

Untersuchungen zum Bündelungsmaß von Lautsprechern

J. Ringstetter*, S. Goossens**, H. Wollherr**, H. Fastl*

* Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München; ** Institut für Rundfunktechnik, München

Einleitung

Das Bündelungsmaß eines Lautsprechers beschreibt, wie bei der Abstrahlung die Hauptachsenrichtung gegenüber dem Mittel über alle anderen Richtungen bevorzugt ist. Es errechnet sich aus der Differenz zwischen Direktfeldübertragungsmaß und Diffusfeldübertragungsmaß des Lautsprechers. Da das Diffusfeldübertragungsmaß keine Richtungsinformation enthält, gibt das Bündelungsmaß keinen Aufschluß über die Richtungsverteilung der Abstrahlung außerhalb der Hauptabstrahlachse. Für die Beschreibung der Abstrahlcharakteristik hat das Bündelungsmaß einen stark zusammenfassenden, reduzierenden Charakter.

Ziel der Arbeit war herauszufinden, ob diese Zusammenfassung gerechtfertigt ist. Es wurde untersucht, ob eine Drehung der Abstrahlcharakteristik um die Hauptabstrahlachse beim Zuhörer, der sich in Hauptabstrahlrichtung befindet, eine hörbare Veränderung des wiedergegebenen Signals hervorruft.

Vorgehensweise

Es wurden Hörversuche durchgeführt. Als Schallquelle diente eine Anordnung von vier gleichen (selektierten) Lautsprechern (Bild 1).

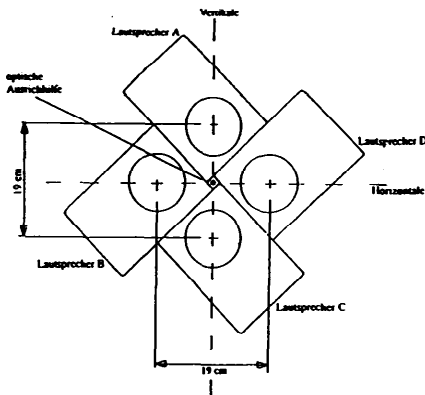


Bild 1: Schallquelle

Die Lautsprecher sind paarweise parallel geschaltet (A mit C sowie B mit D). Beim Umschalten von AC (im folgenden Gruppe 1 genannt) auf BD (Gruppe 2) dreht sich die Abstrahlcharakteristik der Anordnung um 90° um die Hauptabstrahlachse. Damit waren zwei verschiedene Ausrichtungen der Richtcharakteristik einstellbar. Die optische Ausrichtungshilfe diente der Versuchsperson dazu, sich genau auf die Hauptabstrahlachse auszurichten.

Die Versuche fanden im reflexionsarmen Raum statt. Mit Hilfe von vier quadratischen Holzbrettern (je 1 m^2) wurde eine definiert reflektierende Umgebung aufgebaut. Die Reflektoren sind auf halber Höhe zwischen Versuchsperson und Schallquelle in jeweils gleichem Abstand zur Hauptabstrahlachse angebracht. Sie sind paarweise parallel; ein Paar ist parallel zur Bodenfläche des Raumes, das andere senkrecht dazu. Den Versuchsaufbau zeigt schematisch Bild 2 in der Draufsicht und Bild 3 in der Seitenansicht.

Die Lautsprechergruppe 1 bündelt zu höheren Frequenzen die Abstrahlung in der Vertikalen zunehmend und strahlt in der Horizontalen breit ab. Dadurch werden die Seitenreflektoren stärker in die Wiedergabe miteinbezogen als Boden- und Deckenreflektor. Dagegen bündelt Gruppe 2 in der Horizontalen und strahlt in der Vertikalen breit ab, wodurch Boden- und Deckenreflektor stärker in die Wiedergabe miteinbezogen werden als die Seitenreflektoren. Zum Direktanschlag gelangen damit bei Gruppe 1 Reflexionen überwiegend

