

INHALTSVERZEICHNIS

0 EINLEITUNG.....	3
1 THEORIETEIL	5
1.1 DIE 3.2-AUFSTELLUNG ALS QUASISTANDARD VON 5.1-MEHRKANAL-AUDIO-SYSTEMEN.....	5
1.2 SURROUND-PANNING IN PRODUKTIONSKONSOLEN	7
1.3 HÖRVERSUCHE ZUM STEREOPANNING MIT ΔL IN DER LITERATUR	11
2 VERSUCH.....	17
2.1 METHODISCHE VORÜBERLEGUNGEN.....	18
2.1.1 Auswahl der Stimuli	19
2.1.2 Auswahl der Räume	21
2.1.3 Intervallbestimmung der Pegeldifferenzen	23
2.1.4 Entwicklung eines Meßinstruments zur Richtungsbestimmung	25
2.1.5 Zuordnungsprobleme	27
2.1.5.1 Subjektive Selbsteinschätzung	27
2.1.5.2 Objektive Kontrolle der Sicherheit.....	28
2.1.6 Probleme mit Reihen- und Carry-Over-Effekten	29
2.1.7 Eliminierung optischer Hinweise.....	33
2.1.8 Korrekte Sitzposition der VP	34
2.1.9 Einmessen der Anlage und Lautheitsnormierung	35
2.1.10 Probanden.....	36
2.2 TECHNISCHE VERSUCHSVORBEREITUNG	38
2.2.1 Versuchsaufbau.....	38
2.2.2 Produktion der Stimuli.....	41
2.2.2.1 Gaussförmiger Rauschimpuls.....	41
2.2.2.2 Sprachsignal.....	43
2.3 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	44
2.3.1 Stufenweiser Ablauf eines Versuchstermins.....	44
2.3.2 Beobachtungen während der Versuchsdurchführung.....	46
3 ERGEBNISTEIL	48
3.1 AUSWERTUNG DER DREI WINKELBEREICHE MIT HILFE DESKRIPTIVER STATISTIK.....	49
3.1.1 Betrachtung des vorderen Bereichs: Parameter 1B bis 9B.....	50
3.1.1.1 Behandlung von Ausreißern	50
3.1.1.2 Starke Abweichung bei Realschallquelle R.....	54
3.1.1.3 Streuung und Kurvenverlauf.....	57
3.1.1.4 Besonderheit der Parameter 1B und 2B.....	58
3.1.1.5 Vergleich mit der Literatur	59
3.1.2 Betrachtung des Hinten-Bereiches: Parameter 19B bis 28B	61
3.1.2.1 Weite Streuung der Meßwerte	61
3.1.2.2 Symmetrie der Streu- und Mittelwerte	64
3.1.2.3 Streuung und Kurvenverlauf.....	66
3.1.2.4 Vergleich mit der Literatur	68
3.1.3 Betrachtung der seitlichen Parameter 10B bis 18B	69
3.1.4 Betrachtung des Mittelwertes als $WfzT$ über Parameter 1B bis 28B.....	77
3.1.5 Lokalisationsungenauigkeit	79

3.2 SICHERHEIT	80
3.2.1 <i>Subjektive Einschätzung mit Smilys</i>	80
3.2.2 <i>Sicherheit durch Vergleich von A - und B - Parameter</i>	82
3.3 PARAMETERWIEDERHOLUNGEN	83
3.4 BETRACHTUNG DER VERSCHIEDENEN WIEDERGABESIGNALE	86
3.5 BETRACHTUNG DER VERSCHIEDENEN RÄUME	91
3.6 ABSCHÄTZUNG PROBLEMATISCHER ASPEKTE	97
3.6.1 <i>Methodische Probleme</i>	97
3.6.1.1 Carry-Over-Effekte	97
3.6.1.2 Lerneffekte	98
3.6.2 <i>Problematische Aspekte des Zeigerbretts</i>	101
3.6.3 <i>Optische Hinweise und Kopfposition</i>	102
4 DISKUSSION	104
4.1 VORDERER BEREICH	104
4.2 HINTERER BEREICH	106
4.3 LATERALER BEREICH	107
4.4 VARIATION DER STIMULI UND RÄUME	108
4.5 SICHERHEIT DER RICHTUNGSZUWEISUNG	109
4.6 AUSBLICK	109
5 LITERATURVERZEICHNIS	112
6 ANHANG	

0 Einleitung

Seitdem 1995 der DVD-Standard ins Leben gerufen wurde, erfährt dieser heute Unterstützung von nahezu der gesamten Film-, Computer- und Unterhaltungselektronik-Industrie. Die DVD ist derzeit nicht nur als digitales Speichermedium für Videofilme zu gebrauchen. Dieses Medium bietet auch Multikanal-Audio die Möglichkeit, sich gegenüber der konventionellen Zweikanalstereophonie durchzusetzen. Fünf diskrete Wiedergabekanäle und ein zusätzlicher Effekt-Tiefbass-Kanal haben sich als Quasi-Standard durchgesetzt.

Dank der neuen Technik ist es jetzt zumindest theoretisch möglich, Schalle aus beliebiger Richtung in der Horizontalebene um den Hörer zu plazieren. In der Praxis zeigten sich allerdings Probleme mit diesem neuen Verfahren vor allem im Bezug auf Phänomene, die aus der Stereotechnik bekannt sind, z. B. die Summenlokalisation. Ungeachtet dieser Schwachstelle wird die Summenlokalisation über das Surround-Panning an Mischpulten realisiert. Diese Applikation ist nach wie vor das erste Mittel, das dem Tonmeister zur Platzierung von Schallquellen im 360°- Winkel zur Verfügung steht.

Die folgende Arbeit soll beleuchten, in wieweit die Platzierung von Schallquellen im 360°-Bereich um den Hörer herum mit Hilfe des Summenlokalisationseffekts möglich ist. Genügt die Summenlokalisation, um eine ausreichende Richtungsbestimmung zu garantieren, oder sind zusätzliche Informationen für das Gehör notwendig, die durch räumliche Eigenschaften, bzw. durch eine gezielte Auswahl von Wiedergabesignalen gewonnen werden können? Welche Probleme treten dabei auf und wann darf der Tonmeister auch wirklich damit rechnen, daß ein beliebiger Hörer die Schallquelle genau an der dafür vorgesehenen Stelle hört?

Kern der Arbeit ist eine experimentelle Untersuchung zur Richtungswahrnehmung über den Summenlokalisationseffekt bei einer 3.2-Aufstellung der Lautsprecher nach ITU-R BS.775-1. In Kapitel 3.1 wird die Richtungswahrnehmung in den drei verschiedenen Winkelabschnitten zwischen den Lautsprechern C - R, R - RS und RS - LS des 3.2-Systems gegenübergestellt. Besonders interessant wird die genauere Analyse des lateralen und rückwärtigen Bereiches (vergl. Kap. 3.1.3 und Kap. 3.1.2), weil darüber noch nicht so viel bekannt ist, wie über den vorderen Bereich. Bisherige Untersuchungen zum Richtungshören zeigten sich zum einen problematisch, weil deren Methode und Ablauf sehr unterschiedlich gestaltet war. Andererseits stellte sich bei den erhaltenen Ergebnissen eine große Variationsbreite heraus. Deshalb wurden in dieser Studie zusätzliche Detailanalysen wie z.B. Variation des abgespielten Schallsignals in Kapitel 3.4 und vor allem der in dieser Untersuchung neu

erscheinenden Variable des Wiedergaberaumes in Kapitel 3.5 durchgeführt. Damit soll ermittelt werden, inwiefern die Plazierung und darüber hinaus in speziellen Fällen sogar die Entstehung der Phantomschallquellen von signalcharakteristischen bzw. raumakustischen Eigenschaften beeinflußt wird.

Durch vorherige Experimente zu diesem Thema wurde die Beobachtung gemacht, daß die Probanden in bestimmten Winkelbereichen bei der Zuordnung zwischen Schallsignal und Richtung sehr schnell zu konfusem Verhalten neigten. Sie ordneten dem Schall in dieser Situation ganz andere Winkelbereiche zu, wobei sich dann eine große Unsicherheit bezüglich ihrer Entscheidung bemerkbar machte. Um diese Größe der Entscheidungssicherheit erfassen zu können wird in Kapitel 3.2 dazu eine in diesem Versuch angewandte Methode vorgestellt. Die Sicherheit wird sowohl als subjektive Größe und als eine weitere von den Probanden nicht beeinflußbare objektive Größe ermittelt.

1 Theorieteil

Es ist vorerst in Kapitel 1.1 zu klären, was die in diesem Versuch verwendete 3.2-Aufstellung im technischen Sinne bedeutet. Außerdem wird in Kapitel 1.2 anhand eines Beispiels erläutert, in welchen Applikationen das hier untersuchte System Anwendung findet und wie es dort funktioniert. Vergleichbare Arbeiten zu diesem Thema werden in Kapitel 1.3 vorgestellt.

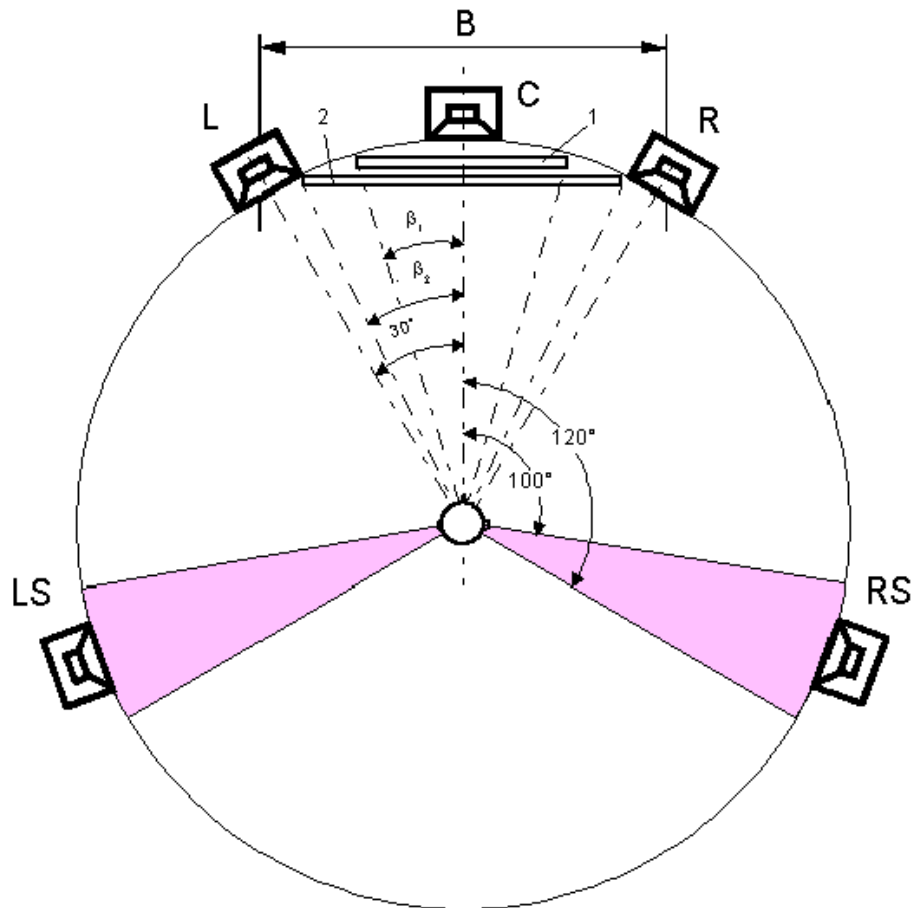
1.1 Die 3.2-Aufstellung als Quasistandard von 5.1-Mehrkanal-Audio-Systemen

Die hier verwendete 3.2-Aufstellung bedeutet ausschließlich eine räumliche Positionierung der dem Standard zugehörigen Lautsprecher. Das 5.1-System beschreibt neben der genauen Anzahl der Wiedergabekanäle auch die Art der Kanalbelegung. „5.1“ bedeutet, daß bei der Wiedergabe fünf diskrete, vollwertige Kanäle und ein Effekt-Basskanal, auch LFE-Kanal (Low Frequency Effect) genannt, verwendet werden. Bei vollwertigen Kanälen wird jeweils das gesamte Spektrum übertragen, wobei ein LFE-Kanal bezüglich der Übertragungsbandbreite begrenzt ist. Der an den LFE-Kanal angeschlossene Subwoofer gibt ein Spektrum von 20 Hz bis 120 Hz wieder.

Da der LFE-Kanal mit den genannten Übertragungsdaten eine Unterstützung ist, um die Bandbreite der gesamten Anlage zu erweitern, wird er als Komponente für die Bildung von Phantomschallquellen nicht gebraucht. Dieser Kanal hat also keine Relevanz für die Summenlokalisation und wird aus diesem Grund bei dem hier durchgeführten Hörversuch ignoriert.

Die 3.2-Aufstellung nach ITU-R BS.775-1 fordert, daß die fünf Lautsprecher konzentrisch um die in der Mitte eines imaginären Kreises sitzende Versuchsperson¹ angeordnet und auf die Kreismitte ausgerichtet sind. Für die Basisbreite B, und damit auch für den Radius des Kreises (Gleichseitiges Dreieck zwischen L, R und Kreismitte) wird vorgeschlagen, ein Maß von mind. 2 m einzuhalten. Der Abstand von den umgebenden Begrenzungsflächen soll jedoch 1 m nicht unterschreiten. Für den Center-Lautsprecher (C) gilt die Position von 0°, die sich direkt in Blickrichtung der VP befindet (vorne). Die Höhe von C beträgt 1,2 m. Da diese Lautsprecheraufstellung allgemein auch für eine Filmwiedergabe vorgesehen wird, ist die Höhe u. a. abhängig von der Bildgröße, genauso wie die Neigung der Lautsprecher (siehe Abb. 1.1).

¹ Im folgenden „VP“ genannt



Referenz-Lautsprecher-Anordnung

mit den Lautsprechern L/C/R und LS/RS (aus ITU-R BS.775-1)

Bildfläche 1: Hörabstand = $3H$ ($2 \beta_1 = 33^\circ$)
 Bildfläche 2: Hörabstand = $2H$ ($2 \beta_2 = 48^\circ$)
 H: Bildhöhe
 B: Lautsprecher-Basisbreite

akustisches Zentrum	Winkel	Höhe	Neigung
C	0°	$1,2 \text{ m}^*)$	$0^\circ^*)$
L, R	$\pm 30^\circ$	$1,2 \text{ m}$	0°
LS, RS	$\pm (100 \dots 120)^\circ$	$> 1,2 \text{ m}$	$\leq 15^\circ$

*) abhängig von Form und Größe der Bildfläche

Abb.1.1. Referenz-Lautsprecher-Anordnung für 3.2-Anordnung (aus: „EMPFEHLUNG FÜR DIE PRAXIS, SSF 02-10/98“, Surround Sound Forum, S. 6).

Die beiden Lautsprecher Links (L) und Rechts (R) haben ebenfalls eine Höhe von 1,2 m. Sie sind im Winkel von -30° (L) und $+30^\circ$ (R) aufgestellt. Für die Surroundlautsprecher Links Surround (LS) und Rechts Surround (RS) gilt ein Winkel von $\pm 110^\circ$, wobei speziell für diese beiden Lautsprecher eine Variationsbreite von 10° in jede Richtung zugelassen wird. Ihre Höhe sollte größer als 1,2 m sein und es wird eine Neigung von $\leq 15^\circ$ vorgeschlagen. Bei dem Hörversuch wurde trotzdem eine Höhe von 1,2 m gewählt, damit bei der Bildung der Phantomschallquellen für jedes Lautsprecherpaar gleiche Bedingungen vorliegen. Die in Abb. 1.1 dargestellte 3.2-Aufstellung nach ITU-R BS.775-1 wird bei dem Versuch auf die Fähigkeit der Darstellung von Phantom- bzw. Realschallquellen untersucht.

Bei dem beschriebenen Standard handelt es sich allerdings um ein Ideal. In Wohnräumen, wo diese Anlage aufgebaut wird, besteht aus räumlich bedingten Gründen selten die Möglichkeit, dies nach den genannten Parametern zu realisieren. Dennoch ist dieser Standard nach ITU-R BS.775-1 ein weltweit anerkannter Standard.

1.2 Surround-Panning in Produktionskonsolen

In modernen, analogen und digitalen Mischpulten sind oftmals schon spezielle Applikationen für das Abmischen von Mehrkanalwiedergaben integriert.

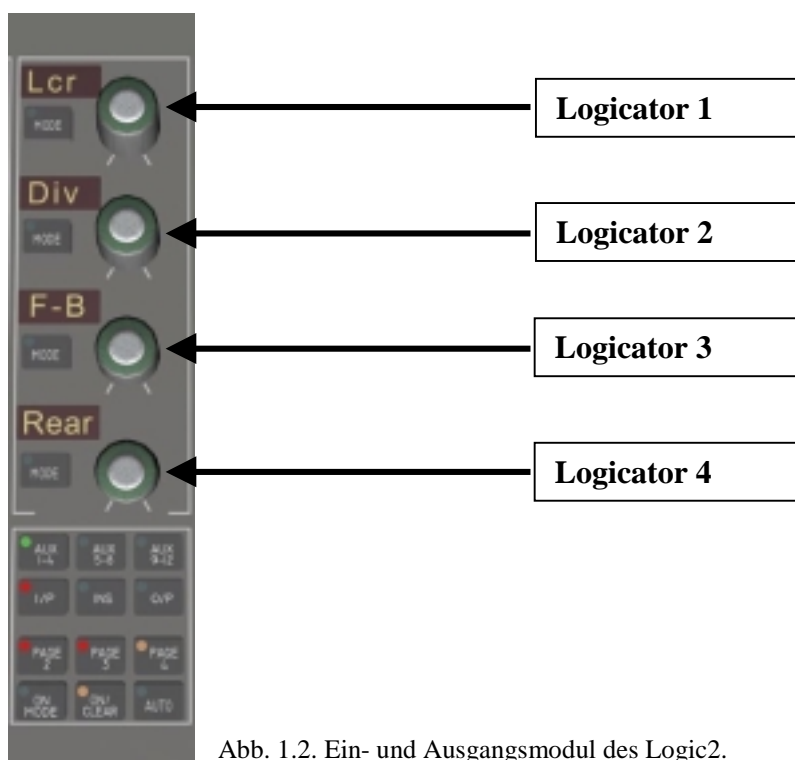


Abb. 1.2. Ein- und Ausgangsmodul des Logic2.

Über das sog. Surround-Panning wird eine Möglichkeit geboten, Schallquellen rund 360° um den Hörer zu platzieren. Am Beispiel des Logic2 (AMS-Neve), welches im großen Studio des Instituts für Sprache und Kommunikation der TU-Berlin steht, wird im folgenden das Surround-Panning mit Hilfe des Summenlokalisationsprinzips unter Verwendung von Pegel-differenzen erläutert.

In der Logic2-Terminologie werden die in Abb. 1.2 dargestellten Regler als Logicator bezeichnet. Mit Logicator 1 (Lcr) wird ein Panning über die drei Front-Kanäle Links, Center und Rechts ermöglicht. Logicator 2 regelt die Divergenz. Mit diesem Regler kann das an dem Center-Kanal anliegende Signal den Lautsprechern L und R zugemischt werden. Mit Hilfe von Logicator 3 kann unabhängig von Logicator 1 und 4 das Signal zwischen vorne und hinten hin- und herbewegt werden. Logicator 4 hat die Funktion eines herkömmlichen Panoramareglers zwischen den beiden Surroundkanälen LS und RS. Mit den beschriebenen vier Panoramareglern ist es möglich, ein anliegendes Signal annähernd beliebig auf die fünf Lautsprecher zu verteilen. Interessant für diese Arbeit ist es, die Quellen um den Hörer herum ausschließlich mit Zweikanalstereopaaren zu positionieren. Dies ist mit dem Logic2 wie folgt möglich:

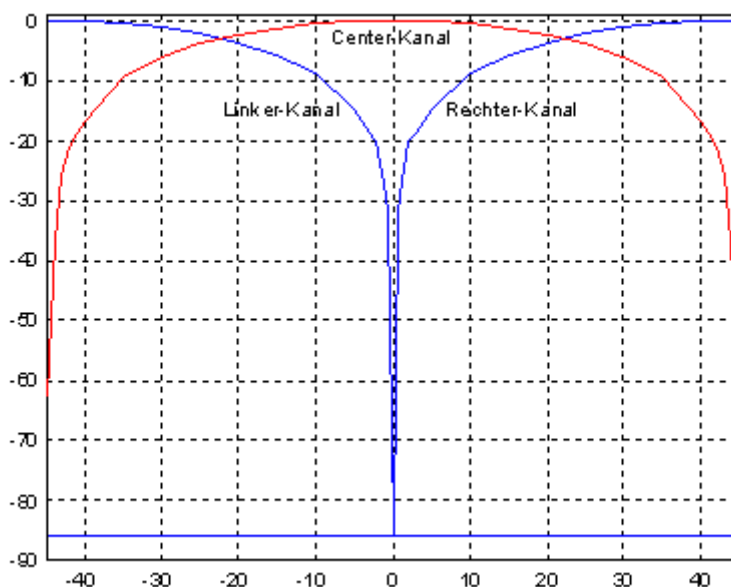


Abb. 1.3. Panoramakurven für Frontbereich des Logic2.

Abb. 1.3 zeigt Werte der Dämpfung in dB der drei vorderen Kanäle Links, Center und Rechts bei der Drehung des Panoramareglers von Stellung -45 über Stellung 0 bis Stellung +45. Der Linke Kanal hat sein Maximum bei Stellung -45, während er bei der Regelung des Panoramas

Richtung Stellung 0 stetig absinkt bis schließlich -86 dB. Der Center Kanal verhält sich quasi entgegengesetzt und zeigt bei einer Panoramaeinstellung von -45 den Wert -63 dB, während der Kanal bei einer Panoramaregelung von 0 ein Maximum von 0 dB aufzeigt. Dieser Wert strebt wieder gegen -63 dB, wenn der Panoramaregler auf Stellung +45 weitergedreht wird. Entgegengesetzt zu dem Center-Kanal verhält sich auch der rechte Kanal, der von einem Minimum bei 0-Stellung des Panoramareglers auf sein Maximum bei einer Panoramaeinstellung von 45 ansteigt. Das Logic2 ermöglicht also ein Stereopanning mit Hilfe der drei Frontkanäle im Winkelbereich von -30° bis $+30^\circ$, wenn es für den 3.2-Standard verwendet wird.

Für das Stereopanning vorne muß jedoch die Divergenz auf Stellung 0 stehen und F-B (Front-Back) auf F. Die Stellung des Rear-Reglers ist hier nicht von Bedeutung. Mit Regler Lcr kann jetzt zwischen C und R hin- und hergedreht werden, indem man ihn zwischen Stellung 0 und +45 (es wird nur die rechte Seite betrachtet) bewegt. Dreht man den Lcr-Regler zwischen Stellung 5 und 40, so wird die Pegeldifferenz nach den Messungen von $\Delta L = -14,5$ dB über 0 dB nach $\Delta L = 16,5$ dB variiert. Stellt man den Regler kleiner als Stellung 5 oder größer als Stellung 40 ein, so wurde bei dem hier durchgeführten Hörversuch (vergl. Kap. 2) davon ausgegangen, daß nur noch die Realschallquellen (Center, wenn Regler < 5 und Rechts, wenn Regler > 40 eingestellt wird) wahrgenommen werden.

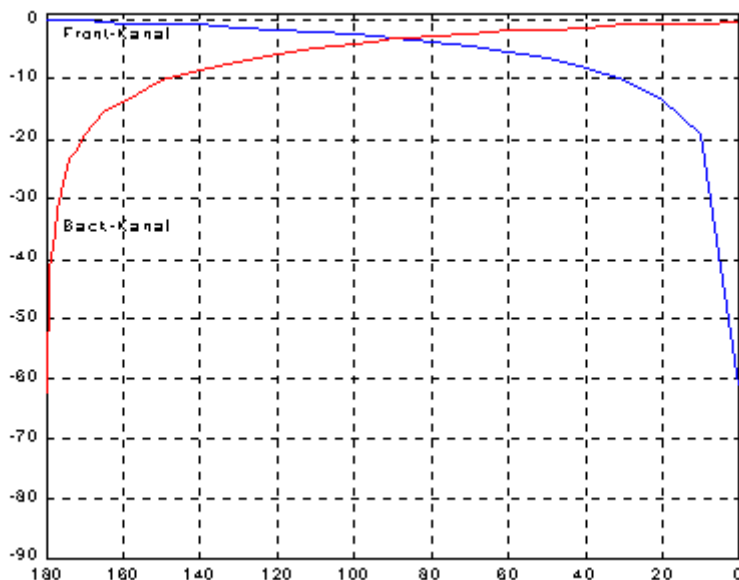


Abb. 1.4. Panoramakurven für Front-Back-Panning des Logic2.

In Abb. 1.4 ist ein Beispiel des Vorne-Hinten-Pannings auf der rechten, bzw. der linken Seite visualisiert. Dies ist mit der Front-Back-Funktion möglich (F-B Knopf in Abb. 1.2). Es wird

hier gezeigt, daß bei der Stellung des Panoramareglers auf 180, der Back-Kanal auf den minimalen Wert abgedämpft ist. Die Dämpfung des Back-Kanals sinkt mit abnehmendem Panoramawert stetig ab, bis hin zu 0 dB bei einer Panoramaeinstellung von 0. Entgegengesetzt zu dem Back-Kanal verhält sich der Front-Kanal, dessen Maximum von 0 dB bei einer Panoramaeinstellung von 180 erreicht wird. Bei der Variation des Panoramareglers gegen 0, nimmt der Wert des Front-Kanals stetig ab bis hin zu -61,5 dB. Bei der Reglerposition 90 schneiden sich die beiden Kurven. Wird die Panoramaeinstellung kleiner als 20, ist davon auszugehen, daß sich das Hörereignis ganz hinten befindet. Wenn die Panoramaeinstellung größer als 160 wird, ist zu erwarten, daß sich das Hörereignis ganz vorne befindet. Die Kurvenverläufe sind für das Front-Back-Panning auf der linken und rechten Seite identisch.

Für dieses Panning muß der Lcr- Regler ganz auf der rechten Seite stehen. Auch der Panpot Rear muß auf RS (Rechts-Surround) eingestellt sein. Die Divergenz muß Null sein, damit der Center-Kanal stumm bleibt.

Als letzte Veranschaulichung wird in Abb. 1.5 das Panning zwischen den beiden Surroundkanälen (LS und RS) gezeigt. Das Panning zwischen diesen beiden Kanälen unterscheidet sich praktisch nicht von einem herkömmlichen Stereopanning zwischen zwei Lautsprechern. Steht der Panoramaregler auf Stellung -45, so ist nur der Lautsprecher Links-Surround in Betrieb. Der Pegel von Rechts-Surround beträgt dann L= -88,6 dB.

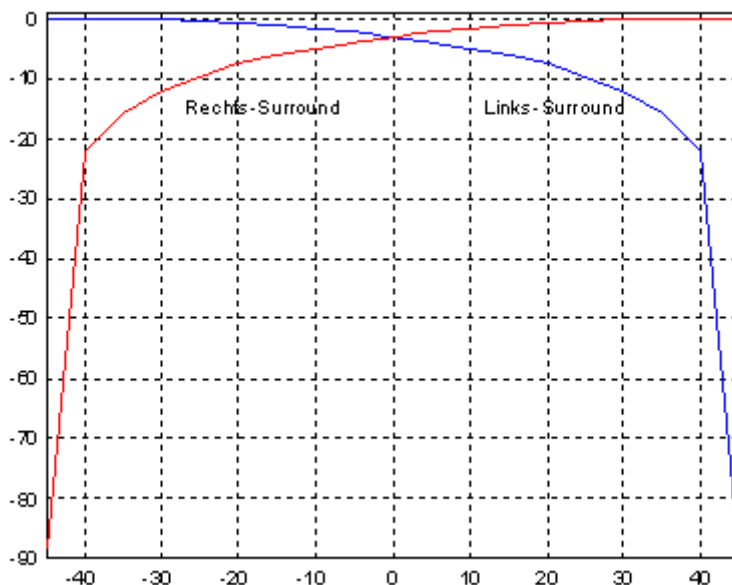


Abb. 1.5. Logic2 – Panoramakurven der beiden Surround-Kanäle RS und LS.

Wird der Panoramaregler Richtung Stellung 0 gedreht, dann steigt der Pegel von Rechts-Surround steil bis auf $-3,1$ dB an und der Pegel von Links-Surround fällt auf den selben Wert ab, d.h. die beiden Pegelkurven von Rechts-Surround und Links-Surround schneiden sich an dieser Stelle. Wird der Regler weiter gedreht, dann steigt Rechts-Surround langsam an bis auf 0 dB bei Reglerposition 45 und Links-Surround fällt steil ab bis auf $-88,6$ dB. Würde man den Panoramaverlauf der beiden vorderen Lautsprecher L und R ohne den Center-Kanal visualisieren, dann wäre dieser genau identisch mit dem Verlauf der beiden Surround-lautsprecher.

1.3 Hörversuche zum Stereopanning mit ΔL in der Literatur

Die im folgenden beschriebene Untersuchung von **Theile und Zieglmeier (1996)** bezüglich des vorderen und lateralen Bereiches (0° bis 30° und 30° bis 110°) des 3.2-Standards nach ITU-R Rec. 775, erweist sich als sehr geeignet, um teilweise kritische Punkte und Probleme des in dieser Arbeit durchgeführten Versuches zu erkennen. Die Ergebnisse beider Untersuchungen sind nahezu direkt vergleichbar. Theile und Zieglmeier (1996) machten Hörversuche in der Horizontalebene bei mehreren Sitzpositionen der Probanden und zu einer Aufwärtskonvertierung durch einen zusätzlichen seitlich positionierten Lautsprecher. Relevant ist hier jedoch nur die Sitzposition in der Mitte des imaginären Kreises, auf dem die Lautsprecher angeordnet sind (vergl. Abb. 1.1) mit der Untersuchung ohne Stützlautsprecher. Die Aufstellung der Lautsprecher ist die selbe wie in Abb. 1.1. Es wurden zur Summenlokalisation nur Messungen auf der linken Seite gemacht (C – L – LS), aufgrund der Annahme, daß links und rechts vergleichbare Ergebnisse erzielt werden.

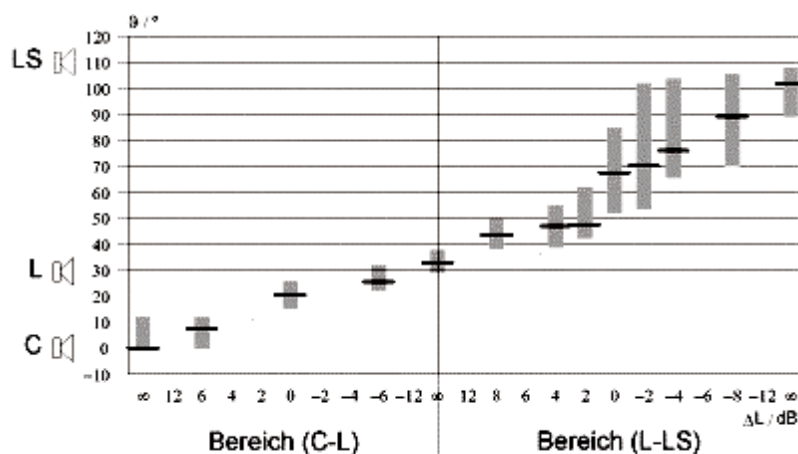


Abb. 1.6. Ergebnisse der Untersuchung des 3.2-Stereo-Formats (aus: Theile/Zieglmeier, 1996, S. 163).

Als Testsignal wurde Sprache, 3 Sek. lang verwendet. Die Tonsignale wurden von einem oder zwei Lautsprechern gleichzeitig wiedergegeben. 18 Probanden wurden jeweils in Einzelsitzungen im reflexionsarmen Raum getestet. Deren Kopf wurde zur Verhinderung von minimalen Kopfbewegungen fixiert.

Die Untersuchung wurde zwischen C und L mit fünf verschiedenen Parametern (\approx Pegeldifferenzen) durchgeführt. Zwischen L und LS wurden neun Parameter herangezogen. Für Realschallquellen gelten eigene Parameter ($\Delta L = \pm\infty$ dB). Auf dem Diagramm in Abb. 1.6 sind als Abszisse die verschiedenen Parametereinstellungen zwischen den drei Lautsprechern abgebildet und als Ordinate sind die Winkeleinteilungen aufgetragen. Die aus dem Versuch gewonnenen Werte sind als Boxplots abgebildet. Boxplots bestehen hier aus Median (schwarzer Balken) sowie dem zweiten und dritten Quartil. Die beiden Quartile sind ein Streuungsmaß und geben Auskunft über die Lokalisationsunschärfe der jeweiligen Parameter. Sonstige Ausreißer, bzw. Extremwerte sind nicht abgebildet. An dem Diagramm ist eine deutlich geringere Lokalisationsunschärfe zwischen C und L zu erkennen, als zwischen L und LS. Zwischen L und LS zeigen die Parameter, die sich ungefähr in der Mitte der Skala befinden, eine deutlich größere Streuung, als die Parameter mit einer relativ großen Pegeldifferenz an den beiden Rändern der Skala.

