

DURCH ZWEIKANAL-STEREOPHONIE HERVORGERUFENE RICHTUNGSEMPFINDUNG IN ALLGEMEINER VERSUCHSANORDNUNG

Von

Á. SZABÓ

Lehrstuhl für Physik, Technische Universität, Budapest

(Eingegangen am 23. September 1968)

Vorgelegt von Prof. P. GOMBÁS

Einleitung

In einem früheren Aufsatz [1] wurde ein Modell der Richtungsempfindung dargelegt, das unter Berücksichtigung spezieller Umstände und einer symmetrischen Versuchsanordnung die Richtung der scheinbaren örtlichen Lage der fiktiven Schallquelle eines Stereosystems in guter Übereinstimmung mit den Erfahrungen angibt. Dem Wesen nach besteht das Modell darin, daß in der Wechselbeziehung beider Ohren eine Reihe elementarer Messungen von kurzer Zeitdauer (T) durchgeführt werden, deren Durchschnittswert die Richtungswahrnehmung ergibt. Durch je einen Meßvorgang werden die beiderseitigen Schalldruckimpulse verglichen. Ein Mitteneindruck entsteht zum Beispiel, wenn diese Impulse im Gleichgewicht sind.

In vorliegender Arbeit wird das Modell auf die allgemeine Berechnung des voraussichtlichen Abweichungswinkels des Schallbildes des stereophonischen Zweikanalsystems angewendet. Die Gesamtergebnisse der Berechnungen sind in Tabellen zusammengestellt. Damit wird ermöglicht, für ein beliebiges System das voraussichtliche Richtungsurteil eines sich nicht nur in der Symmetrieebene, sondern wo immer befindenden Beobachters anzugeben.

Bezeichnungen

- D = Verhältnis der Amplitude des Linkslautsprechers zu der Amplitude des Rechtslautsprechers,
- δT = Signalverzögerung des Rechtslautsprechers dem Linkslautsprecher gegenüber,
- α = der halbe Öffnungswinkel (Basiswinkel) zwischen den Lautsprechern, bezogen auf den Beobachtungsort.
- K = Verhältnis der im linken bzw. im rechten Ohr durch den Linkslautsprecher hervorgerufenen Schalldruckamplituden,
- δt = Verzögerung der Signale des Linkslautsprechers im rechten Ohr gegenüber dem linken Ohr.
- T = Zeitdauer einer elementaren Messung in Wechselbeziehung beider Ohren.
- A = der während der Zeit T in das linke Ohr gelangende Schalldruckimpuls.
- B = der während der Zeit T in das rechte Ohr gelangende Schalldruckimpuls,
- φ = der durch die Richtung der fiktiven Schallquelle und der Symmetrieebene des Kopfes gebildete Winkel.
- l_l = der Abstand des Linkslautsprechers vom Kopf,
- l_r = der Abstand zwischen Rechtslautsprecher und Kopf,
- c = die Schallgeschwindigkeit in der Luft.

Bestimmung von T

Mehrere Autoren [2–6] haben sich mit dem Zusammenhang zwischen der zeitlichen Verzögerung und der Intensitätszunahme die einander ausgleichen, mit dem sog. Zeit-Intensität-Verhältnis befaßt. In der Stereophonie stellt sich die Frage in der Form, mit welchem D sich eine Verzögerung δT derart ausgleichen läßt, daß ein Mitteneindruck erzielt wird. Nach den Messungen von Haas [7], Meyer und Schodder [8], die bei einem Basiswinkel von $\alpha = 40^\circ$ mit Sprache durchgeführt wurden, ist dieses Verhältnis bei kleinen δT Werten

$$\frac{D}{\delta T} = 4 \frac{dB}{ms}. \quad (1)$$

In unserem Modell ist dieses Verhältnis mit T in Zusammenhang gebracht. Dieser einzige Parameter ist so zu bestimmen, daß das Zeit-Intensität-Verhältnis mit den Erfahrungen gut übereinstimmt. Die Gleichheit der das linke und das rechte Ohr während der Zeit T erreichenden Schalldruckimpulse ergibt die Bedingung des Mittengefühls. Falls die Einhüllenden der Signale Stufenfunktionen sind, kann geschrieben werden:

$$\begin{aligned} T \sqrt{D^2 + K^2} - (\sqrt{D^2 + K^2} - K) (\delta T + \delta t) = \\ = (T - \delta t) \sqrt{1 + (DK)^2} + DK (\delta t - \delta T), \end{aligned} \quad (2)$$

von wo man nach Einsetzen der bei $\alpha = 40^\circ$ gültigen Werte $K = 1,95$ und $\delta t = 0,34$ msec,

$$T = 0,34 + \frac{[1,95(D + 1) - \sqrt{3,8 + D^2}] \delta T - 0,663 (D - 1)}{\sqrt{1 + 3,8 D^2} - \sqrt{3,8 + D^2}} \quad (3)$$

erhält.

Die für kleine δT gültige Bedingung (1) kann auch in der Form

$$D \approx 1 + 0,46 \delta T \quad (4)$$

geschrieben werden und diese Formel in (3) eingesetzt, erhält man schließlich den Grenzwert

$$\lim_{\delta T \rightarrow 0} T = 2,7 \text{ msec}. \quad (5)$$

Im praktisch interessierenden Wertbereich von δT , wo die Annäherung (4) zulässig ist, weicht der aus (3) ermittelte Wert von T nicht wesentlich vom Grenzwert ab. So ist es begründet, den Parameter T des Modells zu 2,7 msec zu wählen.

