

Linienstrahler Prototyp

Inhalt

Motivation	2
Konzept.....	2
Prototyp.....	2
Messungen	3
Abstrahlverhalten horizontal	3
Abstrahlverhalten vertikal.....	4
Stege.....	5
Shading	6
Nichtlineare Verzerrungen	8
Fazit	10
Referenzen	11

Motivation

Das CBT-Konzept von D.B. Keele konzentriert sich ausschließlich auf das vertikale Abstrahlen von Linienstrahlern. Leider weisen alle seine Konzepte ein sehr breites und unausgewogenes horizontales Abstrahlverhalten auf. Schallführungen sind zwar im bei Line Arrays aus dem PA-Bereich Standard, allerdings hat sich das im Hifi-Bereich bisher nicht durchgesetzt.

Dieser Prototyp soll zeigen, dass man ein CBT sowohl vertikal als auch horizontal optimiert abstrahlen kann.

Konzept

Das Problem bei herkömmlichen Linienstrahlern mit mehreren Wegen besteht in der horizontalen Anordnung der verschiedenen Zweige. Das führt zu destruktiven Interferenzen im Bereich der Trennfrequenz und generell durch tiefe Trennungen in einem sehr breiten Abstrahlverhalten. Es wurde nach einer Lösung gesucht, das horizontale Abstrahlverhalten zu verbessern.

Mögliche Lösungskonzepte:

1. 2-Wege, von denen beide in der Schallführung sitzen. Die Schallführung ist dabei für den Tiefmitteltöner perforiert oder für hohe Frequenzen reflektierend abgedeckt.
2. 2-Wege, von denen nur der obere mit einer Schallführung ausgestattet ist

Bei der perforierten Schallführung sind die Tiefmitteltöner entweder hinter oder neben dem Hochtöner angebracht und strahlen direkt durch die Wand der Schallführung hindurch. Die Perforierung ist für hohe Frequenzen und damit für den Hochtöner weitestgehend „unsichtbar“. Für den Mittelton jedoch wirken die Löcher als Helmholtzresonator, was eine Überhöhung und ein längeres Abklingen mit sich bringt. Das bedeutet, die Abstimmung gestaltet sich relativ komplex. Der Entwicklungsaufwand ist dementsprechend hoch.

Daher fiel die Entscheidung auf die Variante, bei der sich nur ein Zweig in der Schallführung befindet. Um die Bündelung möglichst früh einsetzen zu lassen, fiel die Wahl nicht auf einen konventionellen Hochtöner, sondern auf einen 1“-Breitbänder. Dieser lässt sich ab ca. 200 Hz ankoppeln und übernimmt damit den größten Teil des Frequenzbereichs. Durch die relativ große Anzahl an Treibern erhöht sich der Maximalpegel im unteren Frequenzbereich automatisch.

Prototyp

Den Prototyp umfasst eine verkürzte Mittelhochtonsektion. Die Schallführung wurde in mehreren Durchläufen entwickelt und optimiert. Anschließend wurde sie für 8 Treiber aus Kunststoff gefräst. Da die Bündelung früh einsetzen soll, ist die Breite mit 50 cm relativ groß.

Als 1“-Breitbänder kommt der Aurasound NSW1-205-8A zum Einsatz.



Abbildung 1: Prototyp mit Schallführung

Messungen

Abstrahlverhalten horizontal

Das horizontale Abstrahlverhalten ist wie erwartet relativ frequenzneutral und beginnt schon bei einigen Hundert Hz. Der Abstrahlwinkel (-3 dB) wurde auf 80° optimiert, was die Messung bestätigt.

