

Ein Beitrag zum Verständnis der Summenlokalisierung

von Hans-Joachim Platte, Klaus Genuit,

Institut für Elektrische Nachrichtentechnik, Technische Hochschule Aachen

Aus: Fortschritte der Akustik, Vorträge und Referate, 7. Tagung der DAGA 1980, München

1. Einleitung

Als Summenlokalisierung bezeichnet man bekanntlich den Effekt, dass bei Beschallung einer Versuchsperson mit zwei räumlich getrennten Schallquellen, die kohärente Signale abstrahlen, *ein resultierendes* Hörereignis auftritt, dessen räumliche Merkmale von der Position beider Schallquellen und den von beiden Schallquellen abgestrahlten Signalen abhängen. Das elementare Beispiel für die Summenlokalisierung findet sich bei der üblichen Stereo-Lautsprecheranordnung (2 Lautsprecher mit einem Basiswinkel von 60° symmetrisch zur Medianebene), wenn beide Lautsprecher mit identischen Signalen gespeist werden. In diesem Fall tritt ein resultierendes Hörereignis auf, das oft der sogenannten Phantomschallquelle zugeordnet wird, und in der Medianebene, meistens oberhalb der Mitte der Lautsprecherverbindungsgeraden liegt. Bei Einfügen von Pegelunterschieden ("Intensitätsstereofonie") oder Laufzeitunterschieden ("Laufzeitstereofonie") zwischen die beiden Lautsprecher ändern sich die räumlichen und eigenschaftlichen Merkmale des resultierenden Hörereignisses in einer Art, die nicht direkt durch die Zusammenhänge zwischen Schall- und Hörereigniseigenschaften bei Einzelschallquellen zu erklären ist ^{*/1/}, ^{*/2/}. Die Analyse der jeweiligen Ohrsignale nach solchen Merkmalen, die nachweislich vom Nachrichtenempfänger "menschliches Gehör" ausgewertet werden können (z. B. Leistungsbilanz über die richtungsbestimmenden Bänder, interaurale Pegel-, Phasen- und Laufzeitdifferenzen) liefert bereits brauchbare Ansätze zur Deutung von Summenlokalisationsphänomenen ^{*/1/}. Eine *allgemein* befriedigende Erklärung der Hörereigniseigenschaften bei mehreren kohärenten Schallquellen steht jedoch noch aus; sie kann auch in dieser Arbeit nicht gegeben werden. Die folgenden Ausführungen sollen jedoch einen Beitrag zum Verständnis der Summenlokalisierung leisten, und zwar speziell in Hinblick auf die von THEILE ^{*/3/} aufgeworfene Frage, ob die Eigenschaften des resultierenden Hörereignisses tatsächlich durch die Eigenschaften der resultierenden Ohrsignale zu erklären sind oder ob andere Modellvorstellungen herangezogen werden müssen, wie zum Beispiel das von ihm vorgeschlagene Assoziationsmodell ^{*/3/}.

2. Summenlokalisationsmodelle

Bei Beschallung einer Versuchsperson (VP) mit einem Lautsprecher der Freifeld-Übertragungsfunktion $W_{LS}(f)$ in reflexionsfreier Umgebung (vgl. Abb.1, oben links) leiten sich die Ohrsignale $p_R(t)$ und $p_L(t)$ entsprechend dem in Abb.1 unten links dargestellten Signalflussbild aus dem Lautsprechereingangssignal $s(t)$ her. $A_R(f, \varphi)$ und $A_L(f, \varphi)$ sind dabei die komplexen Freifeld-Außenohrübertragungsfunktionen des rechten und linken Ohres bei Schallquellenorten in der Horizontalebene, wobei φ den jeweiligen Horizontalwinkel des Lautsprecherortes in kopfbezogenen Koordinaten angibt. Man muss in diesem Fall *eines* Lautsprechers annehmen, dass der Nachrichtenempfänger "menschliches Gehör" die Ohrsignale $p_R(t)$ und $p_L(t)$ auf spezielle spektrale Merkmale der Außenohrübertragungsfunktionen hin analysiert und den Hörereignisort aus der Klassifikation der extrahierten Merkmalsmuster an gespeicherten (erlernten) Mustern herleitet ^{*/4/}. Dieselbe Modellvorstellung wird üblicherweise auch für Beschallungsfälle mit mehreren kohärenten Schallquellen angenommen, führt hierbei jedoch zu einigen grundsätzlichen Schwierigkeiten, die am rechten Teil von Abb. 1 zu erkennen sind.