Berechnung der virtuellen Schallbildlage, falls sich der Beobachter in der Symmetrieachse befindet

Das Ziel ist die Bestimmung der Funktion mit drei Veränderlichen $f(\alpha, D, \delta T)$, die in den Tabellen (1–14) numerisch angegeben ist. Abbildung 1 zeigt die Anordnung. δT ist der Zeitunterschied zwischen den Signalen der

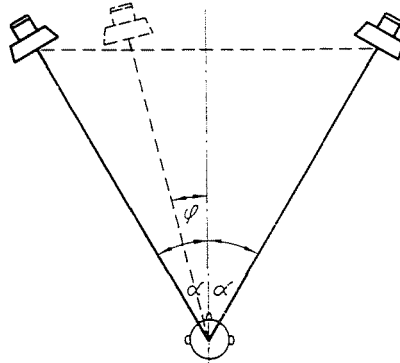


Abb. 1

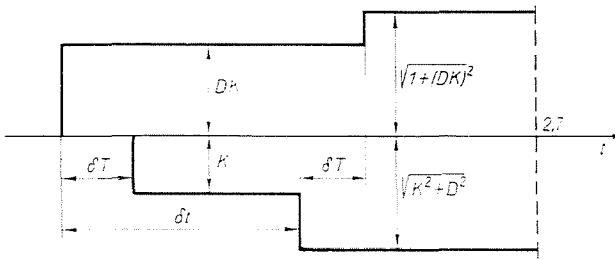


Abb. 2

beiden Lautsprecher, von denen der linke die D -fache Amplitude des rechten hat. Die durch den Richtungsbestimmungsmechanismus erzeugte Größe $f(\varphi)$ ist von dem Verhältnis der das linke bzw. das rechte Ohr treffenden Impulse abhängig:

$$f(\varphi) = \frac{A - B}{A + B} \tag{6}$$

Die Schalldruckimpulse A und B haben in Abhängigkeit von δT verschiedene Formen.

a) $0 \leq \delta T \leq \delta t$. Die Verhältnisse sind in Abb. 2 gezeigt. Der durch das linke Ohr empfangene Schalldruck wurde als positiv, der durch das rechte empfangene als negativ angegeben. Demzufolge sind

$$\begin{aligned} A &= DK(\delta T + \delta t) + (2,7 - \delta T - \delta t) \sqrt{1 + (DK)^2} \\ B &= K(\delta t - \delta T) + (2,7 - \delta t) \sqrt{K^2 + D^2} \end{aligned} \tag{7}$$

Tabelle 2

$\varphi(\alpha, D, \delta T)$; $\alpha = 18^\circ$

$\frac{\delta T}{D}$	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,6
0,1																
0,2															1	7
0,3														1,5	6	10,5
0,4													2	5	9	13
0,5												1,5	4	7	11	14
0,6									0	2	4	6,5	9	11,5	15	
0,7								0,5	2	3,5	5,5	8	10	13,5	15,5	
0,8						0	0	1	2,5	4	5,5	7	9,5	11,5	14,5	16
0,9			0	0,5	0,5	2	3	4	5,5	7	8,5	10,5	12,5	15	16	
1	0	1	1	1,5	1,5	2	3	4	5	6,5	8	9,5	11,5	13,5	15,5	16,5
1,25	4	4	4,5	5	5	5,5	6	7	8	9	10,5	12	13	14,5	16	17
1,5	6	6	7	7,5	7,5	8	9	9,5	10,5	11,5	12	13	14	15,5	16,5	17,5
1,75	8	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12,5	13	14	15	16	17	17,5
2	9,5	10	10,5	11	11	11,5	12	12,5	13	14	14,5	15	16	16,5	17	17,5
2,25	11	11	11,5	12	12	12,5	13	13,5	14	15	15,5	15,5	16	17	17,5	17,5
2,5	12	12	12,5	13	13,5	13,5	14	14	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18
2,75	12,5	13	13,5	14	14	14	14,5	15	15	15,5	15,5	16	16,5	17	17,5	18
3	13	13,5	14	14,5	14,5	14,5	15	15	15,5	16	16	16,5	17	17,5	18	18
3,5	14,5	15	15	15	15	15,5	15,5	16	16	16,5	16,5	17	17	17,5	18	18
4	15	15	15,5	16	16	16	16,5	16,5	16,5	17	17	17	17,5	17,5	18	18
4,5	15,5	15,5	15,5	16,5	16	16,5	16,5	16,5	17	17	17	17,5	17,5	17,5	18	18
5	16	16	16	16,5	16,5	17	17	17	17	17	17,5	17,5	17,5	18	18	18
6	16,5	16,5	16,5	17	17	17	17	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	18	18	18	18
7	16,5	16,5	17	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	18	18	18	18	18
8	17	17	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	18	18	18	18	18	18