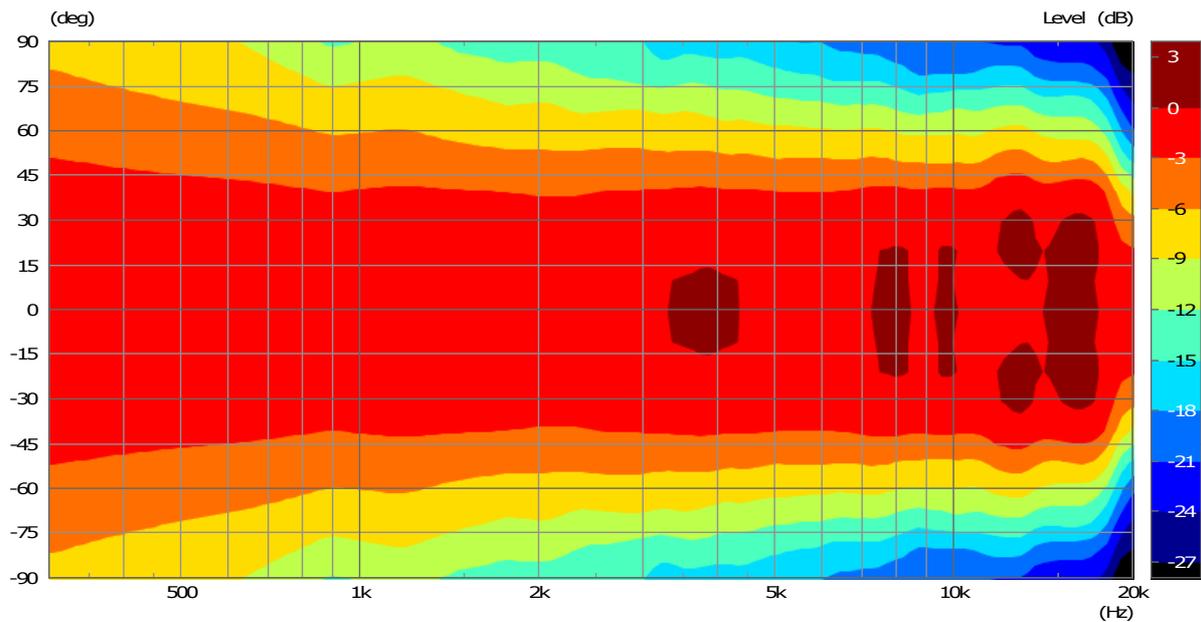


Abbildung 2: Abstrahlverhalten horizontal

Der Amplitudengang fällt nach oben hin relativ stark ab. Das war zu erwarten. Zum einen erzeugt das die Schallführung durch die Aufweitung des Hochtons und zum anderen die Anordnung als Linienstrahler.

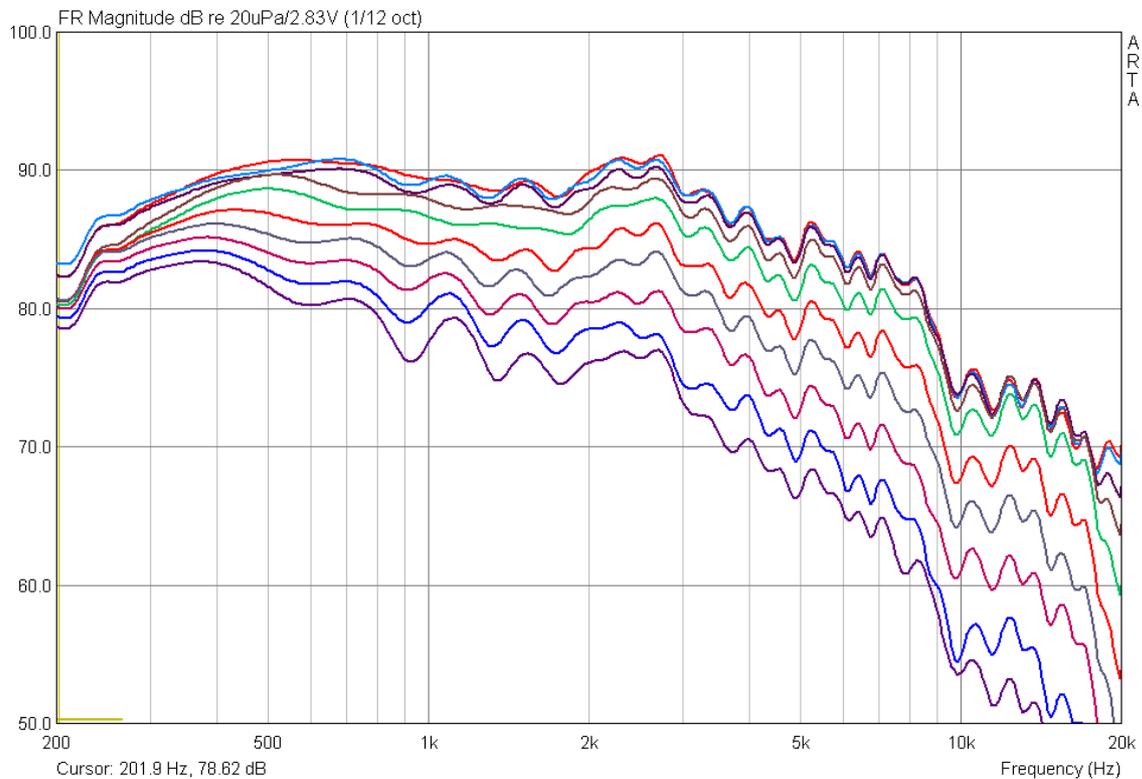


Abbildung 3: Amplitudengänge unter Winkeln horizontal

Abstrahlverhalten vertikal

Das vertikale Abstrahlverhalten (ohne Shading) entspricht ebenfalls der Erwartung. Durch die Treiberabstände von 4 cm entstehen ab ca. 8,5 kHz Nebenkeulen, die das typische Muster eines diskret aufgebauten Linienstrahlers aufweisen.