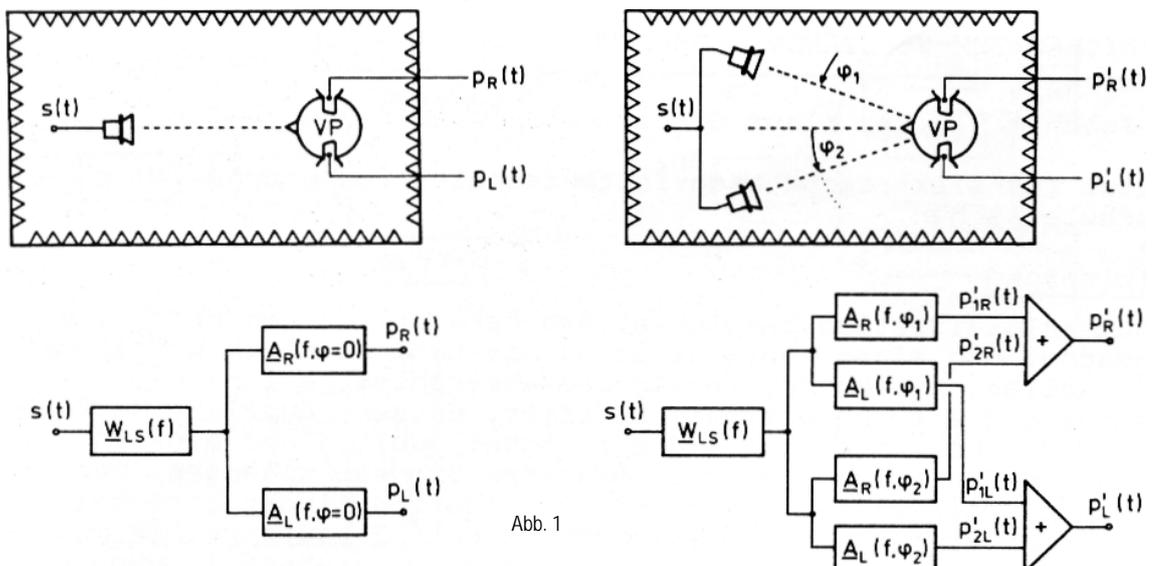


Abb. 1

Abb. 1 Prinzipanordnung und Signalflussbild bzgl. der Ohrsignale links: Beschallung mit Einzellautsprecher
rechts: Beschallung mit zwei Lautsprechern, die identische Signale abstrahlen

Dargestellt sind dort die Prinzipanordnung und das Signalflussbild des bereits vorher zitierten Beschallungsfalles mit zwei Lautsprechern, die identische Signale abstrahlen. Jedes Ohrsignal $p_R(t)$ und $p_L(t)$ setzt sich hier additiv aus zwei Signalanteilen zusammen, einem vom jeweils näher stehenden Lautsprecher (wirksame Außenohrübertragungsfunktion: $A_R(f, \varphi_1)$ bzw. $A_L(f, \varphi_2)$) und einem vom jeweils weiter entfernten Lautsprecher (wirksame Außenohrübertragungsfunktion: $A_L(f, \varphi_1)$ bzw. $A_R(f, \varphi_2)$). Da der Nachrichtenempfänger "menschliches Gehör" von dem zweiten kohärenten Lautsprecher keine Kenntnis haben muss und der zur Hörereignisortsbildung im Empfänger vorliegende Merkmalsmustersvorrat auf Lernprozessen mit nur *einer* Schallquelle beruhen wird, nimmt man bislang allgemein an, dass die Ohrsignale $p_R(t)$ und $p_L(t)$ zunächst genauso ausgewertet werden wie $p_R(t)$ und $p_L(t)$. Das bedeutet: Das aktuelle Signalflussbild aus Abb. 1 rechts wird gleichsam nach der links in Abb. 1 stehenden Struktur entwickelt, wobei hier $A_R(f, \varphi_1 = 0)$ durch $A_R(f, \varphi_1) + A_R(f, \varphi_2)$ und $A_L(f, \varphi_2 = 0)$ durch $A_L(f, \varphi_1) + A_L(f, \varphi_2)$ zu ersetzen ist. Das Problem der Erklärung der Summenlokalisierung liegt nun darin, dass eine solche Summe von zwei Außenohrübertragungsfunktionen für verschiedene Schallquellenorte allein aufgrund von Laufzeitunterschieden und den dadurch verursachten Kammfilterstrukturen kaum wieder eine reale Außenohrübertragungsfunktion für einen anderen Schallquellenort (Phantom-schallquellenort) ergeben wird ^{*/4/}. Ein einfacher Vergleich der resultierenden Übertragungsfunktion mit den gemessenen Außenohrübertragungsfunktionen für eine Einzelschallquelle führt daher nicht weiter, d. h. die Erklärung der Hörereigniseigenschaften aus dieser Modellvorstellung steht und fällt mit dem derzeit unvollständigen Wissen um die vom Nachrichtenempfänger "menschliches Gehör" letztlich extrahierten Merkmalsmuster und um die anzunehmenden Klassifizierungsprozesse.

