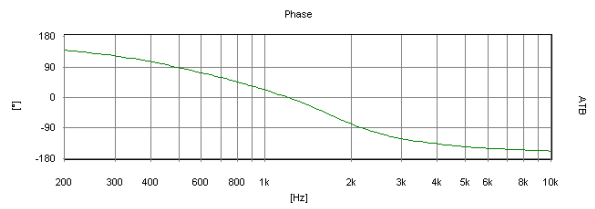
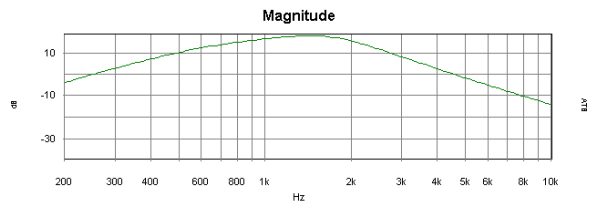
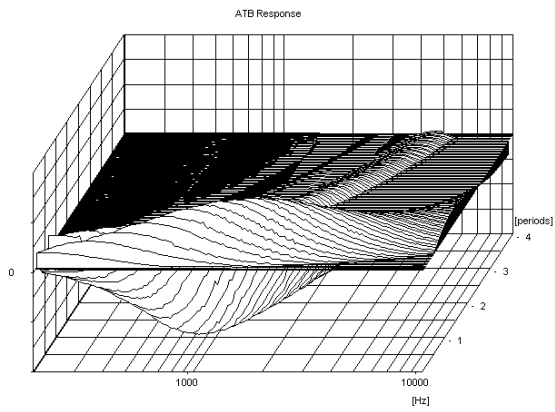
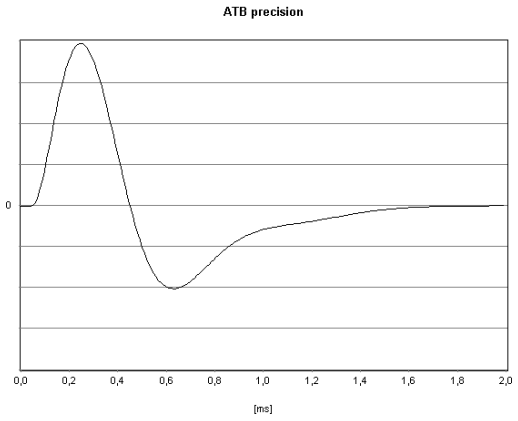
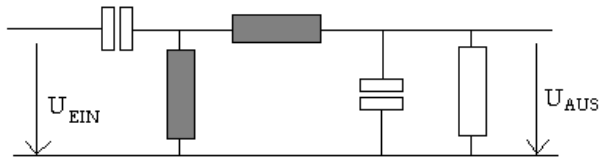
12 dB / Oktave Hochpass



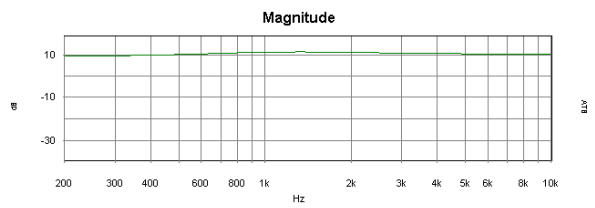
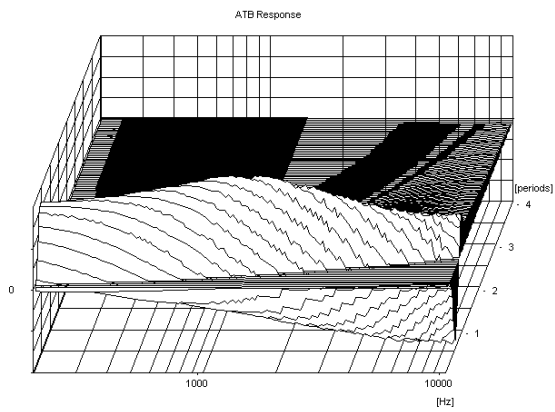
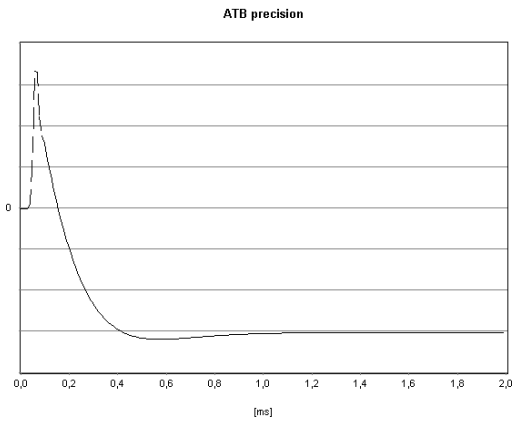
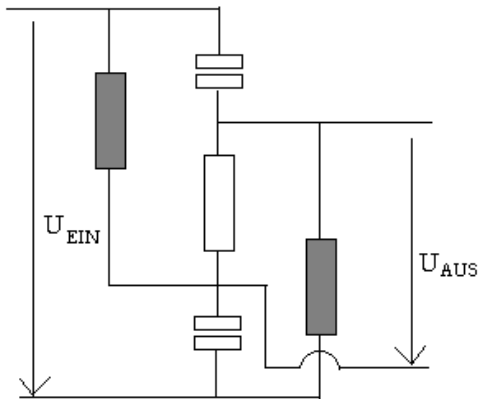
12 dB / Oktave Tiefpass