Auch **Theile und Plenge (1976)** untersuchten u.a. die Lokalisierbarkeit von Phantomschallquellen, die von zwei Lautsprechern aus seitlicher Richtung erzeugt wurden. Es wurden sechs Lautsprecher konzentrisch um die VP aufgebaut. Ihre Winkel betrugen $\pm 30^\circ$, $\pm 90^\circ$ und $\pm 150^\circ$. Der Winkel zwischen jedem Lautsprecherpaar betrug also immer 60° , wie auch in der Stereostandardaufstellung. Die beiden Wissenschaftler hielten größere Winkel für unzulässig, weil dies angeblich eine Elevation (Anhebung nach oben, also Abweichung von der Horizontalebene) der Phantomschallquelle zur Folge hätte (vergl. Kap. 2.3.2). Sie nahmen an, daß die Ergebnisse für die linke Seite gleich wie die Ergebnisse auf der rechten Seite wären, jedoch gespiegelt an der Medianebene. Aus diesem Grund wurde nur eine Seite untersucht. Der Radius des Lautsprecherkreises betrug 2 m. Es wurden ein gaussförmiger Rauschimpuls, bandbegrenztes Rauschen (0,6 – 10 kHz) und kontinuierliche Sprache als Testsignale verwendet. Die Messungen wurden in einem reflexionsarmen Raum durchgeführt und als Parameter ausschließlich Pegeldifferenzen benutzt. Die Abstufung erfolgte von 0 bis ± 18 dB in 3 dB-Stufen und $\pm\infty$ dB, wenn das Signal von einer Realschallquelle abgestrahlt wurde. Um eine visuelle Beeinflussung auszuschließen, wurde der Raum abgedunkelt. Die VP saß in einer Kabine mit einem schalldurchlässigen Vorhang.

Die aus den Ergebnissen im vorderen Bereich ($\pm 30^\circ$) erhaltene Lokalisationskurve, welche aus Median und Quartilen gebildet wurde, ist ähnlich der Kurve, die in Abb. 1.6 zu sehen ist. Seitlich, bei einer Lautsprecheranordnung von 30° und 150° sind die Quartile vor allem bei kleinen Pegeldifferenzen (ΔL) sehr groß. Bei $\Delta L = 0\text{dB}$ reichen die unterschiedlichen Winkelangaben von ca. 65° bis ca. 110° . Werden die Beträge der Pegeldifferenzen zu beiden Seiten hin größer, so nimmt die Größe der Quartile ab. Diese Beobachtungen sind sehr ähnlich den Ergebnissen von Theile und Zieglmeier (1996). Eine weitere Auffälligkeit ist, daß sich die Wahrnehmungskurven über den gesamten untersuchten Winkelbereich (0° bis 180°) zwischen den drei verwendeten Testsignalen sehr ähnlich sind.

Zum Stereopanning stellt **Jens Blauert (1974)** eine Reihe von Untersuchungen zusammen.

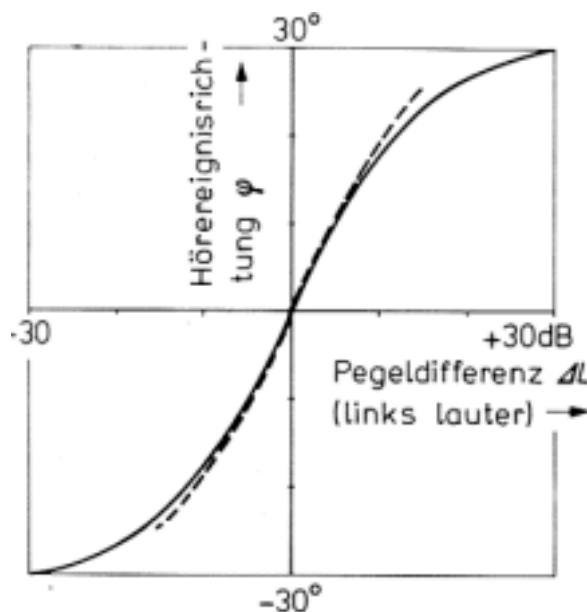


Abb. 1.7. Lokalisationskurve bei Pegeldifferenzen (aus: Blauert, 1974, S.164).

Die Ergebnisse in Abb. 1.7 stammen aus Untersuchungen nach De Boer, (1940, gestrichelte Linie) und Wendt, (1963, durchgezogene Linie). In beiden Fällen wurden Hörereignisse mit einer Stereostandaraufstellung, also einem Basiswinkel von 60° der Lautsprecher ermittelt. De Boer verwendete Sprache als Testsignal und ließ für die Probanden einen frei beweglichen Kopf zu. Wendt führte seine Versuche mit Knacken als Stimulus durch, wobei hier der Kopf der VP's fixiert wurde.

Da in beiden Fällen der Basiswinkel 60° ist und nicht 30° , wie zwischen dem im Hauptversuch dieser Arbeit verwendeten Stereopaar C – R, können diese Ergebnisse nicht unmittelbar verglichen werden. Außerdem ist über die Intervalleinteilung der Parameter, die

aus Abb. 1.7 nicht hervorgeht, zu wenig bekannt. Lediglich Tendenzen der Kurvenverläufe könnten verglichen werden.

Die jüngste Untersuchung mit einem 5.1 Surround Sound System wurde von **Xie Bosun (2001)** durchgeführt. Auch er ordnete die Lautsprecher nach Empfehlung der ITU an, wobei der LFE-Kanal wegen Bedeutungslosigkeit für das Richtungshören weggelassen wurde. Mit den Lautsprecherpaaren C - L, L - LS und LS - RS wurden auf der linken Seite von der VP aus gesehen (0° bis 180°) Hörversuche mit Variation von Pegeldifferenzen durchgeführt. Die Schallsignale wurden mit Pegeldifferenzen zwischen -24 dB und 24 dB abgespielt, wobei im rückwärtigen Bereich die Intervalle von 0 dB bis 24 dB (Wiedergabe von hinten rechts) nicht verwendet wurden. Die Intervallgröße betrug $\Delta L = 3$ dB. Jedes Lautsprecherpaar wurde getrennt behandelt.

Insgesamt acht Probanden im Alter von 18 bis 35 Jahren (vier Frauen und vier Männer) wurden dabei untersucht. Alle von ihnen hatten sich zuvor einer Gehörschulung unterzogen. Das Experiment wurde in einem Raum mit einer Nachhallzeit von $0,3$ Sek. durchgeführt. Als Material verwendete Xie Bosun jeweils 20 Sek. eines Terzrauschens mit verschiedenen Mittenfrequenzen und 20 Sek. eines Orchesterausschnitts. Als statistische Größen berechnete der Wissenschaftler den arithmetischen Mittelwert und die Standardabweichung für jeden einzelnen Parameter.

Bezüglich des vorderen Lautsprecherpaares erhielt er keine neuen Erkenntnisse bzw. markante Abweichungen gegenüber der Studie von Theile und Zieglmeier (1996). Dieser Bereich wird deshalb hier nicht ausgiebiger erläutert.

Lateral zwischen L und LS wurde bei Orchesterwiedergabe mit Pegeldifferenzen von 3 dB und 6 dB die Richtung der Phantomschallquelle sehr stark von der Kopfhaltung des jeweiligen Probanden beeinflusst. Schon bei einer geringfügigen Kopfbewegung wanderte die Quelle von $45^\circ - 55^\circ$ auf ca. 110° . Der Winkel zwischen $54,6^\circ$ und 110° wird vom Autor selbst als „Loch“ interpretiert. Wenn der Pegel von LS, 9 dB und größer als der Pegel von Lautsprecher L betrug ($\Delta L \geq 9$ dB), wurde die Phantomschallquelle nahe der Realschallquelle LS wahrgenommen.

Die erhaltenen Meßwerte zwischen LS und RS lassen vermuten, daß die Bildung von Phantomschallquellen stark frequenzabhängig ist. Je höher die Frequenz des Wiedergabetons, desto gekrümmter ist die Wahrnehmungskurve, die sich zwischen einer Pegeldifferenz von -24 dB und 0 dB erstreckt. Auch hier gibt der Autor an, daß eine Art „Loch“ im hinteren Bereich existiert, weil vermutlich der Winkel von 140° zwischen den Surroundlautsprechern

zu groß ist. Allgemein kann zu diesen Ergebnissen gesagt werden, daß sie grundsätzlich einen ähnlichen Verlauf einer theoretischen, z.B. durch eine mathematische Funktion ermittelten, gleichmäßig verlaufenden Panoramakurve von $\Delta L = 0$ dB bis $\Delta L = -\infty$ dB haben.

In einer weiteren Studie von **W.M. Wagenaars (1990)** wurde die Lokalisationsunschärfe von Realschallquellen in einem möblierten Wohnraum mit einer Länge von 8,35 m und einer Breite von 4,5 m untersucht.

Der Wissenschaftler positionierte jeweils acht Lautsprecher in zwei Kreisen mit verschiedenem Radius um die VP herum. Es wird hier nur der äußere Kreis in Betracht gezogen, weil dieser Radius mit etwas mehr als 2 Meter vergleichbar mit dem Radius von 2,2 m der in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchung ist. Die Lautsprecher waren angeblich des Autors von 0° bis 315° im Winkel von jeweils 45° angeordnet. Es wurden Untersuchungsdurchgänge mit sieben verschiedenen Stimuli durchgeführt. Die VP's, sechs junge Leute, wiesen ein normal funktionierendes Gehör auf und hatten noch keine Erfahrung mit psychoakustischen Experimenten. Es gab für jede Schallquelle mindestens 145 Wiedergaben.

Eine äußerst interessante Erkenntnis ist, daß bei vier Untersuchungen mit vier, der insgesamt sieben verschiedenen Testsignalen (erstens: weißes Rauschen mit einer Sek. On- und Offset, zweitens: 2000 Hz Sinuston mit abruptem On-, Offset, drittens: 500 Hz Sinuston mit abruptem On- und Offset und viertens: 2000 Hz Sinuston mit einer Sek. On- und Offset) mit einer bedeutenden Häufigkeit von bis zu 16,6% bei drei Untersuchungen das Phänomen der Vorne-Hinten-Verwechslung² auftrat und eine Hinten-Vorne-Verwechslung³ mit einer Häufigkeit von bis zu 8,6%, außer bei dem Versuch mit weißem Rauschen als Testsignal. Die sonstige Richtungsabweichung betrug bei dem Durchgang mit weißem Rauschen maximal 6,2%. Bei dem Testsignal Nr. 2 waren es bis zu 39,4%, bei Signal Nr. 3 bis zu 84% und bei Nr. 4 sogar bis zu 92,6%.

Von den im Hauptversuch dieser Arbeit verwendeten Realschallquellen (C, R und RS) kann zumindest der Center-Lautsprecher direkt mit dem Lautsprecher verglichen werden, der hier bei 0° vor der VP positioniert wurde. Vorsichtig muß mit dem Vergleich der in beiden Versuchen unterschiedlichen Stimuli umgegangen werden und mit den Realschallquellen R und RS, welche nicht in exakt der gleichen Richtung angeordnet waren wie eventuell vergleichbare Lautsprecher aus diesem Artikel.

² Wird im folgenden V-H-Verwechslung genannt.

³ Wird im folgenden H-V-Verwechslung genannt.

Zusammenfassung und Kritik

Aus diesen Studien wird deutlich, daß bezüglich der drei Winkelbereiche C-R, R-RS und RS-LS die Lokalisation von Phantom- und Realschallquellen unterschiedlich gut funktioniert. Im vorderen Bereich zwischen Lautsprecher C und R sind die Ergebnisse gut. Im lateralen Bereich zwischen R und RS gibt es jedoch offensichtlich Probleme, sowie auch im rückwärtigen Bereich zwischen RS und LS. Stereobasiswinkel größer als 60° werden als ungeeignet betrachtet (vergl. Theile/Plenge 1976). Im rückwärtigen Bereich gibt es scheinbar eine starke Frequenzabhängigkeit zumindest für Phantomschallquellen (vergl. Xie Bosun 2001). Bei der Lokalisation von Realschallquellen im Umkreis von 360° spielt nach Wagenaars (1990) offensichtlich die Art des Schallsignals eine wesentliche Rolle für eine zuverlässige Richtungsabbildung.

Nach den Erkenntnissen, die aus den Studien gemacht werden können, orientiert sich die Untersuchung in dieser Arbeit. Ein ziemlich kritischer Punkt bezüglich der Studien, die hier beschrieben werden ist jedoch, daß die Autoren allgemein nur wenig Detailinformation angeben. Daraus entsteht das Problem, daß in manchen Fällen teilweise nur geraten werden kann, wie die Ergebnisse entstehen konnten.

Es wird z.B. nur bei Theile und Zieglmeier (1996) angegeben, daß durch die Fixierung des Kopfes der Probanden minimale Kopfbewegungen verhindert wurden und auch Blauert (1974) gibt an, daß der Kopf der VP's bei der Untersuchung von De Boeur (1940) frei beweglich und bei Wendt (1963) fixiert war. In den anderen Studien wird nichts darüber erwähnt. Weiterhin sind häufig Diagramme relativ ungenau dargestellt. Bei Blauert (1974) kann auf keine Streuungen aus den in Abb. 1.7 dargestellten Lokalisationskurven geschlossen werden. Auch bei der Studie von Theile/Zieglmeier (1996) wurden keine Angaben über eventuell auftretende V-H-Verwechslungen gemacht, bzw. das erste und vierte Quartil der Boxplots nicht dargestellt. Weiter wird allgemein relativ wenig Information zu den jeweils teilnehmenden Probanden und bezüglich der Methode zur Erfassung der Lokalisationsrichtung der Schallquellen bereitgestellt.

Wegen dieser Auffälligkeiten stellt sich die Frage, warum oftmals notwendige, begleitende Informationen nicht mit angegeben wurden. Die zuverlässige Interpretation dieser Ergebnisse wird durch diesen Mangel erheblich erschwert.

2 Versuch

Es wird in Kapitel 2.1 die Planung des Hauptversuchs beschrieben. Hierzu gehören methodische Planungsansätze, die sich zum Teil aus vorexperimentellen Untersuchungen entwickelten und Vorgehensweisen, die aus der Literatur entnommen wurden. Es wird u.a. die Auswahl der bei der Untersuchung verwendeten Räume und Wiedergabesignale festgelegt, die Intervallbestimmung, der zwischen den drei Lautsprecherpaaren verwendeten Pegeldifferenzen vorgenommen und ein Meßinstrument zur Erfassung der Richtung für die lokalisierten Schallquellen entwickelt. Des weiteren wird eine Methode zur Ermittlung von Problemen der Probanden bei der Zuordnung der Richtung zu der wahrgenommenen Schallquelle entworfen. Ein Vorschlag zum Umgang mit bei der Parameterfolge eventuell auftretenden Reihen- und Carry-Over-Effekten wird gemacht und eine Idee für eine korrekte Sitzposition der Probanden während der Versuchsdurchführung und zur Eliminierung optischer Hinweise umgesetzt. Ein weiterer Abschnitt beschäftigt sich mit der Einmessung der verwendeten Anlage und der Lautheitsnormierung der verwendeten Testsignale. Auch die Probanden, die an dem Hörversuch teilgenommen haben, werden in einem zusätzlichen Unterkapitel behandelt.

Weiterhin wird in Kapitel 2.2 ein Augenmerk auf die technischen Versuchsvorbereitungen gerichtet, wobei hier zum einen der Versuchsaufbau genauer betrachtet wird und zum anderen die Produktion des im Hörversuch verwendeten akustischen Materials, welches aus zwei grundsätzlich verschiedenen Signalen besteht. Mit der Beschreibung der Versuchsdurchführung in Kapitel 2.3 bestehend aus einer detaillierten Beschreibung eines Versuchsdurchgangs und der Dokumentation dabei festgestellter Auffälligkeiten wird das Kapitel 2 abgeschlossen.

Für die Untersuchung sind zwei Punkte von zentraler Bedeutung:

- a) Die Erzeugung des Summenlokalisationseffekts 360° um den Hörer, mit Hilfe einer 3.2-Aufstellung nach ITU-R BS.775-1. Damit soll die Möglichkeit gegeben werden, Schallquellen aus beliebiger Richtung in der Horizontalebene um den Hörer herum platzieren zu können. Dazu wurden den Probanden Testschalle vorgegeben, wobei sie die Richtung bestimmen sollten, aus welcher der Schall zu hören ist.

- b) Weiteres Ziel ist, die Frage zu beantworten, inwieweit die Wahrnehmung des menschlichen Gehörs durch in der Realität sich nicht vermeidbar lassende Störbedingungen beeinträchtigt wird. Zum einen sollen verschiedene akustische Wiedergabesignale genauer betrachtet werden und zum anderen soll der Einfluß einer sich ändernden Raumakustik untersucht werden.

2.1 Methodische Vorüberlegungen

Der 3.2-Standard nach ITU-R BS.775-1 sieht vor, daß fünf Lautsprecher konzentrisch um die VP angeordnet sind. Dabei sind im Idealfall die Lautsprecher symmetrisch zur Medianebene, welche durch den Kopf der VP fest definiert ist, angeordnet. Es ist bekannt, daß die Höreigenschaften des menschlichen Gehörs auf der linken Seite die gleichen sind, wie auf der rechten Seite. Deshalb wurde der Hörversuch nur mit der halben Aufstellung des 3.2-Systems nach ITU-R BS.775-1 durchgeführt und die Anlage so betrieben, daß ausschließlich auf der rechten Seite Schall wiedergegeben wurde, also von 0° bis 180° (vergl. Abb. 1.1).

Erwartungen aus der Literatur:

Aus dem Artikel von Theile und Zieglmeier (1996) ist bekannt, daß die Bildung von Phantomschallquellen im vorderen Stereopaar mit der in diesem Versuch verwendeten 3.2-Standardaufstellung (0° bis 30° , also hier genauso zwischen den Lautsprechern C und R, wenn man davon ausgeht, daß die Wahrnehmung auf der rechten Seite die gleiche ist, wie auf der linken Seite) sehr gut gelingt. Die Verbindung von Pegeldifferenzen und entsprechender Lokalisationsrichtungen ist sehr präzise. Bei dem Lautsprecherpaar L – LS, welches bei Theile und Zieglmeier (1996) den lateralen Winkelbereich repräsentiert, ist ersichtlich, daß die Erzeugung von Phantomschallquellen hier problematischer ist, als vorne. Dies ist an den weiten Ausdehnungen der Boxplots im lateralen Bereich gegenüber der kleinen Boxplots im vorderen Bereich in Abb. 1.6 zu sehen.

Im hinteren Bereich zwischen RS und LS (110° bis -110°) konnte aus der Studie von Xie Bosun (2001) nur entnommen werden, daß für die maximale Standardabweichung $\sigma \leq 6,5^\circ$ gilt. Der Autor gibt zusätzlich an, daß hier genauso wie im lateralen Bereich ein Loch im Kurvenverlauf der Mittelwerte existiert. W. M. Wagenaars (1990) berichtet, daß bei der Wiedergabe von rückwärtigen Realschallquellen H-V-Verwechslungen auftreten, bzw. sprechen Theile und Plenge (1976) von einer Elevation (Anhebung) der Phantomschallquelle, wenn der Stereobasiswinkel eine Größe von 60° überschreitet.

Aus den bisherigen Kenntnissen über die drei verschiedenen Abbildungsrichtungen ist ersichtlich, daß eine genaue Zuordnung von Pegeldifferenzen und genauen Richtungen zumindest seitlich und rückwärtig schwierig ist. Demzufolge werden an den Hauptversuch die folgenden Anforderungen gestellt:

- a) Die Sicherstellung des Grundgedankens: Zuordnung von Schall und Richtung
- b) Das Sammeln weiterer Daten zur Erklärung problematischer Zuordnungen von Schall und Richtung

2.1.1 Auswahl der Stimuli

Die folgenden Tabellen stellen verschiedene Stimuli gegenüber, die in Hörversuchen über Messungen zur Lokalisationsunschärfe der jeweiligen Wissenschaftler verwendet wurden.

Autor, Jahr	Signalart
Theile/Zieglmeier 1996	Sprache, 3 Sek.
Theile und Plenge 1976	gaussförm. Rauschimpuls, bandbegrenztes Rauschen (0,6 – 10 kHz), kontinuierliche Sprache
Xie Bosun 2001	verschiedene Terzrauschen Orchesterausschnitt
Wagenaars 1990	weißes Rauschen, Sinustöne mit verschiedenen On- und Offsets

Tab. 2.1. Studien aus Kap. 1.3 und deren verwendetes Testmaterial für Lokalisationsversuche.

Autor, Jahr	Signalart	Lokalisationsunschärfe etwa
Klemm 1920	Klicks	0,75° bis 2°
King und Laird 1930	Klickfolge	1,6°
Stevens and Newman 1936	Dauertöne	4,4°
Schmidt et al. 1953	Dauertöne	> 1°
Sandel et al. 1955	Dauertöne	1,1° bis 4,0°
Mills 1958	Dauertöne	1,0° bis 3,1°
Stiller 1960	Schmalbandrauschen, \cos^2 - Töne	1,4° bis 2,8°
Boerger 1965a	Gauß-Töne	0,8° bis 3,3°
Gardner 1968a	Sprache	0,9°
Perrott 1969	Tonimpulse mit unterschiedlicher Flankensteilheit und Frequenz	1,8° bis 11,8°
Blauert 1970b	Sprache	1,5°
Haustein und Schirmer 1970	Breitbandrauschen	3,2°

Tab. 2.2. Messungen der Lokalisationsunschärfe für seitliche Schallquellenverschiebungen nahe der Vorwärtsrichtung bei einer Schallquelle. (aus: Blauert, 1974, S. 31).

In Tab. 2.1 und Tab. 2.2 werden häufig nur ungenaue Angaben, bezüglich des jeweils verwendeten Testmaterials gemacht. Das dort benutzte Material konnte deshalb nicht genau reproduziert werden. Da offensichtlich kein stimmiges Vorbild existiert, mußte eine geeignete Auswahl der Testsignale selbst vorgenommen werden, zum Teil mit Hilfe von kurzfristig angesetzten Vorabexperimenten.

Bei Vorabexperimenten handelt es sich in dieser Arbeit um kurzfristig angesetzte Voruntersuchungen, die spontan durchgeführt wurden, wenn während der Versuchsplanung und Vorbereitung Probleme auftraten. Dies ist der Grund, warum hier nicht im eigentlichen Sinne von Vorversuchen die Rede sein kann, und der Begriff deshalb gemieden wird.

Für den Hauptversuch wurden zwei verschiedene Arten von akustischen Signalen ausgewählt: Sätze deutscher Sprache, im folgenden auch Sprachsignal genannt, und ein Rauschimpuls (rosa Rauschen) mit einer gaussförmigen Hüllkurve multipliziert. Sie unterscheiden sich grundsätzlich nach ihrer Entstehung, nämlich in natürliche und synthetische Stimuli. Natürliche Signale sind dem menschlichen Gehör vertrauter, wobei synthetische Signale leichter zu reproduzieren sind.

Gausshüllkurve über rosa Rauschen

Weißes Rauschen überzeugt zwar mit einer gleichbleibenden Energiedichte über das gesamte Spektrum, bei der Dauer dieses Hörversuchs könnte es mit der Wiedergabelautstärke von 78 dB(A) jedoch als unangenehm empfunden werden, aufgrund der stark ausgeprägten hohen Frequenzen. Aus diesem Grund wurde Rosa Rauschen verwendet. Zu üblichen Schallsignalen bei Hörversuchen gehören Klicks. Klicks (z. B. Einheitsimpulse) sind aufgrund ihrer kurzen Dauer allerdings sehr leise. Mit Hilfe von vorexperimentellen Untersuchungen wurde herausgefunden, daß ein Zeitintervall von 50 ms gut geeignet ist. Die VP muß sich die Richtung, aus welcher der Klick wiedergegeben wird, während der Impulswiedergabe gut einprägen können.

Problematisch bei dem 50 ms langen Rauschimpuls ist der sehr abrupte On- und Offset, was zu einer Verbreiterung des Impulsspektrums führt. Ein weiteres Problem dieser Impulsform ist, daß bei der vorgegebenen Lautstärke der Impuls sehr unangenehm für die VP sein kann. Um dies zu vermeiden wurde das Rauschen mit einer gleich langen Gausshüllkurve multipliziert und so das Ein- und Ausschwingen wesentlich angenehmer für die VP gestaltet. Die genaue Produktion dieses Impulses wird in Kap. 2.2.2.1 beschrieben.

Sprachbeispiel

" Die Sonne lacht. Am blauen Himmel ziehen die Wolken"

Ein Sprachsignal wurde gewählt, weil Sprache wahrscheinlich das akustisch am meisten vertraute Signal für den Menschen ist. Standardisierte Testmaterialien (z.B. Satztest in Form einer Erzählung nach Schubert (Sotscheck, 1976) oder Ranick-Satz (Fellbaum, 1984)), welche annähernd die Lauthäufigkeitsverteilung der deutschen Sprache repräsentieren, sind aufgrund ihrer Länge für diesen Hörversuch nicht geeignet.

Daher wurde ein modifizierter Ausschnitt des Materials nach Schubert genommen, das in einer phonetischen Bibliothek der TU-Berlin zur Verfügung stand. Während der Versuchsplanung ergab sich die Möglichkeit, die technische Qualität des Materials zu verbessern, weil das Original nur in mäßiger, digitaler Form (16-Bit quantisiert, 16 kHz gesamplet) vorlag. Das Sprachbeispiel wurde von einem professionellen Sprecher in einem Produktionsstudio neu aufgenommen. Dadurch konnte die technische Qualität erheblich gesteigert werden. Die technische Beschreibung erfolgt in Kap. 2.2.2.2.

Für den Versuch wird der gaussförmige Rauschimpuls mit "G", und das Sprachbeispiel mit "S" kenntlich gemacht. Die beiden Wiedergabesignale bilden eine unabhängige Variable⁴ bei dem Versuch. Beide Stimuli sind im Anhang unter B0 im WAV-Format zu finden.

2.1.2 Auswahl der Räume

Angenommen der Tonmeister hat das Ziel in seinem Studio eine 5.1 - Produktion zu realisieren. Er wird zuerst sicherstellen, daß die verschiedenen Schallsignale möglichst genau aus deren zugeordneten Richtungen erscheinen. Das fertig produzierte Stück wird aber mit Sicherheit auch außerhalb dieses Studios in anderen Räumen und von anderen Leuten gehört. Der Fachmann will jetzt sicher sein, daß die Wiedergaberichtungen der Schallsignale in diesen anderen Räumen die selben sind wie in seinem Studio. Es ist deshalb notwendig zu überprüfen, inwiefern die Richtungswahrnehmung von den akustischen Eigenschaften des Raumes beeinflußt wird. Also wurden drei Räume ausgewählt, die sich deutlich anhand der akustischen Eigenschaften unterscheiden.

⁴ Im folgenden UV genannt.

Reflexionsarmer Raum:

Dieser Raum hat die kleinste Nachhallzeit gegenüber den beiden anderen Räumen. Mit einem freien Volumen von 1850 m^3 ($11\text{m} \times 16\text{m} \times 10,5\text{m}$) wird er für akustische Messungen unter Freifeldbedingungen eingesetzt. Für die Richtungswahrnehmung sind hier keine zusätzlichen akustischen Hinweise verfügbar. Eine genauere Beschreibung des reflexionsarmen Raumes befindet sich im Internet unter “ <http://www.tu-berlin.de/fb6/ita/index.html> ”.

Studio:

Das kleine Studio (Studio 2) hat eine Grundfläche von $45,5 \text{ m}^2$ und eine lichte Höhe von $2,84 \text{ m}$. Das Raumvolumen beträgt ca. 130 m^3 . Die Besonderheit dieses Raumes ist, daß zum einen die Wände nicht orthogonal bzw. parallel angeordnet sind, und zum anderen wurden an zwei Begrenzungsflächen Diffusoren angebracht. Das Studio wurde nicht gebaut, um einen neutralen Abhörraum zu schaffen. Es wurde viel Wert auf eine lebendige Akustik gelegt, um einen geeigneten Produktionsraum für elektroakustische Musik zu erhalten. Eine genauere Beschreibung des kleinen Studios ist in der Diplomarbeit von Wernitz (1997) zu finden.

Bürraum:

Die Maße des Raumes betragen: $7,2 \text{ m} \times 4,75 \text{ m}$ ($l \times b$), $A = 34,2 \text{ m}^2$. In diesem Raum wurden keinerlei Vorkehrungen getroffen, um die akustischen Raumeigenschaften zu manipulieren. Es gibt eine Fensterfront und es ist eine komplette Büroeinrichtung vorhanden (Stühle, Tische, Schränke, etc.).

Die Auswahl der Räume sollte sicherstellen, daß Räume mit einer unterschiedlichen Charakteristik benutzt werden. Auf eine genauere akustische Beschreibung der Räume wurde verzichtet, weil das den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Und selbst dann bliebe die Frage unbeantwortet, wie repräsentativ die ausgewählten Räume sind.

Für die statistische Betrachtung im Ergebnisteil werden die Abkürzungen “TO” für den reflexionsarmen Raum, “ST” für das Studio und “NO” für den Bürraum vergeben. Die drei Räume bilden die zweite UV.

2.1.3 Intervallbestimmung der Pegeldifferenzen

In diesem Abschnitt ist zu ermitteln, wie die Pegeldifferenzen der drei Stereopaare C-R, R-RS und RS-LS für eine möglichst gleichmäßige Intervalleinteilung auszuwählen sind, bzw. welche Pegeldifferenzen für eine maximale Auslenkung notwendig erscheinen. Ziel ist es, die entsprechenden Winkelbereiche: $0^\circ - 30^\circ$, $30^\circ - 110^\circ$ und $110^\circ - 180^\circ$ vollständig repräsentieren zu können.

Vorderer Bereich

Für den Bereich von 0° bis 30° steht u. a. die Untersuchung von Theile und Zieglmeier (1996) zur Verfügung. Hier wurde der Bereich C – L in folgende Stufen unterteilt:

C – L

∞ dB	12 dB	6 dB	4 dB	2 dB	0 dB	-2 dB	-4 dB	-6 dB	-12 dB	$-\infty$ dB
-------------	-------	------	------	------	------	-------	-------	-------	--------	--------------

Abb. 2.1. Verwendete Pegeldifferenzen zur Erzeugung einer Summenlokalisation im vorderen Bereich eines 3.2-Stereo-Formats (aus: Theile/Zieglmeier, 1996, S. 159 - 169).

Aufgrund der bekannten Tatsache, daß bei geringen Pegeldifferenzen (z.B. $\Delta L = \pm 0$ dB) schon bei einer kleinen Änderung von ΔL eine relativ große Richtungsverschiebung erzeugt werden kann im Gegensatz zu den Randbereichen, sind die Intervalle zwischen den Pegeldifferenzen, wie in Abb. 2.1 zu sehen ist, verschieden groß.

Blauert (1974) stellt in seinem Buch eine Untersuchung im Stereodreieck dar, bei der ab einer Pegeldifferenz von $\Delta L = \pm 30$ dB ein Maximalausschlag erreicht wird (vergl. Blauert, 1974, S. 164). Wichtig ist hier, daß beim Stereodreieck der Stereobasiswinkel $\alpha = 60^\circ$ beträgt. Die Phantomschallquelle wird also von 0° (vorne), als Vollausschlag -30° nach links und 30° nach rechts ausgelenkt. Anhand eines Vorabexperiments wurde in allen drei Bereichen des in dieser Arbeit untersuchten Aufstellungsstandards ermittelt, daß bei $\Delta L = \pm 12$ dB nahezu ein Maximalausschlag erreicht werden kann, jedoch nicht ganz der Extremwert, wie bei $\Delta L = \pm \infty$ dB. Deshalb wurden diese fünf Werte ($\Delta L = 0, \pm 12$ dB und $\pm \infty$ dB) für jedes Lautsprecherpaar übernommen.

Aufgrund der Vorgehensweise von Theile und Zieglmeier (1996) bei der Einteilung der Pegeldifferenzen für den vorderen Bereich, wurden hier die Pegeldifferenzen zwischen den Lautsprechern C und R wie folgt unterteilt:

C - R

1	2	3	4	5	6	7	8	9
∞ dB	12 dB	7 dB	2 dB	0 dB	-2 dB	-7 dB	-12 dB	$-\infty$ dB

Abb. 2.2. Pegeldifferenzen zwischen den Lautsprechern C und R.

Wegen der hohen Anzahl der bei diesem Versuch verwendeten, unterschiedlichen Pegeldifferenzen, werden den einzelnen Werten ausschließlich Nummern zugeteilt. Dies sind im Frontbereich die Nummern 1 bis 9.

Lateraler Bereich

In der Untersuchung von Theile und Zieglmeier (1996) wurde festgestellt, daß Phantom-schallquellen zwischen L und LS (hier: R - RS) nur ungenau lokalisiert werden. Aus diesem Grund wurde die Abstufung der Pegel in diesem Versuch für den lateralen Bereich etwas gröber eingeteilt als im frontalen Bereich. Es wurden für den Hauptversuch neun verschiedene Pegeldifferenzen eingeplant.

Anhand eines weiteren Vorabexperiments mußte geprüft werden, ob die geplante Einteilung einen Winkel von 80° ungefähr gleichmäßig abdecken kann. Es wurde folgende Aufteilung der Parameter betrachtet:

R - RS

10	11	12	13	14	15	16	17	18
12 dB	8 dB	4 dB	2 dB	0 dB	-2 dB	-4 dB	-8 dB	-12 dB

Abb. 2.3. Pegeldifferenzen zwischen den Lautsprechern R und RS (ohne Realschallquellen).

Dieses Vorabexperiment zeigte, daß es möglich ist, mit dieser Parameterteilung mit Hilfe der Realschallquellen R bzw. RS den gesamten Winkelbereich von 80° abzudecken. Daher wurde an der Aufteilung festgehalten und es ergaben sich neun weitere Pegeldifferenzen für die dritte UV Parameter (Parameter 10 bis Parameter 18), welche die Intervallgrößen für den lateralen Bereich festlegen. Bei dieser vorexperimentellen Untersuchung entstanden allerdings

zwei weitere Probleme für den lateralen Bereich, welche in Kap. 2.1.4 und Kap. 2.1.5 beschrieben werden.

