

Entwurf und Aufbau eines konzentrischen Mehrwegedodekaeders

Jan Meuleman¹, Benjamin Bernschütz^{1,2}, Christoph Pörschmann¹

¹Fachhochschule Köln, Institut für Nachrichtentechnik, Email: benjamin.bernschuetz@fh-koeln.de

²AD-Systems Audiotechnik GmbH

Einleitung

Im Rahmen von Forschungsarbeiten zur Wellenfeldanalyse mit Mikrofonarrays wurde eine Hochleistungskugelschallquelle zur geeigneten Anregung des zu analysierenden Raumes entworfen und aufgebaut. Bei den Forschungsarbeiten geht es sowohl um hochauflösende raumakustische Messtechnik als auch um die Auralisierung der Messungen in virtuellen auditiven Umgebungen, z.B. durch Binauralsynthese oder Wellenfeldsynthese. Dabei werden hohe Ansprüche an die Schallquelle gestellt. Die Quelle muss einen großen Frequenzbereich (50 Hz-18000 Hz) abdecken in auf diesem Frequenzbereich eine möglichst ideal kugelförmige Abstrahlung aufweisen. Der Lautsprecher muss insbesondere für die Auralisierung sehr genau im Frequenzgang entzerrt werden und gute klangliche Eigenschaften besitzen. Die Messtechnik mit Mikrofonarrays im Phase-Mode-Processing erfordert einen erheblichen Signal-Rauschabstand der gemessenen Impulsantworten. Da auch mit sequentiell abtastenden Arrays gearbeitet wird, können die Messungen aus zeitlichen Gründen nicht oder nicht sehr oft gemittelt werden. Eine einzelne Messposition kann ohne Mittelung bereits einige Stunden an Messzeit erfordern. Somit sollte die Schallquelle verzerrungsarm einen hohen Schallleistungspegel erzeugen, um bei der Messung einen optimalen Signal-Rauschabstand zu erhalten. Die wichtigsten Kriterien für eine Kugelschallquelle in der Raumakustik sind in [1] spezifiziert und werden auch hier als Grundlage verwendet. Jedoch wird hier eine deutlich erweiterte Frequenzbandbreite berücksichtigt.

Konzept und Aufbau

Um einen weiten Frequenzbereich abzudecken, wurde das System in drei Wege aufgeteilt. Ein Mehrwegekonzept für einen Kugelstrahler wurde bereits in [2] vorgestellt. Die Mittel-Hochtoneinheit (MHE) ist hier allerdings als konzentrischer Dodekaeder ausgeführt, so dass Mittel- und Hochtoneinheit ein gemeinsames akustisches Zentrum besitzen. In der inneren Schale liegen 12x6.5“ Mitteltonchassis (18-Sound 6ND430, 16 Ω). In der äusseren Schale, kommen 144x1“ Kalotten (Vifa OC25SC65, 4 Ω) zum Einsatz, die in ein schalldurchlässiges Aluminiumframe eingebettet sind. Um die Verstärkerleistung optimal zu nutzen, sind die Kalotten so verschaltet, dass sich eine Gesamtimpedanz von 4 Ohm ergibt. Die MHE wird im unteren Band durch ein 15“ Bassreflexsystem (AD-Systems Flex15B) ergänzt. Für Crossover, Timealignment, Frequenzganglinearisierung und Limiting wird ein DSP (DFM) und zur Verstärkung eine 3-Kanal Class-D Endstufe (PASCAL) eingesetzt, die für eine praktische Hand-

habung in einen Systemverstärker integriert wurden, vgl. Abb. 1 (rechts).

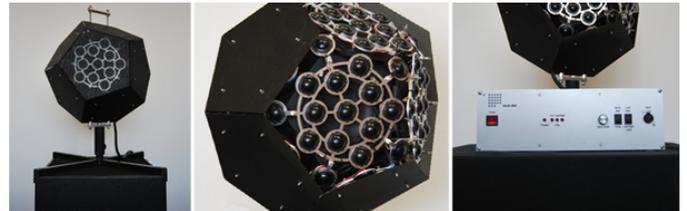


Abbildung 1: Dodekaeder “Sonic Ball“ mit Subwoofer (links). Geöffnete Mittel-/Hochtoneinheit mit Sicht auf die Kalotten (mitte). Systemverstärker mit DSP zur Ansteuerung (rechts).