### 12dB / Oktave Bandpass



### Allpass



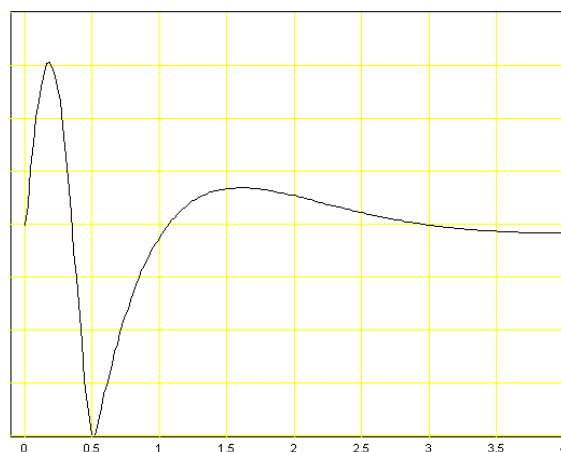
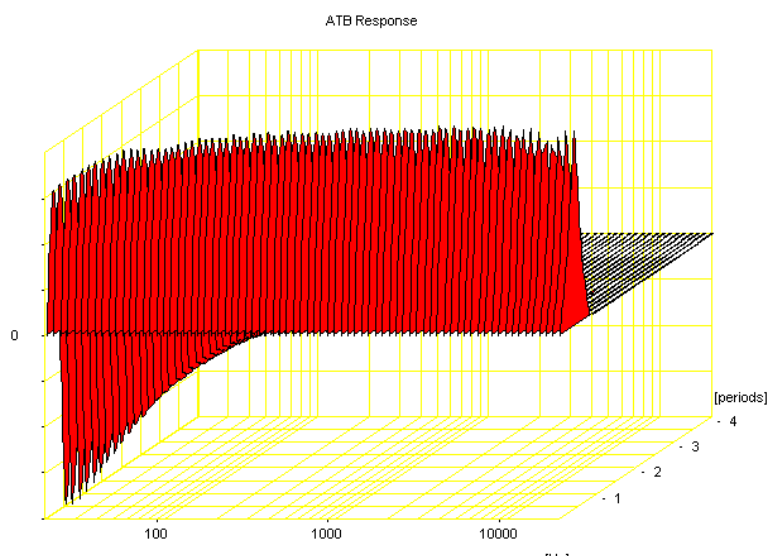
### 3. Messbeispiele

#### 3.1 Verstärker 3D Step-Response Messungen

Verstärker werden als die weniger kritischen Bausteine in einer Übertragungskette angesehen. Mit linearen Frequenzgängen von 10Hz – 500KHz und Klirrfaktoren von < 0.001 % soll dokumentiert werden, dass das Ausgangssignal genau dem verstärkten Eingangssignal entspricht. Die 3D Step-Response Messung zeigt aber, dass bei den meisten Verstärkern diese Annahme nicht stimmt. Gerade bei dem der Musik am ähnlichsten Testsignal, dem halben Sinus, wird die Formel Ausgangsspannung = V x Eingangsspannung, V = Verstärkung, im Übertragungsbereich von 20Hz – 20kHz nicht erfüllt. Einen der Formel entsprechenden Verstärker zu entwickeln ist keine Frage des Aufwandes sondern der Dimensionierung der Bauteile, eine Kunst, die nur von wenigen Entwicklern beherrscht wird.

Bei dem messtechnischen und klanglichen Vergleich von Verstärker besteht eine eindeutige Relation zu der 3D Step-Response Messung. Die unterschiedlichen Klangcharakteristiken der Verstärker z.B. im Tieftonbereich lassen sich eindeutig aufzeigen. Wird die Sinushalbperiode im Tieftonbereich übertragen, ist die Tieftonwiedergabe kraftvoll und natürlich. Zeigt der halbe Sinus ein deutliches Überschwingen in den negativen Bereich, ist die Tieftonwiedergabe wenig druckvoll bis mager. Geht das Ausschwingen der halben Sinushalbperiode vom negativen in den in den positiven Bereich weiter, ist die Basswiedergabe brummig ohne Tiefgang und Differenzierung.

Das folgende Bild zeigt die 3D Step-Response Messung eines kleinen, aber schon als hochwertig eingestuften Verstärkers.

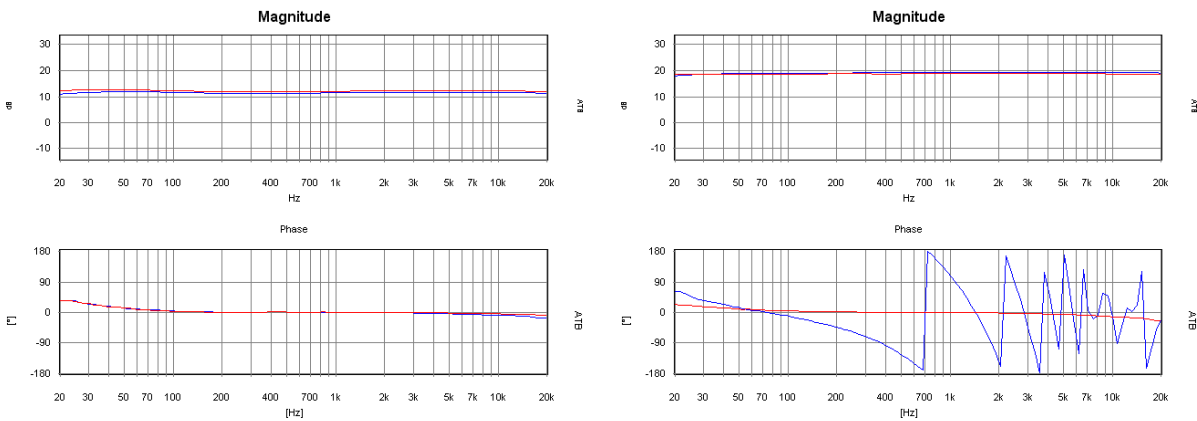


### 3.2 Digitale Schaltungen

Sehr wichtig ist die 3D Step-Response Messung zum Testen der Digitaltechnik.

Bei der digitalen Schaltungstechnik werden hauptsächlich die Frequenzgänge betrachtet und das Zeitverhalten idealisiert. In Prospekten werden keine Messungen, sondern nur Ausdrücke aus dem jeweiligen Entwicklungssystem gezeigt.

Dass die Digitaltechnik alles andere als ideal ist, soll der Vergleich von analogen und digitalen Surroundverstärker zeigen. Beide Verstärker sind auf die Betriebsart Dolby PRO LOGIC geschaltet. Als Erstes werden Frequenzgang und Phase gezeigt.