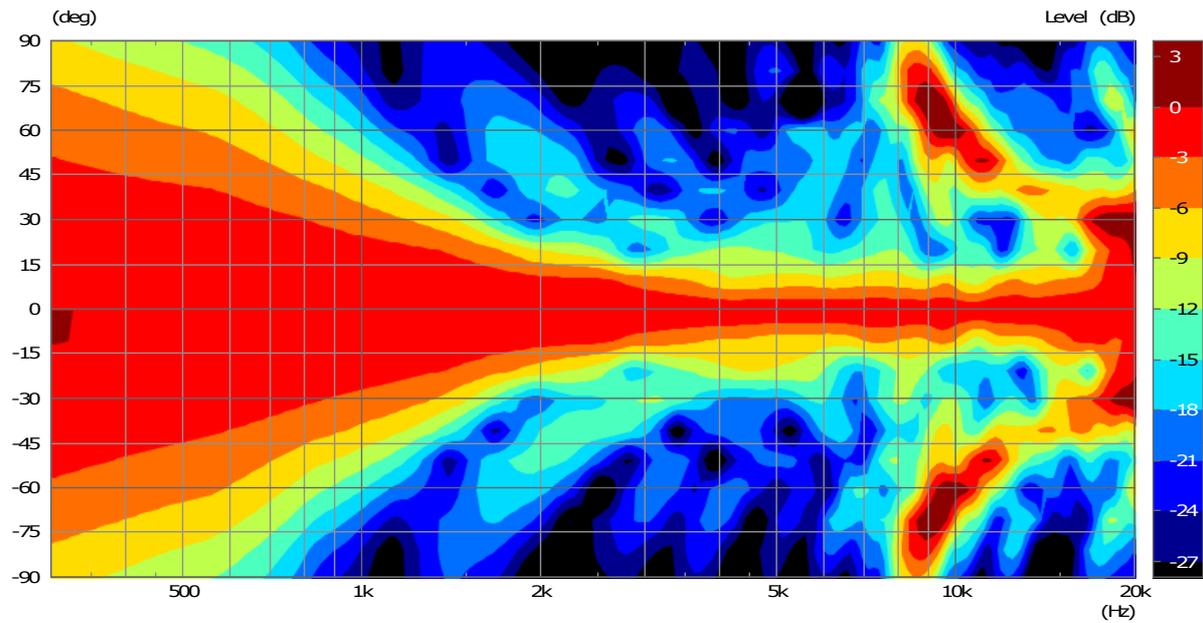


Abbildung 4: Abstrahlverhalten vertikal

Stege

Um die vertikalen Nebenkeulen zu verringern und gleichzeitig den Pegel im Hochtton etwas zu erhöhen, wurden Stege zwischen den Treibern eingebracht. Es handelt sich um Holzkeile, die sich nach vorne hin linear verjüngen und somit einen öffnende Hornkontur darstellen.



Abbildung 5: Prototyp mit Stegen

Wie zu erkennen, sind die Nebenkeulen mit den Stegen weniger stark ausgeprägt und auch die Aufweitung ab 16 kHz ist verschwunden.