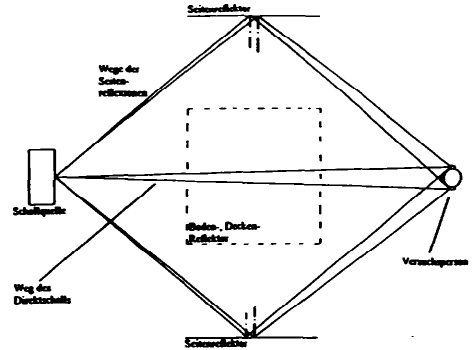


Bild 2: Versuchsaufbau in der Draufsicht

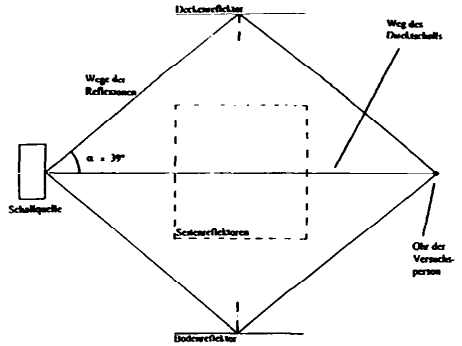


Bild 3: Versuchsaufbau in der Seitenansicht

in der Horizontalebene zur Versuchsperson, bei Gruppe 2 in der Vertikalebene.

Wegen der Symmetrie der Anordnung ist das Signal auf der Hauptachse unabhängig davon, von welchem Lautsprecherpaar es abgestrahlt wird. Die Ohren der Versuchsperson dagegen sind zu beiden Seiten aus der Hauptachse versetzt. Daher ergeben sich unterschiedliche Weglängen der Reflexionen zu den Ohren, abhängig davon, über welchen Reflektor sie eintreffen (Bild 2 und Bild 3). Den Versuchspersonen wurden Testschalle abwechselnd über beide Lautsprecherpaare dargeboten. Als Testschalle wurden Rosa Rauschen, Gesang und Sprache verwendet. Diese waren der SQAM-CD (Tck. 2, 48, 49) entnommen. An den Hörversuchen nahmen 14 Versuchspersonen im Alter zwischen 28 und 51 Jahren teil (Median: 37 Jahre). Die Versuchspersonen wurden gefragt, wie stark und in welcher Weise sich die Wiedergabe zwischen den beiden Lautsprecherpaaren unterscheidet. Zur Bewertung der Größe des Unterschiedes war eine sechsstufige Kategorienskala vorgegeben. Zur qualitativen Beschreibung des Unterschiedes waren keinerlei Attribute vorgegeben.

Ergebnisse

Die Versuchsergebnisse zeigen, daß Unterschiede in der Wiedergabe zwischen den beiden Lautsprechergruppen wahrgenommen wurden. Art und Größe der Unterschiede sind abhängig vom dargebotenen Testschall.

Die Bilder (a) bis d) zeigen für die Testschalle die Größe des Unterschiedes in der sechsstufigen Kategorienskala bewertet, unabhängig

von einer Zuordnung der Testschalle zu einer Lautsprechergruppe. Jedes Diagramm enthält pro Versuchsperson zwei Wertungen. Bei Rosa Rauschen ist die Angabe des Unterschiedes hinsichtlich der Bereiche der räumlichen Eindrücke und der Klangfarbe differenziert. Bei den Testschallen Gesang und Sprache wurde der Unterschied insgesamt bewertet.

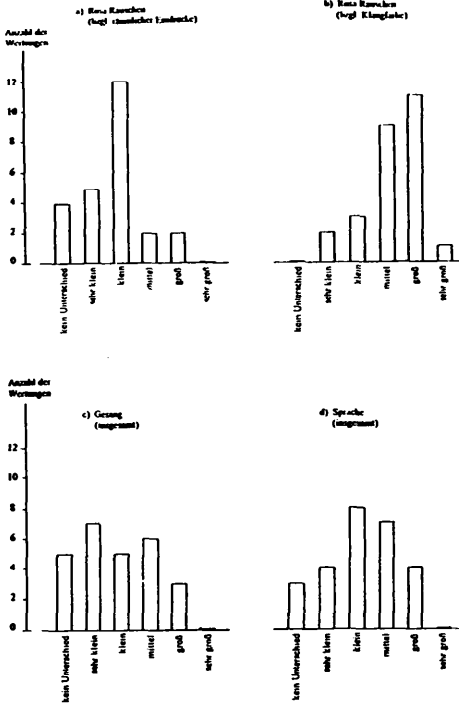


Bild 4: Größe des Unterschiedes bei a) Rauschen bzgl. räumlicher Eindrücke, b) Rauschen bzgl. Klangfarbe, c) Gesang, d) Sprache

Der Unterschied wurde bei Rosa Rauschen bzgl. Klangfarbe am höchsten bewertet. Hinsichtlich der räumlichen Eindrücke ist der Unterschied geringer. Beim Testschall Gesang sind die Wertungen zwischen „kein Unterschied“ und „mittel“ etwa gleichverteilt, bei Sprache ist der Unterschied vorwiegend mit „klein“ und „mittel“ bewertet.