Tabelle 4

$\varphi(\alpha, D, \delta T): \alpha = 24^\circ$

$\frac{\delta T}{D}$	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,6
0,1																1,5
0,2															2,5	10,5
0,3														2	9	16
0,4													3	6,5	14	18,5
0,5												2,5	6	10	16	20
0,6										0	2,5	5	9	12,5	17,5	21
0,7									0,5	3	5	7,5	11	14	19,5	21,5
0,8								1,5	3	5	7	9,5	13	16	21	22
0,9				0	0	1	2	3,5	5	7	9	11,5	14	17	21	22,5
1	0	0,5	1	2	2,5	3	4	5,5	7	9	11	13	15,5	18	21	22,5
1,25	4,5	5	5,5	6	6,5	7	8	9,5	11	12,5	14	16	18	20	22	23
1,5	8	8	9	9,5	9,5	10	11	12,5	14	15	16,5	18	19,5	21	22,5	23
1,75	10,5	11	11,5	12	12,5	13	14	15	16	17	18	19,5	20,5	21,5	23	23,5
2	13	13	14	14,5	15	15	16	17	18	18,5	19,5	20,5	21	22	23	23,5
2,25	15	15	15,5	16	16	16,5	17	18	19	19,5	20	21	22	22,5	23	24
2,5	16	16	16,5	17	17,5	18	18,5	19	20	20,5	21	21,5	22	22,5	23,5	24
2,75	17	17	17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5	22	22,5	23	23,5	24
3	18	18	18,5	19	19,5	19,5	20	20,5	21	21,5	22	22,5	23	23	24	24
3,5	19	19,5	20	20	20,5	21	21	21,5	21,5	22	22	22,5	23	23,5	24	24
4	20,5	20,5	21	21	21,5	21,5	22	22	22	22,5	22,5	23	23,5	24	24	24
4,5	21	21	21,5	21,5	22	22	22	22,5	22,5	23	23	23	24	24	24	24
5	21,5	21,5	22	22	22	22,5	22,5	22,5	23	23	23	23,5	24	24	24	24
6	22	22	22,5	22,5	22,5	22,5	23	23	23	23,5	23,5	24	24	24	24	24
7	22,5	22,5	23	23	23	23	23,5	23,5	23,5	24	24	24	24	24	24	24
8	22,5	23	23	23	23	23,5	23,5	24	24	24	24	24	24	24	24	24

Tabelle 6
 $\varphi(\alpha, D, \delta T); \alpha = 30^\circ$

$\frac{\delta T}{D}$	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,6
0,1																5
0,2															6	17
0,3														3,5	14	22
0,4													3	9	18,5	24
0,5												3	7,5	13	21,5	25,5
0,6										0,5	3,5	7	11	16	23	27
0,7									1	4	6,5	10	14	19	24	27
0,8								1,5	4	6,5	9	12,5	16	20,5	25	27,5
0,9					0	1	3	4,5	7	9	12	15	18	22	26	28
1	0,5	1	1	2	3	3,5	5	7	9	11	14	17	20	23	26,5	28
1,25	5,5	6	6	7	8	8,5	10	12	14	16	18	20,5	22,5	25	27,5	29
1,5	9,5	10	10,5	11,5	12	13	15	16	18	19	21	22,5	24	26,5	28	29
1,75	13	14	14,5	15	16	16	18	19	20,5	21,5	23	24	26	27	28,5	29
2	16	16	17	17,5	18	19	20	21	22	23	24	25,5	26,5	27,5	29	29,5
2,25	18	18,5	19	19,5	20,5	21	22	22	23,5	24	25,5	26,5	27	28	29	29,5
2,5	20	20	21	21,5	22	22,5	23	24	24,5	25,5	26,5	27	27,5	28,5	29	29,5
2,75	21	21,5	22	22,5	23	23,5	24	25	25,5	26	27	27	28	29	29	30
3	22,5	22,5	23	23,5	24	24	25	26	26,5	27	27	28	28	29	29,5	30
3,5	24	24	24,5	25	25,5	26	26,5	27	27	27,5	27,5	28,5	29	29	29,5	30
4	25	25	26	26	26,5	27	27	27,5	28	28	28	29	29	29	29,5	30
4,5	26	26	26,5	27	27	27	28	28	28	28,5	29	29	29	29,5	30	30
5	26,5	27	27	27	27,5	27,5	28	28	28,5	29	29	29	29	29,5	30	30
6	27	27,5	28	28	28	28,5	29	29	29	29	29	29	29,5	30	30	30
7	27	28	28	28	28,5	29	29	29	29	29	29	29,5	30	30	30	30
8	28	28	28,5	28,5	29	29	29	29	29	29,5	29,5	30	30	30	30	30