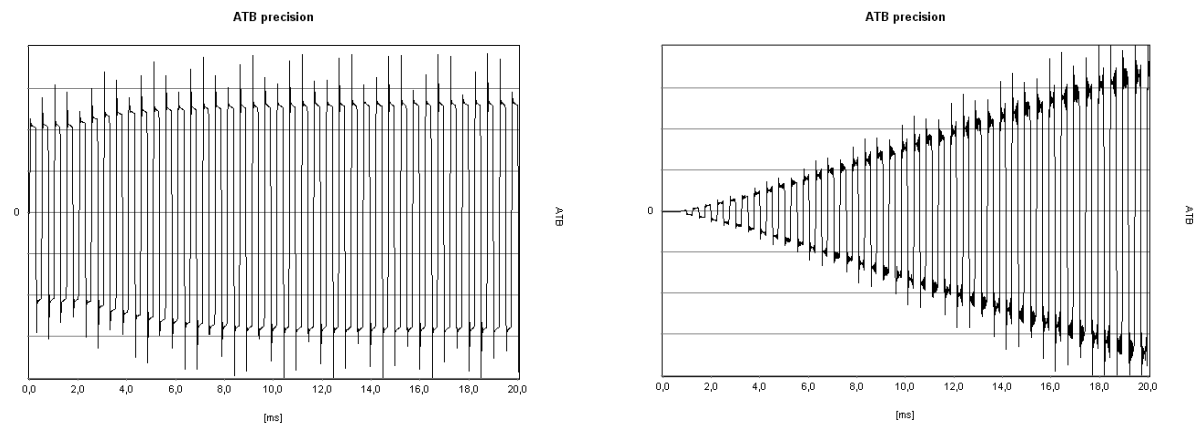
Analog

Digital

In beiden Bildern ist die Messung mit und ohne Decoder gezeigt. Der Frequenzgang des digitalen Gerätes ist etwas ausgeglichener. Die Phasendrehung im 2. Bild weist auf den digitalen Decoder hin. Die Drehung entsteht durch die Verzögerung des Signals durch die Digitalelektronik. In einer weiteren Messung kann die Verzögerung herausgerechnet werden und die eigentliche Phase dargestellt. In den folgenden Oszilloskop Bildern wird das Zeitverhalten der Decoder bei einer Ansteuerung mit einem Rechtecksignal mit der Frequenz 2kHz gezeigt.

Analog

Digital

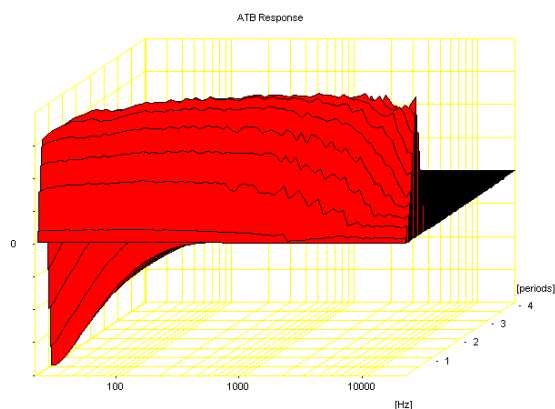


Das Bild des digitalen Decoders ist typisch für eine digitale Schaltung. Im Gegensatz zur analogen Schaltung wird der Anstieg eines Signals langsam aufgebaut. Aus der graden Flanke des entstehenden Dreiecks ist die digitale Funktion zu erkennen. Die Zeit vom Start der Messung bis zur vollständigen Übertragung der Eingangsspannung beträgt 20ms. Bei dieser langen „Einschwingzeit“ kann davon ausgegangen werden, dass kein Musiksignal richtig übertragen wird. Dass diese Funktion keine Eigenschaft des Dolby Decoders ist, zeigt der Vergleich mit der analogen Schaltung. Beim analogen Decoder ist der Regelvorgang zur Dekodierung bei den ersten ms zu sehen. Dieser Vorgang lässt aber nicht auf eine starke Klangbeeinflussung schließen.

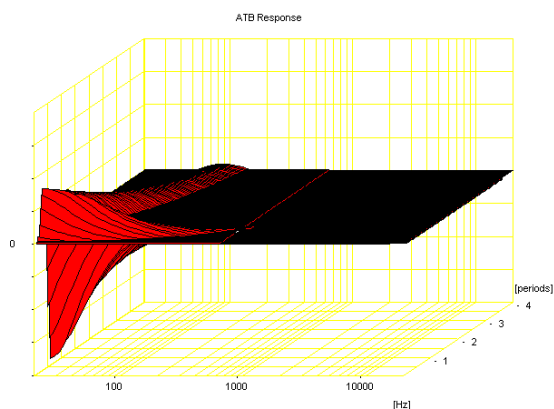
In den Bildern des Oszilloskops wurde die Funktion des digitalen Decoders gezeigt.

In der folgenden 3D Step-Response Messung wird die Auswirkung des Decoders auf die Musikübertragung und damit die Klangeigenschaften gezeigt.

Analog



Digital



Der analoge Decoder zeigt die Eigenschaften eines Verstärkers der Mittelklasse. Das Übertragungsverhalten des digitalen Decoders ist einfach schlecht. Alle Musikimpulse werden nicht übertragen. Das Ergebnis ist ein künstlicher Klang, der auch bei Filmen keine Freude aufkommen läßt.

### 3.3 Akustische Messungen im Raum

Die Messung des Schalldruckes eines Lautsprechers über den Frequenzgang SPL (Schalldruckkurve) sowie der akustische Phasengang und das Impulsverhalten sind akustische Messungen. Die akustischen Messungen werden im Gegensatz zu den elektrischen Messungen von den akustischen Eigenschaften der Umgebung beeinflusst. Folgend soll gezeigt werden, wie der Einfluß des Messraumes verringert werden kann.