Bei Rauschen wurden die Unterschiede hauptsächlich im Klangfarbennbereich wahrgenommen, bei Gesang und insbesondere bei Sprache in den räumlichen Eindrücken. Bild 5 zeigt die Verteilung der Attribute für die drei Testschalle. Pro Versuchsperson und Testschalle liegen zwei Wertungen vor.

Die Angaben der Versuchspersonen zum Unterschied hinsichtlich Klangfarbe ließen sich den Kategorien „heller“ und „dunkler“ zuordnen. Diese spektralen Unterschiede sind auf die unterschiedlichen Laufzeiten der Reflexionen zurückzuführen. Boden- und Deckenreflexion treffen an den Ohren der Versuchsperson gleichzeitig ein, die Seitenreflexionen erreichen zuerst das dem Reflektor zugewandte Ohr, dann das abgewandte Ohr.

Die Angaben zu den räumlichen Eindrücken bezogen sich auf die wahrgenommene Schallquellenbreite. Die Schallquelle wurde breiter empfunden, wenn die Lautsprechergruppe I betrieben wurde, d.h. wenn die Reflexionen überwiegend in der Horizontalebene eintrafen.

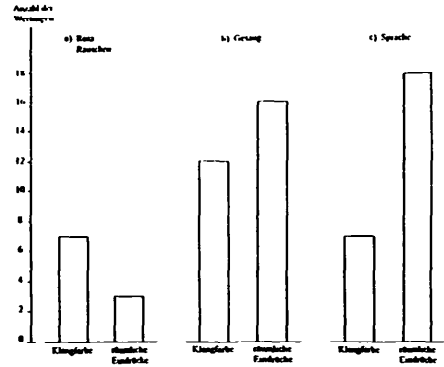


Bild 5: Verteilung der Attribute für a) Rauschen, b) Gesang, c) Sprache

Folgerungen

Mit den Versuchsergebnissen konnte unter definierten Bedingungen nachgewiesen werden, daß das Gehör prinzipiell unterscheiden kann, ob Reflexionen symmetrisch in der Horizontal- oder in gleicher Weise in der Vertikalebene eintreffen. Damit wurden hörbare Unterschiede festgestellt zwischen zwei Schallquellen, die sich nur in der Ausrichtung der Richtcharakteristik außerhalb der Hauptabstrahlachse unterscheiden. Das Bündelungsmaß erlaubt diesen Unterschied nicht. Deshalb ist es angebracht, das Bündelungsmaß in seiner jetzigen Form zu überdenken. Es sollte getrennt darüber Aufschluß geben können, wie der Lautsprecher die Abstrahlung horizontal und vertikal bündelt. Damit können bei der Auswahl und der Aufstellung eines Lautsprechers die Reflexionseigenschaften des Raumes bzgl. Seitenreflexionen und Boden-Deckenreflexionen differenziert berücksichtigt werden.

Literatur

E. Zwicker, M. Zollner: Elektroakustik, Springer-Verlag 1987

L. Cremer: Vorlesungen über Techn. Akustik, Springer-Verlag 1975

J. Blauert: Spatial Hearing, MIT Press 1983

Y. Ando: Concert Hall Acoustics, Springer-Verlag 1985

M. Barron, A. H. Marshall: Spatial Impression due to Early Lateral Reflections in Concert halls: the Derivation of a Physical Measure Journal of Sound and Vibration 77 (1981), S. 211-232

E. Zwicker, H. Fastl: Psychoacoustics, Facts and Models Springer-Verlag 1990

W. Kuhl, R. Plantz: Die Bedeutung des von Lautsprechern abgestrahlten diffusen Schalls für das Höreignis Acustica 40 (1978)

W. Kuhl: Räumlichkeit als eine Komponente des Höreindrucks Acustica 40 (1978)

J. Blauert, W. Linnemann: Auditory Spaciousness: Some further psychoacoustic analyses

J. Acoust. Soc. Am. 80 (2), August 1986