Der Grundgedanke des hier vorgestellten Aufbaus basiert darauf, dass viele einzelne Hochtonquellen interferieren und sich so im statistischen Mittel eine weitgehend homogene Abstrahlung erzielen lässt. Dieses Verhalten kann für Frequenzen oberhalb von ca. 4 kHz sofort ohne weiteres beobachtet werden. Im Bereich zwischen 2 bis 4 kHz bildeten sich allerdings aufgrund der Ausdehnung der Strahlergruppe insbesondere vor den geraden Flächen des Dodekaeders deutliche Lobes aus, vgl. Abb. 2 (links). Diese Lobes wurden durch gezieltes Verpolen einiger Kalotten auf den Flächen aufgebrochen, vgl. Abb. 2 (rechts).

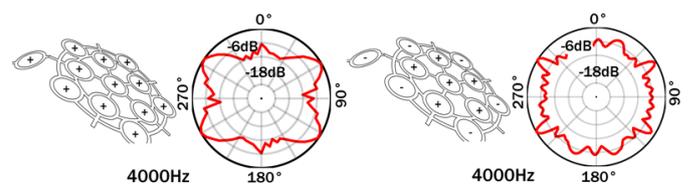


Abbildung 2: Polarmessung exemplarisch für 4 kHz, (1 Oct). Links: Alle Kalotten gleichphasig verschaltet. Es treten starke Lobes auf. Rechts: Gezielte Verpolung einiger Kalotten mit deutlicher Verbesserung des Abstrahlverhaltens.

Durch die Wahl einer relativ hohen Trennfrequenz von 3.2 kHz in Kombination mit flachen Butterworth 12 dB/oct Filtern und entsprechendem Timealignment konnte das System so abgestimmt werden, dass sich Mittel- und Hochtöner optimal in der Abstrahlcharakteristik ergänzen. Zwischen 2 und 4 kHz sind weiterhin leichte Lobes zu beobachten, die aber nur noch eine verhältnismäßig geringe Ausprägung besitzen und sehr homogen verteilt sind, vgl. Abb. 5.

Messungen

Bei einer Kugelschallquelle ist der Leistungs- oder Difusfeldfrequenzgang neben der Abstrahlcharakteristik ein

maßgebliches Kriterium [3]. Für die Entzerrung wurden somit eine hohe Anzahl von räumlich verteilten Einzelmessungen auf einem Radius von 4 m (Fernfeld) durchgeführt und deren Magnituden aufsummiert bzw. gemittelt. Das System verhält sich in den 8 Oktanten symmetrisch, so dass die Messungen für die Entzerrung jeweils nur auf einem Oktanten mit ca. 300 Punkten (5°) durchgeführt wurden.

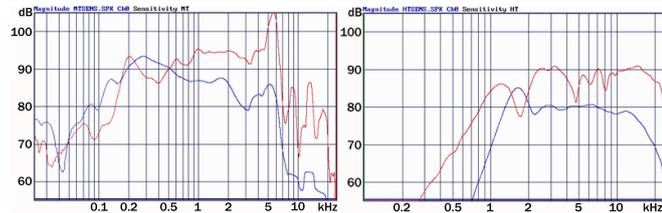


Abbildung 3: Sensitivity eines einzelnen Chassis (links) und einer einzelnen Kalotte (rechts) auf Achse (rot) vs. Mittelung über ca. 300 Punkte in einem Quadranten aller Chassis/Kalotten eingebaut und verschaltet (blau). Das kleine Volumen sorgt für eine hohe Güte, die einen deutlichen Überschwinger im Frequenzgang um ca. 300 Hz und einen steilen Abfall der Übertragungsfunktion darunter mit sich bringt. Bei den Kalotten kommt es durch die gezielt verpolten Elemente nicht zu der erwarteten Kopplung um 1kHz, sondern zu einem deutlichen Abfall der Sensitivity in diesem Bereich. Insgesamt verlieren alle Elemente durch die hohe Anzahl von Reihenschaltungen an Sensitivity. Zu bedenken ist aber, dass sich der Wert nun auf eine nahezu gleichmäßig kugelförmige Abstrahlung (4π) bezieht. Messung mit *Monkey Forest* im reflexionsarmen Raum in 4 m Abstand.

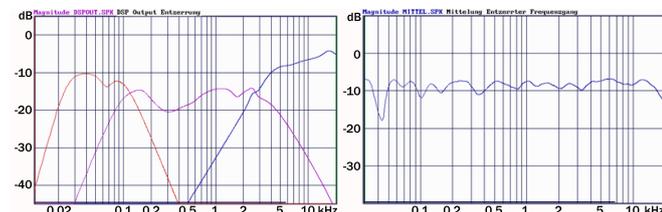


Abbildung 4: Links: Ausgänge des Controllers für Bass (rot), Mid (lila) und High (blau) nach Entzerrung. Rechts: Gesamtfrequenzgang des entzerrten Systems, gemittelt über ca. 300 Positionen in einem Oktanten. Der Bass wurde dabei nicht mitgedreht. Messung mit *Monkey Forest* und *VariSpear MF Bridge* (Drehteller).