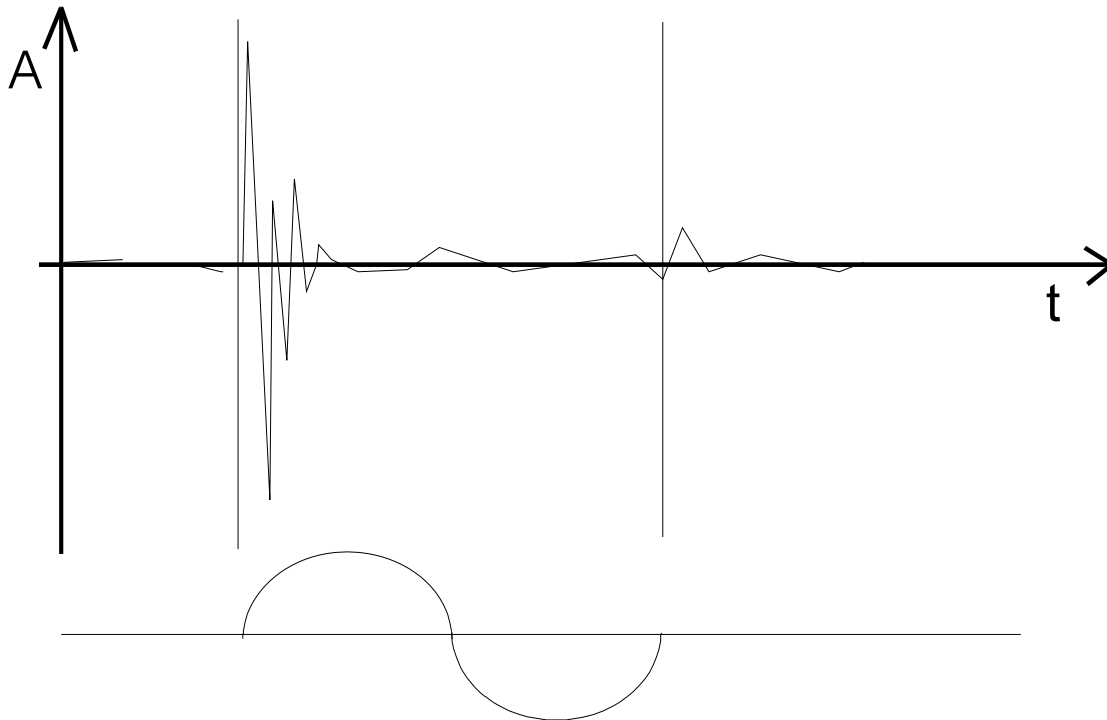
Die 3D Response-Messung ermöglicht eine genaue Trennung von Lautsprecher und Raummessung. Bei der Messung mit dem Pegelschreiber ist diese Trennung nicht möglich. Der Pegelschreiber, der als Messsignal den Sinus-Sweep benutzt, benötigt einen schalltoter Messraum. In dem Raum sind die Wände so akustisch bedämpft, dass Reflexionen unterdrückt werden. Im Tieftonbereich, wo die Abmessung des Raumes im Bereich der Wellenlänge des Tones liegt, entstehen stehende Wellen die nicht unterdrückt werden können. Hier hilft die Schreibgeschwindigkeit des Pegelschreibers als Glättungsfunktion. Auch im übrigen Frequenzbereich wird durch die Schreibgeschwindigkeit mehr geglättet als der Entwickler zugibt oder ihm bewußt ist.

Die Bedeutung der Zeitfenster bei den FFT-Messungen

Da nicht jedem Entwickler ein Schalltoter Raum zur Verfügung steht, wurde, um den Einfluß von Raumreflexionen auf die Lautsprechermessung zu verringern, die FFT-Messung entwickelt. Bei dieser Messung wird als Messsignal ein Rauschen benutzt, in dem alle Frequenzen mit gleicher Amplitude enthalten sind. Dies kann ein MLS oder K-MC Signal sein. Bei den Messungen werden Zeitfenster gesetzt, so dass nur der direkt vom Lautsprecher abgestrahlte Schall gemessen wird. Die verzögert am Messmikrofon eintreffenden Raumreflexionen liegen außerhalb des Zeitfensters und erscheinen nicht im Frequenzgang.

Diese auf den ersten Blick ideale Meßmethode stellt bestimmte Bedingungen an das Zeitfenster. Werden diese Bedingungen nicht eingehalten, führt dies zu falschen Messergebnissen. Die Bedingungen für das Zeitfenster sollen folgend gezeigt werden.

Zum Setzen des Zeitfensters ist immer eine Testmessung erforderlich. Diese Messung ist eine Impulsmessung, die mit dem MLS Signal durchgeführt werden kann. Das Messergebnis ist die Impulsantwort. In der Impulsantwort wird die Amplitude des vom Mikrofon aufgenommenen Schalldruckes zeitlich dargestellt.



Das Bild zeigt eine Impulsantwort ( Impulse Response ) eines Lautsprechers. Auf der y-Achse wird die Amplitude A und auf der x-Achse die Zeit t dargestellt.

Von der Zeit  $t = 0$  bis zum Anfang der großen Amplitude ist die Laufzeit des Schalles zu sehen. Die große Amplitude wird über die Zeit immer kleiner und nach einiger Zeit erscheint eine neue höhere Amplitude. Dieses verzögerte Signal zeigt eine Reflexion. Um die Reflexion bei der folgenden Berechnung des Frequenzganges auszublenden, wird ein Zeitfenster vom Anfang des Signals bis zur Reflexion gesetzt. Aus den Messwerten innerhalb dieses Zeitfensters wird mit Hilfe der FFT der Frequenzgang des Lautsprechers berechnet.

Unter dem Zeitfenster wird eine Periode einer Sinusschwingung gezeigt.

Für die Auswertung der Impulsantwort mit der FFT bestehen folgende Bedingungen:

1. Die Wellenlänge der niedrigsten auszuwertenden Frequenz kann nur der Länge des Zeitfensters entsprechen. Je kürzer das Zeitfenster desto höher die niedrigste Frequenz. In den Frequenzgangschrieben der teureren Messprogramme wird die Frequenz gezeigt.
2. Die niedrigste auszuwertende Frequenz hat noch weitere Konsequenzen. Sie legt bei der FFT den Abstand der FFT Punkte fest. Die FFT Punkte sind die Frequenzen, für die Amplitudenwerte berechnet werden. Der Frequenzabstand der FFT Punkte ist konstant und hat den Wert der niedrigsten Frequenz. Die Amplitudenwerte der FFT Punkte bilden die Messkurve.
3. Dies bedeutet, dass bei einer niedrigsten Frequenz von z.B. 300Hz auch nur alle 300Hz ein Amplitudenwert angezeigt wird. Diese geringe Frequenzauflösung läßt eine Messkurve zwar glatt erscheinen, verfälscht aber das Messergebnis gewaltig.

Das vom Messtechniker gewählte kurze Zeitfenster zeigt einen glatten Frequenzgang, der angeblich durch die Ausblendung der nach kurzer Zeit auftretenden Raumreflexionen entsteht. In Wahrheit wird der schöne Frequenzgang fast nur durch die mangelhafte Frequenzauflösung erreicht.

Diese Verfälschung der Messung wird beim ATB durch eine andere Messmethode vermieden. Bei der FFT-Messung des ATB's werden auch Zeitfenster gesetzt und die Raumreflexionen werden ausgeblendet.