Diese Probleme vermeidet THEILE mit seinem 1979 vorgeschlagenen Assoziationsmodell ^{*/3/}. Es basiert auf der Annahme, dass im Nachrichtenempfänger "Gehör" bei Beschallung mit z. B. zwei kohärenten Schallquellen nicht die Summensignale $p_R(t)$ und $p_L(t)$ (vgl. Abb.1 rechts) ausgewertet werden, sondern diese nach den Signalanteilen $p'_R(t)$ und $p'_L(t)$ vom rechts stehenden Lautsprecher und $p'_{2R}(t)$ und $p'_{2L}(t)$ vom links stehenden Lautsprecher getrennt ausgewertet werden. Jedes dieser Signalpaare leitet sich natürlich über reale Außenohrübertragungsfunktionen von $s(t)$ ab, sodass die Auswertung im Empfänger zunächst sehr einfach auf den Fall zweier Einzelschallquellen zurückgeführt ist. Obwohl Theile's Modell viele Details offenlässt, soll im folgenden Abschnitt diskutiert werden, inwieweit überhaupt die seinem Modell zugrunde liegende Idee in anderer Hinsicht haltbar erscheint.

3. Problematik des Assoziationsmodells zur Summenlokalisierung nach THEILE ^{/3/}

Nimmt man an, dass der Nachrichtenempfänger "Gehör" tatsächlich in der Lage wäre, ein beliebiges Signal (z. B. stationäres Rauschen) in zwei Teilsignale entsprechend Abb. 1 rechts aufzuspalten, so erscheint eine Verallgemeinerung dieser Annahme für größere Lautsprecheranzahlen (z. B. 12 oder 36 Stück, wie von SCHERER ^{*/5/} bei der Eidofonie verwendet; vgl. PLATTE ^{*/4/}) nicht mehr denkbar. Aber auch für den Fall der Beschallung mit nur einem Lautsprecher wirkt die Anwendung des Assoziationsmodells von THEILE bereits Schwierigkeiten auf, wenn man nicht zusätzlich die Kenntnis der wirklichen Lautsprecheranzahl im Nachrichtenempfänger "Gehör" und eine dementsprechende Aufspaltung der Ohrsignale in Einzelterme voraussetzt. Denn die beiden Beschallungsfälle der Abb. 1 lassen sich bezüglich der Ohrsignale und auch bezüglich der Hörereignisse identisch ineinander überführen, indem man ein Kammfilter der Übertragungsfunktion $W_K(f)$ einführt; vgl. Abb. 2.