Ein weiteres wichtiges Kriterium ist ein hoher verzerrungsarmer Schalleistungspegel des Systems. Die Hochtonkalotten sind zusammen mit >3 kW belastbar, der Mitteltonweg mit ca. 2.4 kW und der Bass mit ca. 500 W. Es wurden Max. SPL Messungen für sehr moderate 0.5% und 1% Klirr mit einer im Systemamp verfügbaren Maximalleistung von 2 kW durchgeführt, vgl. Abb. 6. Die Messungen wurden an einem Punkt durchgeführt, der relativ gut die gemittelte Sensitivity repräsentiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Anordnung mit mehr Leistung betrieben werden könnte. Die 1% Klirr konnten mit der verfügbaren Leistung teilweise nicht ganz erreicht werden. Mit der Schallquelle kann somit im Mittel auf dem vollen Spektrum ein Schalldruckpegel von ca. 110 dB auf einem Meter mit 1% Klirr erzeugt werden, was

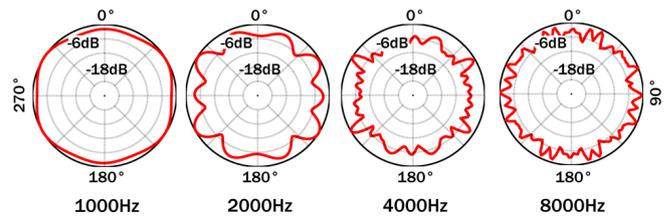


Abbildung 5: Polarmessung einer Ebene bei verschiedenen Frequenzen mit Oktavbandfilterung. Jedes Band ist auf 0 dB normalisiert. Die Anforderungen bzgl. des Richtverhaltens aus ISO3382 für 4 kHz werden auch für Frequenzen >4 kHz erfüllt. Zwischen ca. 2-4 kHz bilden sich leichte Lobes aus, die insgesamt eine sehr homogene Verteilung aufweisen. Bei höheren Frequenzen treten stark statistisch verteilte Interferenzen auf, woraus ein gleichmäßiges Abstrahlverhalten folgt. Messung mit *VariSpear Polarcapture* im reflexionsarmen Raum in 4 m Abstand bei einer Auflösung von 2° .

bei dem Kugelstrahler einem Schalleistungspegel von ca. 121 dB entspricht. Mit mehr Leistung kann für kurzzeitige Messsignale auch ein deutlich höherer Pegel erzielt werden. Die Kalotten sind dabei thermisch durch den freien Einbau und die Wärmeableitung im Aluminiumframe nicht gefährdet.

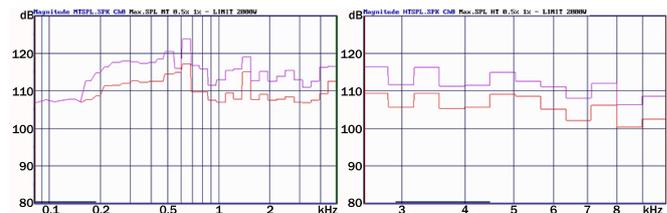


Abbildung 6: Max. SPL Messung für 0.5% (rot) und 1% (lila) Klirr, bei maximaler Verstärkerleistung von 2000W. Links: Mitteltonweg, Rechts: Hochtonweg.

Zusammenfassung

Es wurde eine Kugelschallquelle für den Einsatz in der Wellenfeldanalyse sowie der allgemeinen raumakustischen Messtechnik entwickelt, die alle Kriterien aus [1] erfüllt, einen hohen Schalleistungspegel auf einer großen Frequenzbandbreite mit weitgehend optimal kugelförmiger Abstrahlcharakteristik kombiniert und zudem einen sehr guten Klangcharakter aufweist.

Literatur

- [1] DIN EN ISO 3382 Messung der Nachhallzeit von Räumen mit Hinweisen auf andere akustische Parameter (2000)
- [2] Behler, G., Three-Way Measuring Loudspeaker for Automotive, Room- and Building-Acoustics, FIA2008, (2008), Buenos Aires
- [3] Weinzierl, Stefan (Hrsg.). Handbuch der Audiotechnik, Springer Verlag, (2008) Berlin