Um die Falschmessung durch kurze Zeitfenster zu vermeiden, wird nur der Anfang des Zeitfensters vom Anwender eingestellt. Die Länge des Fensters wird vom Messprogramm so gewählt, dass die Messung immer richtig ist. Um die Raumreflexionen sogar besser als bei den vorher beschriebenen Verfahren mit einem Zeitfenster zu unterdrücken, wird der Frequenzbereich von 18Hz bis 24kHz in 4 Bereiche unterteilt. Jeder Teilbereich erhält ein eigenes Zeitfenster, das dem Frequenzbereich angepasst wird. So wird für hohe Frequenzen ein sehr kurzes Fenster für mittlere Frequenzen ein längeres und für tiefe ein langes Fenster gewählt. Für die Messung ab 300Hz besteht so eine Frequenzauflösung von 6Hz gegenüber 300Hz bei der Messung mit kurzem Zeitfenster. Die höhere



Auflösung enthält entschieden mehr Informationen, zeigt aber keine glatte, jedoch korrekte Kurve, die aus 4 Teilbereichen zusammengefügt wird. Durch Glätten kann die Kurve freundlicher dargestellt werden. Hierbei ist die Glättungsfunktion so ausgelegt, dass die Charakteristik der Kurve erhalten bleibt und die Frequenzgangkurve des Lautsprechers nicht verfälscht wird.

Die Messung von Tieferen Frequenzen im Raum.

Wie schon beschrieben, besitzt auch der schalltote Messraum eine untere Grenzfrequenz, die die Messung verfälscht. Außerdem entspricht die Messung im Schalltotem Raum auch nicht dem Hörergebnis, da der Lautsprecher beim Hören auf dem Boden steht und der Tieftöner eine andere Umgebung als im schalltotem Raum sieht. Der Boden bewirkt eine Anhebung von ca. 3dB für tiefe Frequenzen, wobei der Frequenzbereich von der Konstruktion des Lautsprechers abhängt.

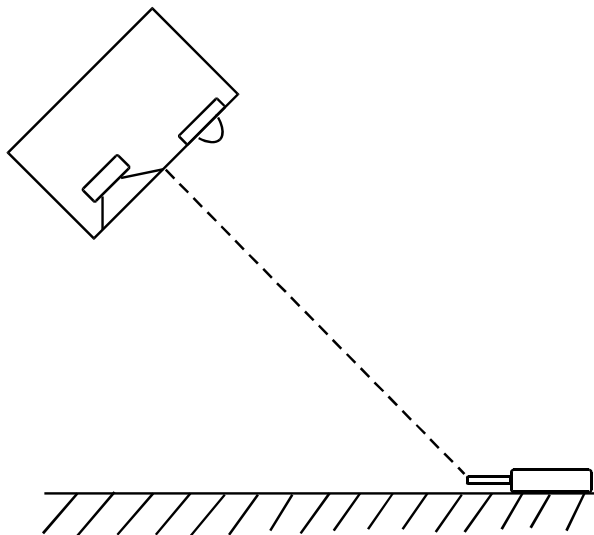
Als ideale Messung erscheint nur die Freifeldmessung. Der Lautsprecher steht dabei erhöht auf einem großen Platz mit wenigstens 20m entfernten Begrenzungen. Der Lautsprecher steht in der Mitte und das Meßmikrofon 1m entfernt. Störgrößen bei der Messung sind Wind- und Umgebungsgeräusche.

Die Nahfeldmessung des Lautsprechers.

Bei der Nahfeldmessung des Lautsprechers wird die physikalische Eigenschaft des Schalls ausgenutzt, dass der Schalldruck mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt. Ein Messmikrofon wird im Abstand von 10cm vor den Tieftöner gestellt. Hierbei ist der direkte Schall um ein vielfaches größer als der reflektierte, so dass nur der direkte Schall gemessen wird. Diese Messung wird nur unterhalb von 300Hz durchgeführt und durch eine Messung für den Frequenzbereich oberhalb von 300Hz ergänzt. Die zweite Messung wird im Abstand von 1m durchgeführt um Mittel- und Hochtöner zusammen zu messen. Ein Nachteil der Nahfeldmessung ist das Bündelungsmaß, eine Überhöhung des Schalldruckes im Nahfeld. Sind im Tieftonbereich mehrere Schallquellen vorhanden, z.B. Tieftöner und Bassreflexrohr, können beide Schallquellen nur durch eine Messung mit 2 Mikrofonen erfasst werden. Bei mehreren Tieftönern wird die Messung recht ungenau.

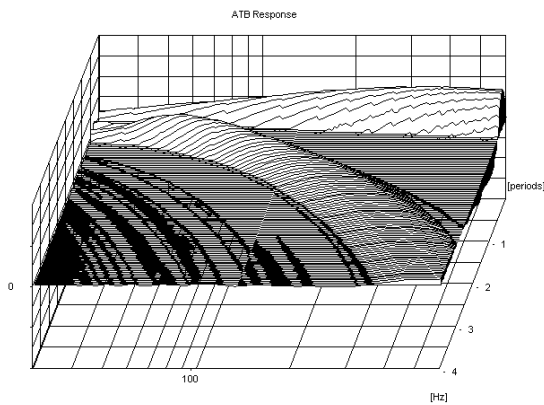
Grenzflächenmessung

Bei der Grenzflächenmessung wird das Messmikrofon als Grenzflächenmikrofon betrieben. Das Mikrofon liegt flach auf dem Boden und besitzt dabei eine Halbkugelcharakteristik.



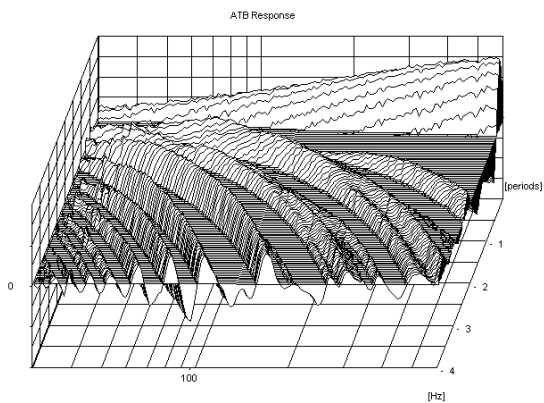
Das Bild zeigt die Anordnung von Lautsprecher und Mikrofon.