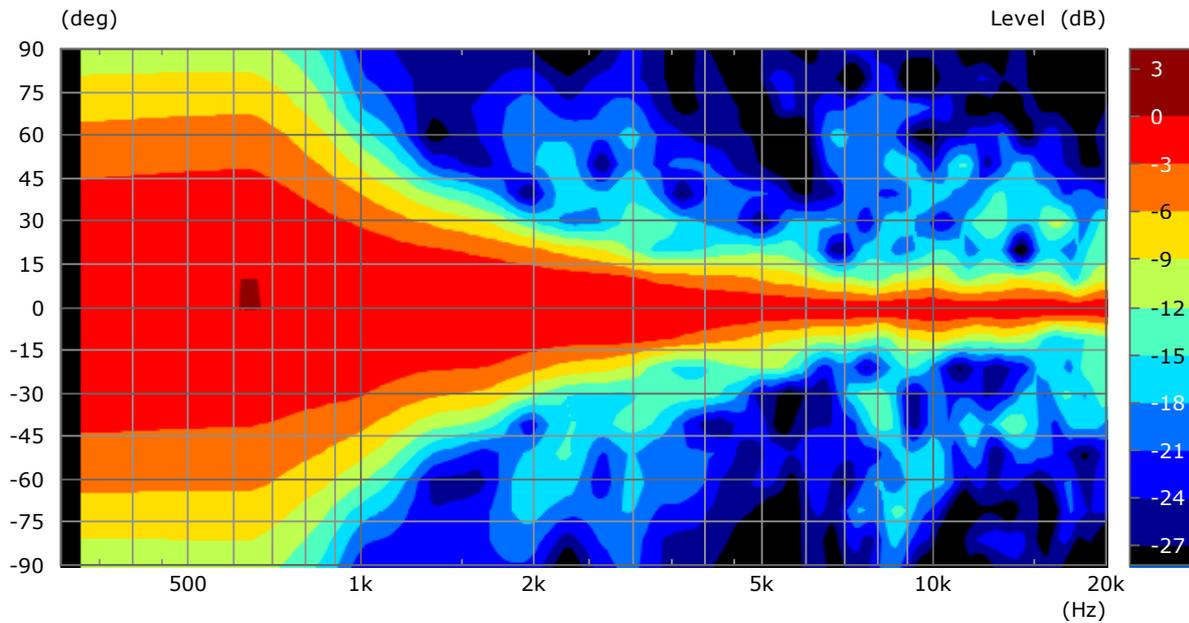


Abbildung 6: Abstrahlverhalten vertikal mit Stegen

Weiterhin verbessert sich die Empfindlichkeit im Hochtton ab ca. 9 kHz.

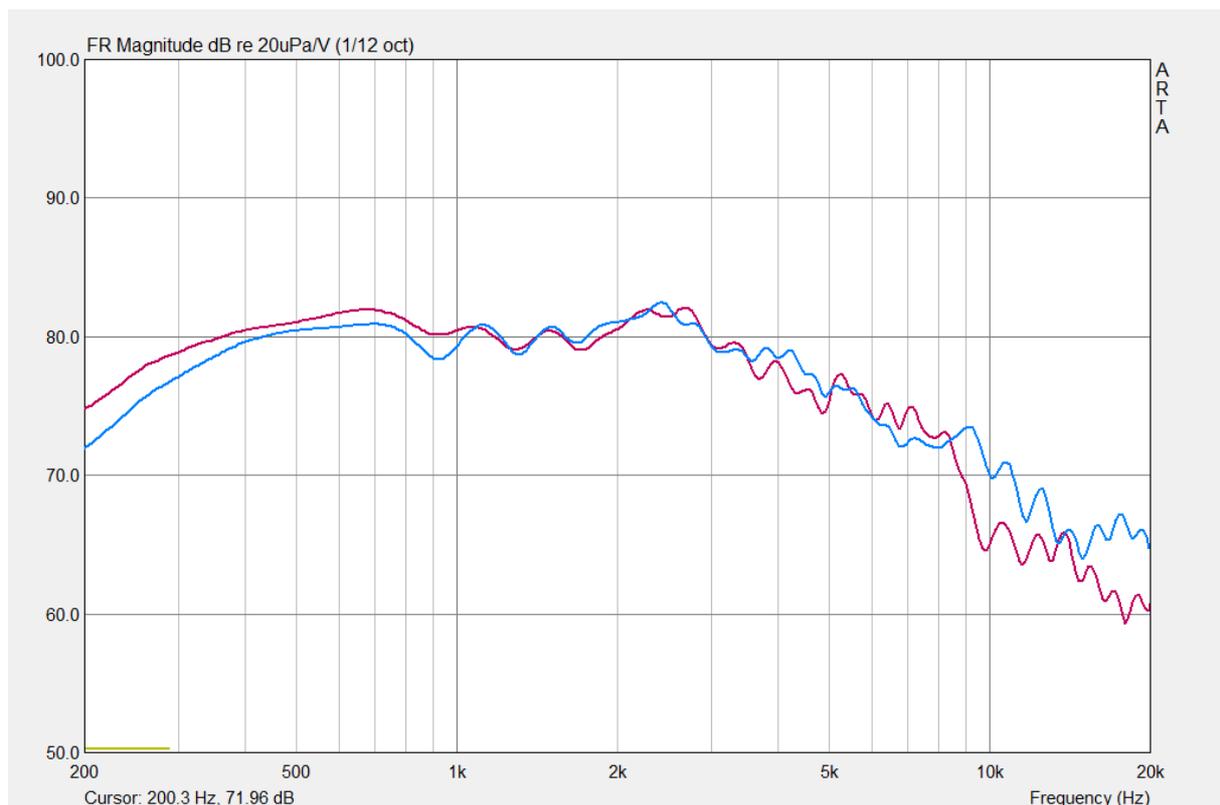


Abbildung 7: Amplitudengänge ohne (rot) und mit (blau) Stegen

Shading

Beim Shading werden die äußeren Treiber im Pegel verringert. Je weiter außen sich der Treiber befindet, desto stärker die Abschwächung. Es wurde im Folgenden das Legendre-Shading untersucht.