Rückwärtiger Bereich

Für den rückwärtigen Bereich zwischen den Lautsprechern RS und LS konnte man sich an der Studie von Xie Bosun (2001) orientieren. Der Autor unterteilte in seiner Untersuchung den halben Bereich zwischen LS bis RS (also quasi von 110° bis 180°) mit Pegeldifferenzen von -24 dB bis 0 dB in 3 dB-Intervalle. Bei dem im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuch sollten die Intervalle anders angeordnet werden, weil aus Vorabexperimenten abgeleitet werden konnte, daß schon ab einer Pegeldifferenz von $\Delta L = 12$ dB die wahrgenommene Phantomschallquelle sehr nahe dem Lautsprecher RS war. Es wurden zehn verschiedene Pegeldifferenzen in dem 70°-Winkelbereich untergebracht, welche nach durchgeführten Vorabtests den gewünschten Bereich vollständig abdecken konnten. Aus diesem Grund wurden den Parametern 19 bis 28 die folgenden Pegeldifferenzen zugeordnet.

RS - LS

19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
∞ dB	12 dB	10 dB	8 dB	6 dB	4dB	3dB	2 dB	1 dB	0 dB

Abb. 2.4. Pegeldifferenzen zwischen den Lautsprechern RS und LS.

2.1.4 Entwicklung eines Meßinstruments zur Richtungsbestimmung

Bei bisherigen vorexperimentellen Untersuchungen wurden die VP's aufgefordert, sich die Richtung der gehörten Schallquelle in Grad von 0° bis 180°, bzw. von 0° bis -180° im Kopf vorzustellen und dann den entsprechenden Winkel zu nennen (z.B.: "Ich höre den Schall aus einer Richtung von 100 Grad"). Dieses Verfahren funktionierte im vorderen Bereich (C-R) gut. Lateral bereitete es jedoch Probleme, weil die Vorstellungskraft nach Angaben der Probanden nicht ausreichte, den Bereich, der sich nicht mehr in ihrem Blickfeld befand, mit Gradzahlen zu beschreiben.

Aus einem weiteren Vorabexperiment wurde deutlich, daß die Probanden am einfachsten und mit wenig kognitiver Anstrengung mit dem Finger in eine bestimmte Richtung deuten können, aus der sie eine Schallquelle hören. Diese Erkenntnis führte zu der Annahme, daß ein

beweglicher Zeiger eine gute Lösung sein könnte, wenn es um die Richtungsbestimmung einer Schallquelle in der Horizontalebene geht.

Aus diesem Grund wurde in die Mitte eines quadratischen Bretts (50 cm x 50 cm) ein beweglicher Zeiger aufgeschraubt. Es wurde keine Skala auf dem Brett angebracht, damit die VP nicht durch das Raster beeinflusst werden konnte (vergl. Abb. 2.5). Das Brett wurde mit der Videokamera KA-1 (vergl. Abb. 2.14) während des Versuchsablaufs aufgezeichnet und auf einem sich im Regieraum befindenden Monitor wiedergegeben. Erst auf diesem Monitor war eine Skala angebracht, und somit für den Versuchsleiter⁵ die genaue Richtung ablesbar. Es wurden die Farben gelb für das Brett und schwarz für den Zeiger ausgewählt, weil diese einen großen Kontrast zusammen bilden und damit dem VL das Ablesen erleichtert wurde.

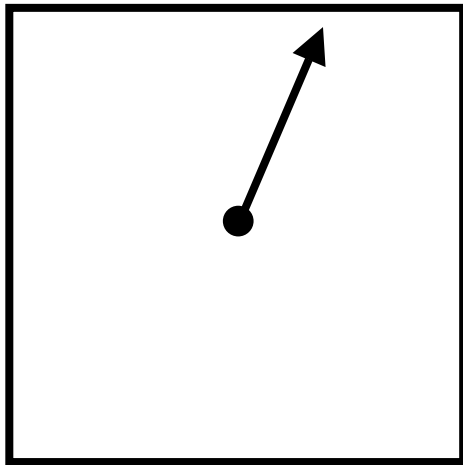


Abb. 2.5. Brett mit beweglichem Zeiger zur Richtungsbestimmung.

Bei diesem Meßinstrument trat allerdings schon während der Planung ein Problem in den Vordergrund: Der Kopf der VP befindet sich während des Versuches etwa 50 cm von dem Mittelpunkt des Zeigerbretts entfernt. Wird im Versuch eine Phantomschallquelle im seitlichen Bereich, z.B. im Winkel von ca. 90° wiedergegeben, so kann die VP das Problem haben, daß sie nicht weiß, ob sie mit dem Zeiger direkt auf die Phantomschallquelle zeigen soll. Sie könnte den Zeiger auch so einstellen, daß dieser parallel zu der Verbindungslinie von VP-Kopf und Phantomschallquelle verläuft. In diesem Fall würde sie direkt an der Schallquelle vorbei zeigen. Es wurde in den Versuchsinstruktionen (vergl. Kap. 2.3.1) deutlich darauf hingewiesen, daß sie den Zeiger genau auf die Phantomschallquelle richten soll. Der dadurch verursachte Fehler muß akzeptiert werden.

⁵ Im folgenden als VL bezeichnet.

2.1.5 Zuordnungsprobleme

Wenn sich die Probanden unsicher bei der Entscheidung sind, aus welcher Richtung sie den Schall hören, kann davon ausgegangen werden, daß in diesem Fall die Lokalisation der Phantom- bzw. Realschallquelle nicht gut funktioniert. Die Art der hier angewandten Meßdatenerhebung impliziert allerdings eine Eindeutigkeit der Richtungszuordnung, weil der Zeiger nur in eine Richtung zeigt.

Bei einem Vorabexperiment stellte sich jedoch heraus, daß die Möglichkeit der Auswahl von nur einer Richtung in manchen Fällen nicht ausreicht. Es kam dort zu einer Situation, daß die VP bei lateraler Wiedergabe den Schall aus zwei verschiedenen Richtungen hörte. Dies zu erfassen war mit dem Zeiger nicht möglich. Deshalb schien es nötig, zusätzliche Daten zu erheben, mit deren Hilfe man dieses Problem abschätzen konnte. Aus diesem Grund wurden zwei voneinander unabhängige Methoden entwickelt.

2.1.5.1 Subjektive Selbsteinschätzung

Die subjektive Selbsteinschätzung ist ein Indikator dafür, wie sicher sich die VP bei dem Drehen des Zeigers in eine ganz bestimmte Richtung ist. Durch die Möglichkeit der Auswahl drei verschiedener Symbole mit Hilfe eines Markierungspunktes konnte die VP ein Urteil über ihre subjektive Selbsteinschätzung abgeben. Sie hatte die drei Alternativen: “ganz sicher”, “nicht so sicher” und “sehr unsicher”. Der Vorteil war hierbei, daß sich dieses Meßinstrument problemlos in den Versuchsablauf integrieren ließ. Mit einfachen Mitteln war es möglich, die drei Symbole (Smilys) auf der linken Hälfte des Zeigerbretts aufzuzeichnen, weil auf der linken Seite keine Testschalle angeboten wurden (vergl. Abb. 2.6). Dieser Platz stand also noch zur freien Verfügung.

Die Zeit, welche der VP beim Entscheiden nach der jeweiligen zweiten Satz- oder Gaussfolge zur Verfügung stand, wurde mit ca. 5 Sek. sehr knapp kalkuliert (vergl. Kap. 2.2.2) Um die Selbsteinschätzung für die Probanden so einfach wie möglich zu gestalten, wurden dafür nur drei Smilys vorgesehen und nicht fünf, wie es von Bortz und Döring (1995, S. 167) für Skalen z.B. bei graphischem Rating vorgeschlagen wird. Die VP's wurden gebeten, eine intuitive Einschätzung abzugeben, indem sie den betroffenen Smily mit einem Punkt markieren sollten. Wegen der geringen Anzahl von Auswahlalternativen muß allerdings auf den Anspruch einer hohen Meßgenauigkeit dieser Methode verzichtet werden.

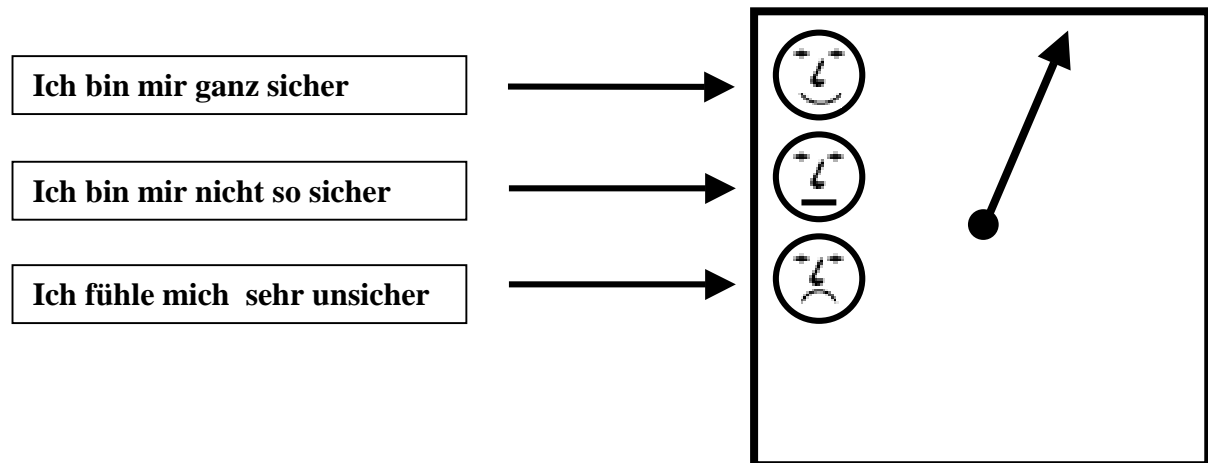


Abb.2.6. Symbole zur subjektiven Entscheidungssicherheit.

2.1.5.2 Objektive Kontrolle der Sicherheit

Ein bedeutender Nachteil der in Kap. 2.1.5.1 beschriebenen Methode ist, daß es keine Möglichkeit gibt zu erfassen, auf Basis welchen Kriteriums die VP ihre Entscheidung fällt. Dies ließ sich höchstens aus den Beobachtungen während der Versuchsdurchführung erahnen (vergl. Kap. 2.3.2). Deshalb war neben der Selbsteinschätzung der VP eine Methode nötig, welche unabhängig von deren eigenem Urteil als Indikator der Sicherheit wirkt.

Wie später noch ausführlicher beschrieben wird, wurden aus diesem Grund zwei gleiche Gauss- oder Satzfolgen aneinandergereiht und mit einer kurzen Pause von ca. 4 Sek. hintereinander abgespielt (vergl. Kap. 2.2.2). Daraus resultierten für jede Parametersequenz zwei Werte für die Winkelangabe. Dies sind zum Beispiel: TO_G_1A und TO_G_1B⁶. Mit den Wiederholungswerten (Parameter mit "B") werden im folgenden fast alle Berechnungen stattfinden, weil davon auszugehen ist, daß diese Werte etwas genauer und damit zuverlässiger sind als die Werte der jeweils vorherigen Parameter mit der Endung "A". Es wird folgender Zusammenhang angenommen:

Je kleiner die Abweichung des B-Parameters von dem vorhergehenden A-Parameter, desto größer ist die Entscheidungssicherheit des Probanden, die ohne jeglichen bewußten Einfluß durch die VP selbst, ermittelt wurde.

⁶ Reflexionsarmer Raum, Rauschimpulswiedergabe mit Parameter 1A und 1B.

2.1.6 Probleme mit Reihen- und Carry-Over-Effekten

Von Reiheneffekten spricht man, wenn eine VP aus der sequentiellen Anordnung vorangehender Parameter auf die nächsten Parameter schließen kann. Ihre Angaben sind dann nicht mehr ausschließlich von den jeweils aktuellen Testsignalen bestimmt, sondern zusätzlich von ihrer abgeleiteten Kenntnis aus den vorhergehenden Signalen. Die Gefahr von Reiheneffekten wäre z.B. groß, würden die Parameter 1B – 28B der Reihe nach abgespielt werden. Es würde der VP sehr schnell auffallen, daß die Schallquelle Stück für Stück halbkreisförmig um sie herum wandert.

Beeinflussen die zu einem früheren Zeitpunkt erhobenen Messungen, weitere Messungen, die zu einem späteren Zeitpunkt erhoben werden, dann spricht man von sequentiellen Übertragungseffekten oder Carry-Over-Effekten. Je größer die Zeit zwischen den einzelnen Untersuchungselementen ist, desto weniger treten diese Effekte generell auf. Bei dem Versuch folgen die einzelnen Testsignale verschiedener Parameter aber unmittelbar aufeinander. Aus diesem Grund ist es wahrscheinlich, daß die Eigenschaft eines vorangehenden Signals, die Wahrnehmung des folgenden Signals beeinflusst. So kann spekuliert werden, daß die Richtungswahrnehmung eines Signals unterschiedlich ausfällt, wenn zuvor ein Signal unmittelbar in seiner räumlichen Nachbarschaft oder weit entfernt auftritt.

Carry-Over-Effekte können für den Versuch ein unvermeidbares Problem darstellen. Reiheneffekten ist im Prinzip relativ einfach zu begegnen, indem man eine zufällige Abfolge der Parameter 1 bis 28 generiert. Da es aufgrund der großen Anzahl von Testsignalen nicht möglich war, die Abfolge gänzlich zufallsbestimmt zu gestalten, wurde eine selbst entwickelte Methode angewandt. Es wird davon ausgegangen, daß mit dieser Methode Reiheneffekte deutlich abgeschwächt werden.

Bestimmung der Parameterreihenfolge

Es wird folgende Reihe betrachtet:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
C	C – R							R	R – RS									RS

20	21	22	23	24	25	26	27	28
RS – LS								

Abb. 2.7. Aufteilung der Parameter 1 bis 28 innerhalb der Bereiche C-R, R-RS und RS-LS.

Zur Vermeidung von Reiheneffekten wurden folgende Kriterien gebildet:

Es sollte vermieden werden, daß sich große Winkelsprünge mit kleinen Winkelsprüngen gleichmäßig abwechseln. Erkennt die VP eine derartige Regelmäßigkeit, kann dies zu einer Verfälschung des Ergebnisses führen. Die folgende Abbildung (Abb. 2.8) zeigt je ein Beispiel für einen großen und einen kleinen Winkelsprung:

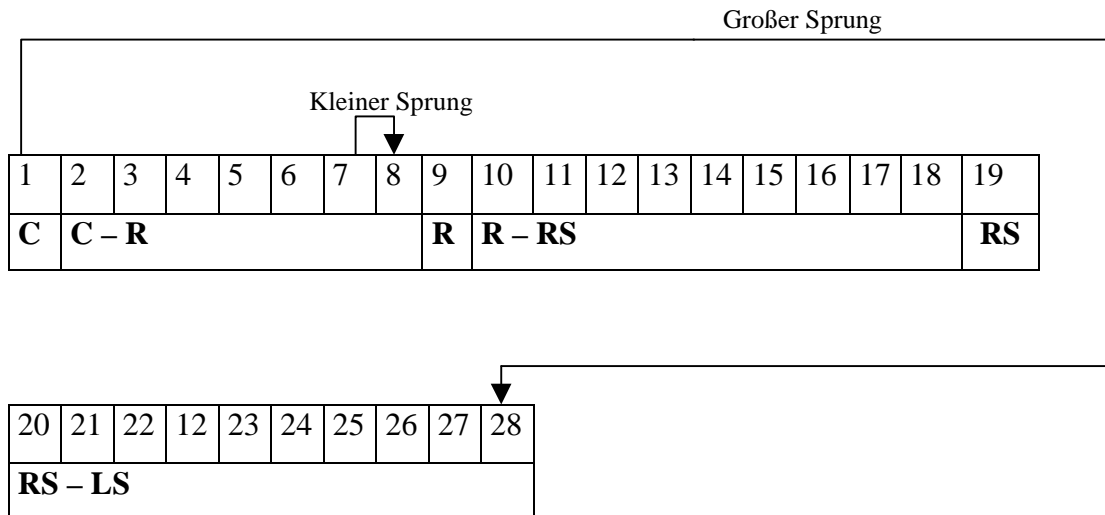


Abb. 2.8. Große und kleine Parametersprünge.

Daraus folgt das erste Kriterium: *Abfolge großer Sprünge unregelmäßig zur Abfolge mittelgroßer, bzw. kleiner Sprünge. Es wird von kleinen Sprüngen gesprochen, wenn die Differenz der Parameterstufen 1-11 beträgt, bei mittelgroßen Sprüngen ist die Differenz 12-15 Stufen und große Sprünge bedeuten 16-27 Stufen.*

Neben den Realschallquellen werden auch die Randbereiche der Realschallquellen als dominierende Realschallquellen betrachtet. Diese sind die Parameter 1, 2, 8, 9, 10, 18, 19, 20. Das zweite Kriterium lautet demzufolge: *Die Abfolge von Phantomschallquellen soll sich mit der Abfolge dominierender Realschallquellen mischen.*

Die Bereiche vorne, seitlich und hinten sollen sich annähernd zufällig durchmischen. vorne: 1-9, seitlich: 10-18, hinten: 19-28. Kriterium drei: *Elemente von vorne (C - R) sollen sich unregelmäßig abwechseln mit seitlichen Elementen (R - RS) und hinteren Elementen (RS - LS).*

Ändert sich die Richtung von einem niedrigen zu einem höheren Parameter (z.B. von Parameter 4 nach Parameter 7) dann ist dies ein "Schritt vor". Ändert sich dagegen die Richtung zu einem Parameter mit niedrigerer Stufe (z.B. von Parameter 7 nach Parameter 4), dann spricht man von einem "Schritt zurück". Kriterium vier lautet also: *Die Elemente sollen mit einem ungleichmäßig verteilten Richtungswechsel (vor - zurück). v = vor, z = zurück wiedergegeben werden.*

Bei ungefährrer Orientierung nach den Kriterien, könnte die Reihenfolge die Gestalt haben:

1	11	21	18	28	16	25	20	3	2	26	15	9	27	10	19	23	7	13
---	----	----	----	----	----	----	----	---	---	----	----	---	----	----	----	----	---	----

17	14	4	5	24	12	22	8	6
----	----	---	---	----	----	----	---	---

Abb. 2. 9. Zufällig durchmischte Parameterreihe.

Um die Reliabilität der Meßwerte zu überprüfen und damit die interne Validität des Versuches zu erhöhen, werden fünf Parameter wiederholt: 1, 11, 16, 22, 28. Diese Parameter wurden ausgewählt, weil sie den gesamten untersuchten Winkelbereich ungefähr gleichmäßig abdecken. In der Datenmatrix werden sie mit der Endung „W“ gekennzeichnet. Sie werden nach einem zufallsbestimmten Prinzip in die Folge untergemischt, also:

1	11	21	18	28	16	25	20	3	2	26	15	9	1	27	10	19	23	11	7	28	13
---	----	----	----	----	----	----	----	---	---	----	----	---	---	----	----	----	----	----	---	----	----

17	14	4	5	24	12	22	8	6	22	16
----	----	---	---	----	----	----	---	---	----	----

Abb. 2.10. durchmischte Reihe mit Wiederholungsparametern.

Die genaue Verarbeitung der Reihenfolge in Abb. 2.10 nach Kriterium 1 bis 4 wird in A0 im Anhang dokumentiert. Nach dieser Prozedur entsteht hat sie folgende Gestalt:

1	21	11	18	28	16	25	20	3	5	9	26	15	6	27	10	17	23	11	8	28	13
---	----	----	----	----	----	----	----	---	---	---	----	----	---	----	----	----	----	----	---	----	----

19	4	14	2	24	12	22	7	1	22	16
----	---	----	---	----	----	----	---	---	----	----

Abb. 2.11. Reihenfolge, wie sie im Versuch verwendet wird.

Obwohl die Reihe annähernd den aufgestellten vier Kriterien genügt und damit Reiheneffekte weitgehend eliminiert werden, sind Carry-Over-Effekte nach wie vor nicht auszuschließen. Daher ist es u. a. notwendig, die in Kapitel 3 erhaltenen Ergebnisse hiernach zu untersuchen.

Eingewöhnungsphase

Um die VP mit der ungewöhnlichen Situation des Hörversuchs vertraut zu machen, ist das vorherige Abspielen einiger Parameter erforderlich, welche jedoch am Ende nicht als Daten ausgewertet werden. Es wird deshalb die folgende Reihe, bestehend aus vier Elementen, an den Anfang der schon bestehenden Reihe angeknüpft.

28	7	21	14
----	---	----	----

Abb. 2.12. Vorab-Parametersequenz.

Bei der Eingewöhnungsphase ist es üblich, Extremwerte zu verwenden, wie z. B. den ersten und den letzten Parameter der Reihe (hier: Parameter 1 und Parameter 28). Da der erste Parameter schon am Anfang der eigentlichen Untersuchungsreihe steht, wurde er hier ausgelassen. Er wird aber direkt nach Parameter 14 der Vorab-Sequenz folgen. Die 14 wird als schwieriger Parameter eingeschätzt, weil bei Vorabexperimenten dieser Parameter häufig zur Wahrnehmung von zwei Schallquellen geführt hat. 7 und 21 werden als extrem kritisch betrachtet, weil diese Parameter knapp an einer Realschallquelle angrenzen.

Die Eingewöhnungsphase sollte ausschließlich vor der Wiedergabe der ersten Reihenfolge mit den Rauschimpulsen stehen und wurde deshalb auch nur mit den Rauschimpulsen produziert. Eine weitere Eingewöhnungsphase von dem Anfang der Satzfolge war nicht mehr nötig.

Erholungspausen

Wie in Kap. 2.2.2 noch beschrieben wird, dauert eine Sequenz gleicher Parameter genau 17 Sekunden. Beim ersten Stimulus (Rauschimpuls) sind es mit den Wiederholungspausen und der Eingewöhnungsphase insgesamt 37 ($28 + 5 + 4$) Sequenzen. Beim zweiten Stimulus (Sprachsignal) wurde die Eingewöhnungsphase weggelassen. Ansonsten ist der Ablauf derselbe wie der Ablauf mit dem ersten Stimulus. Es sind hier also 33 ($28 + 5$) Sequenzen. Für die Gesamtdauer des Hörversuchs erhält man rein rechnerisch für beide Test-signale 1190 Sekunden = 19 Min. 50 Sek.

Da Hörtests allgemein eine hohe kognitive Leistung der Probanden erfordern, wurden noch fünf längere Pausen à 20 Sek. eingebaut. Die Intervalle zwischen den Pausen haben die gleiche Länge. Solch eine längere Pause wurde regelmäßig nach 11 Sequenzen gleicher Parameter eingeschoben. Die vier Sequenzen der Eingewöhnungsphase wurden hier nicht berücksichtigt. Somit ergab sich für die Gesamtlänge des Hörversuchs 21 Min. 30 Sek. in jedem Raum.

2.1.7 Eliminierung optischer Hinweise

Wenn die VP die Lautsprecheraufstellung sieht, so wird ihre Entscheidung deutlich durch ihren visuellen Input beeinflusst. Diese Beobachtung wurde bei Vorabexperimenten bestätigt (vergl. auch Theile und Zieglmeier, 1996).

Eine optische Beeinflussung, wie z.B. das Sehen der Lautsprecher während des Versuchs, sollte wenn möglich vermieden werden. Daher wurde eine Kabine konstruiert, welche die Sichtweite der VP stark eingrenzt (siehe Abb. 2.13). Es wurde ein Bambusgestell mit den Maßen 1,4m x 1m (l x b) gebaut, an welchem eine leichte und luftdurchlässige Gardine aus Store befestigt wurde. Store hat die positive Eigenschaft, daß dieser Stoff kaum Schall absorbiert. Store ist auch bei Akustikern (ITA der TU-Berlin) ein beliebtes Material für schalldurchlässige Vorhänge.

Die Kabine wurde an der Decke und am Boden des jeweiligen Raumes mit Seilen und Schnüren befestigt. In der Kabine stand ein Tisch und ein Stuhl für die VP bereit. Da der jeweilige Raum abgedunkelt wurde, war auf dem Tisch eine Lampe befestigt. Schematisch läßt sich der Aufbau so darstellen:

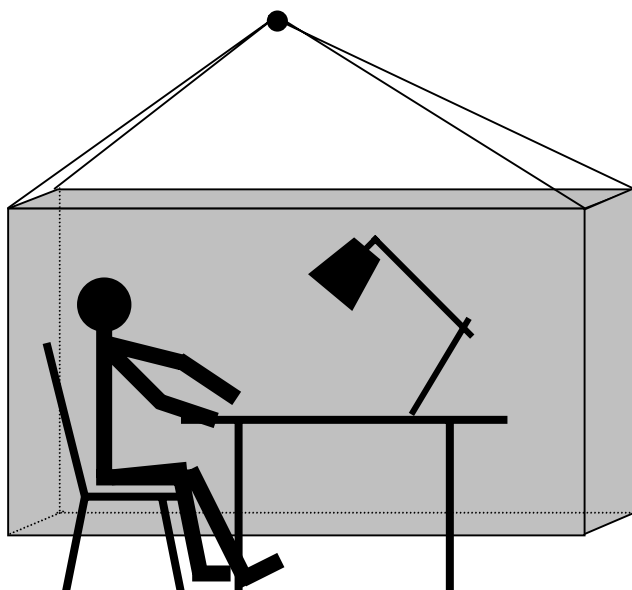


Abb. 2.13. Kabine aus Storgardine zum Sichtschutz nach außen.

Aufgrund der akustischen Transparenz der Storgardine, ist diese auch optisch nicht vollständig blickdicht. Deshalb wurde nach weiteren Möglichkeiten gesucht, optische Orientierungshinweise noch besser auszuschließen. Den Probanden wurde eine dunkle Sonnenbrille verordnet, die sie während des Versuchsdurchgangs zu tragen hatten.

Schnell zeigte sich allerdings daß diese zusätzliche Maßnahme ziemlich überflüssig war. Der abgedunkelte Raum und das relativ grelle Licht innerhalb der Kabine verhinderte zuverlässig, daß die VP's versuchten, optische Orientierungspunkte zu finden. Zudem erwies sich die Storgardine in der Praxis als unerwartet lichtreflektierend. Auch diese Eigenschaft verhinderte, daß die Probanden wahrnehmen konnten, was sich hinter der Gardine befand.

2.1.8 Korrekte Sitzposition der VP

Gerade beim Wahrnehmen von Phantomschallquellen ist es notwendig, eine korrekte Sitzhaltung einzunehmen. Würde sich der Kopf der VP z. B. nicht im sogenannten "Sweet Spot" der Anlage befinden, könnte dies zu völlig anderen Wahrnehmungen führen. Auch heftiges Hin- und Herbewegen, bzw. Neigen und Kippen des Kopfes sind unzulässige Vorgänge während der Versuchsdurchführung.

In der Literatur wurde das Problem bei den Hörversuchen u. a. gelöst, indem der Kopf der VP fixiert wurde durch eine speziell dafür konstruierte Apparatur (vergl. Theile/Zieglmeier, 1996). Der Vorteil dabei ist, daß jeder Proband die gleiche Kopfposition einhält und die Höreigenschaften, die durch die Kopfhaltung beeinflußt werden, sich nur minimal zwischen den einzelnen VP's unterscheiden. Die Testaussagen wären somit sehr präzise und die interne Validität des Versuchs in positivem Maße beeinflußt.

Der entscheidende Nachteil davon ist jedoch, daß bei einem festen Kopf eine wichtige Orientierungseigenschaft, die durch leichtes Hin- und Herbewegen des Kopfes entsteht, gewaltsam unterbunden wird. Es fällt wesentlich schwerer monaurale und interaurale Merkmale der Signale an den Trommelfellen bei fester Kopfposition auszuwerten, als wenn der Kopf frei beweglich ist.

Auch praktisch war es bei diesem Versuch nicht möglich solche Vorkehrungen zu treffen. Alle Probanden stellten sich freiwillig für den Versuch zur Verfügung. Schon aus diesem Grund wäre es nicht sinnvoll, die Leute quasi ihrer Freiheit zu berauben, indem man ihren Kopf durch Fixieren unbeweglich macht. Ein anderer, wichtiger Aspekt ist die Gewährleistung der externen Validität. Niemals in der Praxis werden die Leute mit einem absolut

unbeweglichen Kopf die Wiedergabe eines 3.2 – Systems genießen und genauso werden Leute niemals exakt im Sweet Spot sitzen.

Also wurde ein Kompromiß geschlossen. Die Probanden wurden aufgefordert, eine Kappe aufsetzen, auf der ein Laserpointer justiert war. Sie sollten mit dem Laserstrahl auf eine an der Kabine in 0° - Richtung in Kopfhöhe angebrachten Markierung (schwarzer Punkt) zielen. Damit konnte eine aufrechte Position des Probanden in etwa sichergestellt werden. Auf dem Fußboden wurde zusätzlich der Sweet Spot markiert über welchem die VP ungefähr ihren Kopf positionieren sollte.

Die Wichtigkeit der korrekten Kopfhaltung wurde in den Instruktionen deutlich betont, die Funktion des Laserpointers und der zugehörigen Markierung ausführlich dargelegt. Durch einen Ausfall des Laserpointers in der Mitte eines Testdurchgangs konnte beobachtet werden, daß die Probanden die korrekte Kopfhaltung auch ohne Hilfestellung des Laserpointers einhielten. Befürchtungen, daß die VP's ihren Kopf in die Richtung des Schalls drehen, um so besser die Richtung bestimmen zu können, bestätigten sich nicht. Die Disziplin bezüglich der Kopfhaltung war auch ohne praktischen Einsatz des Laserpointers ganz ausgezeichnet. Deshalb wurden ca. in der Mitte des ersten Durchgangs die Originalinstruktionen (d.h. auch der Teil mit dem Laserpointer) zwar beibehalten, den Probanden vor Beginn des Versuchs dann jedoch mitgeteilt, daß auf den Einsatz des Laserpointers verzichtet wird. Das führte zu einer Entlastung der Probanden und ermöglichte ihnen, sich unbefangener auf die eigentlichen Aufgaben des Versuchs zu konzentrieren.

2.1.9 Einmessen der Anlage und Lautheitsnormierung

Bevor der Hörversuch losgehen konnte, war es unabdingbar, jeden Lautsprecher der verwendeten Anlage einzumessen. Auch die verwendeten Testsignale mußten für eine gleich laute Wahrnehmung bezüglich des Pegels angepaßt werden.

Einmessen der Anlage

Beim Einmessen der Anlage wurde nach der Einmeßvorschrift in SSF-02-10/98 vorgegangen. Nach der dort empfohlenen Rechenvorschrift ergibt sich für jeden einzelnen Lautsprecher ein Referenz-Abhörpegel von $L_{LIST\ REF} = 78\text{ dB(A)}$.

Die Einstellung des Referenz-Abhörpegels pro Wiedergabekanal erfolgte mit einem Rosa Rauschen, bandpaßbegrenzt, 200 Hz – 20 kHz, wobei $L_{LIST\ REF} = 78\text{ dB(A)}$. Beim Einmessen

wurde der Bruel&Kjaer-Präzisions-Schallpegelmesser (A-bewertet, slow) in der Mitte des imaginären Kreises, auf welchem die Lautsprecher angeordnet waren, platziert und in die Richtung des jeweilig einzumessenden Lautsprechers gedreht. Damit konnten die Schallwellen quasi frontal auf die Kapsel treffen und Einflüsse der Richtcharakteristik des Pegelmessers weitgehend verhindert werden.

Lautheitsnormierung

Steuert man den Pegel des Einmeßrauschens und die Pegel der beiden Testschalle (Rauschimpuls, Sprachsignal) bei der Produktion z. B. mit Pro Tools alle gleich aus (durch Normalisieren auf 0 dB), dann sind die drei Schalle beim Abhören über Lautsprecher nicht gleich laut. Der Grund ist, daß es sich um drei völlig verschiedene Signale bezüglich ihrer spektralen und zeitlichen Gestalt handelt (vergl. Kap. 2.2.2).

Daher wurden vor dem Einmessen alle drei Signale subjektiv gleich laut eingestellt, indem das leiseste Signal bei 0 dB festgelegt, und die beiden anderen Signale um einen bestimmten Pegel abgesenkt wurden. Bei folgenden Pegeln wurden die drei Geräusche nach subjektiver Beurteilung annähernd gleich laut beurteilt:

Geräusch	Einmeßrauschen	Sprache	Gauss
Pegel [dB]	-6	-4	0

Tab. 2.3. Pegel für gleiche Lautheitswahrnehmung.

2.1.10 Probanden

Um mit Hörversuchen eine zuverlässige Aussage machen zu können, müssen auch bei der Auswahl der Probanden verschiedene Dinge beachtet werden. Die Kriterien der Auswahl sind je nach Anforderung an das Versuchsergebnis verschieden.

Anzahl der Probanden

Die Probanden wurden mit Hilfe von Aushängen, Werbung in Vorlesungen, Zeitungsannoncen und durch Befragung des Bekanntenkreises angeworben. Für die statistische Auswertung wurde in jedem Raum die gleiche Anzahl von Probanden benötigt. Dadurch ergaben sich für die Auswertung bei dem Vergleich der drei Räume und der beiden Testsignale weniger Probleme.

Je größer der Stichprobenumfang ist, desto repräsentativer werden die Testergebnisse. Das bedeutet, z.B. für inferenzstatistische Auswertungen (vergl. Kap. 3.4, 3.5), daß bei einer größeren Stichprobe das Untersuchungsergebnis selbst bei kleinen Effekten eher signifikant wird, als bei einer kleinen Stichprobe. Nach Bortz (1993, S. 126), spricht man von einem kleineren Stichprobenumfang bei einer Stichprobengröße von ca. $n = 30$ Probanden.

Die Tatsache der Wiederholungsmessung brachte ein Problem für den Versuchsablauf mit sich. Organisatorisch war es nicht anders zu bewerkstelligen, zuerst den Versuch mit allen Probanden im ersten Raum durchzuführen. Dann mußte der Raum gewechselt werden, um den gesamten Versuchsaufbau auch in Raum 2 starten zu können. Die VP's wurden gebeten ein zweites mal zum Versuch in Raum 2 zu kommen. Nachdem die Durchführung auch in Raum 2 abgeschlossen war, wurde zum letzten Mal der Versuch in den dritten Raum verlagert und die Probanden mußten zu einem dritten Durchgang erscheinen. Ein kompletter Versuchsdurchgang mit allen Leuten dauerte zwei bis drei Wochen. Die VP's mußten also nach mehreren Wochen wieder motiviert werden, am Versuch teilzunehmen. Es bedarf hier wohl keiner weiteren Erklärung, daß bei dem Versuch im dritten Raum weniger Leute teilnahmen, als bei dem Versuch im ersten Raum.

