

Musterlösung: 2. Juli 2014

1 Pegeldifferenzstereophonie

1) Erläutern Sie die Begriffe *Hauptachsenwinkel*, *Aufnahmewinkel* und *Akzentanzwinkel* eines XY-Stereophonie-Mikrofonsystems.

Lösung:

Unter dem *Hauptachsenwinkel* versteht man den Öffnungswinkel der Mikrofone, also den Winkel, der zwischen der Hauptachsen der beiden Mikrofone entsteht. Als *Aufnahmewinkel* bezeichnet man den Winkel zwischen den beiden Schalleinfallrichtungen, die das Klanggeschehen gerade aus einem der beiden Lautsprecher lokalisieren lassen. Nach DIN 60268 wird ein Schallereignis aus einem der beiden Lautsprecher lokalisiert, wenn die Pegeldifferenz zwischen den Signalen für linken und rechten Kanal zwischen 15 und 18 dB betragen.

2) Gegeben sei ein stereofones Aufnahmesystem nach dem XY-Verfahren aus zwei Mikrofonen in Nierencharakteristik mit 90 Grad Öffnungswinkel. Welche Pegeldifferenz zwischen linkem und rechtem Kanal erzeugt eine Schallquelle aus 45 Grad Einfallrichtung und aus 90 Grad Einfallrichtung (seitlicher Schalleinfall)?

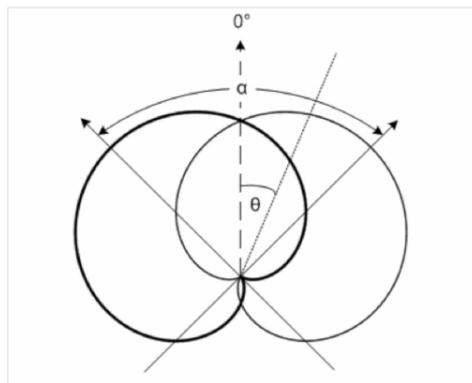


Abbildung 1: Stereofones XY-System mit Nierencharakteristiken

Lösung:

Die Pegeldifferenz ergibt sich als logarithmisches Maß des Verhältnisses von linkem und rechtem Kanal:

$$\begin{aligned} \Delta L &= 20 \log \left(\frac{A + B \cos\left(\frac{\alpha}{2} + \theta\right)}{A + B \cos\left(\frac{\alpha}{2} - \theta\right)} \right) \\ &= 20 \log \left(\frac{0,5 + 0,5 \cos\left(\frac{\alpha}{2} + \theta\right)}{0,5 + 0,5 \cos\left(\frac{\alpha}{2} - \theta\right)} \right) \end{aligned}$$

Der Öffnungswinkel α (Hauptachsenwinkel) beträgt laut Aufgabenstellung 90 Grad ($= \pi/2$). Bei einer Schalleinfallrichtung von $\theta = 45$ Grad ($= \pi/4$) beträgt die Pegeldifferenz zwischen linkem und rechtem Kanal demnach:

$$\begin{aligned}\Delta L_{45} &= 20 \log \left(\frac{0,5 + 0,5 \cos\left(\frac{\pi/2}{2} + \frac{\pi}{4}\right)}{0,5 + 0,5 \cos\left(\frac{\pi/2}{2} - \frac{\pi}{4}\right)} \right) \\ &= 20 \log \left(\frac{0,5}{1} \right) = -6,02 \text{ dB}\end{aligned}$$

Und bei einer Schalleinfallrichtung von 90 Grad:

$$\begin{aligned}\Delta L_{90} &= 20 \log \left(\frac{0,5 + 0,5 \cos\left(\frac{\pi/2}{2} + \frac{\pi}{2}\right)}{0,5 + 0,5 \cos\left(\frac{\pi/2}{2} - \frac{\pi}{2}\right)} \right) \\ &= 20 \log \left(\frac{0,5 + 0,5 \cos(3\pi/4)}{0,5 + 0,5 \cos(-\pi/4)} \right) = -15,3 \text{ dB}\end{aligned}$$

3) Wo werden die beiden Schallquellen bei der stereofonen Wiedergabe auf der Lautsprecherbasis abgebildet?

Lösung:

Folgende Richtwerte gelten für die Auslenkung auf der Stereobasis:

Auslenkung	0%	25%	50%	75%	100%
Pegeldifferenz	0 dB	3 dB	6,5 dB	10 dB	16 dB

Demnach ergibt sich für eine Schalleinfallrichtung aus 45 Grad (Pegeldifferenz: -6 dB) eine Auslenkung von etwas weniger als 50%, bei 90 Grad (Pegeldifferenz: -15,3 dB) eine Lokalisierung bei fast 100%.