Weiterhin kann ein gebogener Linienstrahler durch einen geraden approximiert werden, indem die Krümmung durch Verzögerungen simuliert wird. Dazu wird ein DSP mit einer ausreichenden Anzahl an Kanälen benötigt. Für den Prototypen reichte eine 3-Wege-Aktivweiche. Die Kombination aus Pegelabschwächung und Verzögerung wird im Folgenden als CBT-Shading (**C**onstant **B**eam **W**idth [1]) bezeichnet.

Leider ist die Einstellung für die Verzögerung mit $1/f_s$, also $21 \mu\text{s}$ bei 48 kHz Abtastfrequenz, nicht genau genug. Eine feinere Einstellung ist z.B. mit FIR-Filtern möglich.

Für die Messung mit Shading waren 7 Treiber aktiv. Die Pegel und Verzögerungen wurden durch die nächsten möglichen Werte der Aktivweiche approximiert. Daher ist das Ergebnis nicht optimal.

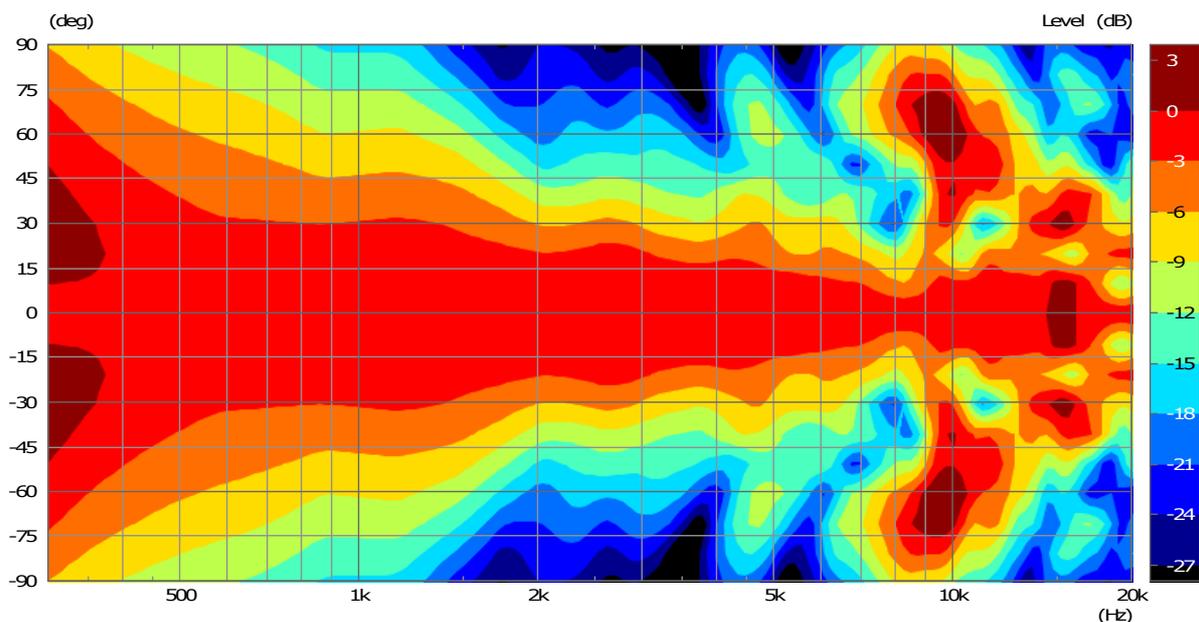


Abbildung 8: Abstrahlverhalten vertikal mit Legendre-Shading 7 (ohne Stege)

Trotz dieser Einschränkung funktioniert das Shading relativ gut. Durch die Wahl der Wertepaare lässt sich der Abstrahlwinkel recht gut einstellen.

Im Folgenden wurde das Legendre-Shading für 9 Treiber berechnet und auf die 7 Treiber angewandt. Dafür wurden die beiden äußeren Treiberpaare einfach weggelassen. Dieses „geknappte“ Shading funktioniert bei relativ wenigen Treibern anscheinend besser. Der Abstrahlwinkel ist über einen weiten Bereich konstanter als mit Legendre-Shading für 7 Treiber (Abbildung 8).