Tabelle 7

 $\varphi(\alpha, D, \delta T); \alpha = 33^\circ$

$\frac{\delta T}{D}$	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,6
0,1																6,5
0,2															8	19,5
0,3														4	16	24
0,4													3	10	21	26,5
0,5												3,5	8,5	15	23,5	28
0,6										1	3,5	7,5	12,5	18	25,5	29
0,7									1	4	7	11	15,5	21	27	30
0,8								2	4	7	10,5	14	18	22,5	28	30,5
0,9						1	3	5	7	10	13	16,5	19,5	24	28,5	31
1	0,5	1	1,5	2	2,5	3,5	5,5	8	10	12,5	15,5	18,5	22	25,5	29	31
1,25	6	6	7	8	8,5	9	11	14	16	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32
1,5	11	11	11,5	12,5	13,5	14	15,5	18	19,5	21,5	23	25	27	29	31	32
1,75	14,5	15	15,5	16	17	18	19,5	21	22,5	24	25,5	26,5	28	29,5	31,5	32,5
2	18	18	19	19,5	20,5	21	22	23	24,5	25,5	26,5	28	29	30	32	33
2,25	20	20,5	21	22	22,5	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32,5	33
2,5	22	22	22,5	23	23,5	24	25	26,5	27	28	28,5	29,5	30	31	32,5	33
2,75	23,5	23,5	24	24,5	25	26	26,5	27	28	28,5	29	30	30,5	31,5	33	33
3	24	24,5	25	26	26,5	27	27,5	28	28,5	29	29,5	30,5	31	32	33	33
3,5	26,5	26,5	26,5	27	27,5	28	28,5	29	29,5	30	30,5	31	31,5	32,5	33	33
4	27,5	28	28	28	28,5	29	29,5	30	30	30,5	31	31,5	32	32,5	33	33
4,5	28	28,5	29	29	29,5	30	30,5	31	31	31	31,5	32	32,5	33	33	33
5	29	29	29,5	30	30	30	30,5	31	31,5	32	32	32	32,5	33	33	33
6	30	30	30,5	31	31	31	31,5	32	32	32	32	32,5	33	33	33	33
7	30,5	31	31	31	31,5	32	32	32	32	32,5	32,5	33	33	33	33	33
8	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	32	32	32,5	32,5	33	33	33	33	33	33	33

Tabelle 8

$\varphi(\alpha, D, \delta T); \alpha = 36^\circ$

$\frac{\delta T}{D}$	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,6
0.1																8,5
0.2															9	22
0.3														5	18,5	27
0.4													3	11	23	29
0.5												4	9	16	26	31
0.6										0,5	3,5	8	14	20,5	28	32
0.7									1	4,5	8	12	17	22,5	29	32,5
0.8								2	5	8	11,5	15,5	19	25	30	33
0.9				0	0	0,5	2,5	5	7,5	11	14,5	18	22	26,5	31	33,5
1	0,5	1	1,5	2	2,5	3,5	5,5	8	10,5	14	17,5	21	24	27,5	32	34
1,25	6	7	7,5	8	8,5	9,5	11,5	14	16,5	19	21,5	24	27	30	33	34,5
1,5	11,5	12	12,5	13,5	14	15	17	19	21	23	25	27	29	31	34	35
1,75	15,5	16	16,5	17,5	18	19	21	22,5	24	25,5	27	28,5	30,5	32,5	34,5	35
2	19	19,5	20	21	21,5	22	23,5	25	26	27,5	28,5	30	31,5	33,5	35	35,5
2,25	22	22	22,5	23	23,5	24,5	25,5	27	28	29	30	31	32,5	33,5	35	35,5
2,5	23,5	23,5	24,5	25	25,5	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
2,75	25	25,5	26	26,5	27	27,5	28	29	30	31	32	33	33,5	34	35,5	36
3	26,5	27	27,5	27,5	28	28,5	29	30	31	32	32,5	33	34	35	35,5	36
3,5	28	28,5	28,5	29	29,5	30	31	32	32,5	33	33,5	34	34,5	35	35,5	36
4	29,5	30	30	30,5	31	31,5	32	32,5	33	33,5	34	34,5	34,5	35	36	36
4,5	30,5	30,5	31	31,5	32	32,5	33	33,5	33,5	34	34,5	35	35	35,5	36	36
5	31	31,5	32	32,5	32,5	32,5	33	34	34	34,5	34,5	35	35,5	35,5	36	36
6	32,5	33	33	33,5	33,5	34	34	34,5	34,5	35	35	35	35,5	36	36	36
7	33,5	33,5	33,5	34	34	34,5	34,5	35	35	35,5	35,5	36	36	36	36	36
8	33,5	34	34	34	34,5	35	35	35	35,5	36	36	36	36	36	36	36