Im ersten Raum (reflexionsarmer Raum) nahmen 42 Leute teil. Im zweiten Raum (Studio) waren es 34 Leute und im letzten Raum (Büro) noch 30. Die gesamte Auswertung wurde mit den 30 VP's durchgeführt, die an allen drei Durchgängen teilnahmen. Die restlichen Probanden (11 im reflexionsarmen Raum und vier im Studio) wurden nicht beachtet.

Fragebogen für die Probanden

Mit Hilfe eines Fragebogens wurden soziographische Daten der Probanden erhoben. Er ist so ausgelegt, daß genauere Aussagen über Personengruppen, die sich durch bestimmte Merkmale unterscheiden, gemacht werden können. Darüber hinaus können mit dem Fragebogen Hinweise über die Homogenität der Gesamtgruppe abgeleitet werden. Das Formular wurde einmal vor Beginn des ersten Durchgangs im reflexionsarmen Raum ausgehändigt und besteht aus neun Fragen (vergl. Anhang A14).

Jeder Proband bekommt vor Beginn des ersten Versuchsdurchgangs eine individuelle VP-Nummer. Der Hörversuch wird anonym durchgeführt. Es erscheint später in der Datentabelle nie der Name der VP, sondern nur die VP-Nummer, welche jeweils mit allen Daten dieser VP in Verbindung steht. Dadurch konnte während der Versuchsdurchführung für die VP die unangenehme Situation sich unter der Kontrolle des VL's zu befinden, vermieden werden.

Im ersten Teil werden ein paar charakteristische Merkmale der Probanden zusammengetragen. Dies sind Alter, Beruf und Geschlecht. Damit besteht die Möglichkeit die Stichprobe nach bestimmten Eigenschaften grob einzuschätzen, wie z.B. Homogenität der Gesamtgruppe oder Einflüsse durch die Auswahl der Stichprobe auf interne, bzw. externe Validität.

Es wird angenommen, daß das menschliche Gehör lernfähig ist (vergl. Guski, 1996, S. 302) und daß musikalisch engagierte Menschen, oder Leute die schon vorher an anderen Hörversuchen teilgenommen haben, sensibilisiert sind im Vergleich zu unerfahrenen Probanden. Diese Tatsache könnte sich auf das Ergebnis auswirken und muß deshalb überprüft werden.

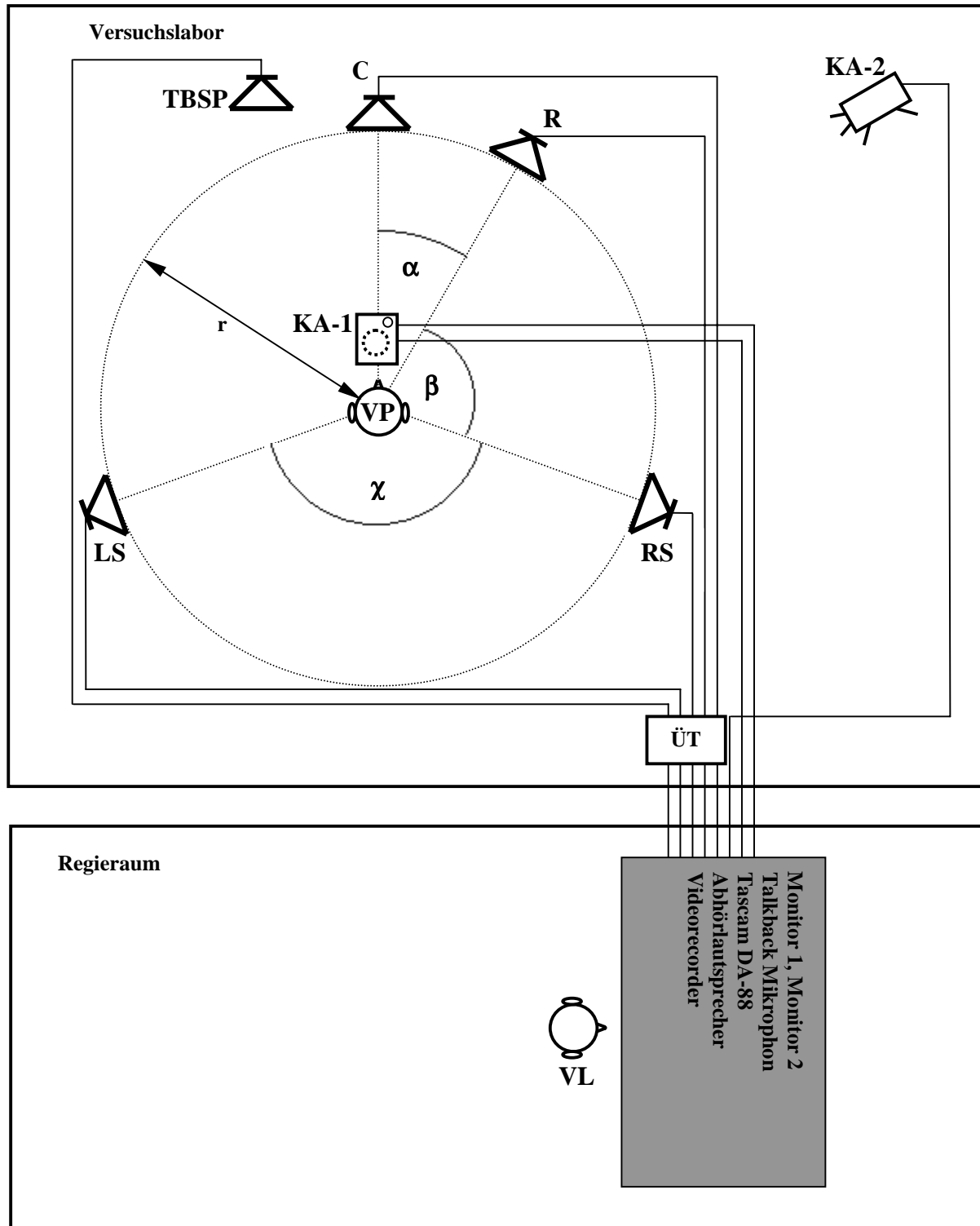
Weiterhin ist es nötig herauszufinden, ob die VP's über ein normal funktionierendes Gehör verfügen. Das Gehör kann beeinträchtigt worden sein durch Lärmbelastungen verschiedener Art. Hörstörungen wie z.B. zeitweilige oder permanente Hörschwellenverschiebungen (TTS, PTS) können die Folge sein. Eine mögliche zeitweilige Hörschwellenverschiebung wurde aber nur im ersten Raum (reflexionsarmer Raum) erfaßt, weil der Fragebogen zu diesem Termin einmalig ausgehändigt wurde.

2.2 Technische Versuchsvorbereitung

Für die Vorbereitung des Hörversuchs aus technischer Sicht waren zum einen die Räume, die jeweils aus Versuchslabor und Regieraum bestanden, mit der nötigen Technik auszustatten und zum anderen die verwendeten Stimuli zu produzieren, bzw. zu verarbeiten. Das Ziel war einen möglichst automatisierten Versuchsablauf sicherzustellen.

2.2.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau stellt sich aus technischer Sicht wie folgt dar:



KA-1, KA-2: Videokameras, TBSP: Lautsprecher für Talkback

ÜT: Übertrager, $\alpha=30^\circ$, $\beta=80^\circ$, $\chi=140^\circ$, $r=2,2\text{m}$

Abb. 2.14. Technische Realisierung des Versuchsaufbaus.

Der VL befand sich während des Versuchs in einem schalldicht abgetrennten Regieraum. Die VP saß in ihrem jeweiligen Versuchsraum. Die Kommunikation funktionierte ausschließlich über elektronische Signalwege.

Es wurde folgende technische Ausrüstung verwendet:

- 5 Fostex Aktivlautsprecher (Fostex model 6301B3)
- Tascam DA-88
- Bruel&Kjaer-Präzisions-Schallpegelmesser, Typ 2203, Kapseltyp 4131 (1 Zoll)
- Videorecorder (Betamax)
- 2 Kameras, 2 Monitore
- Talkbackmikrophon
- Übertrager (Pro Co IT-8A)

Abb. 2.15. Liste der technischen Geräte.

Der Abstand von C, R, RS und LS bis zur Kreismitte betrug $r=2,2$ m. Es wurden für die Wiedergabe des 3.2-Systems vier Fostex-Aktivlautsprecher, d. h. hochwertige Breitbandlautsprecher mit einem Membrandurchmesser von 10 cm an die vier Kanäle (C, R, RS und LS) angeschlossen. Die Lautsprecher wurden mit einem XLR-Multicore verknüpft. Dieses Multicore war von dem Versuchslabor aus in den Regieraum über einen schalldichten Kabelschacht verlegt und direkt über XLR mit einer Achtspur-Maschine (Tascam DA-88) verbunden. Ein Übertrager diente zur galvanischen Trennung, und verhinderte somit Brummspannungen.

Zwei weitere Audiokanäle wurden dazu verwendet, eine Talkback-Einrichtung zu realisieren. Damit die VP in dem Regieraum zu hören war, wurde das interne Mikrophon der Kamera KA-1 verwendet. Im Regieraum lief diese dann direkt in den Videorecorder. Über den Phone-Out Anschluß konnte mit einem Kopfhörer die akustische Situation im Versuchslabor überwacht werden.

Neben den Audiokanälen wurden zwei Kanäle für die Übertragung von Bildsignalen aus dem Versuchslabor in den Regieraum benötigt. Das Signal des Videoausgangs von der Kamera KA-1 wurde direkt auf den Videorecorder im Regieraum geschickt, und synchron mit dem von der Kamera KA-1 stammenden Ton aufgezeichnet. Die Bildfolge, welche von der

zweiten Kamera KA-2 in den Regieraum gesendet wurde, diente als visuelle Kontrolle der korrekten Kopf- und Körperhaltung des Probanden während des Versuchs. Das Signal wurde mit einem Monitor verbunden, aber nicht aufgezeichnet.

2.2.2 Produktion der Stimuli

Dieser Arbeitsschritt erforderte eine sehr präzise Vorgehensweise. Eingeschlichene Fehler bei der Produktion könnten unbrauchbare Ergebnisse verursachen. Es wird im folgenden die technische Bearbeitung der beiden Stimuli beschrieben.

2.2.2.1 Gaussförmiger Rauschimpuls

Es wurde ein rosa Rauschen mit einer Dauer von 50 ms generiert. Das Spektrum erstreckt sich von 20 Hz bis 20 kHz. Dieses Rauschen wurde im WAV-Format abgespeichert und mit Matlab 5.0 auf dem PC weiterverarbeitet. Mit dem folgenden Matlab-Programmcode in Abb. 2.16 wurde das Rauschen mit einer synthetisch erzeugten und ebenso 50 ms langen Gauss-Hüllkurve multipliziert.

Matlab, Version 5.0
<pre>N = 2205; N=[-1102:1102]; A=1; W=exp(-0.5.*(a.*(n./(N/6)).^2)); X=w.*(1/(sqrt(2*pi)))); Y=wavread('c:\Eigene Dateien\Noise.wav'); Y = y'; z = x.*y; plot(x); plot(y); plot(z);</pre>

Abb. 2.16. Matlab-Programmcode für gaussförmigen Rauschimpuls.

Das fertige Produkt von Impuls und Rauschen wurde anschließend auf eine maximale Amplitude von 0 db (100%) normalisiert. Die folgende Grafik (Abb. 2.17) zeigt von links

nach rechts gesehen den Gaussimpuls, das rosa Rauschen und das fertige Produkt der beiden Komponenten.

Abb. 2.17. Gaussimpuls, rosa Rauschen und der Rauschimpuls als Produkt.

Der programmierte Impuls hat die Eigenschaft, daß dessen Amplitude an seinem Anfang sowie am Ende nicht den Wert Null besitzt, sondern sich diesem Wert annähert. Daraus resultiert, daß das Produkt aus dem Impuls und dem Rauschen am Anfang und Ende nicht Null ist. Bei akustischer Wiedergabe würde in dieser Form ein ungewolltes Knacken entstehen. Verhindert wurde dieses Knacken durch Bearbeitung der ersten und letzten fünf Millisekunden des Impulses mit einer Fade In / Fade Out Funktion.

Gestaltung einer Rauschimpulsfolge

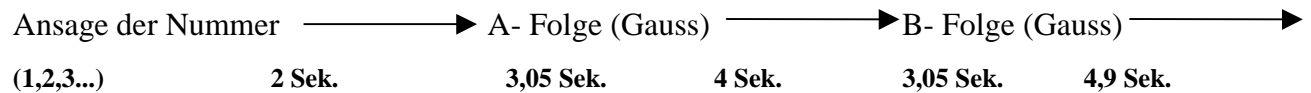
Um den Rauschimpuls an die Bedürfnisse des Versuchsaufbaus anzupassen, mußte aus dem einzelnen Impuls eine Folge gemacht werden. Bei dem verwendeten Sprachsignal, das in Kap. 2.2.2.2 genau beschrieben wird, beträgt die Länge einer Folge ca. 3 Sek.. Die Gaussfolge sollte ungefähr gleich lang sein wie die Satzfolge, also wurde die Gaussfolge so gestaltet:



Einbindung der Folgen in eine Sequenz gleicher Parameter

Ziel ist es, den Versuchsablauf so reibungslos wie möglich zu gestalten. Um dies zu gewährleisten, muß der Ablauf klar strukturiert, und für die VP leicht verständlich sein. Jeder einzelne Parameter wurde deshalb in eine Sequenz eingebunden. Alle Sequenzen haben die gleiche Form. Am Anfang wird die Nummer der Folge von einer Off-Stimme angesagt. Die Nummer beginnt mit 1 und endet bei 37, unabhängig von den Nummern, welche in Kap. 2.1.3

den Parametern zugeordnet wurden. Die Nummer wird während einer anfänglichen Pause von 2 Sek. wiedergegeben. Danach wird die erste Gaussfolge abgespielt (A-Parameter). Während einer Pause von ca. 4 Sek. wählt die VP die Richtung. Danach wird die selbe Folge wiederholt (B-Parameter). Die VP hat ca. 5 Sek. Zeit, ihre Entscheidung zu korrigieren und einen roten Markierungspunkt auf das von ihr ausgewählte Symbol der Sicherheit zu legen. Die Dauer eines solchen Vorganges beträgt 17 Sek..



2.2.2.2 Sprachsignal

Der zweite Durchgang ist vom Ablauf derselbe wie der erste Durchgang. Das verwendete Sprachsignal hat eine Länge von ca. 3 Sek. und lautet: "Die Sonne lacht. Am blauen Himmel ziehen die Wolken".

Produziert wurde er von einem 50 Jahre alten, professionellen Sprecher mit dem Mikrofon: Neumann U87. Als Mischkonsole wurde ein ADT Mischpult 5MT verwendet und mit einer Sadie-Workstation (Sadie-Artemis) aufgenommen (16 Bit, 44,1 kHz).

Eine Satzfolge hat folgende Gestalt:

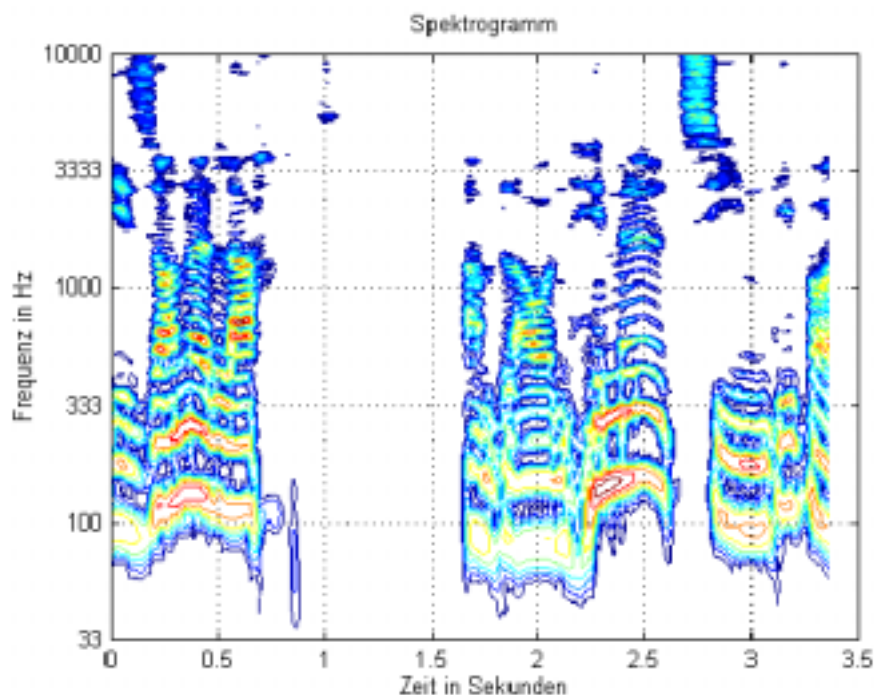
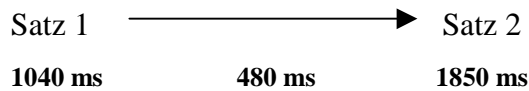
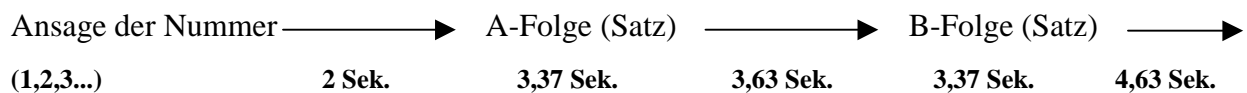


Abb. 2.18. Sonogramm des verwendeten Sprachsignals.



Einbindung der Folgen in eine Sequenz gleicher Parameter

Auch hier wird jeder einzelne Parameter in eine Sequenz eingebunden. Alle Sequenzen haben die gleiche Form. Am Anfang wird die Nummer der Folge wieder von der Off-Stimme angekündigt.



Der Ablauf der Sequenzen mit den Sätzen ist identisch wie der Ablauf der Rauschimpulssequenzen. Eine Satzfolge ist mit 3,37 Sek. etwas länger als eine Gaussfolge mit 3,05 Sek.. Dafür wurden die Pausen zwischen den Folgen etwas gekürzt. Auch hier dauert eine Sequenz 17 Sek..

2.3 Versuchsdurchführung

In diesem Abschnitt wird der vollständige Ablauf eines Versuchsdurchgangs in der Praxis beschrieben. Nach der Begrüßung und einigen Erklärungen durch den VL, schaute sich die VP ein Instruktionsvideo an (vergl. B3). Das Video sorgte für eine klare Verständlichkeit des Versuchsablaufs. Das gesamte Testmaterial wurde von einer Achtspur-Maschine abgespielt und lief während des Versuchs ohne Unterbrechung durch. Es sollte nur in unvermeidbaren Ausnahmefällen zu Unterbrechungen kommen, was jedoch nicht eintrat. Durch das Abspielen vom Band mit einer bestimmten Länge und durch das Instruktionsvideo wurde ein fester Ablauf des Programms und eine zeitliche Richtlinie gewährleistet.

2.3.1 Stufenweiser Ablauf eines Versuchstermins

1. Vorbereitung des jeweiligen Versuchsraumes:
Einschalten und Überprüfen der Anlage im Versuchsraum,
Licht aus, Tür zu.
2. VP kommt zur Tür herein, Begrüßung.
3. VP wird zu dem Arbeitsplatz des VL geleitet.

4. VP füllt Fragebogen aus (nur beim 1. Termin).
5. VP erhält Instruktionen für den Versuch, die in A1 im Anhang genannt werden.
6. VP sieht Video an (nur beim ersten Termin).

Das folgende Storyboard enthält die im Video nacheinander abgespielten Szenen:

S1	VP kommt, wird begrüßt, erhält Kappe mit Laserpointer und Brille.
S2	VP wird zur Kabine geführt und setzt sich hinein.
S3	Sie richtet den Kopf genau nach dem Laserpointer aus.
S4	Es ertönt eine Nummer und dann drei Klicks. Synchron wird eine Schrift eingeblendet: "Signalnummer", "akustisches Signal"
S5	VP neigt den Kopf zum Brett und dreht am Zeiger. VP richtet Kopf auf.
S6	Drei Klicks werden wiederholt. Schrifteinblendung: "Signalwiederholung"
S7	VP neigt sich erneut und korrigiert Zeiger, dann schätzt sie ihre Sicherheit ein. VP richtet sich auf und wartet bis die Ansage der neuen Nummer kommt. Schrifteinblendung: "nächste Signalnummer"
S8	Verabschiedung

Abb. 2.19. Aufeinanderfolgende Szenen des Instruktionsvideos.

7. Der VL wiederholt die wichtigsten Etappen: in Kabine setzen - Laser auf Markierung ausrichten - nach Ansage der Nummer kommen drei Impulse - dann Pause von 4 Sek. in welcher der Zeiger eingestellt werden soll - sofort nach dem Einstellen des Zeigers wieder aufrichten - dann Wiederholung der drei Impulse - nach der Wiederholung sind 5 Sek. Zeit den Zeiger zu korrigieren und mit dem roten Punkt einzustellen, wie sicher die Entscheidung war - dann wieder aufrichten und auf neue Ansage der Nummer warten - nach der Nummer 37 beginnt der Durchgang mit den Sätzen und es wird erneut von 1 bis 33 durchgezählt.
8. VP bekommt Brille und Kappe mit Laserpointer.
9. VP wird in den Versuchsraum geführt.
10. VP setzt sich in die Kabine.
11. VL überprüft noch einmal die richtige Position der
VP in der Kabine, verläßt das Versuchslabor,
schließt die Tür und nimmt seinen Platz ein.
12. VL sagt: " Es geht jetzt los".
13. Das Vorprogramm wird abgespielt.

14. VL fragt, ob alles klar ist. Wenn ja, dann weiter, wenn nein, dann möglichst zügige Klärung des Problems.
15. Das Hauptprogramm wird durchgeführt, ohne Zwischenstop, Ausnahme: VP signalisiert Probleme.
16. Ist das Hauptprogramm vorbei, soll die VP die Kappe auf die Platte legen und das Zimmer verlassen.
17. Der VL öffnet die Tür und führt die VP zur Eingangstür.
18. Verabschiedung

2.3.2 Beobachtungen während der Versuchsdurchführung

Trotz der identischen Instruktionen an alle VP's vor dem Versuchsbeginn, wurde bei den Probanden teilweise unterschiedliches Verhalten während des Versuchsablaufs beobachtet. Auffälligkeiten wurden zwar protokolliert, trotzdem wird es nicht in jedem Fall möglich sein, aus den einzelnen Beobachtungen direkt auf Abweichungen in den Daten schließen zu können. Genauso ist es nicht immer sinnvoll zu interpretieren, daß auffällige Datenverzerrungen von einem Fehlverhalten der VP's im Versuch verursacht wurden. Es muß von Fall zu Fall abgeschätzt werden, ob dieser Zusammenhang vorhanden ist und aus diesem Grund die Ergebnisse kritisch zu betrachten sind.

Allgemeine Auffälligkeiten

Während des Versuchsablaufs konnte der VL trotz der synchronen Dateneingabe die folgenden Beobachtungen machen:

- a) Die Probanden saßen fast ohne Ausnahme aufrecht und über dem Sweet Spot.
- b) Fast nie kam es zu den nicht erlaubten Kopfbewegungen.
- c) Einige VP's drehten nur nach der 1. Folge (A-Parameter) den Zeiger ohne nach der 2. Folge eine Korrektur vorzunehmen.
- d) Einige drehten den Zeiger nur nach der 2. Folge und nutzten die Zeit während des A-Parameters als Bedenkzeit
- e) Einige Probanden wählten nach dem zweiten Parameter nicht immer das Sicherheitsymbol (vergl. Kap. 2.1.5.1) neu aus. Es ist kaum zu überprüfen, wann eine VP die gleiche Sicherheit auswählte, wie bei der vorhergehenden Parametersequenz, oder wann Trägheit bzw. Unlust eine Rolle gespielt hat.

Einige Auffälligkeiten müssen später bei der statistischen Auswertung beachtet werden. Die Punkte c) und d) haben eine starke Bedeutsamkeit für Kap. 2.1.5.2, weil die Reliabilität der objektiven Kontrolle der Sicherheit dadurch in Frage gestellt werden muß. Aufgrund der in Punkt e) geschilderten Auffälligkeit kann das Ergebnis der Methode für die subjektive Selbsteinschätzung in Kap. 2.1.5.1 verfälscht worden sein.

Äußerungen der Probanden nach dem Versuch

Bei einem jeweils kurzen Gespräch zwischen VP und VL nach dem Versuch, stellten sich weitere Schwächen des Versuchsablaufs heraus. Folgende Punkte wurden von den Probanden mehrmals angesprochen:

- a) Häufig war nicht ganz klar, wo die VP mit dem Zeiger hindeuten sollte aufgrund des Abstands zwischen Kopf und Drehpunkt des Zeigers. Die VP befand sich dann im Entscheidungszwang entweder an der Schallquelle vorbei zu zeigen, oder den Zeiger direkt auf die Quelle zu richten.
- b) In manchen Fällen fühlte sich die VP nicht fähig, mit dem Zeiger auf die Quelle zu deuten, weil die Phantomschallquelle über dem Kopf der VP auftrat.
- c) Es kam im lateralen Bereich manchmal zu der Situation, daß Probanden zwei Schallquellen aus verschiedenen Richtungen hörten. Aufgrund des Zeigers als Meßinstrument war es nicht möglich zwei Richtungen anzuwählen.
- d) Ab dem zweiten Versuchsdurchgang im Studio teilten die meisten Probanden mit, daß sie dort aufgrund des hellen Lichtes die Aufstellung der Lautsprecher erkannt hätten.

Das Problem der Äußerung a) wurde schon in Kap. 2.1.4 angedeutet. Trotz der nachdrücklichen Anweisung an die VP, mit dem Zeiger direkt auf die Phantomschallquelle zu zeigen, kam es hier zu Verständnisschwierigkeiten. Der nach Kap. 2.1.4 theoretisch kalkulierbare Fehler wird dadurch in seiner Größe relativ unfaßbar. Es wird aber angenommen, daß der wirkliche Fehler eher kleiner ist, wie der theoretisch berechenbare maximale Fehler.

3 Ergebnisteil

Bevor mit der eigentlichen Auswertung angefangen werden kann, ist es nötig, die erhobenen Daten möglichst günstig zu codieren und anhand einer genaueren Betrachtung die anschließende Vorgehensweise für die nachfolgende deskriptive Behandlung der drei Winkelbereiche C-R, R-RS und RS-LS in Kap. 3.1 festzulegen.

In Kap. 3.2 wird die Sicherheit ermittelt, mit welcher die Probanden die wiedergegebenen Phantom- und Realschallquellen während des Versuchs wahrgenommen haben, und zwar sowohl mit einer Selbsteinschätzung der Probanden, als auch mit einer objektiven Methode. Um eine Aussage über die Zuverlässigkeit der Lokalisation über den gesamten betrachteten Winkelbereich zu erhalten, wird in Kap. 3.3 mit Hilfe von Parameterwiederholungen darüber eine Untersuchung gemacht.

Wie sich die Variation des Wiedergabesignals auf die Lokalisationseigenschaften bei den Probanden auswirkt und wie sich daraufhin die Ergebnisse der beiden verwendeten Stimuli unterscheiden wird in Kap. 3.4 behandelt. Es wurde schon mehrmals erwähnt, daß die Hörversuche auch in drei verschiedenen Räumen durchgeführt wurden. Wie die Ergebnisse bezüglich dieser Modifikation variieren, wird in Kap. 3.5 gezeigt.

Umcodierung des Winkelbereiches

Bei der Berechnung von statistischen Kennwerten tritt für die Winkeleinteilung, welche nach ITU-Norm fest definiert ist, das Problem auf, daß hier sowohl positive als auch negative Winkelwerte herangezogen werden müssen (siehe Abb. 1.1). Im hinteren Bereich bei $\pm 180^\circ$ gibt es damit Probleme, weil die positiven und negativen Werte dort sehr weit auseinanderfallen. Möchte man z.B. für Parameter TO_G_28B einen arithmetischen Mittelwert bestimmen, so würde ein Mittelwert von 0° sicher nicht den Wert für die zentrale Tendenz⁷ repräsentieren, wenn von 30 Probanden 15 Leute einen Winkel von 179° und die anderen 15 VP's -179° als bevorzugte Hörrichtung angäben. Da in der Umgebung von -90° nur sehr wenige Meßwerte zu finden sind, wird in der gesamten folgenden Betrachtung die 360° -Bruchstelle von $\pm 180^\circ$ nach -90° verschoben und dadurch negative Werte im Surroundbereich verdrängt. Nach der abgeschlossenen Codierung verläuft der Winkelbereich von -90° nach $+270^\circ$. Abb. 3.1 stellt diesen Vorgang graphisch dar.

⁷ Im folgenden mit WfzT abgekürzt.

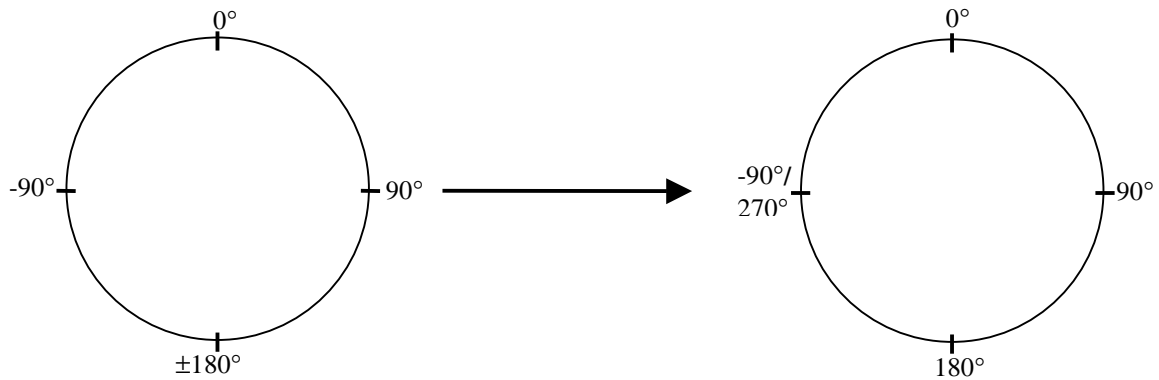


Abb. 3.1. Umcodierung des Winkelbereichs.

Beobachtung von Wahrnehmungseigenschaften aus den vorliegenden Daten

Bei der Ermittlung von Wahrnehmungseigenschaften werden die drei Stereopaare getrennt behandelt. Es wird aufgrund der Literatur in Kap. 1.3 vermutet, daß im vorderen Bereich (C - R) das menschliche Gehör anderen Gesetzen der Wahrnehmung folgt, als im lateralen (R - RS) und rückwärtigen Bereich (RS - LS), die an dieser Stelle allerdings noch nicht genauer beschrieben werden können.

Für die ersten deskriptiven Betrachtungen werden Auffälligkeiten anhand von Diagrammen, wie z. B. Boxplots, Fehlerdiagramme und Häufigkeitsverteilungen für die zwei verschiedenen Testschalle und die drei verschiedenen Räume erstellt, verglichen und interpretiert. Wenn es notwendig erscheint, werden Kriterien gebildet, welche die Wahrnehmungsphänomene in Kategorien unterteilen. Erst nach dieser Klassifizierung und demnach modifizierter Daten können in manchen Fällen statistische Parameter für die jeweiligen Bereiche berechnet und interpretiert werden. Diese Vorgehensweise wird in Kap. 3.1 deutlich.

3.1 Auswertung der drei Winkelbereiche mit Hilfe deskriptiver Statistik

Im folgenden werden die drei Winkelbereiche vorne (C - R), seitlich (R - RS) und hinten (RS - LS) getrennt behandelt, weil jedes Lautsprecherpaar individuelle Charaktereigenschaften aufweist.

3.1.1 Betrachtung des vorderen Bereichs: Parameter 1B – 9B

Es ist hier, wie später auch bei den anderen beiden Lautsprecherpaaren (R-RS, RS-LS) nötig, Werte für die zentrale Tendenz, wie z.B. Mittelwert, Median und Modalwert zu bilden. Sie beschreiben die durchschnittliche Richtungszuordnung der Probanden zu der jeweiligen Pegeldifferenz. Außerdem werden neben des WfzT Streuungen, bzw. Standardfehler ermittelt, welche etwas über die verschiedenen Charaktere der Richtungswahrnehmung, bzw. die Lokalisationsunschärfe des entsprechenden Parameters aussagen.

3.1.1.1 Behandlung von Ausreißern

Im Diagramm Abb. 3.2 wird eine Boxplotdarstellung der Parameter 1B bis 9B im reflexionsarmen Raum mit dem Rauschimpuls als Testschall abgebildet. Werte, die um mehr als drei Kastenlängen außerhalb liegen, werden im Boxplot mit einem Stern markiert. Werte, die mehr als anderthalb Kastenlängen außerhalb liegen, werden mit einem Kreis gekennzeichnet (Ausreißer und Extreme: vergl. Definition nach SPSS 10.0). Der Boxplot besteht aus einer Box, die den Interquartilbereich darstellt und deren innerer schwarzer Balken den Median repräsentiert. Ferner werden das erste und vierte Quartil außerhalb der roten Box markiert. Boxplots haben zunächst den Vorteil, daß damit die Meßwerte ohne Veränderung der Rohdaten dargestellt werden können. Des weiteren sind sie direkt vergleichbar mit den Ergebnissen von Theile und Zieglmeier (1996).