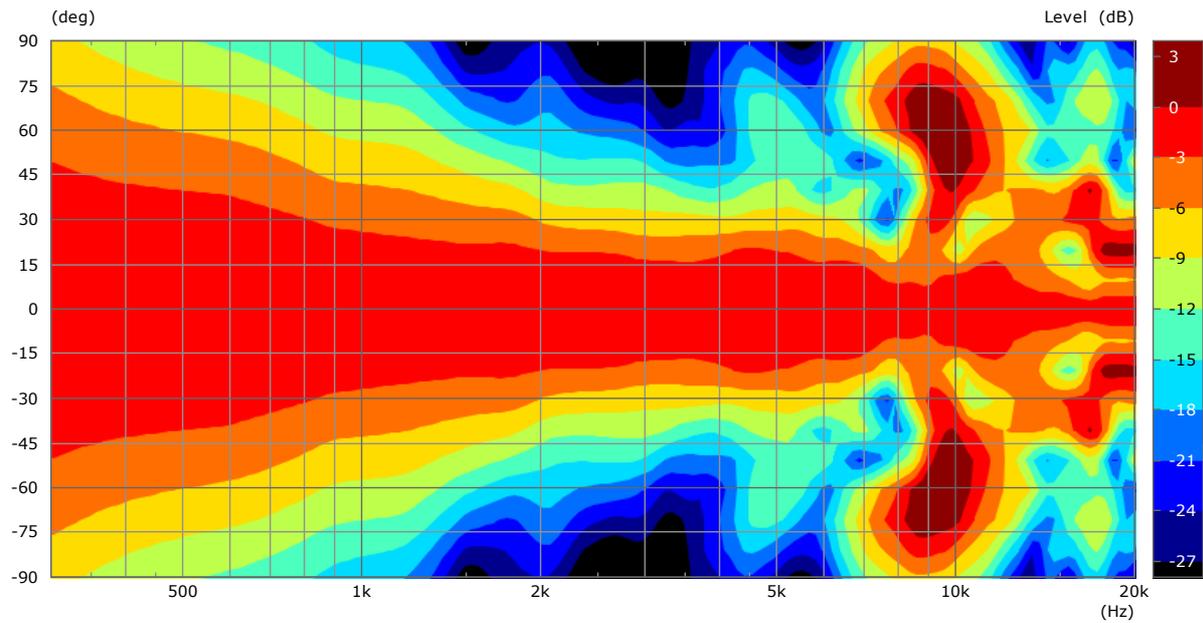


Abbildung 9: Abstrahlverhalten vertikal mit gekapptem Legendre-Shading 9 (ohne Stege)

Mit keilförmigen Stegen verschwinden, wie erwartet, die Nebenkeulen größtenteils. Das Abstrahlverhalten sieht über 10 kHz zusätzlich deutlich stetiger aus als ohne Stege.