Tabelle 9

 $\varphi(\alpha, D, \delta T); \alpha = 39^\circ$

$\frac{\delta T}{D}$	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,6
0,1																10
0,2															11	24
0,3														5	21	29
0,4													6	12,5	25,5	32
0,5												4,5	11	18	28	33,5
0,6											4,5	9	15	21,5	30	34,5
0,7									5	8	13	18	24	32	35	
0,8								2,5	5	8	12	16,5	21,5	27	33	36
0,9				0	0	0,5	3	6	9	12	16	20	24	27,5	34	36,5
1	0,5	1	1,5	2	2,5	3,5	6	9	12	15	18,5	22	26	29,5	34,5	36,5
1,25	6,5	7	8	8,5	9	10	12,5	15,5	18	21	23,5	26,5	29,5	32,5	36	37,5
1,5	12	12,5	13	14	15	16	18	21	22,5	24,5	26,5	29	31,5	34	36,5	37,5
1,75	17	17	18	19	20	21,5	23	24	25,5	27,5	29,5	31,5	33,5	35	37	38
2	20,5	21	21,5	22	22,5	23,5	25	27	29	30,5	31,5	32,5	34	36	37,5	38,5
2,25	23	23,5	23,5	24	25	26	27	28,5	30	31,5	32,5	33,5	35	36	37,5	38,5
2,5	25	25,5	26	26,5	27	28	29	30	31	32,5	33,5	34,5	35,5	37	38	38,5
2,75	27	27	27,5	28	28,5	29	30	31,5	32,5	33,5	34	35	36	37	38	38,5
3	28	28	28,5	29	29,5	30	31	32,5	33	34	35	36	37	37,5	38,5	39
3,5	30	30,5	31	31,5	31,5	32	33	34	34,5	35	36	36,5	37	38	38,5	39
4	32	32	32,5	33	33	33,5	34	35	35,5	36	36,5	37	37,5	38	38,5	39
4,5	33	33	33,5	34	34,5	35	35,5	36	36,5	37	37	37,5	38	38,5	39	39
5	34	34	34,5	35	35	35,5	36	37	37	37	37,5	37,5	38	38,5	39	39
6	35	35	35,5	36	36	36,5	37	37	37,5	37,5	38	38,5	38,5	38,5	39	39
7	36	36	36	36,5	36,5	37	37,5	37,5	37,5	38	38	38,5	38,5	39	39	39
8	36,5	36,5	36,5	37	37	37,5	37,5	38	38	38,5	38,5	38,5	39	39	39	39

Tabelle 10

$\varphi(\alpha, D, \delta T); \alpha = 42^\circ$

$\frac{\delta T \rightarrow}{D}$	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,6
0,1																12
0,2															13	26
0,3													7		22	31
0,4													3,5	14,5	27	34
0,5											0	4	11	20	30	35,5
0,6										2,5	5	9,5	16	24	32	36,5
0,7									2	5	9	13,5	20	27	34	37,5
0,8								2	5,5	8,5	13	18	23	29	35	38
0,9				0	0	1	3,5	6	9	12	16	20,5	25	30,5	36	38,5
1	0,5	0,5	1	2	2,5	3,5	6,5	9	12,5	15,5	19	23	27	32	37	39
1,25	7	7,5	8	9	9,5	10,5	14	16	19	22	25	27	30,5	34	38	40
1,5	13	13,5	14,5	15	15,5	16,5	19,5	21,5	23,5	26	28	30,5	33	35,5	38,5	40
1,75	18	18	19	20	20,5	21	23,5	25	27	29	31	33	35	37	39,5	40,5
2	21,5	22	22,5	23	23,5	24	27	28	29,5	32	33	34,5	36	38	39,5	41
2,25	24	24	25	26	26,5	27	29	30	31,5	33	34	35,5	37	38,5	40	41
2,5	26,5	26,5	27	27,5	28	29	30,5	32	33	34	35	36,5	37,5	39	40	41
2,75	28	28,5	28,5	29	30	30,5	32,5	33	34	35	36	37	38,5	39,5	40,5	41,5
3	29,5	30	30,5	31	31,5	32	33,5	34	35	36	37	38	38,5	40	41	41,5
3,5	32	32	32,5	33	33,5	34	35,5	36	36,5	37	38	38,5	39	40	41	41,5
4	33,5	34	34,5	35	35	35,5	36,5	37	37,5	38	39	39,5	40	40,5	41,5	41,5
4,5	35	35	35,5	36	36,5	36,5	37,5	38	38,5	39	39	39,5	40	41	41,5	41,5
5	35,5	36	36,5	36,5	37	37	38,5	38,5	39	39	39,5	40	40,5	41	41,5	42
6	37	37	37	37,5	38	38,5	39	39,5	39,5	40	40	40,5	41	41,5	42	42
7	38	38	38	38,5	38,5	39	40	40	40	40,5	40,5	41	41	41,5	42	42
8	38,5	38,5	38,5	39	39,5	39,5	40	40,5	40,5	40,5	41	41	41,5	42	42	42

Tabelle 11

 $\varphi(\alpha, D \delta T); \alpha = 45^\circ$

$\frac{\delta T}{D}$	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,6	
0,1																13	
0,2																14	27
0,3															8	23,5	32,5
0,4													5,5	17	28,5	35,5	
0,5											0	5	12	20	34	37,5	
0,6											5	10	17	25,5	35,5	38,5	
0,7									2	5	9,5	15	21	28,5	37	39	
0,8								3	6	9,5	14	19	24	30,5	37,5	40	
0,9				0	0	0,5	4	6,5	9	13	17,5	22	26,5	32,5	38,5	40,5	
1	0,5	1	1	2	3	4	6,5	9,5	13	16,5	20	24,5	28	34	40	41,5	
1,25	7,5	7,5	8	9	10	11	14	17	20,5	23	26	29	32	36	41	42	
1,5	13,5	14	14,5	15,5	16	17	19,5	22,5	25	27	29	31,5	34,5	38	42	42,5	
1,75	18	19	19,5	20,5	21	22	24	26,5	28	30	32	34	36,5	39,5	42,5	43	
2	22	22,5	23,5	24	24,5	25	27	29	31	32,5	34	36	38	40,5	43	43,5	
2,25	25	25,5	26	27	27,5	28	29,5	31,5	33	34,5	36	37,5	39	41	43	43,5	
2,5	27	27,5	28	28,5	29	30	31,5	33,5	34,5	36,5	37	38	39,5	41	43	44	
2,75	29	29,5	30	30,5	31,5	32	33,5	35	36	37	38	39	40	42	43,5	44	
3	30,5	31	31,5	32	32,5	33	34,5	36	37	38	38,5	39,5	40,5	42	43,5	44	
3,5	33	33,5	33,5	34	34,5	35,5	36,5	37,5	38,5	39	40	41	42	43	43,5	44	
4	35	35	35,5	36	36,5	37	38	39	39	40	41	41,5	42	43	44	44	
4,5	36	36	36,5	37	37,5	38	39	40	40	41	41,5	42,5	43	43,5	44	44	
5	37	37,5	37,5	38	38,5	39	40	40,5	41	41,5	42	42,5	43	43,5	44	44,5	
6	38,5	39	39,5	40	40	41	42	42	42,5	43	43	43,5	43,5	44	44,5	45	
7	39,5	40	40	40	40,5	41	42	42,5	43	43	43	43,5	44	44	45	45	
8	40	40,5	40,5	41	41,5	42	42,5	43	43	43	43,5	43,5	44	44,5	45	45	