Die Schallwellen des Lautsprechers treffen schräg auf den Boden und werden in den Raum reflektiert. Dies macht sich besonders im Mittel-Hochtonbereich positiv bemerkbar. Auch im Tieftonbereich, in dem sich die Raumresonanzen ausbilden, wird deren Energie vom Grenzflächenmikrofon nur zur Hälfte erfasst, so dass sie die Messung nicht mehr so stark beeinträchtigen. Wegen der Raumresonanzen gilt auch hier: je größer der Messraum desto besser.



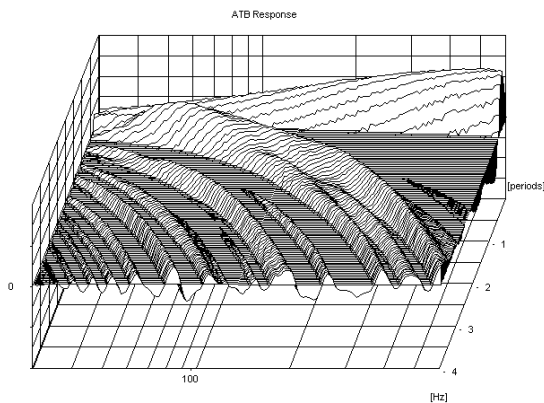
### 3D Step-Response Messung eines 2-Wege Lautsprechers im Nahfeld.

Die Messung wird zur Erkennung von Resonanzen und Reflexionen im REAR Modus, von hinten gezeigt. Die Zeit Null ist hinten. Das Mikrofon wurde zwischen Tieftöner und Bassreflexrohr angeordnet. In der Messung sind die Raumresonanzen nur angedeutet. Im hinteren Teil ist der Schalldruck des Tieftöners zu sehen. Der gebogene, nach vorne verlaufende Gebirgszug ist der Schalldruck der Bassreflexöffnung, dessen zeitliche Verzögerung deutlich zu sehen ist.



### 3D Step-Response Messung eines Lautsprechers mit einem Mikrofonabstand von 1m.

Im Bild sind deutlich die von hinten nach vorne verlaufenden, gebogenen Gebirgszüge zu erkennen. Dies sind Raumresonanzen. Im Bild z.B. ist bei der Frequenz 600Hz ein Gebirgszug bei 2,2 Perioden zu sehen. Die Verzögerungszeit beträgt  $1 / 600 \text{ 1/s} = 1,66 \text{ ms} \times 2,2 \text{ (Perioden)} = 3,66 \text{ ms}$ . Die Zeit entspricht einer Verzögerungsstrecke von  $340 \text{ m/s} \times 3,66 \text{ ms} = 1,24 \text{ m}$ . Diese Reflexion beeinträchtigt die Frequenzgangmessung stark und wird folgend beschrieben.

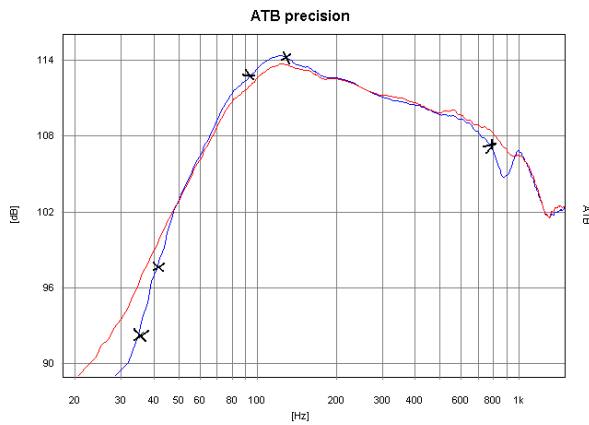


### 3D Step-Response Messung mit Grenzflächenmikrofon

Gegenüber dem oberen Bild von der Messung mit 1m Mikrofonabstand sind die Raumresonanzen entschieden geringer ausgebildet. Die durch einen Laufzeitunterschied von 1,24m entstehende Reflexion ist nicht mehr vorhanden. Die Reflexion entsteht durch den Schallweg vom Lautsprecher auf den Boden zum Mikrofon. Dies ist die erste bedeutende Beeinflussung der Frequenzgangmessung im Frequenzbereich von 100Hz...600Hz. Durch die Grenzflächenmessung wird dies verhindert.

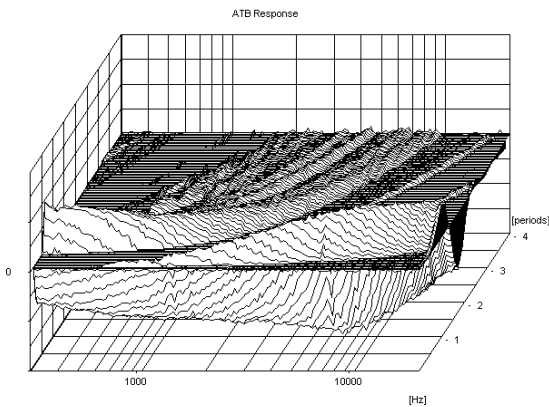
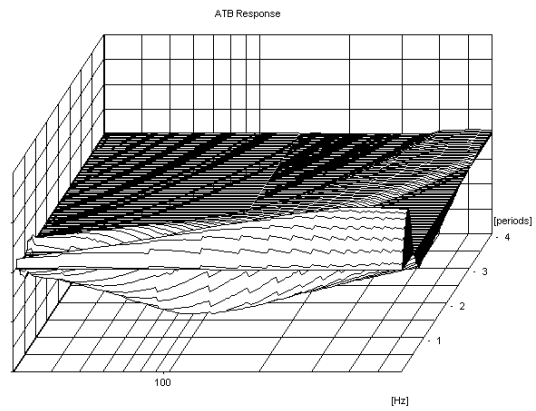
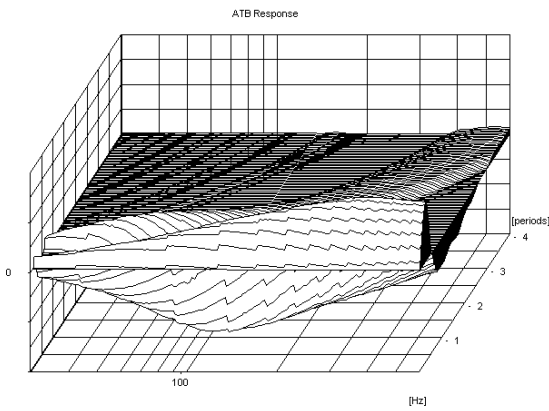
### 3.4 Lautsprecher 3D Step-Response Messungen