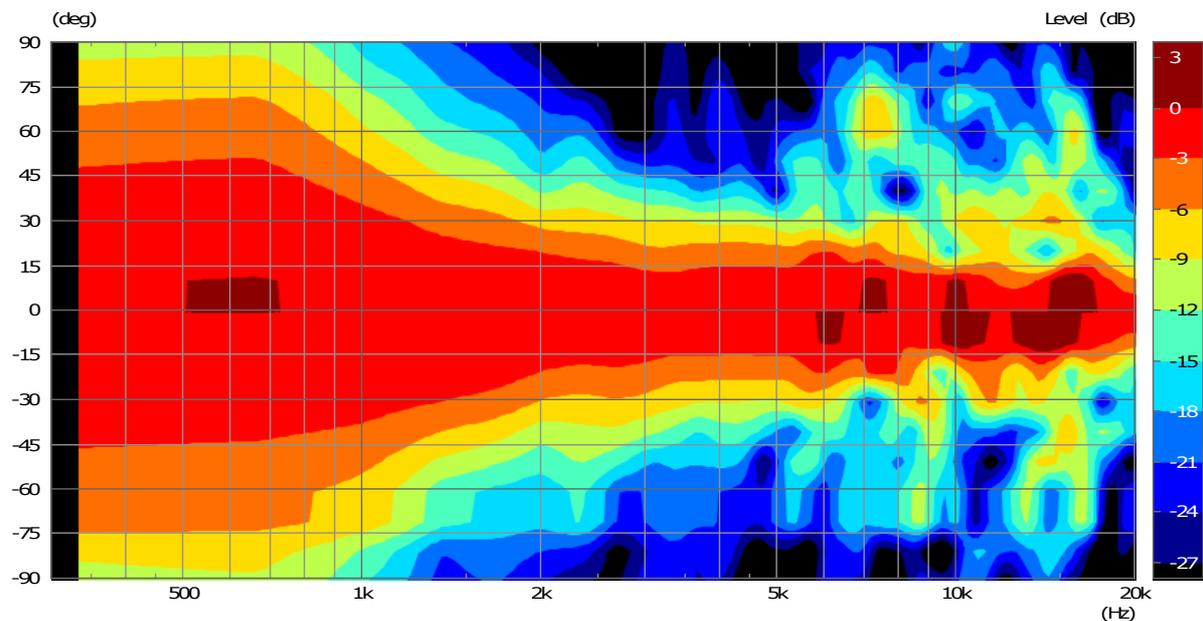


Abbildung 10: Abstrahlverhalten vertikal mit gekapptem Legendre-Shading 9 (mit Stegen)

Nichtlineare Verzerrungen

Für die Messung der nichtlinearen Verzerrungen wurde der Amplitudengang entzerrt und ein Hochpass bei 300 Hz gesetzt. Der angegebene Pegel bezieht sich daher auf den Bereich über 300 Hz. Es wurden 7 Treiber mit CBT-Shading gemessen.