Tabelle 12

 $\varphi(\alpha, D, \delta T); \alpha = 50^\circ$

$\frac{\delta T}{D}$	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,6
0,1																15
0,2																16 29
0,3													1,5	7	25,5	35
0,4													5	16	30,5	38
0,5											0	5,5	14	22	34	40
0,6										1	6	11	19	26,5	36,5	42
0,7									1,5	6	11	16	23	29	38	43
0,8								3	6,5	10	15	20	26	31,5	39	44
0,9				0	0	0,5	3,5	6,5	10	14	18,5	23	28,5	33,5	40,5	44,5
1	0,5	1	1,5	2,5	3	4	7	10	14	17,5	22	26	31	35	42	45
1,25	7,5	8	9	9,5	10,5	11,5	15	18	21	24	27,5	30,5	34,5	38,5	43,5	46,5
1,5	14	15	15,5	16	17	18	21	24	26,5	28,5	31	34	37	40	45	47
1,75	19,5	20	20,5	21,5	22	23	25	27,5	30	32	34,5	36,5	39,5	42	46	48
2	23,5	23,5	24	25	26	26,5	29	31	33	34,5	36,5	38,5	41	43	46,5	48,5
2,25	26,5	27	27,5	28	28,5	29	31	33,5	35	36,5	38	39,5	42	44	47	48,5
2,5	28,5	29	29,5	30	31	32	33,5	35,5	37	38	39,5	41	43	45	47,5	49
2,75	31	31	32	32,5	33	33,5	35	37	38	39	41	42,5	44	45,5	48	49
3	32,5	33	33	33,5	34,5	35	36,5	38	39	40	41,5	43	45	46,5	48,5	49
3,5	35	35,5	36	36,5	37	37,5	39	40	41,5	42,5	43,5	44	45,5	47	48,5	49
4	37	37,5	38	38,5	38,5	39	39,5	40	42	43,5	44,5	45,5	47	48	49	49,5
4,5	38,5	38,5	39	39,5	40	40,5	42	43	44	44,5	45,5	46,5	47,5	48	49,5	49,5
5	40	40	40,5	41	41,5	42	43	44	45	45,5	46,5	47	48	48,5	49,5	50
6	42	42	42,5	42,5	43	43,5	45	46	46,5	47	47,5	48	48,5	49	50	50
7	43	43	43	43,5	44	45	46	46,5	47	47,5	48	48,5	48,5	49	50	50
8	44	44	44,5	45	45	45	46	47,5	47,5	47,5	48	48,5	49	49,5	50	50

Tabelle 13

 $\varphi(\alpha, D, \delta T); \alpha = 55^\circ$

$\frac{\delta T}{D}$	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,6
0,1																15,5
0,2															17	30,5
0,3														7,5	26,5	36,5
0,4													8	16,5	32	39
0,5												6	14,5	22,5	35	42
0,6										1,5	7	11,5	19,5	27	37,5	43,5
0,7									1,5	6	11,5	16,5	23,5	30	39,5	45
0,8								3	7	10,5	15,5	21	27,5	33	41	46
0,9				0	0	0,5	4	7	11	14,5	19,5	24	30	35	43	47
1	0,5	0,5	1,5	2,5	3,5	4	7,5	10,5	14,5	18	22,5	26,5	32	36,5	43,5	48
1,25	8	8	9	10	11	12	15,5	19	22	25	28,5	31,5	35,5	39	45,5	49
1,5	14,5	15	16	16,5	17,5	18,5	21,5	24,5	27	29,5	32,5	35	39	42	47	50
1,75	20	20,5	21,5	22	22,5	23,5	26	28,5	31	33	35,5	37,5	40,5	43,5	48,5	50,5
2	24	24	25	26	26,5	27	29,5	32	34	35,5	37	39	42	45	49	51,5
2,25	27	27,5	28	28,5	29,5	30	32,5	34,5	36	37,5	39,5	41,5	44	46,5	50	52
2,5	29,5	30	30,5	31	31,5	32,5	35	37	38	39	41	43	45,5	47,5	50,5	52
2,75	32	32,5	33	33,5	34	34,5	36	38	39,5	40,5	42,5	44	46,5	48,5	51,5	52,5
3	33,5	34	34,5	35	35,5	36	38	40	41,5	42,5	44	45	47,5	49	51,5	52,5
3,5	36	36,5	37	37,5	38	38,5	40,5	42	43	44	45,5	47	48,5	50	52	52,5
4	38,5	38,5	38,5	39	40	40,5	42,5	44	45	46	47	48	50	51	52,5	53,5
4,5	39,5	40	40,5	41	41,5	42	43,5	45	46	47	48	49	50	51	52,5	53,5
5	41,5	41,5	42	42,5	43	43,5	45	46,5	47	47,5	48,5	49,5	50,5	51,5	52,5	54
6	43,5	43,5	44	44,5	45	45,5	46,5	47,5	48,5	49	50	50,5	51,5	52,5	53,5	54
7	45	45	45,5	46	46,5	47	48,5	49,5	50	50	50,5	51	52	52,5	54	54,5
8	46	46,5	46,5	47	47,5	48	49	50	51	51,5	51,5	52	52,5	53	54	55