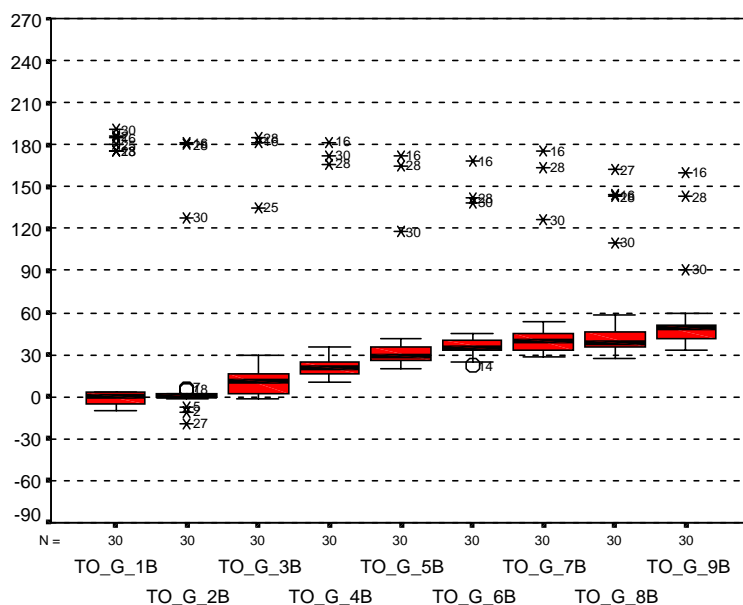


Abb. 3.2. Boxplots der Parameter 1B bis 9B im reflexionsarmen Raum bei Rauschimpulswiedergabe.

In Abb. 3.2 sind Werte erkennbar, die weit aus der Reihe der Boxplots herausfallen. Mehr als zwei drittel davon liegen, wie deutlich zu erkennen ist, im Surround-Bereich zwischen RS und LS. Häufig sind die selben Probanden trotz der verschiedenen Parameter als Ausreißer vertreten, z.B. VP16, VP28 und VP30.

Die große Anzahl von Ausreißern gibt es nur im reflexionsarmen Raum. In den anderen Räumen sind diese nur vereinzelt vorhanden. Bei der Wiedergabe des Sprachsignals in diesem Raum besteht nahezu der gleiche Sachverhalt. Die Boxplots aller sechs Signal-Raum-Kombinationen von Parameter 1B bis 9B sind im Anhang unter A2 zu finden. Der Unterschied, der sich beim Vergleich der beiden Stimuli ergibt, ist eine etwas geringere Anzahl von Ausreißern bei dem Satz als bei dem Rauschimpuls (vergl. A2.1 und A2.4).

Klassifizierung der Probanden nach Wahrnehmungstypen

Aufgrund der hohen Anzahl von Ausreißern muß im folgenden zuerst eine bereinigte Datenmatrix für Parameter 1B bis 9B generiert werden. Erst dadurch ist es möglich, statistische Kennwerte für den vorderen Bereich berechnen, und damit zuverlässige Interpretationen durchführen zu können.

Es ist also nötig, ein Kriterium zu definieren, welches in der Lage ist, die vielen Ausreißer von den anderen Daten zu trennen. Aus diesem Grund fallen die Werte der Parameter des vorderen Stereopaars C - R (Parameter 1B - 9B), die hinten wahrgenommen werden (zwischen $+90^\circ$ über 180° bis $+270^\circ$) ab dieser Stelle in eine Kategorie, die Vorne-Hinten-Verwechslung⁸ genannt wird. Der vordere und hintere Halbkreis wird durch die Ohrachse getrennt, welche als Spiegelachse der beiden gleich großen Teile beschrieben werden kann. Wenn die Werte des Parameters 1B - 9B mit hinten verwechselt werden, dann liegen die meisten Verwechsler zwischen 110° und 250° , werden also in die Kategorie der V-H-Verwechslung eingeordnet. Zur genaueren Definition der V-H-Verwechslung werden zwei neue Variablen M1 und M2 eingeführt.

Kriterium 1.1: Wiedergabe vorne, Wahrnehmung hinten
M1: Mittelwert vorne; $-90^\circ \leq M1 \leq +90^\circ$
M2: Mittelwert hinten; $90^\circ < M2 < 270^\circ$

Tab. 3.1. Kriterium zur separaten Berechnung der Mittelwerte vorne und hinten infolge V-H-Verwechslungen.

⁸ Wird im folgenden mit V-H-Verwechslung abgekürzt.

V-H-Verwechsler aus den ermittelten Daten

In den folgenden Tabellen werden alle V-H-Verwechsler nach Kriterium 1.1 und die beiden dadurch entstehenden Mittelwerte M1 und M2 aufgelistet.

Parameter	VP-Nr. der Verwechsler	M1	M2	Verwechsler in Prozent [%]
ST_G_6B	29	21,2	104,0	3,3

Tab. 3.2. V-H-Verwechsler im Studio.

Parameter	VP-Nr. der Verwechsler	M1	M2	Verwechsler in Prozent [%]
TO_G_1B	2, 13 ,16 ,25 ,28 ,30	-2,2	182,0	20,0
TO_G_2B	16, 28, 30	-0,7	163,0	10,0
TO_G_3B	16, 25, 28	9,0	167,3	10,0
TO_G_4B	16, 28, 30	20,0	173,3	10,0
TO_G_5B	16, 28, 30	29,6	151,7	10,0
TO_G_6B	16, 28, 30	35,2	149,7	10,0
TO_G_7B	16, 28, 30	38,3	155,0	10,0
TO_G_8B	16, 27, 28, 30	39,0	139,8	13,3
TO_G_9B	16, 28, 30	46,1	131,3	10,0

Tabelle 3.3 V-H-Verwechslungen im reflexionsarmen Raum bei Rauschimpulswiedergabe.

Parameter	VP-Nr. der Verwechsler	M1	M2	Verwechsler in Prozent [%]
TO_S_1B	6, 16, 25, 28	-0,5	180,7	13,3
TO_S_2B	6, 16, 25, 28	0,5	161,5	13,3
TO_S_3B	16, 28	8,8	178,0	6,7
TO_S_4B	16, 28	27,4	161,0	6,7
TO_S_5B	16, 28	33,3	168,5	6,7
TO_S_6B	16, 28	39,2	165,0	6,7
TO_S_7B	16, 28	41,5	168,5	6,7
TO_S_8B	8, 16, 28	40,2	168,0	10,0
TO_S_9B	16, 28	49,6	159,5	6,7

Tabelle 3.4. V-H-Verwechslungen im reflexionsarmen Raum bei Sprachsignalwiedergabe.

Es wird hier der arithmetische Mittelwert als WfzT dem Median- und Modalwert bevorzugt, weil der Mittelwert sich am besten mit Größen und Verfahren, die im folgenden noch mathematisch beschrieben bzw. angewendet werden, verrechnen läßt.

Nach Kriterium 1.1 wurde in der gesamten Untersuchung 55 mal ein Testsignal vorne wiedergegeben, aber hinten wahrgenommen. Sehr deutlich ist zu sehen, daß im Büroraum (NO) dieser Fall nicht auftrat. Im Studio gab es einen Verwechsler dieser Art und im

reflexionsarmen Raum 54 Stück. Der Verwechsler im Studio kann als Einzelfall betrachtet werden, auf den aus diesem Grund nicht weiter eingegangen wird. Es handelt sich bei VP 29 hier auch um die einzige Verwechslung im gesamten Versuch. Dagegen kann bezüglich der Anzahl von V-H-Verwechslern im reflexionsarmen Raum nicht von einem Zufall gesprochen werden. Bei 54 Fällen liegt der Verdacht nahe, daß häufig der Summenlokalisationseffekt nicht als einziger für eine Lokalisation der Richtung verantwortlich gemacht werden kann. Es müssen andere Effekte eine Rolle spielen, die im Studio und im Büro vorhanden sind, aber im reflexionsarmen Raum fehlen. Diese Effekte können akustische Informationen sein, die verstärkt in akustisch lebendigen Räumen auftreten.

Vergleicht man im reflexionsarmen Raum die beiden Testschalle miteinander so stellt man fest, daß 31 mal die Richtung bei dem Rauschimpuls verwechselt wurde und 23 mal dieses Phänomen bei dem Sprachsignal auftrat. Es zeigt sich, daß offensichtlich das Sprachsignal etwas mehr Richtungsinformation beinhaltet, als der künstlich erzeugte Rauschimpuls, obwohl Rauschen das gesamte vom menschlichen Gehör wahrnehmbare Spektrum (20 Hz bis 20 kHz) enthält. Gründe hierfür können der kontinuierliche Sprachfluß sein, der nur einmal durch die Pause zwischen den beiden Sätzen unterbrochen wird. Die Rauschimpulse sind dagegen mit einer Länge von nur 50 ms viel kürzer und zwischen den drei Impulsen liegen zwei lange Pausen von jeweils 1450 ms. Ein zweiter Grund könnte die Vertrautheit zum Sprachsignal hingegen dem synthetischen Impuls sein.

Es wird auch an dieser Stelle deutlich, daß die Verwechsler oft die gleichen Probanden sind. VP16 und VP28 treten diesbezüglich bei jedem Parameter und bei beiden Testsignalen im reflexionsarmen Raum auf. Nach den Angaben der beiden VP's im Fragebogen (vergl. B4) schätzen sich beide als normalhörend ein. VP16 ist nicht musikalisch, während sich VP28 als Profi bezeichnet. VP16 hat schon an Hörversuchen teilgenommen, war aber noch nie in einem reflexionsarmen Raum, wobei VP28 weder an Hörversuchen teilgenommen hat, noch vorher bereits in einem reflexionsarmen Raum war. Beide VP's standen vor dem Termin im reflexionsarmen Raum nicht unter Lärmeinfluß, noch hören sie regelmäßig laute Musik. Auch aus den Angaben des Berufs kann nicht auf eine Hörschwäche geschlossen werden. VP30 hat offensichtlich immer bei dem Rauschimpuls verwechselt und nie bei dem Testsatz. Nach Angaben der VP30 im Fragebogen, hört sie des öfteren Musik jeder Art in hoher Lautstärke. Bei den Personen 2, 6, 13, 25, 27 kann keine Regelmäßigkeit bezüglich ihrer Verwechslung aus Raum und Signal abgeleitet werden. VP25 hat nur dann verwechselt, wenn der Schall vom Center bzw. sehr nahe am Center wiedergegeben wurde. VP6 und VP27 gaben eine ungleiche Hörfähigkeit auf dem rechten und linken Ohr an. VP2

hört häufig (ca. 1h) am Tag laute Musik, auch VP6 besucht oft Jazzkonzerte, bzw. hört Stereoanlage über Zimmerlautstärke. Bis auf VP27, die nicht musikalisch engagiert ist, betreiben es VP2, VP6, VP13, und VP25 als Hobby.

Wie zu sehen ist, kann man anhand dieser Daten keine Hinweise finden, die das Entstehen von V-H-Verwechslungen begünstigen könnten. Der Fragebogen sollte eine Art qualitativer Ersatz für eine Audiometrie bilden, welche aus pragmatischen Gründen vorher nicht durchgeführt wurde. Höranomalien der Probanden können damit allerdings nur unvollkommen abgeschätzt werden.

3.1.1.2 Starke Abweichung bei Realschallquelle R

Eine andere Auffälligkeit besteht darin, daß die gemessenen Winkelwerte, die durch Parameter 9B (Realschallquelle) in der jeweiligen Signal-Raum-Kombination erzeugt wurden, oftmals weit über die 30°- Grenze laufen. Im reflexionsarmen Raum besitzt der Median beider Schallsignale einen Wert von ca. 50°. Im Studio beträgt der Median einen Wert von ca. 40°, im Büroraum ca. 42°, jeweils über beide Stimuli. Auch die oberen Quartile (mit jeweils 25% der größten Winkelangaben) erreichen im reflexionsarmen Raum 60° bis 70°. In den beiden anderen Räumen sind es maximal knapp über 50° (vergl. Abb. 3.3).

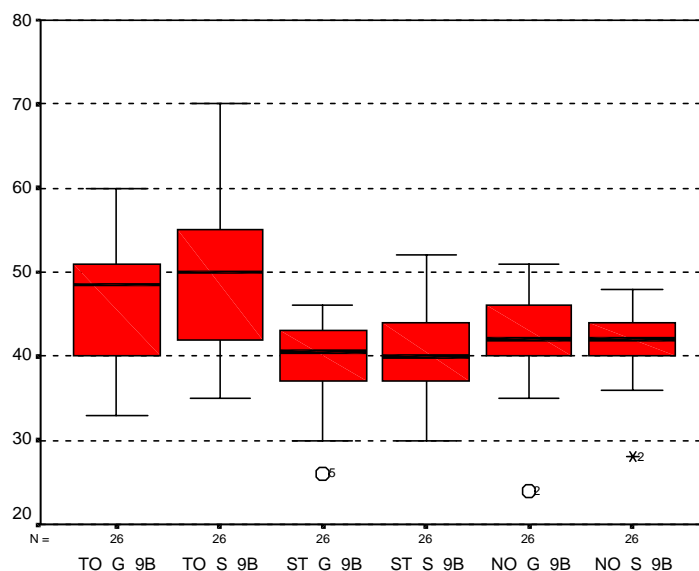


Abb. 3.3. Boxplots von Parameter 9B in allen Räumen mit allen Wiedergabesignalen.

Diese Eigenschaften würden bei einer Phantomschallquelle nicht verwundern. Da jedoch dem Parameter 9B eindeutig die Richtung 30° zugeordnet werden kann, stellt sich die Frage, warum kaum jemand die Realschallquelle an ihrem eigentlichen Ort hört. Fast alle Probanden überschätzen deutlich den Winkelbereich.

Eine weitere Art zur Intervallschätzung bieten Konfidenzintervalle, im folgenden Errorplots genannt. Die obere und untere Grenze eines Errorplots besagt, daß sich in diesem Bereich 95% aller möglichen Populationsanteile befinden, die den Mittelwert dieser Verteilung erzeugt haben können. Zusätzlich zu den Intervallen, werden hier auch deren Mittelwerte angezeigt.

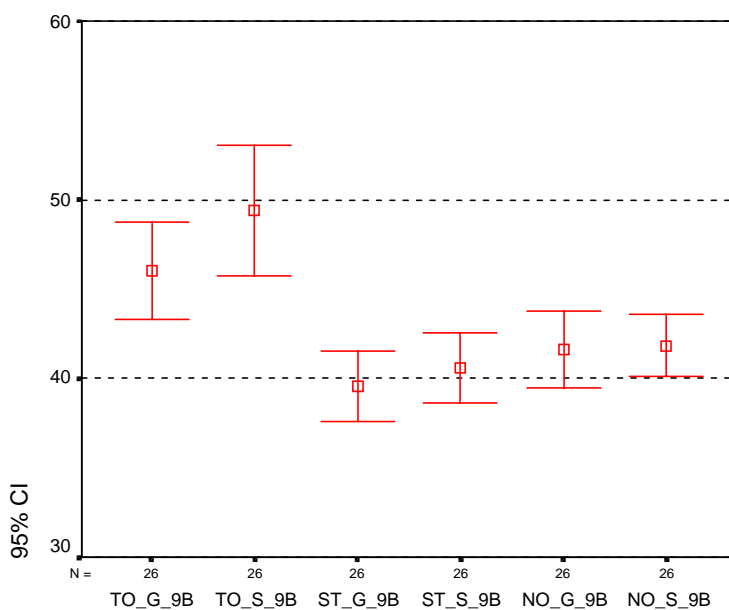


Abb. 3.4. Errorplots von Parameter 9B in allen Räumen mit allen Wiedergabesignalen.

Auch in Diagramm Abb. 3.4 kann die Beobachtung gemacht werden, daß alle Mittelwerte (rotes Quadrat in der Mitte des Errorplots) sich mindestens bei ca. 40° befinden oder darüber, außer der Mittelwert von ST_G_9B, der knapp unter 40° liegt. Eine zweite Tendenz, die schon in Abb. 3.3 erkannt wurde und mit den Errorplots aus Diagramm Abb. 3.4 noch deutlicher zum Ausdruck gebracht wird, sind die unterschiedlichen Mittelwerte, die im reflexionsarmen Raum ca. 46° und 49° betragen und in den beiden anderen Räumen (Studio und Büro) nur ca. 40° .

Die Errorplots bestätigen die Beobachtungen aus den Boxplots. Eine mögliche Begründung für den Sachverhalt, daß fast alle Werte so weit nach hinten tendieren, könnte die optische Orientierung sein, die bei diesem Hörversuch weitgehend ausgeschlossen werden sollte. Die Lautsprecher waren wegen des Vorhangs und der hellen Beleuchtung in der Kabine nicht zu

sehen. Da die Testschalle auch häufig weit hinten wiedergegeben wurden, gab es vielleicht eine allgemeine Tendenz der Lokalisation nach hinten. Im Anhang (vergl. A4) erkennt man, daß diese Tendenz auch für die Mittelwerte der numerisch niedriger bezeichneten Parameter (z.B. 8B, 7B, 6B...) gilt.

Eine weitere Interpretationsmöglichkeit für diese Beobachtung könnte die zufällige Wiedergabe der Schallsignale über den gesamten Winkelbereich von 0° bis 180° sein. Die Testsignale wurden auch von der Seite und von hinten wiedergegeben, so daß eine Fixierung nach vorne fehlte, wie bei einer 2.0-Stereowiedergabe.

Eine andere Möglichkeit für die Abweichung der Mittel- und Medianwerte, welche in allen Räumen mindestens 10° beträgt, kann hier ein visueller Einfluß sein. Es wird vermutet, daß der Mensch bei akustischer Ortung bestrebt ist, nach optischen Fixpunkten zu suchen, auch wenn diese keine Schallquellen sein können. Es ist wahrscheinlich, daß sich die meisten Probanden als solchen Fixpunkt die rechte obere Ecke des Zeigerbretts bei 45° oder die Ecke rechts vorne der Kabine ausgesucht haben. Mit 40° wurde dann ein Kompromiß zwischen auditiver und visueller Wahrnehmung gebildet.

Die Besonderheit des reflexionsarmen Raumes, daß hier die Tendenz der wahrgenommenen Richtung noch weiter nach hinten strebt als in den anderen Räumen könnte sein, daß im Studio und im Büro durch die dort unvermeidbar gewesene Lichteinstrahlung der Fenster, die Position der Lautsprecher trotz des Vorhangs der Kabine errahnt werden konnten. Inwiefern diese visuelle Unterstützung einen Einfluß auf das Antwortverhalten der Probanden hatte, kann im Nachhinein nicht mehr ermittelt werden.

Zu der Darstellung mit Boxplots bzw. Errorplots ist noch anzumerken, daß SPSS stets die gleiche Anzahl von Probanden in einem Diagramm darstellt. In der gesamten Untersuchung wird von der Stichprobe $n = 30$ ausgegangen. Da jedoch während dem Versuchsdurchgang im Studio bei vier Probanden der Center-Lautsprecher durch einen Fremdeingriff mit dem falschen Pegel eingestellt war, können dort die Daten der vier VP's aus der Vorne-Region nicht verwendet werden. Die Stichprobe wurde daraufhin von Parameter 1B bis 8B auf $n = 26$ verringert (vergl. B1), was sich in den Boxplots der unbereinigten Daten auch auf Parameter 9B im Studio bei Wiedergabe von Sprachsignal und Rauschimpuls auswirkt (vergl. A2)

3.1.1.3 Streuung und Kurvenverlauf

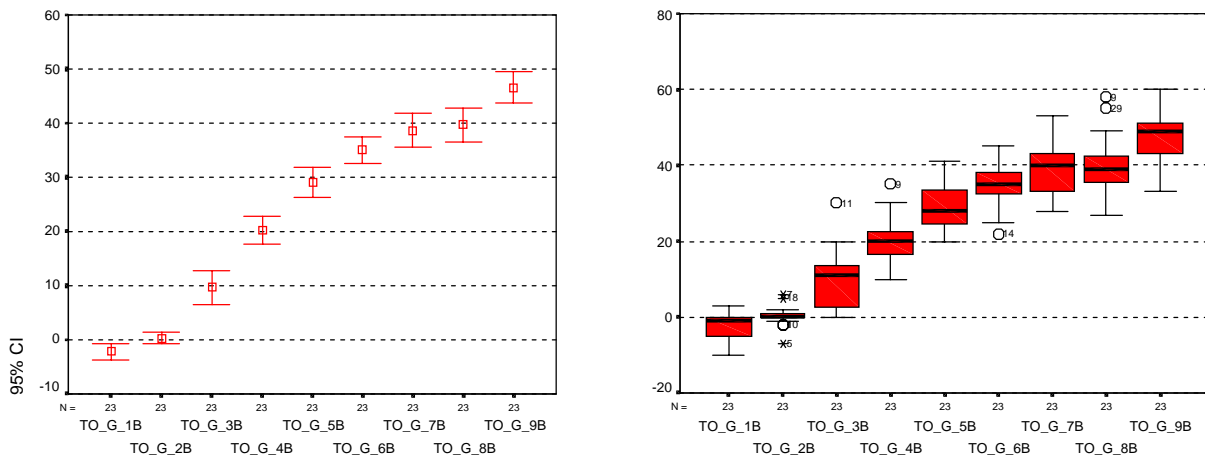


Abb. 3.5, 3.6. Errorplots und Boxplots von TO_G_1B bis TO_G_9B mit bereinigten Daten nach Kriterium 1.1.

Abb. 3.5, 3.6 zeigt die Errorplots und Boxplots der Parameter 1B bis 9B im reflexionsarmen Raum bei Wiedergabe des Rauschimpulses. Die Daten wurden mit Kriterium 1.1 bereinigt. Es ist deutlich die Eigenschaft aus Kap. 3.1.1.2 zu sehen, daß die Intervalle weit über ihre Grenzen bei 30°, welche durch die Realschallquelle R festgelegt ist, hinauswachsen. Weiter zeigt sich in allen sechs Signal-Raum-Kombinationen ein relativ gleichmäßiger Kurvenverlauf (vergl. A3, A4). Parameter 9B weicht im reflexionsarmen Raum und im Studio etwas von der Verlaufskurve ab.

Beim Vergleich der Streuungen aller Signal-Raum-Kombinationen von Parameter 1B bis 9B ist festzustellen, daß bei den Errorplots die Größen der Intervalle maximal 10° bis 12° betragen (vergl. A3, A4). Dies sind allerdings schon Extremfälle und fast nur im Studio bei Satzwiedergabe zu sehen. Die anderen Intervallgrößen betragen dort ca. 5°. Bei den Boxplots sind die Streuungen dagegen allgemein viel größer. Es ist aus den Boxplotdiagrammen (vergl. A4) zu interpretieren, daß einzelne Probanden durch ihre Winkelangaben eine Erweiterung der Streuung bis zu über 30°, vor allem bei den mittleren Parametern (4B, 5B, 6B) verursachen.

Weiterhin ist in A3 bzw. A4 festzustellen, daß die einzelnen Diagramme mit einer sehr unterschiedlichen Anzahl von VP's gebildet wurden. Die Anzahl reicht von $n = 23$ bis $n = 30$. Offensichtlich wurden in einer Signal-Raum-Kombination teilweise bis zu sieben Signale bezüglich des V-H-Kriteriums bei mindestens einem Parameter verwechselt und somit auch bei den anderen Parametern nicht in die Error- bzw. Boxplots mit einbezogen.

3.1.1.4 Besonderheit der Parameter 1B und 2B

Die Boxplots und Errorplots in Abb. 3.5 und 3.6 zeigen, daß die ersten zwei Parameter (TO_G_1B, TO_G_2B) im Vergleich zu den anderen Parametern im vorderen Bereich (Parameter 3B bis 9B) die kleinste Streuung verursachen. Auch der Median- und Mittelwert unterscheiden sich nicht sichtbar voneinander, sowohl bei den Boxplots als auch bei den Errorplots. Ein Median-, bzw. Mittelwert von 0° war zu erwarten für den Parameter TO_G_1B. Für ungefähr den selben Winkelwert bei Parameter TO_G_2B gibt es dadurch jedoch einen Hinweis, daß die Pegeldifferenz dieses Parameters ($\Delta L=12$ dB) offensichtlich noch nicht zu einer Summenlokalisierung führt.

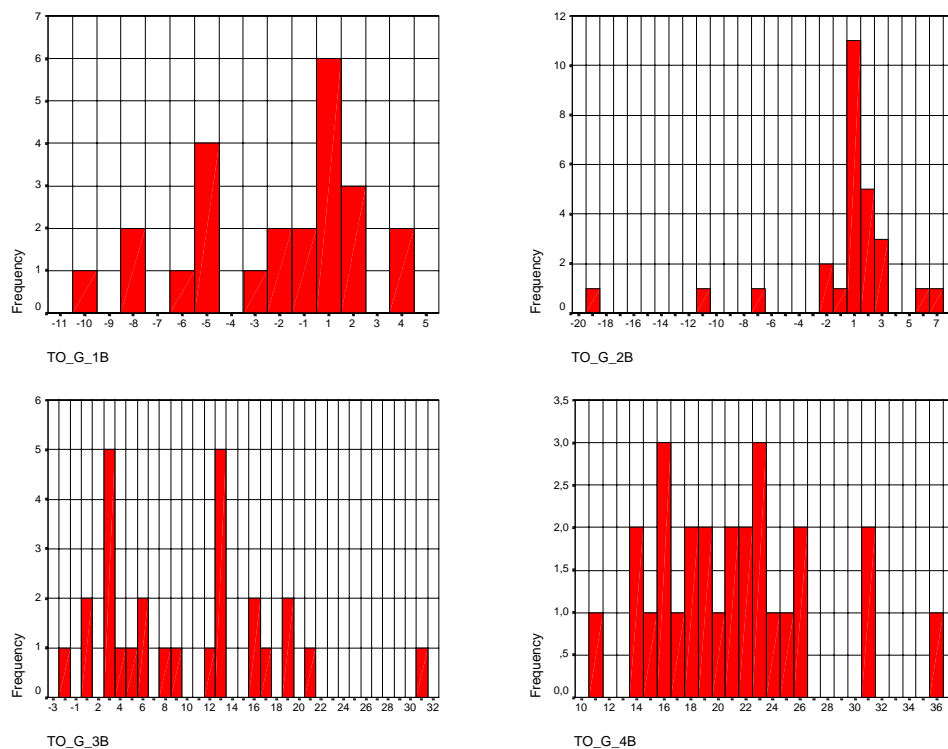


Abb. 3.7. Häufigkeitsverteilungen von TO_G_1B bis TO_G_4B mit bereinigten Daten nach Kriterium 1.1.

Ebenfalls ist anhand der Häufigkeitsverteilungen in Abb. 3.7 erkennbar, daß die Parameter TO_G_1B und TO_G_2B eine geringere Streuung aufweisen als TO_G_3B und TO_G_4B, wenn man von den einzelnen Extremwerten -19° , -11° und -7° bei TO_G_2B absieht. Es sind hier nur die Werte dargestellt, die in den Bereich von -90° über 0° bis 90° fallen. Die Häufigkeitsverteilungen im Anhang (vergl. B5) stellen diesen Sachverhalt noch einmal mit einer größeren Winkelauflösung (10° -Auflösung) dar.

Die Boxplots, welche mit dem Sprachsignal erzeugt wurden, verlaufen im reflexionsamen Raum ähnlich, wie die Boxplots des Rauschimpulses (vergl. A4 im Anhang). Betrachtet man

die Boxplotdiagramme im Anhang, so fällt auch hier auf, daß die beiden Parameter TO_S_1B und TO_S_2B in den meisten Fällen eine wesentlich kleinere Streuung aufweisen, als TO_S_3B bis TO_S_9B. Der Median von Parameter TO_S_1B und TO_S_2B kann nach A4 im Anhang fast gleich eingeschätzt werden. Erst TO_S_3B grenzt sich von daher deutlich ab. Die Medianwerte der beiden Parameter TO_S_8B und TO_S_9B zeigen einen deutlichen Winkelunterschied. Dies ist auch für die Wiedergabe der Rauschimpulse interessant, weil bei 30° offensichtlich ein ΔL von 12dB für eine Richtungsverschiebung ausreicht, bei 0° jedoch nicht.

Eine weitere Untersuchung ist bezüglich der ersten beiden Parameter zwischen den Räumen notwendig. Vergleicht man Boxplots vom Studio und Büroraum mit dem reflexionsarmen Raum, so stellt man fest, daß jeweils bei den ersten beiden Parametern in allen drei Räumen der Sachverhalt gleich ist, wie im reflexionsarmen Raum (vergl. A4). Erst ab jeweils Parameter 3B, bzw. 4B werden die Streuungen sichtlich breiter und der Median beginnt zu steigen. Die drei Räume verhalten sich im Bezug dessen also ähnlich, sowohl beim Sprachsignal als auch beim Rauschimpuls.

Der Grund, warum die Parameter 1B und 2B in allen sechs Signal-Raum-Kombinationen offensichtlich durchweg annähernd gleiche Medianwerte nahe 0° und sehr geringe Streuwerte aufweisen, könnte mitunter sein, daß ein ΔL von 12 dB nicht groß genug ist um zuverlässig eine Summenlokalisation zu erzeugen, vor allem in Anbetracht des kleinen Winkelbereiches zwischen den Lautsprechern C und R. Der Fixpunkt für den Laserpointer, der an das Kamerastativ KA-1 (vergl. Abb. 2.14) direkt vor und in gleicher Höhe des Kopfes des Probanden angebracht war, könnte somit in Kombination mit dem schwachen Parameter einen Einfluß auf die Wahrnehmung haben.

3.1.1.5 Vergleich mit der Literatur

Das Lautsprecherpaar C und R ist direkt mit dem entsprechenden Lautsprecherpaar (C – L) aus der Untersuchung von Theile/Zieglmeier (1996) vergleichbar. Auch dort überschreitet die Wahrnehmung der Realschallquelle L leicht die 30°- Grenze. Der Median befindet sich bei ca. 34°, ist also dennoch deutlich kleiner, als er im reflexionsarmen Raum dieser Untersuchung ausfiel (Median beträgt ca. 50° im reflexionsarmen Raum nach Kap. 3.1.1.2). In der Studie von Theile/Zieglmeier (1996) überschreitet kein einziger Meßwert die Grenze

bei 0°, welche durch den Center-Lautsprecher vorgegeben wird. Verwechslungen mit dem hinteren Bereich werden nicht angegeben. In der hier durchgeführten Untersuchung überschreiten die Werte den Center um bis zu 10° und es gibt V-H-Verwechsler nach Kriterium 1.1 (siehe A2, A4). Es ist nicht möglich die zwei äußeren Quartile der beiden Ergebnisse zu vergleichen, weil bei Theile/Zieglmeier (1996) das erste und vierte Quartil nicht dargestellt wird. Auch stimmen die Pegeldifferenzen und Anzahl der verwendeten Intervalle nicht exakt überein.

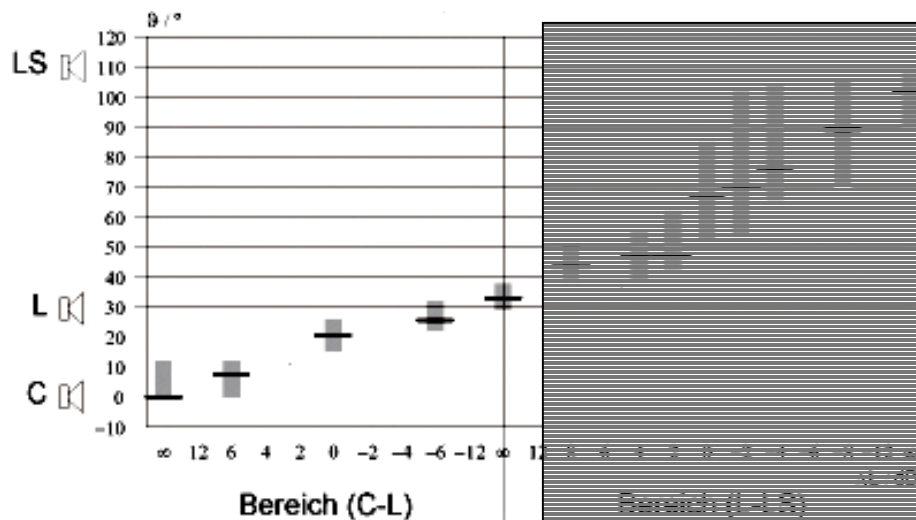


Abb. 3.8. Meßergebnisse im vorderen Bereich (aus: Theile/Zieglmeier, 1996, S. 163).

Wie schon erwähnt, gibt es bei den Meßergebnissen in Abb. 3.8 keine Meßwerte auf der gegenüberliegenden, rechten Seite des hier betrachteten vorderen Bereichs. Wahrscheinlich war der Winkelmesser so konzipiert, daß man nicht nach rechts zeigen konnte. Darüber wurde jedoch keine Information gegeben. Des weiteren gibt es bei den abgebildeten fünf verschiedenen Werten keine Streuung größer als 12°. Bei einer Pegeldifferenz von 0 dB sind bei Theile/Zieglmeier (1996) ca. 13°-14° abzulesen, während in der hier durchgeführten Messung mehr als 20° bei Wiedergabe von Sprache im reflexionsarmen Raum erkennbar sind (vergl. A4). Die eben aufgezählten Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten der beiden Untersuchungen, können nicht weiter erläutert werden, weil bei Theile und Zieglmeier (1996) kaum Detailinformationen zu finden sind.

3.1.2 Betrachtung des Hinten-Bereiches: Parameter 19B bis 28B

Auch hier werden Auffälligkeiten untersucht, die sich beim Betrachten der Daten im rückwärtigen Bereich herauskristallisiert haben. Wenn es für die Auswertung nötig erscheint, werden notwendige Konsequenzen eingeleitet und die Daten entsprechend modifiziert.