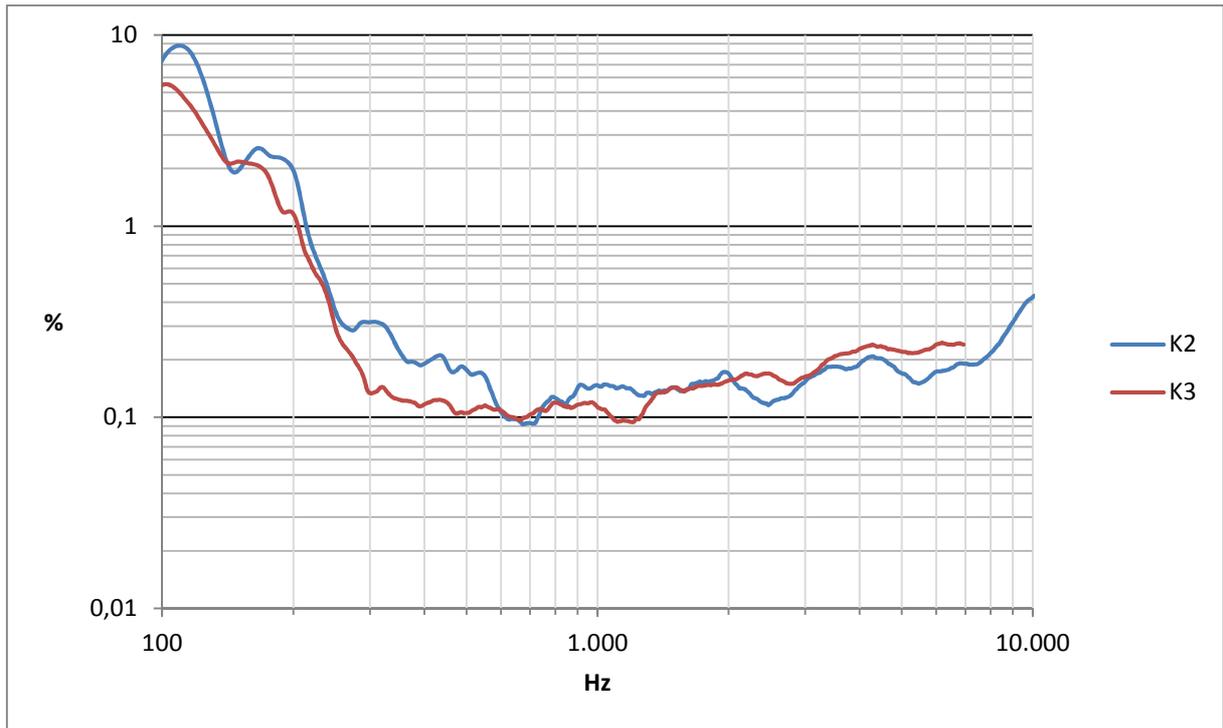


Abbildung 11: Nichtlineare Verzerrungen bei 90 dB

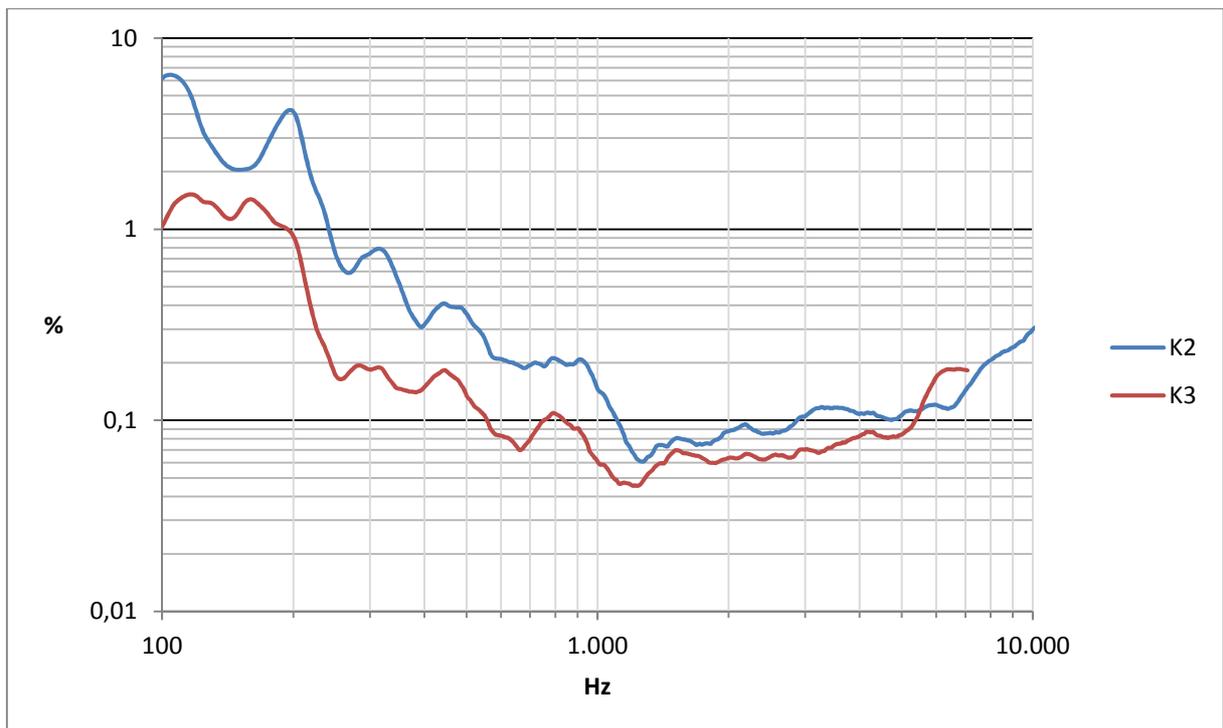


Abbildung 12: Nichtlineare Verzerrungen bei 100 dB

K2 bleibt selbst bei 100 dB in weiten Bereichen unter 0,4%. K3 bleibt ab ca. 300 Hz unter 0,2% und darüber sogar unter 0,1%. Insgesamt fallen die nichtlinearen Verzerrungen besonders im Mittelton erfreulich niedrig aus. Zu den Höhen steigen sie wieder an, was der relativ starken Entzerrung geschuldet ist.

Eine Trennung ab 300 Hz ist also selbst mit CBT-Shading problemlos möglich. Selbst 200 Hz wären durch die Addition des Tieftonzweigs und dem damit verbundene Absenken der nichtlinearen Verzerrungen im Übernahmebereich noch praxisgerecht.

Fazit

Bereits 8 Treiber erzeugen eine extrem starke vertikale Bündelung, die sich klanglich in der Form äußert, dass es nur einen sehr schmalen Bereich gibt, in der überhaupt Höhen hörbar sind. Die Bündelung ist so stark, dass die Schallquelle von der gegenüberliegenden Wand, also durch die Reflexion, lokalisiert werden konnte, wenn sich der Hörer hinter dem Prototyp befand. Um Boden- und Deckenreflexionen zu vermeiden, ist ein Linienstrahler also ein wirksames Mittel.

Durch das CBT-Shading kann die vertikale Abstrahlung verbreitert und relativ genau eingestellt werden. Weiterhin fällt der Schalldruck durch das Shading mit 6 dB pro Abstandverdopplung. Damit sind ein Vor- und gleichzeitig auch ein Nachteil einer echten Linienquelle nicht mehr vorhanden. Der Nachteil eines Linienstrahlers mit begrenzter Länge ist ein frequenzabhängiger Amplitudengang je nach Abstand. Das wird durch das Shading vermieden.

Referenzen

1. [D.B. Keele, Jr. *Implementation of Straight-Line and Flat-Panel Constant Beamwidth Transducer \(CBT\) Loudspeaker Arrays Using Signal Delays*](#)