Tabelle 14

 $\varphi(\alpha, D, \delta T); \alpha = 60^\circ$

$\frac{\delta T}{D}$	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,6
0,1																16,5
0,2															18	31,5
0,3													9	27	37,5	
0,4												6	18	33	40,5	
0,5											0,5	7	13,5	24,5	36	43
0,6										1	6	12	19,5	27,5	39	45
0,7									2,5	5,5	11	17,5	24	30	40,5	47
0,8							1,5	3,5	7	11,5	16	21,5	27	35	43	48
0,9				0	0	1	4,5	8	11	15,5	20	23,5	29,5	36	44	49
1	0,5	1	1,5	2	3	4	8	11	15	19	23	27	32	38	45	50
1,25	8	8	9	10	11	12	15,5	19	22,5	25,5	28,5	33	38	42	47,5	51,5
1,5	15	15	16	17	18	18,5	21,5	24,5	27,5	30	33	36	39	44	49	52,5
1,75	20	21	21,5	22	23	24	26,5	29	31,5	33,5	36	39	42	45,5	50,5	54,5
2	24	24	25	26	26,5	27,5	30	32,5	34,5	36,5	38,5	41	43,5	47,5	52	56
2,25	27,5	27,5	28	29	29,5	30,5	32,5	35	37	38,5	40	42,5	45	48,5	52,5	56
2,5	30	30	31	32	32,5	33	35	37	39	40,5	42	44	46,5	50	54	56,5
2,75	32	33	33,5	34	34,5	35	36	38	40	41,5	43,5	45,5	48	51	55	57,5
3	34	34	34,5	35	36	37	38	39,5	42	43,5	45	47	49	52	55	57,5
3,5	37	37	37,5	38	38,5	39	40	41,5	44	45,5	47	49	50,5	53	56,5	57,5
4	38,5	39	39,5	40	40,5	41,5	43	45	46,5	47,5	49	50,5	52	54,5	57,5	58,5
4,5	40,5	41	41,5	42	42,5	43	45	47	48	49	50	51,5	52,5	55	57,5	59
5	42,5	42,5	43	43,5	44	44,5	46	47,5	49	50	51	52,5	54	56,5	59	60
6	44,5	45	45,5	46	46,5	47	48,5	50	51,5	53	54	55	56	58	60	60
7	46,5	46,5	47	48	48,5	49	50	51	52,5	53,5	54,5	55,5	56,5	58	60	60
8	47,5	48	48,5	49	49,5	50	51,5	53	54	54,5	55,5	56	57,5	58,5	60	60

b) $\delta t \leq \delta T \leq 2,7 - \delta t$. Auf Grund von Abb. 3 sind die Flächen, das heißt die Schalldruckimpulse

$$\begin{aligned} A &= DK(\delta T + \delta t) + (2,7 - \delta T - \delta t) \sqrt{1 + (DK)^2} \\ B &= D(\delta T - \delta t) + (2,7 - \delta T) \sqrt{K^2 + D^2} \end{aligned} \quad (8)$$

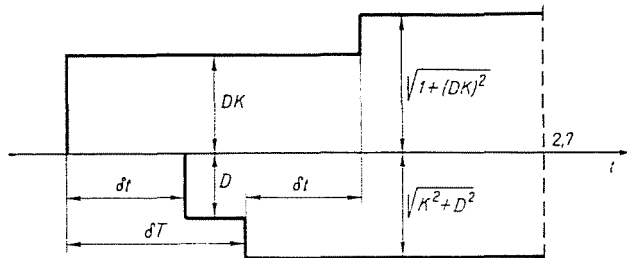


Abb. 3

c) $2,7 - \delta t \leq \delta T \leq 2,7$. Auf Grund von Abb. 4 kann in ähnlicher Weise geschrieben werden:

$$\begin{aligned} A &= 2,7 DK \\ B &= D(\delta T - \delta t) + (2,7 - \delta T) \sqrt{K^2 + D^2} \end{aligned} \quad (9)$$