3.1.2.1 Weite Streuung der Meßwerte

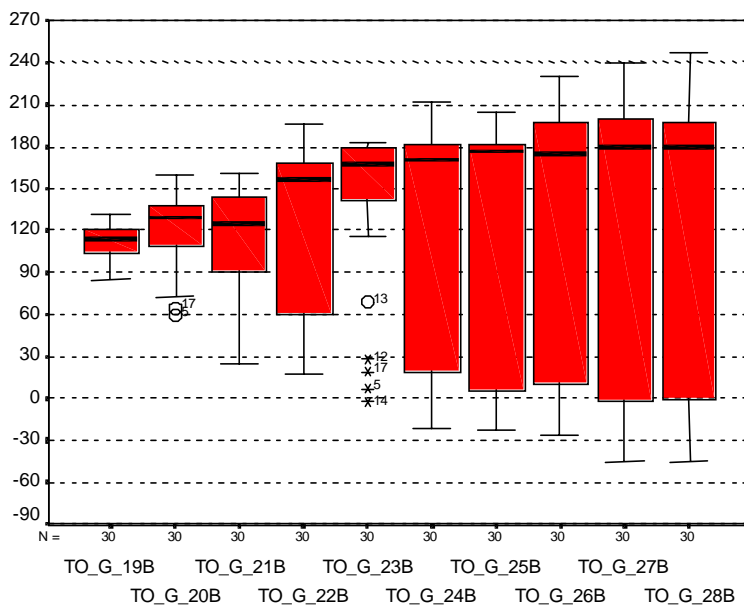


Abb. 3.9. Boxplots der Parameter 19B bis 28B im reflexionsarmen Raum bei Rauschimpulswiedergabe.

Es ist in Abb. 3.9 eine größere Anzahl von Probanden zu sehen, die hinten wiedergegebene Signale (Parameter 19B - 28B) vorne wahrnehmen. Das Boxplot-Diagramm in Abb. 3.9 bzw. Boxplots/Häufigkeitsverteilungen im Anhang (vergl. A5, bzw. B5) zeigen den Sachverhalt. Aus der Größe und der Position des untersten Quartils von Parameter TO_G_24B bis TO_G_28B kann man schließen, daß sich mindestens 25% aller Meßwerte in den vorderen Bereich verlagern. Die Anzahl der Werte, die mit den Parametern 19B bis 28B wiedergegeben, aber vorne wahrgenommen wurden, ist hier also wesentlich höher, als im vorderen Bereich. Man erkennt, daß schon die Interquartilbereiche deutlich breiter sind, als bei Diagramm Abb. 3.2. Die vier Quartile (vergl. Definition nach SPSS10.0) erstrecken sich in Abb. 3.9 teilweise über einen Winkelbereich von nahezu 300°.

Interessant im Vergleich mit Kap. 3.1.1. erscheint hier die Tatsache, daß in jedem Raum diese Art von Verwechslern auftritt. In A5 im Anhang ist ein deutlicher Unterschied

zwischen den beiden Teststimuli anhand der Gestalt der Boxplots zu beobachten. Die Anzahl der Verwechsler scheint bei dem Rauschimpuls generell höher zu sein, als bei dem Sprachsignal.

Weitere Klassifizierung der Probanden nach Wahrnehmungstypen

Aufgrund der Feststellung der vielen Verwechsler soll im folgenden analog zu Kap. 3.1.1.1 eine weitere Bereinigung der Datenmatrix von Parameter 19B bis 28B für den rückwärtigen Bereich durchgeführt werden. Ziel ist es, die sog. Hinten-Vorne-Verwechsler⁹ zu eliminieren. Damit wird auch hier eine Möglichkeit geschaffen, aussagekräftige statistische Kennwerte für den hinteren Bereich zu erhalten.

H-V-Verwechslung

Alle Werte der Parameter des hinteren Stereopaars RS-LS (Parameter 19B-28B) die vorne wahrgenommen wurden (zwischen -90° über 0° bis $+90^\circ$), fallen in die Kategorie der H-V-Verwechslung.

Kriterium 1.2: Wiedergabe hinten, Wahrnehmung vorne
M2: Mittelwert hinten; $+90^\circ < M2 < +270^\circ$
M1: Mittelwert vorne; $-90^\circ \leq M1 \leq +90^\circ$

Tab. 3.5. Kriterium zur separaten Berechnung der Mittelwerte hinten und vorne infolge H-V-Verwechslungen.

Ermittelte H-V-Verwechsler aus den Daten

Alle Tabellen bezüglich der Parameter 19B bis 28B befinden sich im Anhang unter A8. In diesen Tabellen sind wesentlich mehr Verwechsler aufgelistet sind, als bei den Tabellen über die vorne wiedergegebenen Signale, die hinten wahrgenommen wurden. Damit erkennt man sofort die Problematik des rückwärtigen Bereiches. Bei bestimmten rückwärtig wiedergegebenen Parametern verwechselten über 50% der Probanden den rückwärtigen mit dem vorderen Bereich.

Das Auftreten der V-H-Verwechslungen fast ausschließlich im reflexionsarmen Raum, kann hier nicht erkannt werden. Mit 152 Verwechslern steht bei den H-V-Verwechslern das Studio an der Spitze, gefolgt von 135 Verwechslern im reflexionsarmen Raum und 112 Stück im

⁹ Im folgenden H-V-Verwechsler genannt.

Büro. Der Sachverhalt wird in Diagramm Abb. 3.10 anhand einer prozentualen Darstellung der H-V-Verwechsler deutlich.

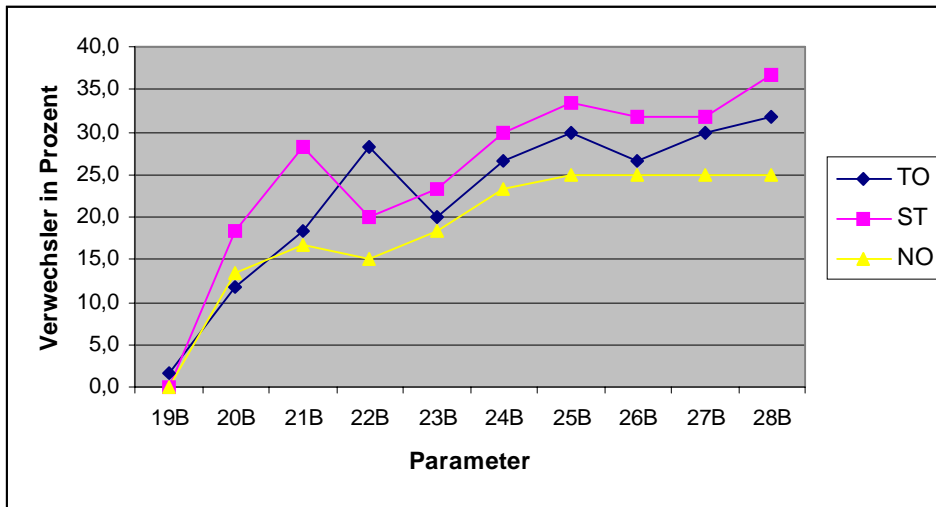


Abb. 3.10. Häufigkeiten der H-V-Verwechsler der drei Räume beider Stimuli.

Jedoch eine andere Tendenz ist mit den Daten aus dem Anhang (vergl. A8) zu bestätigen. Bei Wiedergabe des Rauschimpulses ist die Anzahl der H-V-Verwechsler in jedem Raum etwas höher, als bei Wiedergabe des Sprachsignals. Im reflexionsarmen Raum gibt es 74 Verwechsler bei Abspielen von Gaussrauschen und 61 Verwechsler bei Sprachsignalwiedergabe. Extrem zeigt sich diese Tendenz im Studio, wo 35,7 % aller Probanden bei der Rauschimpuls-wiedergabe verwechselt haben und nur 15,3 % Verwechslungen bei dem Sprachsignal ermittelt werden können. Im Büroraum sind aus Tabelle A8, 65 Verwechsler bei Impuls-wiedergabe und 47 Verwechsler bei Sprache zu sehen. Als Erklärungsversuch dieser Tendenz kann wieder die bessere Lokalisierbarkeit des kontinuierlich verlaufenden und natürlich erzeugten Sprachsignals hingegen des durch kurze Impulse charakterisierbare, synthetische Gaussrauschen herangezogen werden.

Zudem kann hier die schon erwähnte Auffälligkeit bestätigt werden, daß oftmals die selben Leute verwechselt haben, wie z.B. VP5 und VP12. Die Verwechsler machten aber wie in Kap. 3.1.1 sehr unterschiedliche Angaben im Fragebogen. Deshalb kann man auch hier aus den dort erhaltenen Daten keine zuverlässigen Erkenntnisse gewinnen und weitere Interpretationen wären eher spekulativ.

Im hinteren Bereich zwischen den Lautsprechern RS und LS scheint es, daß sich der Basiswinkel zwischen RS und LS, mit 140° sehr nahe an dem Winkel der Ohrachse (180°) befindet. Das bedeutet, ein Stereobasiswinkel von 140° ist wahrscheinlich viel zu groß, um eine 2-Kanal-Stereoabbildung zu realisieren, wenn man sich an die Stereostandardaufstellung

(gleichseitiges Dreieck) erinnert (vergl. Blauert, 1974, S. 161). Zudem war der Kopf der Probanden während der Versuchsdurchführung nicht fixiert. Wenn sich eine VP unbemerkt einige Zentimeter nach hinten gelehnt hätte, würde dies eine weitere Vergrößerung des hinteren Winkels zur Folge gehabt haben und wahrscheinlich auch eine Verstärkung des Verwechslungseffekts oder gar eine Anhebung, bzw. Höhenänderung (Elevation) der Phantom-schallquelle (vergl. Kap. 2.3.2).

3.1.2.2 Symmetrie der Streu- und Mittelwerte

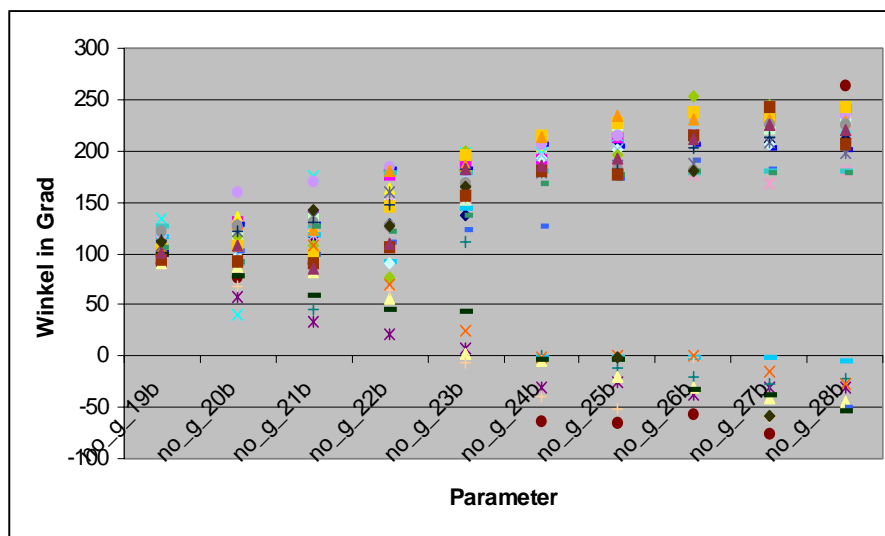


Abb. 3.11. Streuung der Meßwerte von no_g_19b bis no_g_28b.

In Abb. 3.11 sind alle Meßwerte der unbereinigten Daten von Parameter 19B bis Parameter 28B im Büroraum bei Wiedergabe von Gaussrauschen abgebildet. Es fällt an dieser Stelle auf, daß sich die Streuwerte hinten (ca. hinter der Hörachse) quasi symmetrisch verhalten zu den Streuwerten vorne (ca. vor der Hörachse), welche nach Kriterium 1.2 als Verwechsler interpretiert wurden. Die Symmetrielinie könnte man sich als eine horizontale Spiegelachse vorstellen, bei ca. 100°. Hierdurch bestätigt sich die Vorgehensweise zur Entwicklung des Kriteriums 1.2. Die restlichen Diagramme sind im Anhang (vergl. A6) dargestellt.

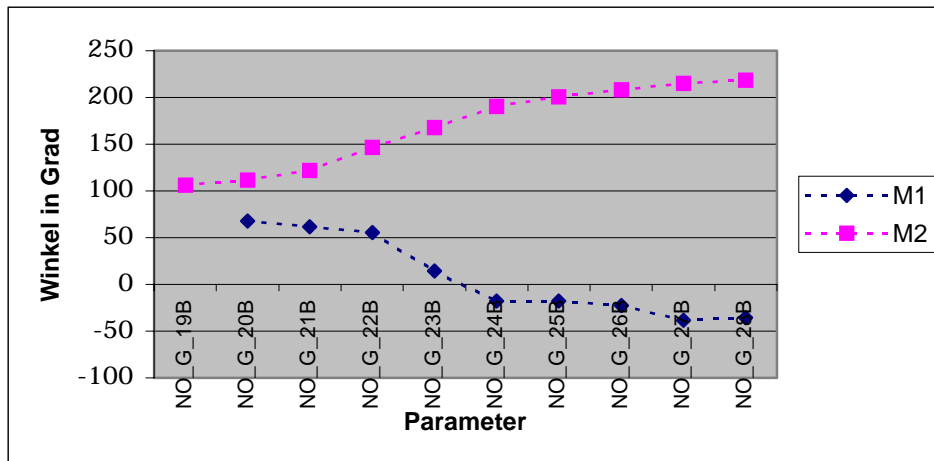


Abb. 3.12. Verlauf der Mittelwerte M1 und M2 von no_g_19b bis no_g_28b.

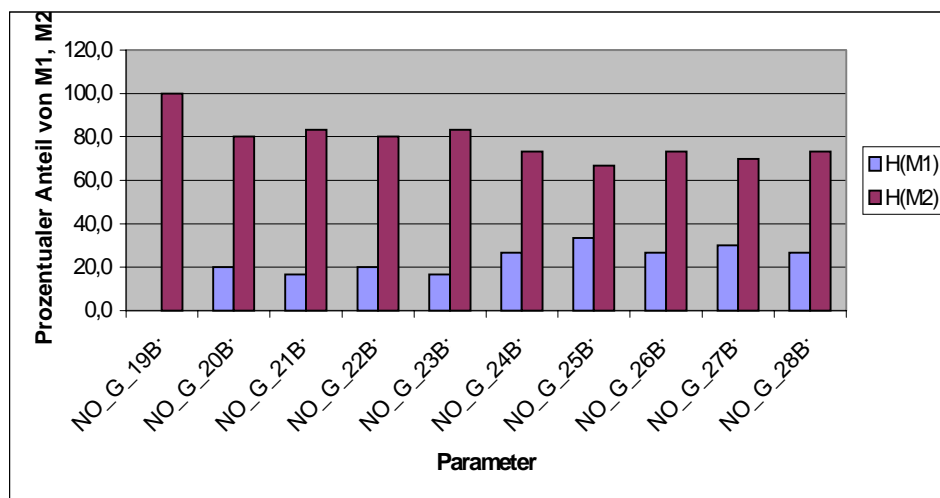


Abb. 3.13. Prozentualer Anteil von M1 und M2 der Parameter no_g_19b bis no_g_28b.

Abb. 3.12 zeigt die Mittelwerte M1 und M2 bei Wiedergabe des Rauschimpulses im Büroraum. M1 sind in diesem Fall Mittelwerte der Signale, welche verwechselt wurden nach Kriterium 1.2. M2 sind Mittelwerte, welche den Verlauf der Phantomschallquelle von Lautsprecher RS Richtung LS beschreiben, wie er nahezu gewünscht ist. Im Gegensatz zu den V-H-Verwechslern macht eine Darstellung der Mittelwerte für jeden Parameter hier Sinn, weil die Anzahl der Verwechsler so groß ist, daß sie mit Mittelwerten beschrieben werden können. Die Mittelwerte verlaufen von 106° bis 218° , überschreiten also weit die 180° - Grenze, die hier durch eine Phantomschallquelle bei Parameter NO_G_28B übernommen wird.

Auch in Abb. 3.12 verhalten sich M1 und M2 spiegelbildlich, jedoch abhängig von der Ohrachse, welche aufgrund der beiden Kriterien 1.1 und 1.2 als Spiegelachse definiert wurde. Alle sechs Signal-Raum-Kombinationen mit dem Verlauf von M1 und M2, werden im

Anhang unter A7 abgebildet. Abb. 3.13 beschreibt, in welchem prozentualen Verhältnis die beiden Mittelwerte ausgewählt wurden. Daraus ist zu entnehmen, daß bei Parameter NO_G_25B die Anzahl der Verwechsler am größten war. Ab NO_G_24B aufwärts liegt der Verwechsleranteil deutlich über 20% und bis zu diesem Parameter sichtbar unter der 20% - Marke.

Eine Interpretation für das symmetrische Verhalten der Verwechsler kann sein, daß die Richtungsverwechslung von hinten mit vorne nicht zu der Lokalisationsunschärfe innerhalb des hinteren Bereiches gezählt werden kann. Auch die verwechselten Werte entsprechen im vorderen Bereich einer bestimmten Genauigkeit, was von den Streuungen und Mittelwerten in Abb. 3.11 und 3.12 abgeleitet werden kann. Die H-V-Verwechslung muß also wie die V-H-Verwechslung als Wahrnehmungsphänomen angesehen werden.

3.1.2.3 Streuung und Kurvenverlauf

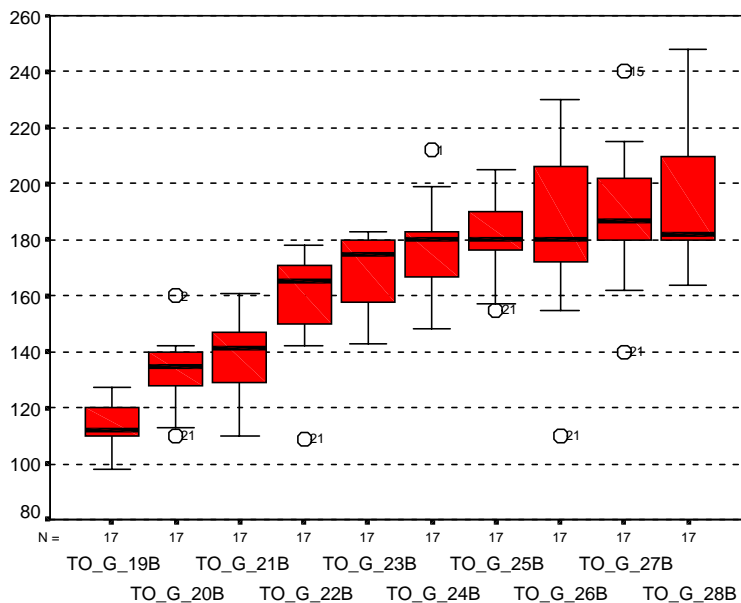


Abb. 3.14. Boxplots der Parameter TO_G_19B bis TO_G_28B nach Datenbereinigung mit Kriterium 1.2.

Infolge der Behandlung der Rohdaten mit Kriterium 1.2 wurden durch eine weitere Datenbereinigung H-V-Verwechsler eliminiert. Abb. 3.14 stellt ein Boxplotdiagramm, erzeugt mit bereinigten Daten bei Rauschimpulswiedergabe für den hinteren Bereich dar. Der Verlauf der Medianwerte bleibt durch die Bereinigung nahezu unverändert. Jedoch hat sich die Breite der Interquartilbereiche drastisch reduziert. Z. B. die vier Quartile des Parameters TO_G_28B, die sich vor der Datenbereinigung bis knapp 300° ausdehnten, sind hier auf max. 80°

geschrumpft. Alle Boxplotdiagramme der bereinigten Daten von Parameter 19B bis 28B sind unter A9 im Anhang abgebildet. Sowohl die Medianwerte, als auch die Streuungen zeigen keinen so gleichmäßigen Verlauf, wie das für die Boxplots der nach Kriterium 1.1 bereinigten Daten im vorderen Bereich gilt.

Die Hauptursache, wie schon in Kap. 3.1.2.1 vermutet wurde, könnte für diese Unregelmäßigkeit der große Basiswinkel zwischen RS und LS sein. Eine andere Erklärung wäre vielleicht die ungewohnte Situation, Schallquellen aus dem rückwärtigen, nicht sehbaren Bereich bewußt wahrzunehmen. Eine dritte Vermutung könnte der Aufbau des menschlichen Kopfes sein. Es reichen möglicherweise die pure Kopfübertragungsfunktion und die interauralen Zeitdifferenzen nicht aus, damit eine präzise Richtungsinformation übermittelt werden kann.

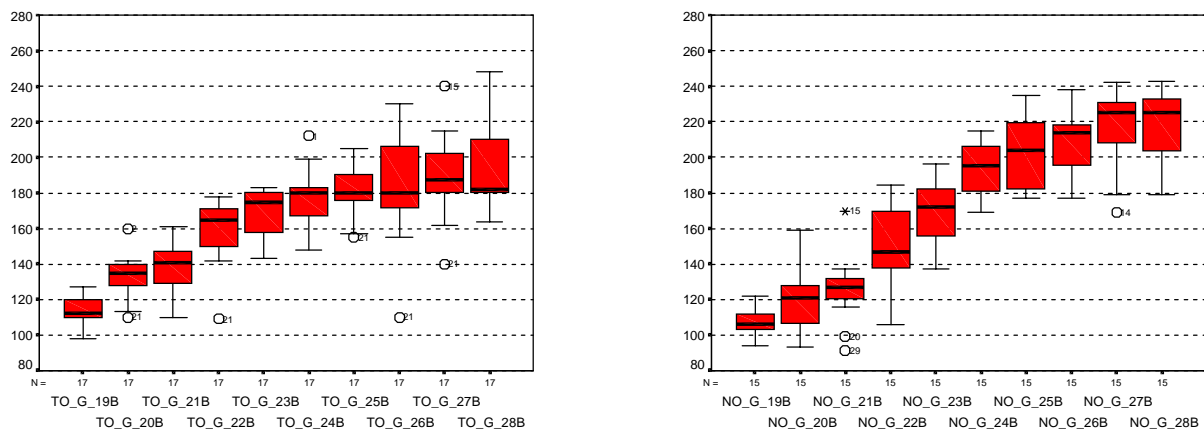


Abb. 3.15, 3.16. Gegenüberstellung der Boxplots von TO_G_19B bis TO_G_28B und NO_G_19B bis NO_G_28B der nach Kriterium 1.2 bereinigten Daten.

Die Medianwerte im Büroraum überschreiten bei Wiedergabe des Rauschimpulses stark die 180° - Grenze. Dies gilt im selben Raum auch für das Sprachsignal (vergl. A9). In den anderen Räumen ist diese Tendenz nicht ersichtlich. Man erkennt diesen Unterschied sehr gut beim Vergleich des reflexionsarmen Raumes mit dem Büroraum, die in den beiden Diagrammen Abb. 3.15 und Abb. 3.16 dargestellt sind. Dies ist auch anhand der Boxplots zu sehen, welche mit den unbereinigten Daten generiert wurden (vergl. A5). Dort erreichen die Medianwerte im Büroraum bis zu 210°, während sie in den anderen beiden Räumen die Grenze von ca. 180° kaum überschreiten.

Diese Besonderheit im Büroraum könnte von den dort ziemlich einseitig angeordneten reflektierenden Flächen im Vergleich zu den beiden anderen Räumen herrühren. Es befand sich dort während des Versuchs u.a. auf der linken Seite der VP eine reflektierende Fensterfront. Die anderen drei Wände bestehend aus Mauersteinen, unterscheiden sich also

deutlich von planen Glasflächen. Ansonsten sind im Büro noch mehrere Regale, Schränke und Tische vorhanden. Im Studio wird dagegen eher von einem quasidiffusen Schallfeld ausgegangen, aufgrund versetzt angeordneter Fensterscheiben und Diffusoren an den anderen Wänden. Im reflexionsarmen Raum gibt es nach der Definition des Raumes keine Schallrückwürfe von den Begrenzungsflächen.

3.1.2.4 Vergleich mit der Literatur

In der Studie von Xie Bosun (2001) wurde ein Versuch zur Richtungswahrnehmung von Phantomschallquellen u.a. im hinteren Bereich der linken Seite einer 3.2-Aufstellung nach ITU-R BS. 775-1 durchgeführt. Die linke Seite ist aus Symmetriegründen direkt vergleichbar mit der in diesem Versuch betrachteten rechten Hälfte des Surroundbereichs (RS bis LS). Der Vergleich von Lokalisationskurven dieser Literatur mit den bisherigen qualitativen Betrachtungen (vergl. Kap. 3.1.2.3), wird bezüglich der Streuungen erschwert, weil Xie Bosun keine individuellen Streuwerte für jeden einzelnen Mittelwert angibt. Nach dem Autor gelten jedoch für die Standardabweichungen der Mittelwerte für jeden seiner sieben verschiedenen Parameter: $\sigma \leq 6,5^\circ$.

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
TO_S_19B	29,0	93,0	142,0	117,4	13,4
TO_S_20B	25,0	98,0	176,0	141,4	18,5
TO_S_21B	26,0	91,0	171,0	138,6	20,2
TO_S_22B	21,0	116,0	182,0	159,8	16,5
TO_S_23B	23,0	148,0	193,0	171,2	11,2
TO_S_24B	23,0	158,0	189,0	177,7	6,9
TO_S_25B	22,0	157,0	191,0	176,6	9,0
TO_S_26B	23,0	145,0	220,0	179,7	15,1
TO_S_27B	23,0	145,0	219,0	185,3	14,8
TO_S_28B	22,0	165,0	250,0	189,5	18,6

Tab. 3.6. Standardabweichungen der Parameter TO_S_19B bis TO_S_28B.

Tabelle 3.6 gibt die Standardabweichungen des rückwärtigen Bereiches bei Sprachsignalwiedergabe im reflexionsarmen Raum an. Es wird angenommen, daß sich menschliche Sprache besser mit Orchestermusik vergleichen läßt, als mit Sinustönen. Der kleinste Wert bei TO_S_24B ist mit $6,9^\circ$ allerdings gerade ungefähr so groß, wie bei Xie Bosun (2001). Alle anderen Standardabweichungen der bereinigten Daten im hinteren Bereich sind größer.

Anhand des Mittelwertverlaufs von 110° bis 180° seiner Ergebnisse kann außerdem festgestellt werden, daß es eine Unregelmäßigkeit von $\Delta L = -18$ dB und $\Delta L = -15$ dB gibt, die sich als Sprung der Kurve von ca. 110° auf 130° sowohl bei den verwendeten Sinustönen verschiedener Frequenzen, als auch bei dem Orchesterausschnitt äußert. Auch bei der in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchung gibt es Unregelmäßigkeiten zwischen den Parametern 19B und 20B im reflexionsarmen Raum bei Sprachsignalwiedergabe. Da die Pegeldifferenzen in beiden Studien jedoch verschieden sind, bei denen diese Unregelmäßigkeiten auftreten, ist ein direkter Vergleich an dieser Stelle nicht möglich.

Auch weil der Autor nicht alle hier benötigten Informationen bereitstellt, können die Ergebnisse nur bedingt verglichen werden. Es wird angenommen, daß Xie Bosun (2001) Streuwerte, wie sie z. B. in Kap. 3.1.2.1 beschrieben werden, bei seinen Ergebnissen ausgeschlossen hat. Zudem wurden in den beiden Untersuchungen verschiedene Stimuli verwendet.

3.1.3 Betrachtung der seitlichen Parameter 10B bis 18B

Ein Blick auf die Häufigkeitsverteilungen der seitlichen Parameter (vergl. B5) zeigt völlig verschiedene Verteilungsformen. Die Streuung der Werte bei den Parametern, welche Phantomschallquellen vor allem in der Mitte der beiden Lautsprecher R und RS erzeugen sollen, ist darüber hinaus sehr groß. Z. B. wurden bei Parameter TO_G_12B Richtungen von 42° bis zu 144° von den Probanden angewählt.

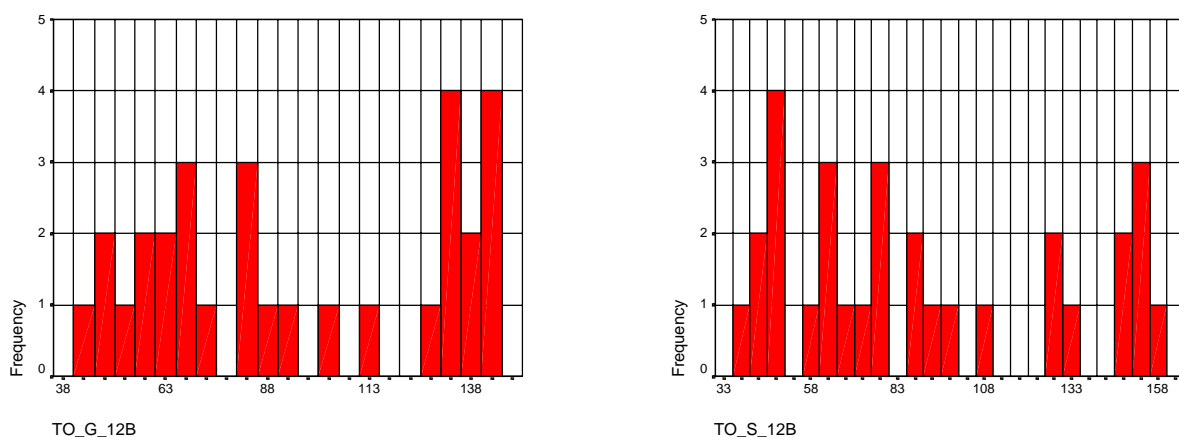


Abb. 3.17. Häufigkeitsverteilungen von TO_G_12B und TO_S_12B.

Schon alleine aufgrund der stark unregelmäßigen Gestalt der Häufigkeitsverteilungen von TO_G_12B und TO_S_12B, die in Abb. 3.17 zu erkennen ist, wäre es nicht sinnvoll, über

diese Verteilung einen WfzT zu berechnen. Dieser Wert würde ohne zusätzliche Information eine hier nicht vorhandene unimodale Verteilung vortäuschen. Bei TO_S_12B weichen Modalwert (45°) und Mittelwert ($89,3^\circ$) (deskriptive Berechnung ist genauer als Abb. 3.17) so stark voneinander ab, daß die Interpretation des Mittelwerts als WfzT nicht legitim wäre. Für eine realitätsnahe Beschreibung müßten beide Werte mit einbezogen werden. Diese Datenstruktur ist für eine Auswertung mit den gängigen statistischen Kennwerten problematisch. In A11 im Anhang wird mit Hilfe von Boxplots auch eine ziemlich große Streuung der Werte deutlich. Deshalb wird im folgenden versucht, die Daten nach weiteren Gesichtspunkten einzuteilen.

Nach Aussagen einiger Probanden hatten einige manchmal den Eindruck, bei lateraler Wiedergabe zwei Schallquellen zu hören. Andere VP's hatten nach deren Angaben offensichtlich überhaupt keine Probleme, die Richtung von genau einer Phantomschallquelle zu erkennen (vergl. Kap. 2.3.2). Das lieferte erste Hinweise darauf, daß die Wahrnehmung im lateralen Bereich nicht einheitlich funktionieren kann.

Bildung von Wahrnehmungstypen

Beim Betrachten der Lokalisationskurven des lateralen Bereiches (vergl. B6 im Anhang), erkennt man schnell, daß sich die Kurven bezüglich ihres Verlaufes in verschiedene Gruppen einteilen lassen. Vier sich häufig wiederholende Formen wurden prognostiziert. Offensichtlich unterteilen sich die Probanden weitgehend auf diese vier Gruppen von Hörertypen. Also wurden die vier verschiedenen Gruppen mit Wahrnehmungscharakteren assoziiert, die sich deutlich voneinander durch den Verlauf der Mittelwerte über die lateralen Parameter 10B bis 18B abgrenzen.

Typ 1:

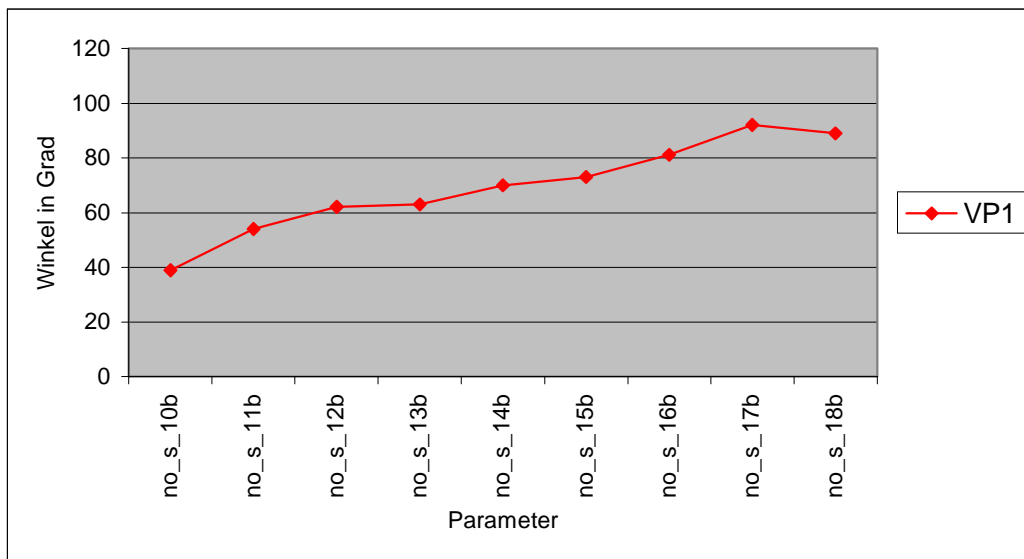


Abb. 3.18. Lokalisationskurve bei VP 1 von no_s_10b bis no_s_18b.

VP1 hört in dem Büroraum bei Wiedergabe des Sprachsignals offensichtlich eine reine Phantomschallquelle. Es wird daher angenommen, daß in diesem Fall die neun Hörereignisse durch eine Summenlokalisation entstanden. Der Verlauf beginnt bei dem Winkel 39° und endet bei 89°. Die Verlaufslinie zeichnet sich durch einen relativ gleichmäßigen Anstieg von Parameter no_s_10b bis Parameter no_s_18b aus. Der kleine Knick zwischen no_s_17b und no_s_18b widerspricht dem gleichmäßigen Anstieg zwar etwas, kann jedoch aufgrund des kleinen Intervalls (3°) als trivial angesehen werden.