4) Welchen Hauptachsenwinkel muss man bei einem XY-System mit zwei Nieren einstellen, um einen Aufnahmewinkel von 120 Grad zu erhalten?

Lösung:

Hinweis: Verwenden Sie folgende Zusammenhänge:

$$1. \cos(x \pm y) = \cos x \cos y \mp \sin x \sin y$$

$$2. \alpha \sin(\omega t) + b \cos(\omega t) = A \sin(\omega t + \phi)$$

$$A = \sqrt{\alpha^2 + b^2}, \tan(\phi) = \frac{b}{\alpha}$$

Um den Öffnungswinkel errechnen zu können ist es notwendig, die Gleichung für die Pegeldifferenz nach α umzustellen:

$$\begin{aligned}\Delta L &= 20 \log\left(\frac{A + B \cos\left(\frac{\alpha}{2} + \theta\right)}{A + B \cos\left(\frac{\alpha}{2} - \theta\right)}\right) \\ 10^{\frac{\Delta L}{20}} &= \frac{A + B \cos\left(\frac{\alpha}{2} + \theta\right)}{A + B \cos\left(\frac{\alpha}{2} - \theta\right)} \\ 10^{\frac{\Delta L}{20}} (A + B \cos\left(\frac{\alpha}{2} - \theta\right)) &= A + B \cos\left(\frac{\alpha}{2} + \theta\right) \\ A \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}} + B \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}} \left(\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\cos(\theta) + \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\sin(\theta)\right) &= A + B \left(\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\cos(\theta) - \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\sin(\theta)\right) \\ (B \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}} + B)\sin(\theta)\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) + (B \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}} - B)\cos(\theta)\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) &= A - A \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}}\end{aligned}$$

Mit $k = (B \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}} + B)\sin(\theta)$ und $l = (B \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}} - B)\cos(\theta)$ bekommt man:

$$\begin{aligned}\sqrt{k^2 + l^2} \sin\left(\frac{\alpha}{2} + \arctan\left(\frac{l}{k}\right)\right) &= A - A \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}} \\ \sin\left(\frac{\alpha}{2} + \arctan\left(\frac{l}{k}\right)\right) &= \frac{A - A \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}}}{\sqrt{k^2 + l^2}} \\ \alpha &= 2 \cdot \arcsin\left(\frac{A - A \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}}}{\sqrt{k^2 + l^2}}\right) - 2 \cdot \arctan\left(\frac{l}{k}\right)\end{aligned}$$

Die numerische Werte können jetzt eingesetzt werden: Es ist $\theta = 60$ Grad (die Hälfte des Aufnahmewinkels), $A = B = 0,5$ (für eine Nierencharakteristik), und die Pegeldifferenz für den Wert des Aufnahmewinkels beträgt -16 dB. Daraus lassen sich k und l berechnen.

$$\begin{aligned}k &= (B \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}} + B)\sin(\theta) = (0,5 \cdot 10^{\frac{-16}{20}} + 0,5)\sin\left(\frac{\pi}{3}\right) = (0,5 \cdot 0,158 + 0,5)\frac{\sqrt{3}}{2} = 0,5 \\ l &= (B \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}} - B)\cos(\theta) = (0,5 \cdot 10^{\frac{-16}{20}} - 0,5)\cos\left(\frac{\pi}{3}\right) = (0,5 \cdot 0,158 - 0,5)\frac{1}{2} = -0,21 \\ A - A \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}} &= 0,5 - 0,5 \cdot 10^{\frac{-16}{20}} = (0,5 - 0,5 \cdot 0,158) = 0,421\end{aligned}$$

Und somit ergibt sich ein Öffnungswinkel von:

$$\alpha = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{0,421}{\sqrt{(0,5)^2 + (-0,21)^2}}\right) - 2 \cdot \arctan\left(\frac{-0,21}{0,5}\right) = 2,56 \text{ Rad} = 147 \text{ Grad}$$

2 Laufzeitstereophonie

1) Erläutern Sie die Funktionsweise eines Laufzeitstereophonen Mikrofonsystems.

Lösung:

Tritt ein Schallereignis aus einer bestimmten Richtung beim Hörer ein, dann wird es zum einem an dem Schallereignis zugewandten Ohr geringfügig lauter wahrgenommen als am abgewandten Ohr, und zum anderen trifft es auf der abgewandten Seite mit einer gewissen Verzögerungszeit ein. Das menschliche Ohr wertet diese Informationen aus, um das Ereignis zu lokalisieren. Diese Tatsache bildet die Grundlage für die stereophonen Aufnahmeverfahren Laufzeitstereophonie, Pegeldifferenzstereophonie und Äquivalenzstereophonie.