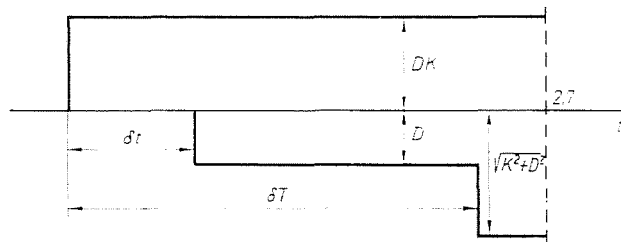


Abb. 4

d) $\delta T \geq 2,7$. Aus Abb. 5 ist zu entnehmen, daß nur die Wirkung des Linkslautsprechers zur Geltung kommt, eine Fusion der beiden Schallquellen ist also nicht zustande gekommen. So gilt natürlich

$$f(\varphi) = \frac{K - 1}{K + 1} \quad (10)$$

woraus hervorgeht, daß $\varphi = \alpha$ ist.

Aus den ausgerechneten Funktionen $f(\varphi)$ werden die Werte von φ anhand einer Tabelle [1] bestimmt. Je eine Tabelle gibt die Winkel φ bei einem gegeb-

nen Basiswinkel (α) für verschiedenen Kombinationen $\delta T - D$ auf halben Grad abgerundet an.

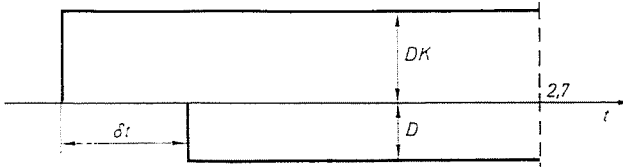


Abb. 5

Berechnung der Richtung des virtuellen Schallbildes in allgemeiner Versuchsanordnung

Der Standort des Beobachters ist in Abb. 6 gezeigt. Durch die Symmetrieachse des Kopfes wird der durch die zu den beiden Lautsprechern gezogenen Geraden gebildete Winkel halbiert. Durch die Annahme dieser Richtung wird

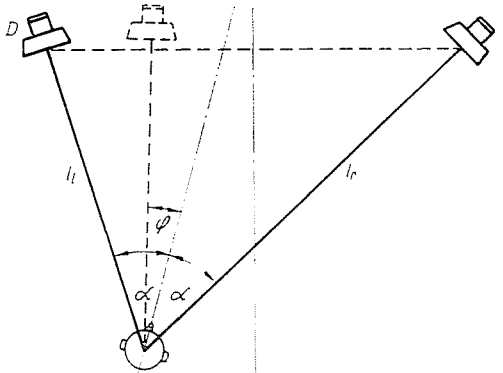


Abb. 6

die Allgemeinheit nicht beeinträchtigt, weil die virtuelle Schallbildrichtung in erster Näherung von der Einstellung des Kopfes unabhängig ist. Durch die Stellung wird ein gegebener Basiswinkel α bestimmt. Zur Ermittlung der Richtung φ können einfach die beigeschlossenen Tabellen benutzt werden, nur der Entfernungsunterschied der Lautsprecher ist in Betracht zu ziehen. Das geschieht so, daß man statt des Intensitätsverhältnisses

$$D^* = \frac{l_l}{l_r} D \quad (11)$$

und statt des Zeitunterschieds der Lautsprecher

$$\delta T^* = \delta T + \frac{l_r - l_l}{c} \quad (12)$$

einsetzt. Die voraussichtliche Richtung ist also durch $\varphi(\alpha, D^*, \delta T^*)$ gegeben. Die Werteinteilung der Funktion wurde in solchem Maße verfeinert, daß bei der Berechnung der Zwischenwerte eine einzige lineare Interpolation in jedem Falle genügt.

Zusammenfassung

Zur Untersuchung der stereophonischen Wirkungen wurde ein einfaches Modell des Mechanismus der Richtungsempfindung angewendet. Die Gesamtergebnisse der Berechnungen sind in Tabellen angegeben. Mit deren Hilfe kann die voraussichtliche stereophonische Richtungswahrnehmung auch eines sich nicht in der Symmetrieebene befindenden Beobachters bestimmt werden. Die Tabellen sind bei Zeit- oder Intensitätsstereophonie in gleicher Weise anwendbar.

Literatur

1. SZABÓ, Á.: *Periodica Polytechnica*, **12**, 39 (1968).
2. DEATHERAGE, B. H.—HIRSCH, I. J.: *J. Acoust. Soc. Am.* **31**, 486 (1959).
3. MOUSHEGIAN, G.—JEFFRESS, L. A.: *J. Acoust. Soc. Am.* **31**, 1441 (1959).
4. HARRIS, G. G.: *J. Acoust. Soc. Am.* **32**, 685 (1960).
5. WHITWORTH, R. H.—JEFFRESS, L. A.: *J. Acoust. Soc. Am.* **33**, 925 (1961).
6. COLBURN, H. S.—DURLACH, N. J.: *J. Acoust. Soc. Am.* **37**, 93 (1965).
7. HAAS, H.: *Acustica* **1**, 49 (1951).
8. MEYER, E.—SCHODDER, G. R.: *Nachr. Akad. Wiss. Göttingen IIa*, **6**, 31 (1952).

Árpád SZABÓ, Budapest XI., Budafoki u. 8. Ungarn.