#### 1. Tieftonbereich



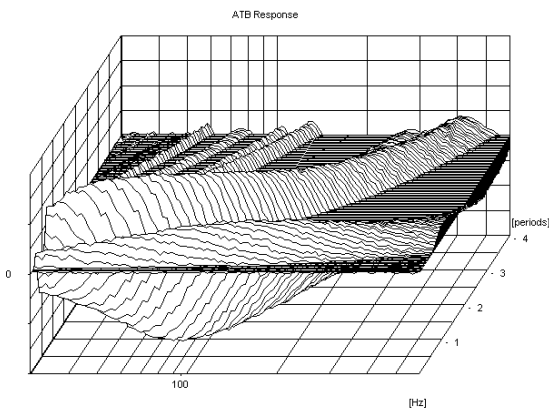
Messung eines Tieftonlautsprechers von 17cm Durchmesser im 10l Gehäuse

Vergleich von Bassreflexgehäuse, gekennzeichnete Linie, 3D Bild links, und geschlossenes Gehäuse, nicht gekennzeichnete Linie, 3D Bild rechts.



3D Step-Response Messung von einem Backloaded Horn ( Rutsche )

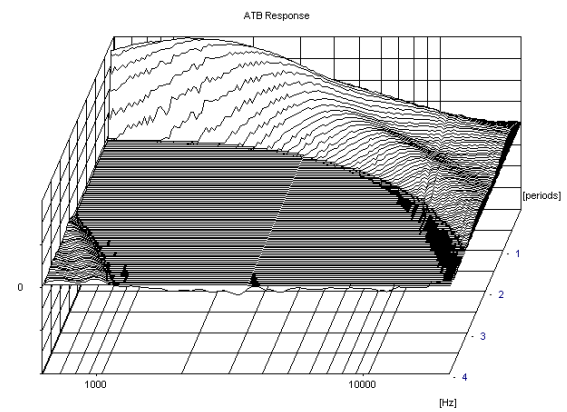
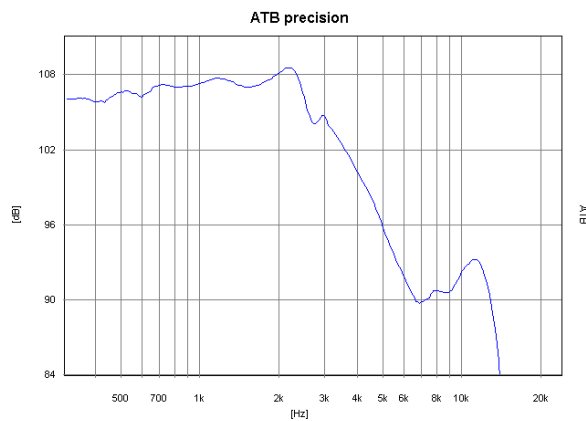
Deutlich ist der Schallanteil aus dem Horn zu sehen, und dass er für höhere Frequenzen zeitlich nicht mehr zu dem direkt abgestrahlten Schall passt.



3D Step-Response Messung von einem Bandpassgehäuse in Front Modus

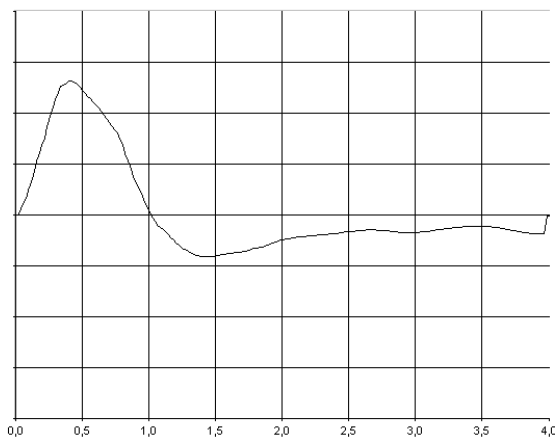
Im Bild sind deutlich die zwei Resonanzen des Bandpassgehäuses zu sehen. Die tiefe Resonanzfrequenz zeigt das 2. Überschwingen ( 3. Gebirge ) und die hohe Resonanzfrequenz zeigt das 1. Überschwingen ( 2. Gebirge ). Gut zu sehen ist auch die starke Phasendrehung zu höheren Frequenzen. Diese verhindert eine zeitrichtige Ankoppelung des Mitteltöners und führt zu einem Klang mit inhomogenem Tief-Mitteltonbereich.

## 2. Mitteltonbereich



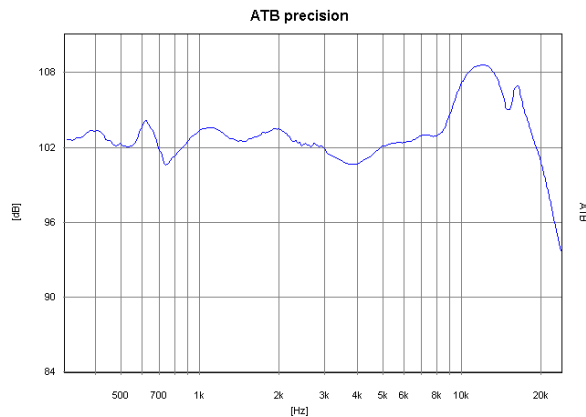
Frequenzgang eines hochwertigen Mitteltöners mit 75mm Durchmesser Schwingspule  
 Der Lautsprecher zeigt ein besonderes Verhalten, nämlich einen starken Abfall des Frequenzganges bei 2,2kHz. Dieser starke Abfall wird auch als akustische Weiche bezeichnet und erlaubt eine einfache 6dB/Oktave Weiche.  
 Bei Betrachtung des Frequenzganges kann man vermuten, dass der starke Abfall durch eine Gegenresonanz entsteht, die ihr Maximum bei 7kHz erreicht.