Typ 2:

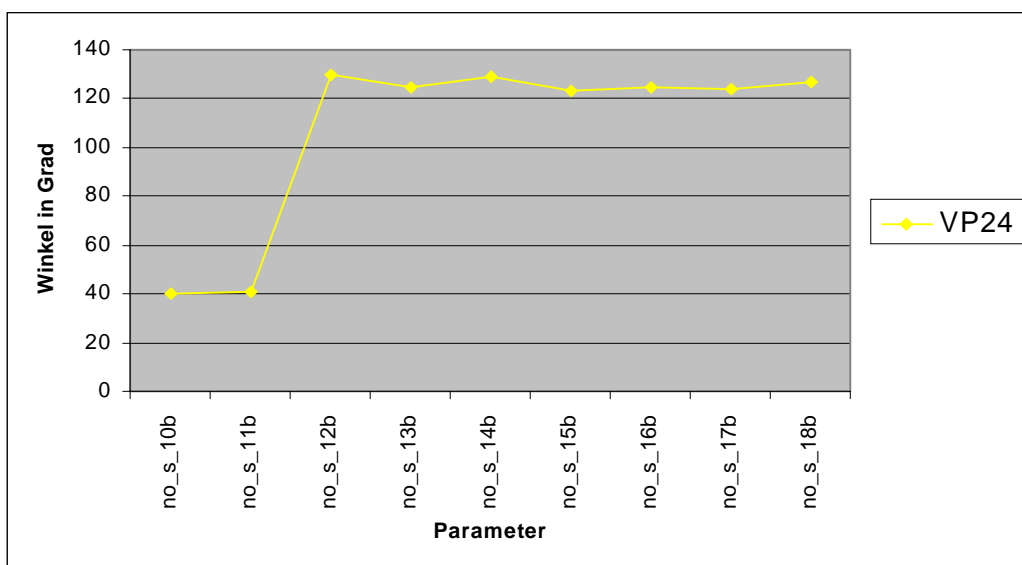


Abb. 3.19. Lokalisationskurve bei VP24 von no_s_10b bis no_s_18b.

In Abb. 3.19 ist eine Art Stufe mit einem sehr steilen Anstieg erkennbar. Es findet von Parameter no_s_11b bis no_s_12b ein Sprung von 41° bis 130° statt. Hier ist eine Zuordnung der Phantomschallquelle zu den jeweiligen Realschallquellen eine Interpretationsmöglichkeit. VP24 nimmt im Büroraum bei Sprache als Wiedergabesignal bis Parameter no_s_11b den Lautsprecher R wahr, allerdings mit 40° ein bißchen versetzt in Richtung RS. Ab Parameter no_s_12b nimmt sie den Lautsprecher RS wahr, wobei sich die wahrgenommene Phantomschallquelle mit 130° sogar über die Grenze von RS hinaus in den rückwärtigen Bereich verschiebt. Wenn dieser Sprung in Abb. 3.19 weiter nach rechts verschoben wäre (z.B. zwischen Parameter 14B und 15B), würde es sich hier trotzdem noch um den selben Wahrnehmungstyp handeln. Es wird aufgrund dieser Beobachtung angenommen, daß zur Entstehung des oben abgebildeten Beispiels bei VP24 kein Summenlokalisierungseffekt beteiligt ist. VP24 zeigt eine deutliche Tendenz zu den realen Lautsprechern hin.

Typ3:

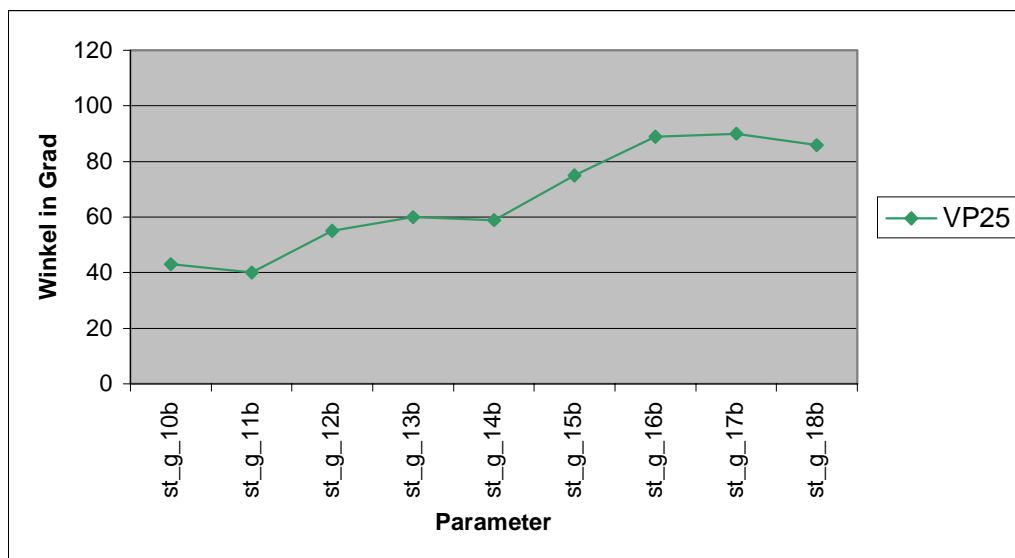


Abb. 3.20. Lokalisationskurve bei VP 25 von st_g_10b bis st_g_18b.

In Abb. 3.20 ist ein stufenweiser Anstieg der Mittelwerte von R nach RS erkennbar. Es sind deutlich drei abgetrennte Stufen zu sehen: bei ca. 40° , 60° und 90° . Die Phantomschallquelle macht den Eindruck, als ob sie stufenweise springt, d.h. sie wird jeweils für ein paar aufeinanderfolgende Parameter aus der gleichen Richtung wahrgenommen. Danach springt sie jeweils eine Stufe höher (hier ca. 20° - 30°). Es wird vermutet, daß dieser Typ eine Mischung aus Typ 1 und Typ 2 widerspiegelt. D.h. der Proband nimmt hier vermutlich eine reduzierte Anzahl von Phantomschallquellen, zwischen R und RS, wahr.

Typ 4:

Typ 4 kann durch willkürliche Sprünge zwischen den beiden Realschallquellen charakterisiert werden. Die Sprünge können unterschiedlich groß sein und auch die Anzahl der Sprünge kann sich bei diesem Wahrnehmungstyp unterscheiden. Diese Erscheinung ist nicht mit der Bildung einer bloßen Summenlokalisation oder mit dem Wahrnehmen von reinen Realschallquellen zu erklären. Es müssen hier andere Einflüsse eine Rolle spielen. Als Beispiel für Typ 4 wird in Abb. 3.21 VP20 herangezogen. Ein Blick in die Daten des Fragebogens enthält keine Angaben, mit welchen dieses Verhalten begründet werden könnte. Zu VP20 ist eventuell hinzuzufügen, daß sie schon in Kap. 3.1.1 durch häufige V-H-Verwechslungen auffällig war. Das Hin- und Herspringen der Phantomschallquelle könnte als zweite Form der V-H-Verwechslung für den lateralen Bereich gedeutet werden.

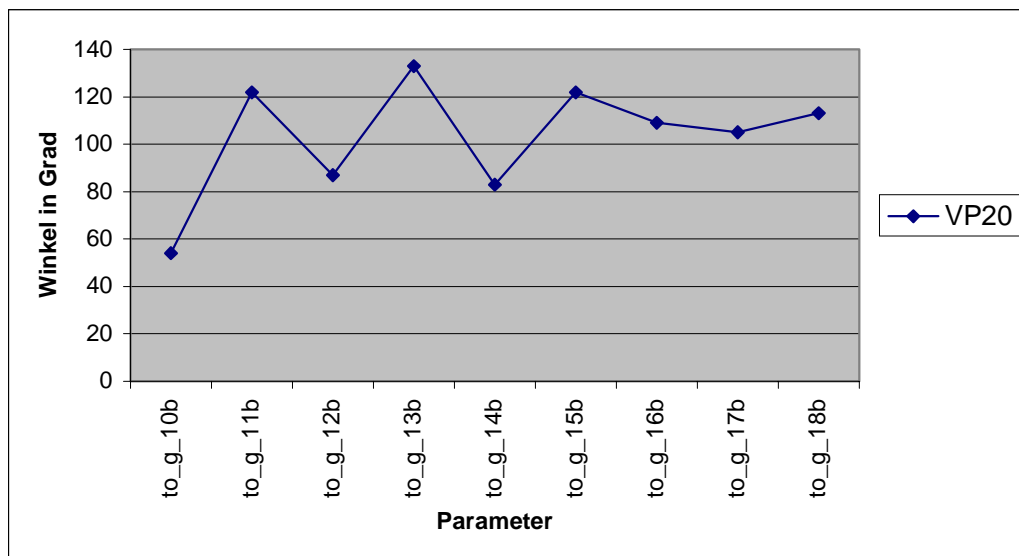


Abb. 3.21. Lokalisationskurve bei VP 20 von TO_G_10B bis TO_G_18B.

Wie schon erwähnt, ist es im lateralen Bereich nicht sinnvoll, einen WfzT über alle Probanden hinweg zu berechnen. Auch nach der Unterteilung dieser vier verschiedenen Typen würde ein Vergleich z.B. der Mittelwerte der vier Gruppen höchstens zur Bestätigung dieser Klassifikation führen. Interessant ist dennoch, wie viele Fälle sich den einzelnen Wahrnehmungstypen zuordnen lassen.

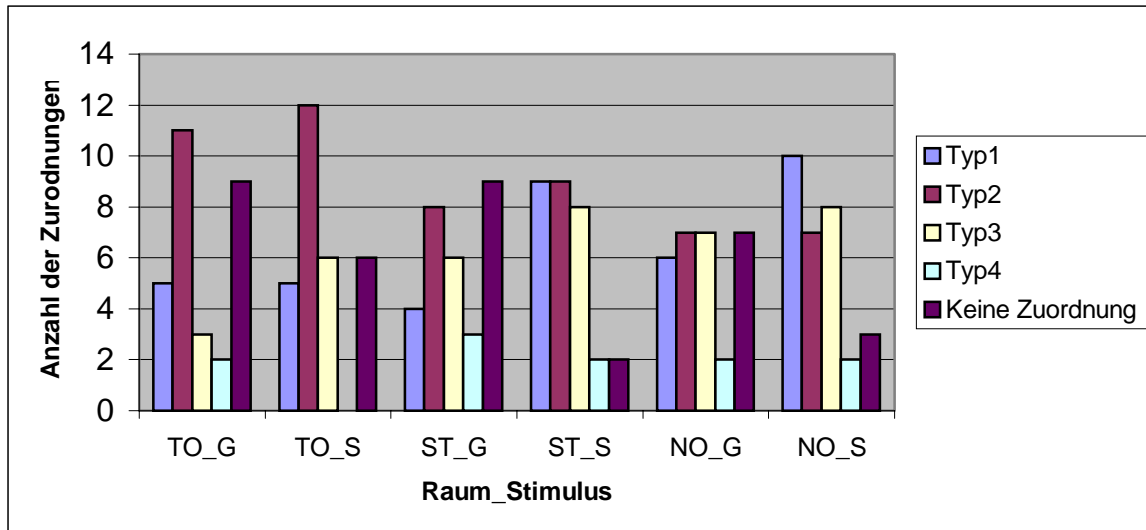


Abb. 3.22. Zuordnung von Wahrnehmungstypen 1 bis 4 (Abb. 3.18 bis 3.21) zu den Räumen und Stimuli.

In Abb. 3.22 sind die Zuordnungen der verschiedenen Wahrnehmungstypen für jede Signal-Raum-Kombination abgebildet. Bei der Zuordnung wurden die Verlaufskurven aller Probanden (siehe B6) mit den Typen 1 bis 4 verglichen und zusammengezählt. Traf kein Wahrnehmungstyp annähernd zu, so wurden diese Fälle der Kategorie „keine Zuordnung“ in Abb. 3.22 zugeteilt.

Bei Betrachten der beiden Stimuli, wiedergegeben in den drei verschiedenen Räumen über die neun lateralen Parameter fällt auf, daß Typ 1 im reflexionsarmen Raum mit zehn Zuordnungen am seltensten vertreten ist. Im Studio tritt Typ 1, 13 mal auf und im Büroraum 16 mal. Beim Vergleich der Stimuli innerhalb der Räume bezüglich dieses Typs ist zu sehen, daß sowohl im Büroraum, als auch im Studio Typ 1 bei Satz wiedergabe häufiger vertreten ist, als bei Wiedergabe des Rauschimpulses.

Typ 2 wurde vor allem im reflexionsarmen Raum sehr häufig, d.h. 23 mal zugeordnet. Im Studio sind es nur 17 Fälle und im Büroraum ist das Auftreten dieses Typs mit gerade mal 14 Zuordnungen am seltensten. Zwischen den Testsignalen kann kein markanter Unterschied bezüglich der Häufigkeit des Auftretens genannt werden.

Das Erscheinen von Typ 3 zeigt sich relativ gegensätzlich zu Typ 2. Im reflexionsarmen Raum ist dieser Typ mit neun Zuweisungen am geringsten, während er im Studio mit 14 und im Büroraum mit 15 Zuweisungen viel häufiger vertreten ist. Die beiden akustisch lebendigen Räume grenzen sich auch hier vom reflexionsarmen Raum deutlich ab. Typ 3 ist bei der Sprachsignalwiedergabe in allen Räumen etwas mehr vertreten, wobei dieser Unterschied im reflexionsarmen Raum am größten ist.

Über Typ 4 können nur wenige charakteristische Eigenschaften genannt werden. Dieser Typ wurde fast immer zwei mal zugewiesen, außer im reflexionsarmen Raum bei Sprachsignalwiedergabe, wo diese Art von Kurvenverlauf nicht existiert. Im Studio, bei Rauschimpuls-wiedergabe ist er drei mal vertreten. Dieses Ergebnis besagt, daß der Zickzack-Verlauf der Phantomschallquelle eher selten vertreten ist.

Keine Typenzuordnung kann am häufigsten (15 mal) im reflexionsarmen Raum gemacht werden. Im Studio ist dies 11 mal und im Büroraum zehn mal der Fall. Allerdings gibt es offensichtlich über alle drei Räume einheitlich mehr Probleme bei der Typisierung des Kurvenverlaufs bei Rauschimpulswiedergabe als bei der Verwendung des Sprachsignals.

Typ 1 und Typ 3 charakterisieren beide ein relativ gleichmäßiges Ansteigen ohne und mit Stufen im Verlauf der Lokalisationskurven. Beide Typen sind jeweils im reflexionsarmen Raum seltener vertreten als in den beiden anderen Räumen. Deshalb läßt sich vermuten, daß die Bildung von differenzierbaren Phantomschallquellen im lateralen Bereich durch räumliche Eigenschaften (z.B. Reflexionen) begünstigt wird. Typ 2, bei dem die Hörrichtung hauptsächlich den Realschallquellen zugewiesen wird und Phantomschallquellen nur selten vorhanden sind, tritt verstärkt im reflexionsarmen Raum auf. Daraus ist zu schließen, daß es im reflexionsarmen Raum bei einer 3.2-Aufstellung der Lautsprecher kaum möglich ist, im lateralen Bereich Phantomschallquellen zu erzeugen, bzw. einer bestimmten Richtung zuzuordnen. Daß diese gewünschte Eigenschaft mit Darbietung von Sprache einfacher erscheint, als mit Rauschimpulsen ist mit dem fast vollständig durchlaufenden Signalfluß des Sprachsignals gegenüber den kurzen und durch lange Pausen getrennten Impulsen zu begründen.

Abschließend muß noch angemerkt werden, daß die eben erläuterte Vorgehensweise nicht mit einem exakt abgegrenzten Kriterium erfolgte. Darüber hinaus wurde sowohl die Definition der Wahrnehmungstypen, als auch die Zuordnung der einzelnen Verlaufskurven zu diesen Typen von ein und derselben Person durchgeführt. Die Lokalisationskurven der Probanden in allen sechs Signal-Raum-Kombinationen sind im Anhang unter B6 zu finden.

Vergleich mit der Literatur

Damit es möglich wird, einen Vergleich der bei dieser Studie erhaltenen Ergebnisse mit Untersuchungen aus der Literatur durchzuführen, müssen die Meßwerte der lateralen Parameter als Boxplots dargestellt werden. Diese sind im Anhang (vergl. A11) zu finden. Für einen unmittelbaren Vergleich mit den Ergebnissen von Theile/Zieglmeier (1996) wird hier die Kombination des Sprachsignals im reflexionsarmen Raum genommen. Es werden

diejenigen Parameter zu der Gegenüberstellung verwendet, welche in beiden Untersuchungen verwendet wurden. Deshalb werden auch die Realschallquellen (TO_S_9B und TO_S_19B, mit $\Delta L = \pm \infty$ dB) aus diesem Versuch zu dem Vergleich herangezogen.

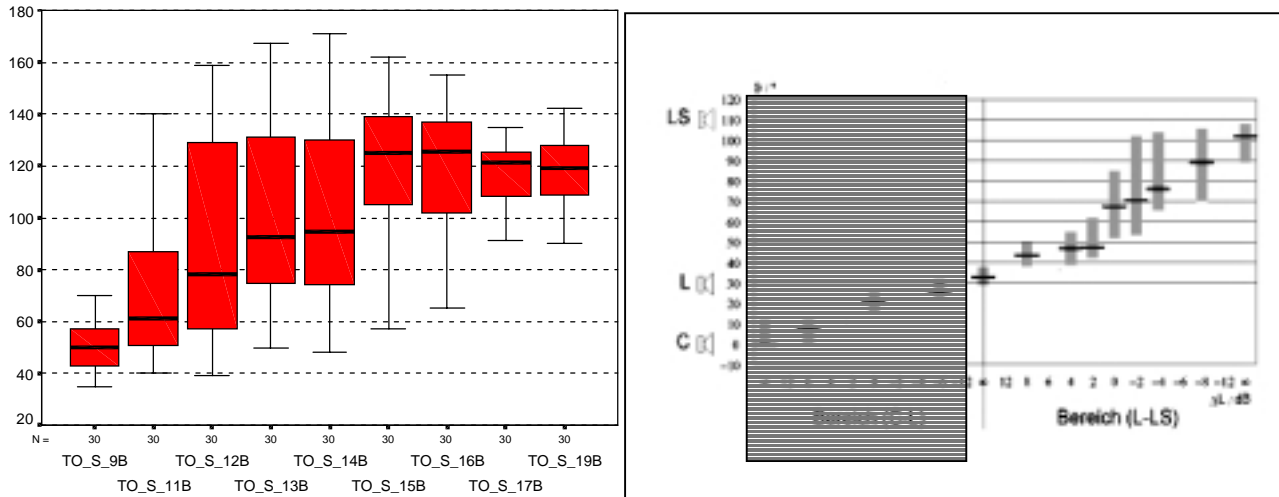


Abb. 3.23/3.24. Vergleich von TO_S_9B bis TO_S_19B mit Meßergebnissen im lateralen Bereich (aus: Theile/Zieglmeier, 1996, S. 163).

In Abb. 3.24 verlaufen die Medianwerte von ca. 34° , dem Meßwert der Realschallquelle L bis ca. 103° , was dem Meßwert bei Wiedergabe von LS entspricht. In Diagramm Abb. 3.23 ist zu sehen, daß der Median für die Realschallquelle R = 50° entspricht und der Wert von RS = 119° . Diese Gegenüberstellung macht den Eindruck, als ob die Realschallquellen des hier durchgeführten Hörversuchs etwas nach hinten geschoben sind gegenüber der Untersuchung von Theile/Zieglmeier (1996). Die Mediane verlaufen in Abb. 3.23 von TO_S_9B bis TO_S_14B relativ gleichmäßig nach oben. Zwischen TO_S_14B und TO_S_15B gibt es einen großen Sprung von $30,5^\circ$. Ab dann werden die Medianwerte zu numerisch höheren Parametern hin sogar wieder kleiner. Bei Theile/Zieglmeier (1996) ist dieses „Wahrnehmungsloch“ nicht so stark zu beobachten. Hier gibt es zwar auch einen Sprung von $\Delta L = 2$ dB nach $\Delta L = 0$ dB, dieser beträgt jedoch nur ca. 20° . Danach steigen die Medianwerte wieder relativ gleichmäßig an.

Die Ursache für diesen Unterschied könnten die minimalen Kopfbewegungen sein, welche in der hier durchgeführten Studie zugelassen und bei Theile/Zieglmeier (1996) verboten wurden, indem dort den Probanden der Kopf fixiert wurde. Die Streuungen bzw. Quartile der beiden Messungen sind schwer vergleichbar, weil in Abb. 3.24 nur das zweite und dritte Quartil dargestellt wird. Der größte Interquartilbereich beträgt bei Theile/Zieglmeier ca. 50° . TO_S_12B

überbietet diesen Bereich mit ca. 70°. Auch für diesen Sachverhalt könnte der Einfluß minimaler Kopfbewegungen vermutet werden.

In der Studie von Xie Bosun (2001) wurden die Pegeldifferenzen in 3-dB-Stufen intervallweise variiert zwischen $\Delta L = -24$ dB und $\Delta L = 24$ dB. Die Mittelwerte steigen gleichmäßig von ca. 30° bis ca. 45° an ($\Delta L = -24$ dB bis $\Delta L = 6$ dB). Zwischen $\Delta L = 6$ dB und $\Delta L = 9$ dB gibt es einen plötzlichen Sprung von ca. 45° bis über 100°. Der weitere Anstieg bis ca. 105° erfolgt wieder relativ gleichmäßig. Der Autor macht keine Angaben über minimale Kopfbewegungen.

Sprünge sind auch in den Box- und Errorplots der Seite von Parameter 10B bis 18B aller sechs Signal-Raum-Kombinationen in dieser Untersuchung zu sehen (vergl. A11, A12). Die Größe dieser Sprünge ist aber gering gegenüber den gerade genannten. Im reflexionsarmen Raum betragen sie zwischen Parameter TO_G_10B und TO_G_11B immerhin ca. 25°. Auch mit dem Stimulus Sprachsignal im gleichen Raum hat das Intervall zwischen TO_S_14B und TO_S_15B eine Größe von fast 20°. Die Unterschiede der beiden Studien können auf verschiedene Bedingungen wie unterschiedliche Teststimuli oder Raumcharakteristika zurückgeführt werden. Es wird trotz allem vermutet, daß sich in beiden Fällen die großen Intervallsprünge wohl hauptsächlich mit den schon genannten minimalen Kopfbewegungen erklären lassen.

3.1.4 Betrachtung des Mittelwertes als WfzT über Parameter 1B – 28B

Der WfzT steht für die bevorzugte Hörrichtung aller 30 Probanden. Es muß aus dem Modalwert, Mittelwert und Medianwert der aussagekräftigste Wert als WfzT ausgewählt werden. Bei Betrachten der Häufigkeitsverteilungen im Anhang (vergl. B5) stellt man fest, daß der Modalwert nicht geeignet sein wird, weil viele Parameter bimodale oder sogar trimodale Verteilungsformen aufweisen. Mittelwert und Median sind sich bei jeweils gleichen Parametern sehr ähnlich. Da im folgenden u.a. der Standardfehler des Mittelwerts im Zusammenhang mit der Lokalisationsungenauigkeit betrachtet wird, fällt die Entscheidung hier auf den arithmetischen Mittelwert, der in den folgenden Betrachtungen als WfzT verwendet wird.

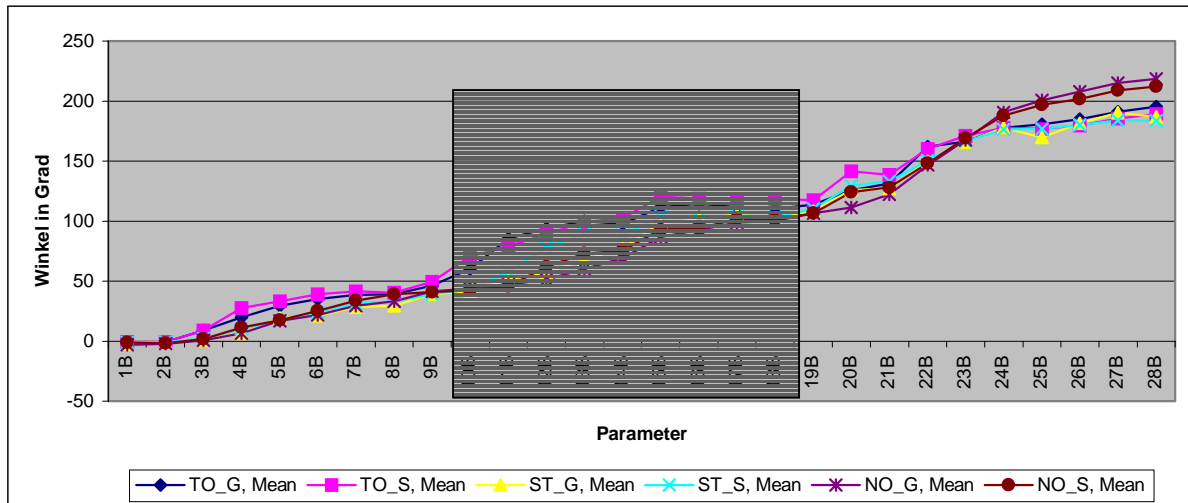


Abb. 3.25. Lokalisationslinien gebildet durch Mittelwerte von Parameter 1B bis 28B aller sechs Signal-Raum-Kombinationen.

Abb. 3.25 zeigt die Mittelwerte aller 28 Parameter in Kombination mit jedem Raum und beiden verwendeten Stimuli. Für den vorderen und hinteren Bereich wurden die nach Kriterium 1.1 und 1.2 bereinigten Daten verwendet. Damit konnten Fehler eliminiert werden, die durch V-H-, bzw. H-V-Verwechslungen entstanden und die Mittelwerte aus Abb. 3.25 verzerrt hätten. In Kap. 3.1.3 wurden verschiedene Wahrnehmungstypen im lateralen Bereich definiert. Es konnten dort viele Lokalisationskurven gar nicht klassifiziert werden. Aus diesem Grund muß davon ausgegangen werden, daß der Mittelwert im lateralen Bereich nicht geeignet ist, die bevorzugte Hörrichtung anzugeben. Dieser Bereich ist deshalb grau hinterlegt und wird hier ignoriert.

Die Mittelwerte von Parameter 1B bis 28B haben in allen Signal-Raum-Kombinationen einen ähnlichen Anstieg. Es gibt sowohl Abweichungen zwischen den drei verschiedenen Räumen, als auch Abweichungen zwischen den zwei verwendeten Testsignalen pro Raum. Die Kurven von NO_G Mean und NO_S Mean (lila und braun) zeigen im hinteren Bereich eine deutliche Tendenz weit über die 180° Grenze hinaus.

Das Diagramm in Abb. 3.25 macht den Eindruck, daß die bevorzugte Hörrichtung eher von raumakustischen Eigenschaften abhängig ist, als von den Unterschieden zwischen den Stimuli, was z.B. an der Abweichung im hinteren Bereich des Büroraumes zu sehen ist. Es wird angenommen, daß sich die Kurven der Stimuli aufgrund der verschiedenen spektralen und zeitlichen Zusammensetzungen unterscheiden. Reflektierende und absorbierende Raumbegrenzungsflächen könnten als verschiedenes Merkmal zwischen den Räumen beeinflussende

Faktoren für die bevorzugte Hörrichtung sein. Eine detaillierte Gegenüberstellung der Stimuli und Räume folgt in Kap. 3.4 und Kap. 3.5.

3.1.5 Lokalisationsungenauigkeit

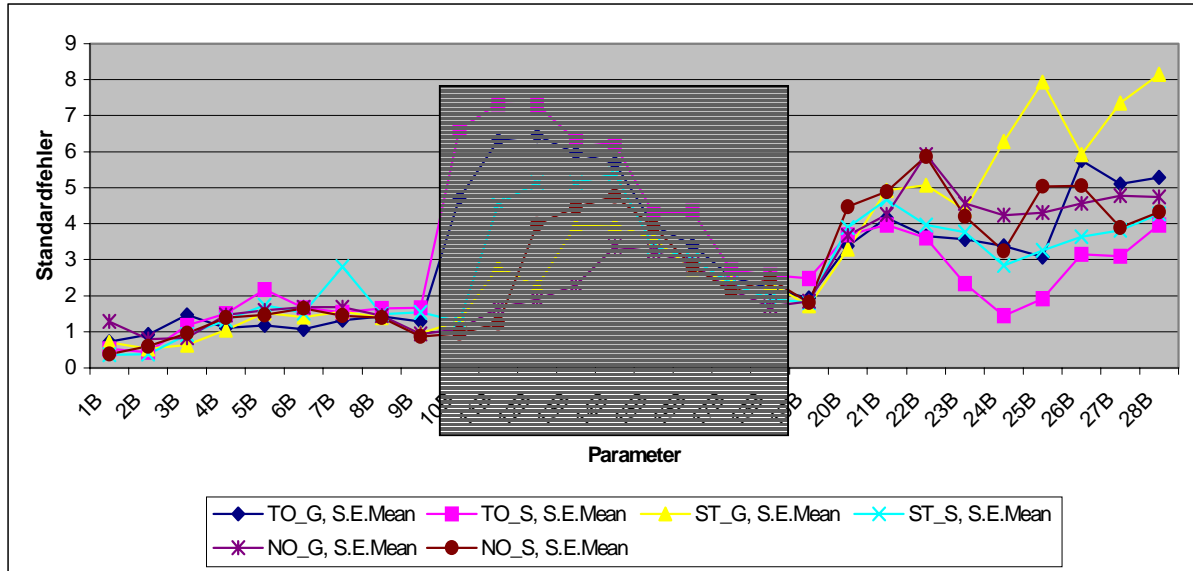


Abb. 3.26. Standardfehler des Mittelwertes von Parameter 1B bis 28B aller sechs Signal-Raum-Kombinationen.

In Abb. 3.26 wird der Standardfehler des Mittelwertes über den Parametern 1B bis 28B in jeder Signal-Raum-Kombination dargestellt. Je höher der Standardfehler, desto unzuverlässiger ist der jeweilige Mittelwert und konkret im Versuch bedeutet dies eine weit gestreute Richtungszuordnung der 30 Probanden bei dem betroffenen Parameter. Diese Erkenntnis ist zunächst aus Abb. 3.25 nicht abzuleiten. Je kleiner dagegen der Standardfehler ist, desto besser konnte der Parameter einer Richtung zugeordnet werden. Auch in Abb. 3.26 ist der laterale Bereich grau hinterlegt und um den Einfluß von V-H-, bzw. H-V-Verwechsler zu verhindern, wurden für den vorderen und hinteren Bereich nach Kriterium 1.1 und 1.2 bereinigte Daten verwendet.

Man erkennt an dem Diagramm Abb. 3.26 daß die Lokalisationsungenauigkeit bei den Real-schallquellen (1B, 9B und 19B) kleiner ist, als bei den Phantomschallquellen dazwischen. Bei Parameter 1B ist sie im Durchschnitt am kleinsten und bei Parameter 19B am größten bei ausschließlichen Vergleich der drei Realschallquellen. Bezüglich der Phantomschallquellen wird der hintere Bereich (Parameter 19B bis 28B) wesentlich ungenauer lokalisiert als der vordere Bereich (Parameter 1B bis 9B). Im rückwärtigen Bereich sticht vor allem die

Wiedergabe des Rauschimpulses im Studio ab Parameter 24B mit einem sehr hohen Standardfehler heraus.

Daß Realschallquellen genauer lokalisiert werden als Phantomschallquellen, wird mit Hilfe der im Anhang dargestellten Boxplotdiagrammen (z.B. A4, A9) deutlich. Die Streuungen sind bei den Phantomschallquellen meistens größer als bei den Realschallquellen, abgesehen von wenigen Ausnahmen. Vorne wurde wesentlich genauer lokalisiert, als im rückwärtigen Bereich. Diese Tendenz stimmt mit den Ergebnissen von Xie Bosun (2001), Theile/Plenge (1976) und Theile/Zieglmeier (1996) überein.

3.2 Sicherheit

Um zu ermitteln, wie sicher die Probanden die wiedergegebenen Schallquellen während des Versuchs wahrgenommen haben, war es nötig die Sicherheit sowohl mit einer Selbsteinschätzung der Vp's, als auch durch eine objektive Methode zu erfassen.

3.2.1 Subjektive Einschätzung mit Smilys

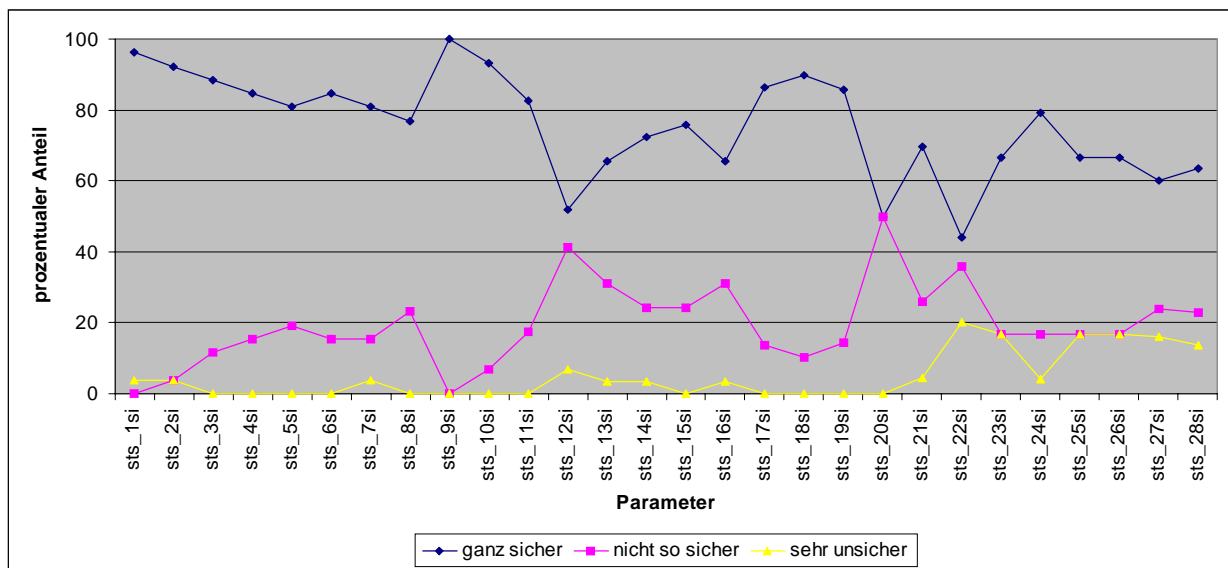


Abb. 3.27. Prozentualer Anteil der Sicherheitseinschätzung mit Smilys im Studio bei Sprachsignalwiedergabe.