Im Falle der Laufzeitstereophonie werden zwei Mikrofone in einem gewissen Abstand zueinander positioniert, sodass Schall, der etwas seitlich auf das Mikrofonsystem auftrifft unterschiedliche Laufzeiten zu den einzelnen Mikrofonen aufweist. Pegeldifferenzen, die sich durch diese Abstände ergeben, sind dabei sehr gering und werden in der Regel vernachlässigt.

Bei der Pegeldifferenzstereophonie befinden sich die Mikrofone am gleichen Ort, es entstehen also keine Laufzeitunterschiede zwischen denen. Stattdessen werden bei der dieser Art der Stereophonie stets gerichtete Mikrofone verwendet und gegeneinander verdreht, sodass sich - bedingt durch die Richtcharakteristik der Mikrofone - bei verschiedenen Einfallsrichtungen verschiedene Pegeldifferenzen ergeben.

Die Äquivalenzstereophonie vereint die beiden Verfahren, indem gerichtete Mikrofone gegeneinander verdreht und in einem Abstand zueinander positioniert werden, sodass sowohl Laufzeit- als auch Pegelunterschiede entstehen.

2) Welchen Aufnahmewinkel besitzt ein AB-Mikrofonsystem, das eine Mikrofonsbasis von 60cm aufweist?

Lösung:

Das Prinzip der Laufzeitstereophonie ist von folgender Skizze gegeben:

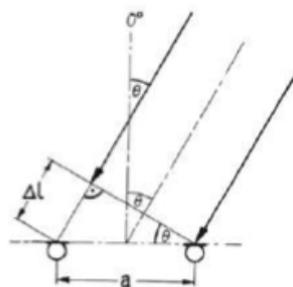


Abbildung 2: Laufzeitstereophonie

Dabei bezeichnet Δl die Wegdifferenz, die der Schall zum linken Mikrofon mehr zurücklegen muss, als zum rechten. Sie lässt sich mithilfe des Winkels θ und der Basisbreite α ausdrücken:

$$\sin(\theta) = \frac{\Delta l}{\alpha} \rightarrow \Delta l = \alpha \cdot \sin(\theta)$$

Ist die Schallgeschwindigkeit bekannt, lässt sich die Laufzeit berechnen nach:

$$c = \frac{\Delta l}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{\alpha \cdot \sin(\theta)}{c}$$

Der Aufnahmewinkel ergibt sich als $2 \cdot \theta_{max}$, wobei θ_{max} der Winkel ist, der gerade für eine Lokalisation der Schallquelle aus einem der beiden Lautsprecher sorgt. Dies ist bei einer Laufzeitdifferenz von ca. 1,2 ms der Fall. Demnach ergibt sich θ_{max} zu:

$$\theta = \arcsin\left(\frac{\Delta t \cdot c}{\alpha}\right) \rightarrow \theta_{max} = \arcsin\left(\frac{1,2 \cdot 10^{-3} s \cdot 340 m/s}{60 \cdot 10^{-1} m}\right) = 43 \text{ Grad}$$

Der Aufnahmewinkel beträgt demnach $2 \cdot \theta_{max} = 86 \text{ Grad}$.

3) Für eine Choraufnahme möchten Sie ein AB-Mikrofonsystem bestehend aus zwei Kugelmikrofonen verwenden. Das Ensemble hat eine Ausdehnung von 6m. Das Mikrofonsystem soll in einem Abstand von 4m vom Chor entfernt positioniert werden. Welche Basisbreite müssen Sie wählen, damit der Chor sich über die gesamte Breite der Lautsprecherbasis erstreckt?

Lösung:

Der maximale Öffnungswinkel ergibt sich zu

$$\theta_{max} = \arctan\left(\frac{6m/2}{4m}\right) = 37 \text{ Grad}$$

Demnach ergibt sich als Basisbreite:

$$\alpha = \frac{\Delta t \cdot c}{\sin(\theta)} = \frac{1,2ms \cdot 340m/s}{\sin(37)} = 68cm$$

4) Wie ändert sich die Lokalisation, wenn Sie statt der Kugelmikrofone Mikrofone mit Nierencharakteristik verwenden? Was ändert sich klanglich?

Lösung:

Sofern die Nierenmikrofone parallel ausgerichtet werden, ergibt sich keine veränderte Lokalisation, weil weiterhin die gleichen Laufzeitdifferenzen bestehen, und bei parallelem Schalleinfall keine Pegeldifferenzen hinzukommen. Es ändert sich jedoch der relative Pegel der Richtcharakteristik: Seitlich einfallend Schallwellen werden beispielsweise um 6 dB leiser aufgenommen als frontal einfallende. Darüber hinaus ergibt sich durch die Verwendung von Druckgradientenempfängern ein entsprechend tieferärmeres Klangbild.