Bei Betrachtung der 3D Step-Response Messung wird dies bestätigt. Die Anregung mit Impulsen zeigt den steilen Frequenzabfall nicht. Also muß er durch eine Resonanz entstehen, die erst im eingeschwungenen Zustand auftritt. Die Gegenresonanz wird von der 3D Messung bei Darstellung der Rückansicht gezeigt. Die Signalfanke besitzt für höhere Frequenzen gezeigt einen Einbruch der durch die Gegenresonanz entsteht.

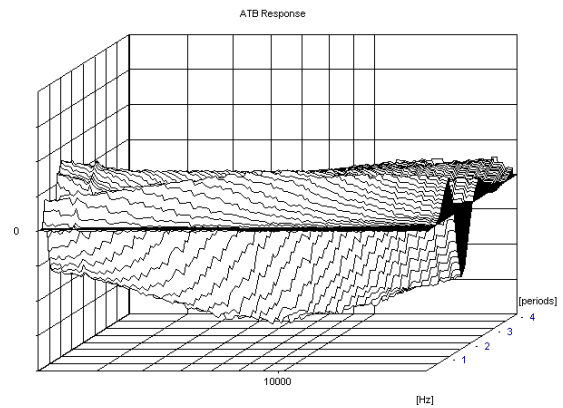


Das Bild zeigt den Analyser der 3D Step-Response Messung. Der Analyser zeigt das Profil der Messung für eine Frequenz. Mit dem Cursor kann die Messung dann ausgemessen werden.  
 Die Frequenz der Darstellung ist 4,4kHz. Der Lautsprecher muß dementsprechend auch eine Sinushalbwellen mit einer halben Periode, entspricht 0,5 auf der Periodenachse, zeigen. Bei 4,4kHz zeigt er aber 1 Periode, entsprechend einer Frequenz von 2,2kHz an. Dies zeigt, dass der Lautsprecher, dessen akustische Weiche durch eine Gegenresonanz erzeugt wird, nicht in der Lage ist beim Einschwingen die richtige Frequenz zu erzeugen.

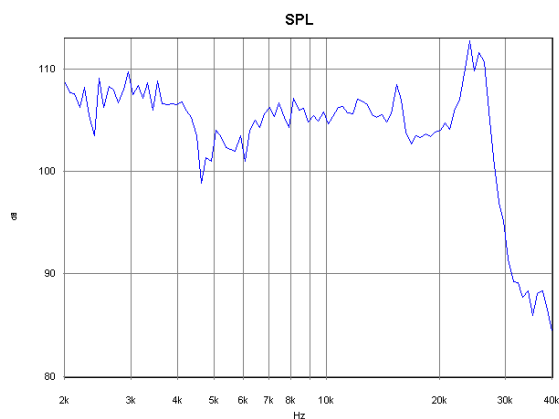
### 3. Hochttonbereich



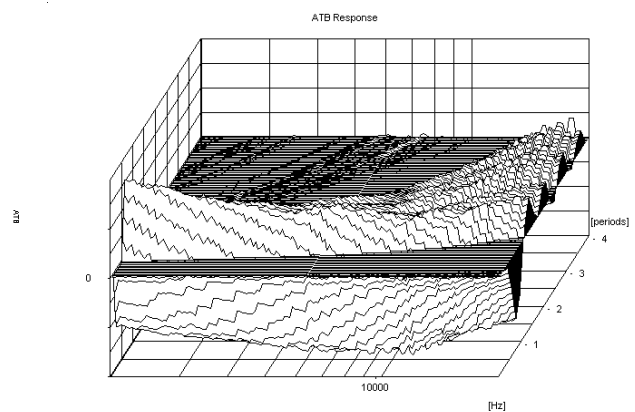
Das Bild zeigt den Frequenzgang einer 28mm Textil Hochttonkalotte mit einem Mitteltöner. Deutlich ist die Frequenzüberhöhung bei 13kHz zu erkennen.



Das Bild zeigt die 3D Step-Response Messung des Hochtöners. Wo bei der Frequenzgangmessung im eingeschwungenen Zustand eine Überhöhung war, ist jetzt ein Abfall. dies zeigt eine bedämpfte, matte Hochttonwiedergabe für die Impulse der Musik.

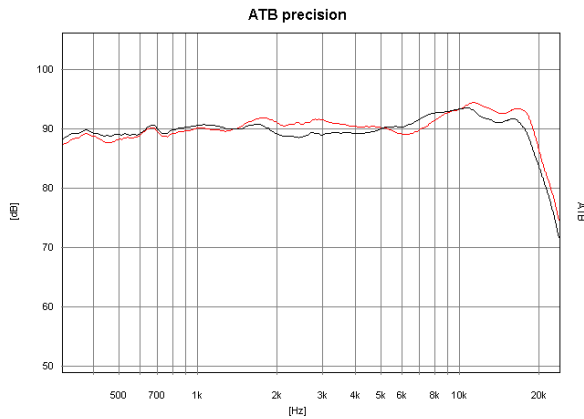


Das Bild zeigt den Frequenzgang einer hochwertigen 25mm Metall Hochttonkalotte. Deutlich ist die Resonanzfrequenz bei 25kHz zu sehen. Die Resonanz liegt außerhalb des Hörbereiches und sollte für die Musikwiedergabe keine Bedeutung mehr haben. das dies nicht so ist, zeigt die 3D Messung.



Das Bild zeigt die 3D Step-Response Messung des Metall Hochtöners. Ab 10kHz sind Resonanzen deutlich zu erkennen. Auch unterhalb der Resonanz von 25kHz entstehen die sogenannten Subresonanzen, die das Klangbild aufhellen. Dagegen werden sie von vielen Hörern als unnatürlich und nervig, dem Musikhören abträglich, empfunden.

#### 4. 2-Wege Lautsprecher



#### Frequenzgangmessung eines 2-Wege Lautsprechers

Im Bild sind drei Frequenzgänge von einem Lautsprecher mit unterschiedlichen Weichen gezeigt. die eng nebeneinander liegenden Linien zeigen eine 6dB/Okt und 24dB/Okt Weichen. Die Frequenzgänge sind relativ ähnlich und zur Erkennung von Klangunterschieden kaum geeignet. Trotzdem sind beide Lautsprecher vollkommen unterschiedlich wie die 3D Step-Response Messung zeigen. Ebenso gibt es auch starke Klangunterschiede.

6dB/Okt Weiche rechts unten  
24dB/Okt Weiche links unten