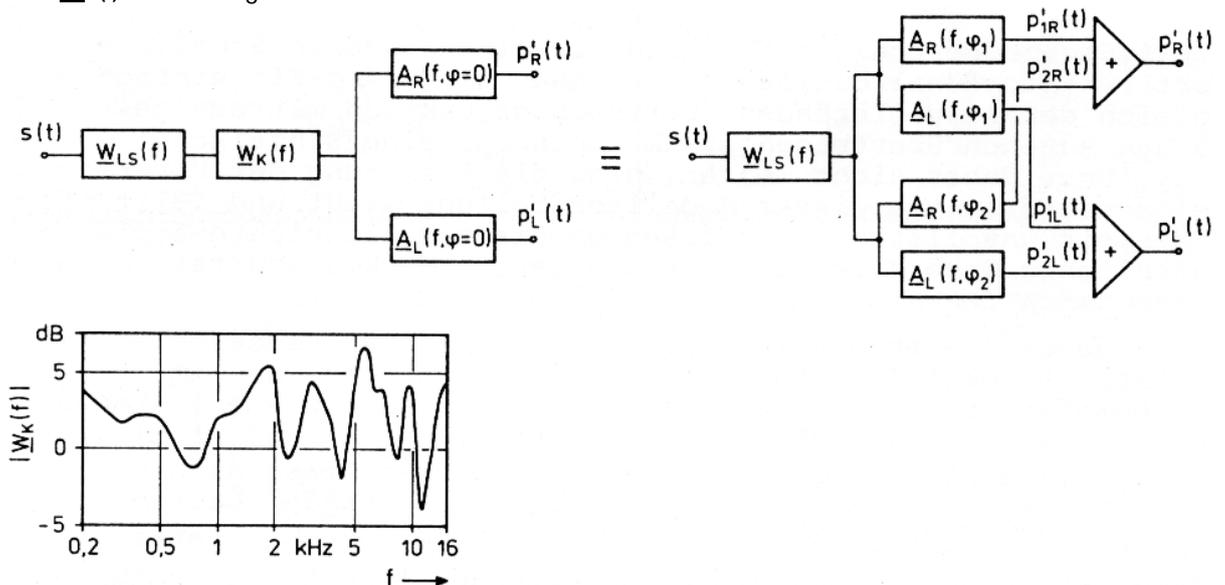


Abb. 2

Abb. 2 Signalfussbilder zur Erzeugung identischer Ohrsignale bei Beschallung mit einem Lautsprecher (links; Kammfilter eingefügt!) und mit zwei Lautsprechern in Stereo-Aufstellung

Damit würde das Assoziationsmodell nach THEILE, bei dem die eigenschaftliche Auswertung der Signalpaare $p'_R(t)$ und $p'_L(t)$ bzw. $p'_{1R}(t)$ und $p'_{1L}(t)$ bzw. $p'_{2R}(t)$ und $p'_{2L}(t)$ erst nach einer entsprechenden Ortsassoziation erfolgt, bei Beschallung mit einem Einzellautsprecher von vorn je nach Interpretation der Situation unterschiedliche eigenschaftliche Hörereignismerkmale (z. B. Klangfarbe) liefern. Das Modell erzeugt also einen solchen "spektralen Einwand", den es eigentlich beseitigen sollte.

Beschränkt man sich jedoch auf den Fall der Beschallung mit zwei Lautsprechern in Standard-Stereo-aufstellung, so sprechen z. B. die Ergebnisse mit der Wiedergabe von Kunstkopfsignalen über Lautsprecher (nach DAMASKE und MELLERT *16/ oder INOUE *17/) gegen das hier diskutierte Assoziationsmodell. Denn diese Kompensationsverfahren, bei denen unerwünschte Signalanteile von einem Lautsprecher durch Korrektursignale vom zweiten Lautsprecher am Trommelfell kompensiert werden, lassen sich in ihrer Funktion nur dann erklären, wenn man die zu beobachtenden Hörereignisse den (original reproduzierten) Summenohrsignalen zuschreibt. Eine Aufspaltung in die von jedem Lautsprecher tatsächlich abgestrahlten Signale und Assoziationsprozesse im Sinne Theile's führen zu keiner schlüssigen Erklärung dafür, dass hier - bei genauer Ausrichtung des Kopfes - originalgetreue Hörereigniseigenschaften auftreten.

4. Schlussfolgerung

Die oben diskutierte Modellvorstellung zur Summenlokalisierung (Assoziationsmodell nach THEILE *13/) liefert für eine Reihe von psychoakustischen Phänomenen keine befriedigende Erklärung. Es bleibt daher auch weiterhin die nachrichtentechnisch plausible Arbeitshypothese bestehen, dass der Nachrichtenempfänger "menschliches Gehör" die von mehreren kohärenten Schallquellen resultierenden Ohrsignale in gleicher Weise verarbeitet wie Ohrsignale aufgrund einer einzelnen Schallquelle.

Literatur:

*1/ BLAUERT, J.: Räumliches Hören. Hirzel Verlag, Stuttgart (1974)

*2/ THEILE, G. and PLENGE, G.: Localization of lateral phantom sources. J. Audio Eng. Soc. 25 (1977), 196-200.

*3/ THEILE, G.: Weshalb ist der Kammfilter-Effekt bei Summenlokalisierung nicht hörbar? Bericht über die 11. Tonmeistertagung; Verband Deutscher Tonmeister (Hrsg.), 1979, 200-214.

*4/ PLATTE, H.-J.: Zur Bedeutung der Außenohrübertragungseigenschaften für den Nachrichtenempfänger "menschliches Gehör". Dissertation an der TH Aachen (1979).

*5/ SCHERER, P.: Ein neues Verfahren der raumbezogenen Stereophonie mit verbesserter Übertragung der Rauminformation. Rundfunktechnische Mitteilungen 21 (1977), 196-204.

*6/ DAMASKE, P. und MELLERT, V.: Ein Verfahren zur richtungstreuen Schallabbildung des oberen Halbraumes über zwei Lautsprecher. Acustica 22 (1969), 154-162.

*7/ INOUE, TOSHIY.: Lokalisierung von Schallereignissen - biphones/quadro-biphones Verfahren", Funkschau, vol. 49, No. 10, Mai 1977, Seite 57-58 und 71-72.