Abb. 3.27 zeigt im Studio bei Wiedergabe des Sprachsignals eine graphische Darstellung der subjektiven Selbsteinschätzung (vergl. Kap. 2.1.5.1), welche die VP's während des Versuchsablaufs nach der jeweiligen zweiten Rauschimpuls- oder Sprachsignalfolge ausführen mußten. Wie die Legende des Diagramms zeigt, repräsentiert die blaue Linie die Häufig-

keiten von „ganz sicheren“, die lila farbige Linie von „nicht so sicheren“ und die gelbe Linie von „sehr unsicheren“ Entscheidungen.

Es ist zu sehen, daß die Leute im vorderen Bereich sicherer einschätzten wie im seitlichen Bereich, und die Seite noch etwas sicherer eingeschätzt wurde als der hintere Bereich. Die blaue Linie, welche für eine sehr sichere Entscheidung steht, nimmt tendentiell von vorne nach hinten (von Parameter 1B bis 28B) ab. Die beiden Entscheidungen „nicht so sicher“ und „ganz sicher“ verhalten sich quasi entgegengesetzt, was an dem nahezu spiegelbildlichen Verlauf deren lila und blauen Linien im Diagramm zu sehen ist. Der Verlauf der gelben Linie bestätigt, daß rückwärtig wiedergegebene Phantomschallquellen am unsichersten beurteilt werden, wenn man die drei verschiedenen Bereiche gegenüberstellt. Diesem groben Verlauf der drei Kurven widerspricht auch kein Diagramm der fünf restlichen Signal-Raum-Kombinationen (vergl. A13) und wird deshalb als weitgehend unabhängig von der Variation des Testsignals und des Wiedergaberaumes eingeschätzt.

Realschallquellen (Parameter 1B, 9B und 19B) werden nach Abb. 3.27 etwas sicherer beurteilt, als Phantomschallquellen. Die blaue Linie (ganz sicher) weist hier deutliche Anhebungen auf, meist zusammen mit benachbarten Parametern. Parameter 19B bildet in Abb. 3.27 ein Plateau mit den Parametern 18B und 17B. Zwischen den Realschallquellen als Stützstellen hängt die Linie der ganz sicheren Entscheidungen tendentiell etwas durch. Die beiden Maxima bei Parameter 1B und Parameter 9B sind nahezu gleich groß und deutlich größer als das Maximum bei Parameter 19B.

Dieses Ergebnis kann zum einen auf die Lautsprecheraufstellung zurückgeführt werden. Der Basiswinkel zwischen C und R ist mit 30° der kleinste Winkel der drei Stereopaare, Basiswinkel R - RS mit 80° der zweitgrößte und der Winkel zwischen den Surroundlautsprechern mit 140° der größte Winkel. Nach Theile/Plenge (1976) wären größere Stereobasiswinkel als 60° unzulässig, weil dies eine Anhebung (Elevation) der Phantomschallquelle nach oben, also eine Abweichung von der Horizontalebene zur Folge hätte. Es kann interpretiert werden: je größer der Winkel, desto unsicherer wird eine stereophone Abbildung von den Probanden eingeschätzt.

Xie Bosun (2001) erwähnt die Existenz eines „Wahrnehmungslochs“ in dem Stereobild sowohl bei seitlicher als auch bei rückwärtiger Stereowiedergabe. In Kap. 3.1.3 wäre dieser Wahrnehmungstyp mit Typ 2 für den seitlichen Bereich bezeichnet worden. Eine andere Erkenntnis von ihm ist, daß die Lokalisation von Phantomschallquellen zwischen RS und LS sehr frequenzabhängig ist. Im Anhang (vergl. A13) kann dies anhand der jeweils zwei verschiedenen Testsignale pro Raum nicht nachgewiesen werden. Als weiterer Grund für das

Ergebnis können auch hier Hörgewohnheiten eine nicht unwesentliche Rolle spielen. Trotz der zur Zeit durchaus gängigen Surroundtechnologie sind die Leute wahrscheinlich am meisten vertraut mit einer 2.0-Stereophonie von vorne.

Die subjektiv ermittelte Sicherheit wurde teilweise von den Probanden beeinträchtigt, die aufgrund Trägheit und sonstigen Gründen den Markierungspunkt nach der jeweils zweiten Parameterfolge nicht immer konsequent neu setzten. Daten solcher Probanden wurden jedoch nicht gelöscht, weil sich dadurch der Verlauf der Diagramme in A13 nicht wesentlich ändern würde. Es wird angenommen, daß durch diese Daten nur ein Offset der Linienverläufe in dem Diagramm Abb. 3.27, bzw. in A13 verursacht wird.

3.2.2 Sicherheit durch Vergleich von A - und B - Parameter

Die zweite Art der Sicherheitsbeurteilung ist der Vergleich der identischen A- und B-Parameter. Diese beiden Parameterfolgen unterscheiden sich nur durch den Abspielzeitpunkt innerhalb einer Sequenz gleicher Parameter voneinander, aber sonst weder durch Pegeldifferenzen noch durch andere Größen (vergl. Kap. 2.2.2.1, bzw. Kap. 2.2.2.2). Es wird damit neben der subjektiven Selbsteinschätzung durch die VP zusätzlich eine Möglichkeit geschaffen, die Entscheidungssicherheit unabhängig subjektiver Beurteilungen ermitteln zu können (vergl. Kap. 2.1.5.2).

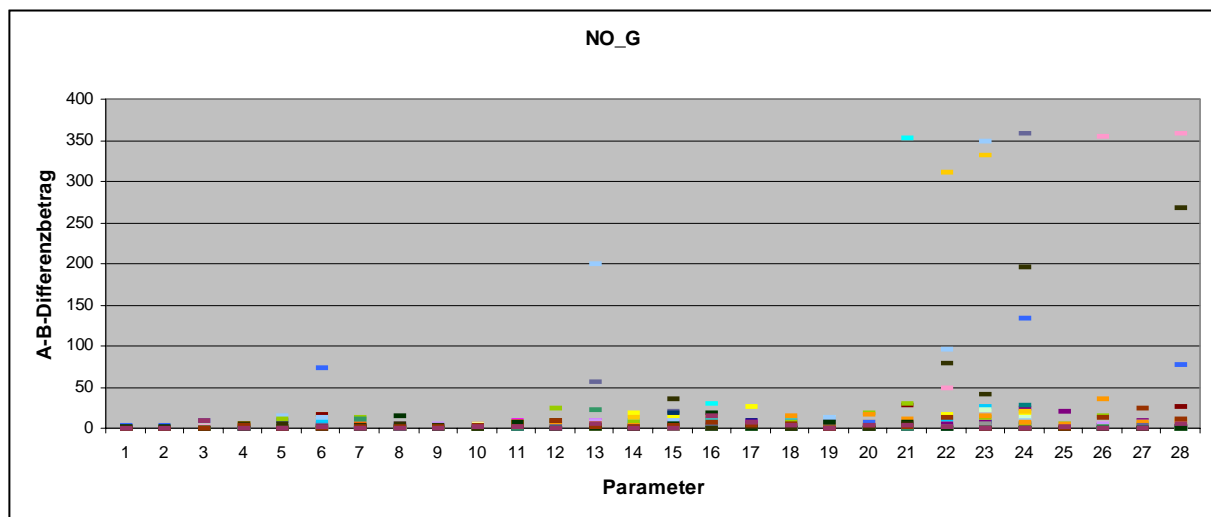


Abb. 3.28. Differenzbeträge der 28 A- und B-Parameterpaare jeder Signal-Raum-Kombination.

In Abb. 3.28 werden die über alle 30 Probanden ermittelten A-B-Differenzbeträge der 28 Parameter im Büroraum bei Wiedergabe des Rauschimpulses graphisch gegenübergestellt.

Aufgrund der Überlagerung einiger Werte sind jedoch nicht alle 30 Einzelwerte pro Parameter im Diagramm zu erkennen. Je größer die Differenzbeträge sind, desto unsicherer haben sich die Probanden bei dem Abspielen des entsprechenden Parameters aus objektiver Sicht gefühlt.

Es ist zu sehen, daß die A-B-Differenzbeträge, für die einzelnen Parameter eine sehr unterschiedliche Streuung aufweisen. Die Beträge im vorderen Bereich (Parameter 1 bis 9) sind allgemein kleiner, als lateral (Parameter 10 bis 18) und rückwärtig (Parameter 19 bis 28) gibt es die größten Streuungen. Bei den Realschallquellen (Parameter 1, 9 und 19) sind diese auch kleiner, als bei den Phantomschallquellen. Theoretisch könnte die max. A-B-Differenz 358° betragen. Abb. 3.28 gilt als exemplarisches Beispiel für alle sechs Signal-Raum-Kombinationen. Diese sind im Anhang unter A15 zu finden.

Nach Abb. 3.28 wurden die Winkelangaben im lateralen und rückwärtigen Bereich objektiv betrachtet unsicherer gewählt, wie im vorderen Bereich. Diese Beobachtung bestätigt wieder den Forschungsbericht von Theile/Plenge (1976), nach deren Aussage ein Stereobasiswinkel, größer als 60° , unzulässig ist. Auch mit Xie Bosun (2001) gibt es eine Übereinstimmung, der bei lateraler und rückwärtiger Wiedergabe ein Loch angibt und den rückwärtigen Winkel mit 140° zu groß für eine Stereowiedergabe hält.

3.3 Parameterwiederholungen

Die Wiederholungen der fünf Parameter 1, 11, 16, 22 und 28 geben Auskunft über die Reliabilität der Ergebnisse (vergl. Kap. 2.1.6). Hiermit wird eine allgemeine Tendenz ermittelt, ob sich die Probanden bei zwei völlig identischen (außer der Sequenznummer, gesprochen von Off-Sprecher) Sequenzen gleicher Parameter ähnlich entscheiden oder ob und wann sie sich anders entscheiden. Aus dem Antwortverhalten kann auf die Zuverlässigkeit der Zuordnung von Parameter und Richtung mit Hilfe der fünf verschiedenen Meßwiederholungen geschlossen werden. Auch hier werden wiederum nur die B-Werte der jeweiligen Parameter verglichen.

In einem ersten Rechenschritt werden Differenzbeträge zwischen den Original - und Wiederholungsparametern jeweils über alle 30 Probanden berechnet. Für jedes Paar der fünf Original- und Wiederholungsparameter und jede Signal-Raum-Kombination wird anschließend der Mittelwert von den 30 erhaltenen Differenzbeträgen gebildet und in Abb. 3.29 dargestellt. Beispiel für einen Wiederholungsparameter: TO_G_1BW. Je höher die Balken, desto größer ist der mittlere Betrag der verrechneten Differenzen der entsprechenden

Parameter und desto kleiner wird die Reliabilität des jeweiligen Originalparameters eingeschätzt. In Abb. 3.29 wurden ausschließlich nach Kriterium 1,1 und 1,2 bereinigte Daten verwendet (vergl. Anhang B2).

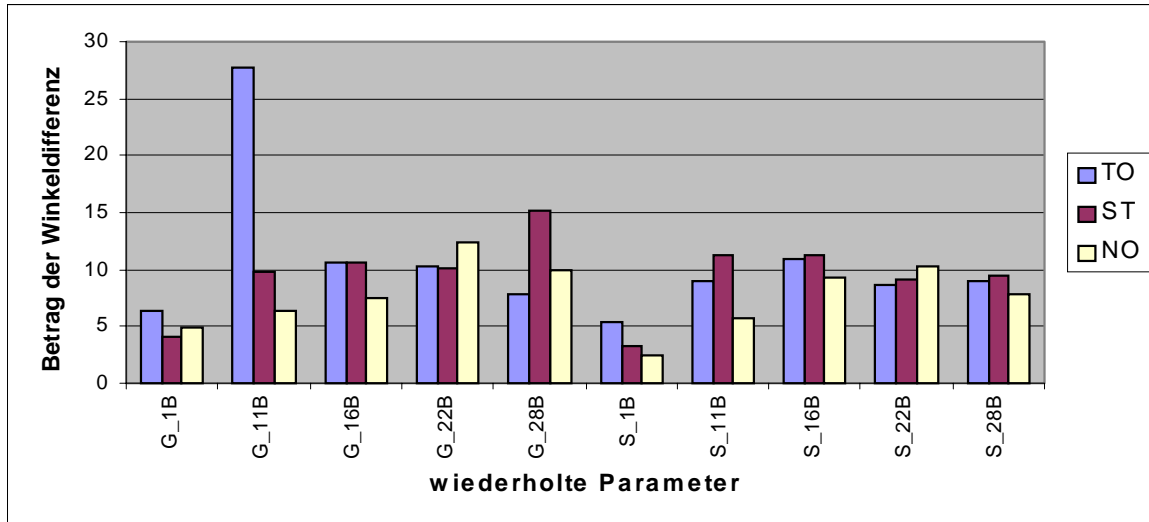


Abb. 3.29. Durchschnittliche Differenzbeträge der fünf Wiederholungsparameter aller Signal-Raum-Kombinationen.

Bei einer ganz globalen Betrachtung dieser Werte sticht der mittlere Differenzbetrag der Parameter TO_G_11B und TO_G_11BW mit ca. 28° deutlich hervor. Dies verwundert nicht, wenn man sich an die V-H-Verwechslung zurückerinnert, die praktisch nur im reflexionsarmen Raum auftritt und wie in B2 auch zu sehen ist, zusätzlich bei den mit der Real-schallquelle R im lateralen Bereich benachbarten Parameter (10B, 11B,...) vorhanden ist, dort jedoch nicht mehr mit dem Kriterium für die V-H-Verwechslung bereinigt wurde. Auch der Differenzbetrag von ST_G_28B und ST_G_28BW tritt mit ca. 15° etwas stärker heraus als die anderen Differenzbeträge.

An Diagramm Abb. 3.29 kann noch beobachtet werden, daß die Werte allgemein bis auf die Werte bei Parameter 1B sowohl bei Sprachsignal- als auch bei Rauschimpulswiedergabe sich ungefähr alle auf dem selben Niveau befinden. Die Besonderheit, daß die Differenzbeträge der Parameter 1B deutlich unter den anderen Werten liegen, könnte damit erklärt werden, daß Parameter 1B die einzige Realschallquelle unter den Wiederholungsparametern ist und Realschallquellen eine höhere Zuverlässigkeit in sich bergen als Phantomschallquellen. Eine weitere Rolle könnte auch die Tatsache spielen, daß die Realschallquelle 1B direkt vor den Probanden (0°) positioniert war.

Beim Betrachten der seitlichen Parameter (11B, 16B) stellt man fest, daß der Betrag der Winkeldifferenz dieser Parameter nicht größer ist, als bei den anderen Parametern, ausgenommen Parameter 1B. Ein und die selbe VP repräsentiert in Kap. 3.1.3 verschiedene Wahrnehmungstypen. Dies würde für die Parameterwiederholung bedeuten, daß große Sprünge infolge der Wiederholung der Phantomschallquellen entstehen könnten und damit größere Winkeldifferenzbeträge für die beiden lateralen Parameter in Abb. 3.29. Die Wiederholung der beiden lateralen Parameter beweist jedoch, daß dieses Phänomen innerhalb eines Durchgangs in einem Raum weniger zu beobachten ist. Das Signal wurde in der Regel quasi mit derselben Zuverlässigkeit wie die hinteren Parameter (22B, 28B), trotz bereinigter Daten geortet.

Um das Ausmaß der Abweichungen von Wiederholungsparameter und Originalparameter genauer einschätzen zu können, werden diese hier noch anhand von Streuungen miteinander verglichen.

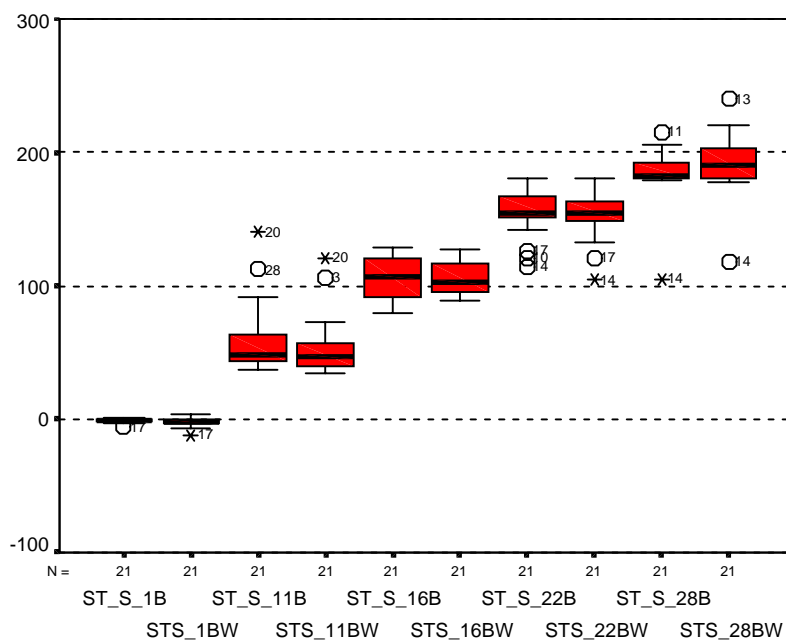


Abb. 3.30. Boxplots, der fünf Original- und Wiederholungsparameter im Studio bei Sprachsignalwiedergabe.

Abb. 3.30 zeigt eine Gegenüberstellung der fünf Wiederholungsparameter im Studio bei Wiedergabe des Sprachsignals. Es ist hier keine Tendenz zu erkennen, daß die Streuung der Wiederholungsparameter geringer ist, als die der Originalparameter. Original- und Wiederholungsparameter stimmen relativ gut überein, sowohl bezüglich der Medianwerte, als auch bezüglich der Streuungen. Auch bei keiner der fünf anderen Signal-Raum-Kombinationen

kann eine solche Feststellung einheitlich gemacht werden. Diese sind im Anhang unter A16 zu finden.

Es kann aus diesen Ergebnissen gefolgert werden, daß bei dem Hörversuch die Wiederholung der fünf Parameter, sowohl vorne, seitlich als auch hinten die Relieabilität der Phantom- und Realschallquellen sicherstellt. Die Probanden nehmen Schallquellen also bei der Wiederholung zu einem späteren Zeitpunkt weitgehend am gleichen Ort wahr, als bei der ersten Wiedergabe. Das gilt sowohl für alle drei in der Untersuchung verwendeten Räume, als auch für beide Stimuli.

3.4 Betrachtung der verschiedenen Wiedergabesignale

Es wurde schon mehrmals gezeigt, daß sich Rauschimpuls und Sprachsignal hinsichtlich der jeweils behandelten statistischen Kennwerte, wenn auch teilweise nur gering unterscheiden. Z. B. sind in den Boxplots in A4 und A9 Abweichungen zwischen den jeweils vergleichbaren Medianwerten zu erkennen. Abb. 3.25 verdeutlicht, daß sich auch die Mittelwerte der nach Kriterium 1.1 und 1.2 bereinigten Daten zwischen beiden Testsignalen unterscheiden. Dieser Sachverhalt wird im folgenden mit Hilfe von Errorplots deutlicher gezeigt.

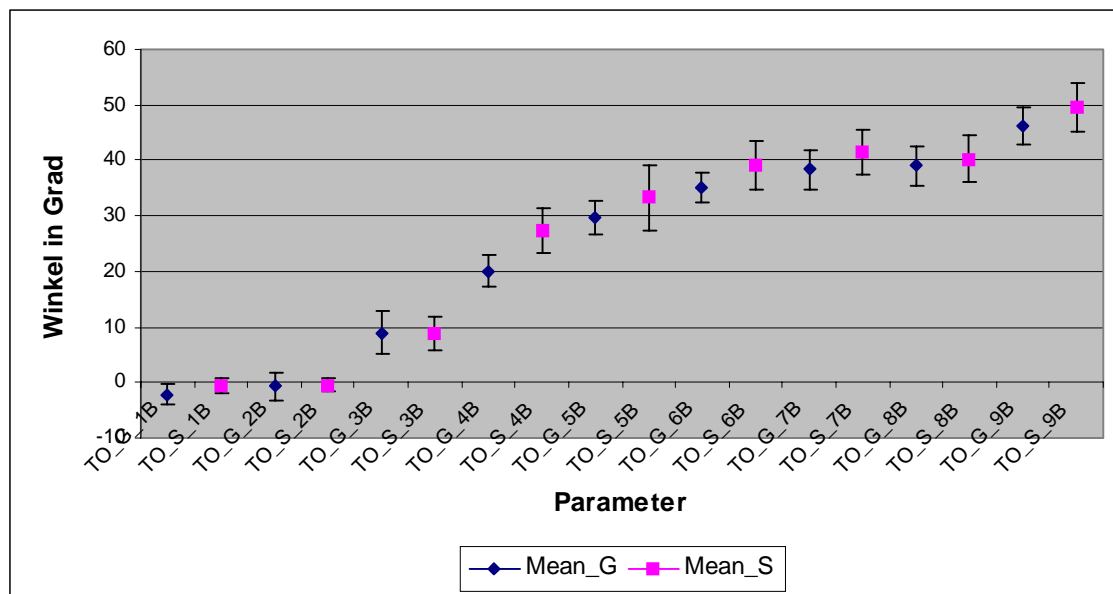


Abb. 3.31. Errorplots, vorderer Bereich im reflexionsarmen Raum bei Wiedergabe der beiden Testsignale.

Abb. 3.31 stellt die beiden Testsignale bei Wiedergabe der Parameter 1B bis 9B im reflexionsarmen Raum gegenüber. Damit kann die Beobachtung aus Kap. 3.1.4 bestätigt

werden, daß Mittelwerte der jeweils vergleichbaren Parameter zwischen den beiden Testsignalen sich, wenn auch manchmal nur schwach unterscheiden. Die maximale Differenz liegt in Abb. 3.31 zwischen TO_G_4B und TO_S_4B bei ca. 7,4°. Bei Wiedergabe der beiden Stimuli im vorderen Bereich des Studios und Büroraumes, wird eine Abweichung dieser Größe ebenso nicht überschritten (vergl. A17).

Im hinteren Wiedergabebereich (Parameter 19B bis 28B) sind in A17 im Vergleich zum vorderen Bereich die Abweichungen der Mittelwerte zwischen Rauschimpuls und Sprachsignal allgemein etwas größer. Die maximale Abweichung ist hier im reflexionsarmen Raum zwischen den Parametern TO_G_20B und TO_S_20B mit ca. 15,7° zu beobachten. Relativ große Abweichungen im Vergleich zum vorderen Bereich sind auch analog in den anderen Diagrammen, welche die Unterschiede zwischen Impuls und Sprache im Büro und im Studio aufzeigen (vergl. A17.5 und A17.6) zu sehen.

Bezüglich der Streuungen der Mittelwerte kann im vorderen Bereich kein auffälliger Unterschied festgestellt werden. Im rückwärtigen Bereich sind die Streuungen im reflexionsarmen Raum und Studio bei Wiedergabe des Rauschimpulses generell etwas größer, als die Streuungen bei Wiedergabe des Sprachsignals. Wenige Parameterpaare¹⁰ in Abb. 3.32 zeigen den entgegengesetzten Fall (z.B. ST_G_20B und ST_S_20B). In Abb. 3.32 wird der Unterschied der Streuungen zwischen Sprachsignal und Rauschimpuls anhand der Gegenüberstellung der beiden Testsignale im Studio von Parameter 19B bis 28B deutlich.

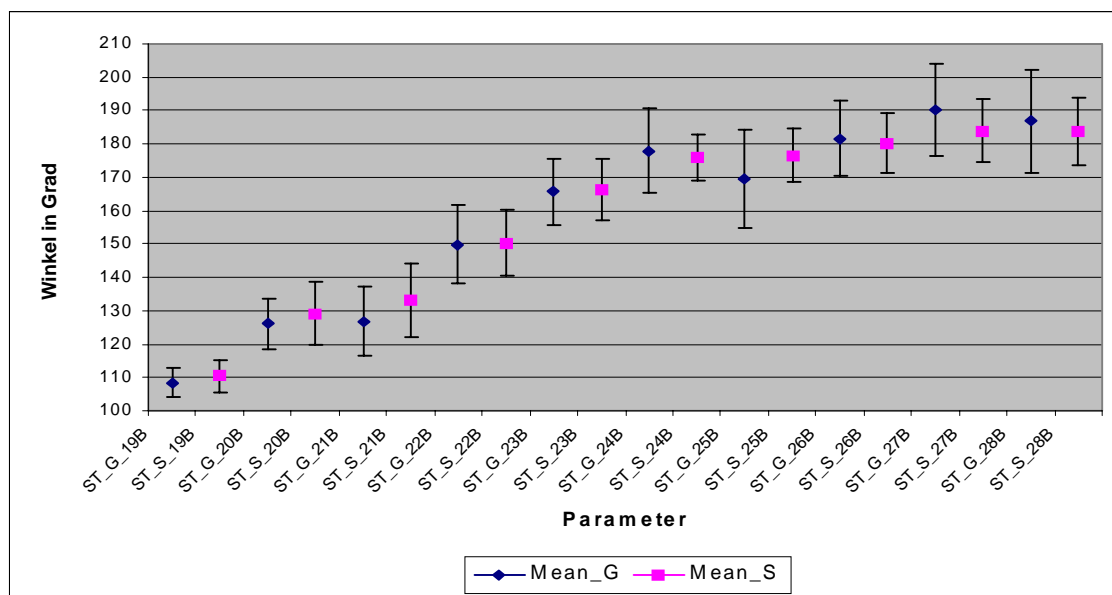


Abb. 3.32. Errorplots der beiden Testsignale im Studio, hinterer Bereich.

¹⁰ Bei dem Vergleich zweier Parameter unterschiedlicher Wiedergabesignale, z.B. TO_G_1B und TO_S_1B wird in Kap. 3.4 immer von einem Paar gesprochen.

In Abb. 3.32 ist keine auffallend abweichende Tendenz des Mittelwertverlaufs zwischen beiden Stimuli von jeweils Parameter 19B bis Parameter 28B zu erkennen. Trotz der teilweise andersartigen Verläufe zwischen den drei Räumen sind auch innerhalb des reflexionsarmen Raumes und des Büroraumes keine markanten Abweichungen der Tendenz des Mittelwertes zwischen Rauschimpuls und Testsatz zu beobachten, weder im vorderen Bereich zwischen Parameter 1B bis 9B, noch im hinteren Wiedergabebereich (vergl. A17).

T-Tests zwischen den Testsignalen

T-Tests werden verwendet, um zwei Stichproben hinsichtlich statistisch signifikanter Unterschiede zu überprüfen, d.h. man erhält eine Aussage darüber, inwieweit sich die Mittelwerte zweier Stichproben vor dem Hintergrund ihrer vorhandenen Streuung zufällig voneinander unterscheiden. Ein zweiseitiger T-Test ist hier notwendig, weil keine gerichtete Hypothese bei der Versuchsplanung aufgestellt wurde.

Weiterhin werden für den T-Test die nach Kriterium 1.1 und 1.2 bereinigten Daten verwendet, weil sich ansonsten die V-H-, bzw. H-V-Verwechsler direkt auf den T-Test auswirken würden. Die beiden Testsignale wurden in jedem Raum wiedergegeben. Deshalb werden jeweils 19 Paare (ohne lateralen Bereich) der in Tab. 3.7 dargestellten drei Signalkombinationen in jedem Raum getrennt verglichen:

Signalkombination 1	TO_G – TO_S
Signalkombination 2	ST_G – ST_S
Signalkombination 3	NO_G – NO_S

Tab. 3.7. Mit dem T-Test verglichene Signalkombinationen.

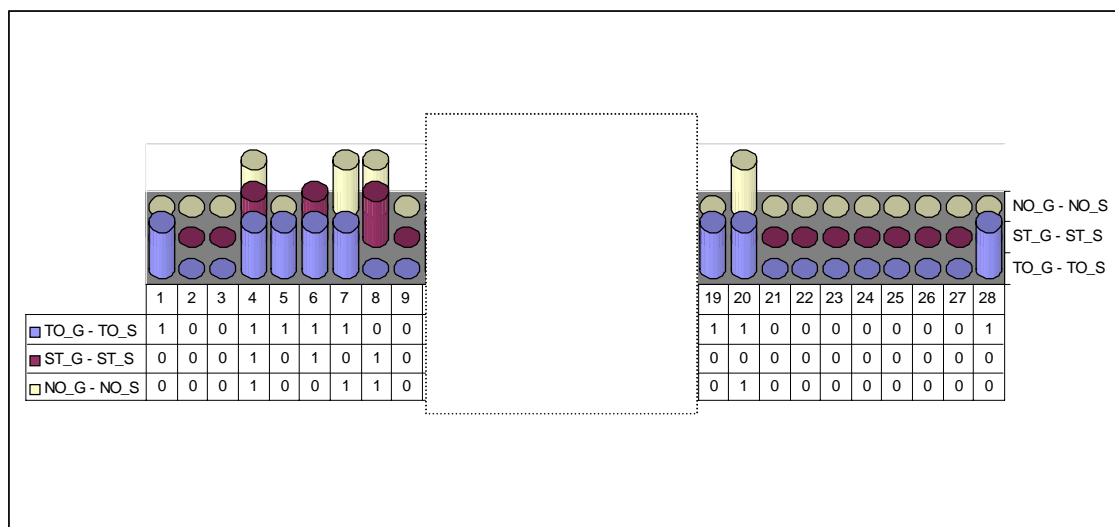


Abb. 3.33. Ergebnisse der verglichenen Testsignale anhand von T-Tests.

Abb. 3.33 zeigt eine Übersichtsdarstellung aller durchgeführten T-Tests zwischen den Testsignalen. Analog zu Kap. 3.1.4 und 3.1.5 wird der seitliche Bereich wegen den verschiedenen, nicht quantitativ behandelten Wahrnehmungstypen (vergl. Kap. 3.1.3) vollständig ausgeschlossen. Es sind für jede Signalkombination aus Tab. 3.7 die 19 erhaltenen Ergebnisse aufgelistet. „1“ bedeutet, daß sich die beiden jeweils verglichenen Mittelwerte statistisch signifikant unterscheiden. „0“ bedeutet, daß sie sich nicht statistisch signifikant unterscheiden (Signifikanzniveau $< 0,05$).

Im vorderen Bereich des Diagramms ist zu erkennen, daß der reflexionsarme Raum mit fünf signifikanten Paaren die meisten gegenüber den anderen beiden Räumen mit jeweils nur drei signifikanten Paaren aufweist. Die Mittelwerte der Rauschimpuls- und Sprachsignalpaare im Büroraum und Studio zeigen etwas kleinere Differenzwerte von Parameter 1B bis 9B, gegenüber den Mittelwerten der entsprechenden Paare im reflexionsarmen Raum im Bezug zu den jeweiligen Streuungen der Paare (vergl. A17). Dies wird die Ursache für die in Abb. 3.33 gemachte Beobachtung für den vorderen Bereich sein, weil aus A17 keine auffällig verschiedenen Streuungen dieser Parameter zwischen den Räumen festgestellt werden kann. Die allgemein geringen Streuungen der Mittelwerte, erzeugt durch die jeweiligen Parameter 1B bis 9B, sind eine weitere Bedingung für die relativ hohe Anzahl signifikanter Paare im vorderen Bereich.

Hinten sind nur drei statistisch signifikante Werte im reflexionsarmen Raum und ein Wert im Büroraum zu zählen. Diese geringe Anzahl signifikanter Werte erscheint seltsam, wenn man sich in Erinnerung ruft, daß die Mittelwertdifferenzen zwischen den Testsignalen im hinteren Bereich allgemein größer sind als die Differenzen der Mittelwerte im vorderen Bereich. So wird dieser Sachverhalt eher auf die deutlich größeren Streuungen der Mittelwerte im hinteren Bereich zurückzuführen sein, was deutlich an den Errorplots in A17 zu sehen ist.

Signalpaar	Anzahl aller statist. signifikanten Werte	Prozent [%]
G - S	15	26 (ca.)

Tab. 3.8. Summe der signifikanten Paare in Abb. 3.33.

Wie in Tab. 3.8 zu sehen ist, zeigten von insgesamt 57 verglichenen Rauschimpuls-Sprachsignal-Paaren 15 Paare einen signifikanten Unterschied (vergl. Abb. 3.33). Das sind ca. 26%.

Beobachtungen und Ergebnisse

Die Mittelwerte der beiden Testsignale unterscheiden sich, der Unterschied ist dennoch geringer, als der Unterschied der vergleichbaren Mittelwerte zwischen den Räumen was z. B. in Abb. 3.25 an dem Verlauf der Lokalisationskurven deutlich zu sehen ist. In Abb. 3.33 kann ein Unterschied sogar mit einigen statistisch signifikant unterschiedlichen Paaren hauptsächlich im vorderen Bereich bestätigt werden. 26% aller betrachteten Paare unterscheiden sich signifikant.

Die Frage, warum sich die Unterschiede der beiden Stimuli überhaupt bemerkbar machen bezüglich der Lokalisation von Phantom- und Realschallquellen, könnte mit den folgenden Überlegungen zusammenhängen.

Sehr offensichtlich ist zunächst der Unterschied der zeitlichen Gestalt beider Signale. Während eine Rauschimpulsfolge aus drei kurzen Impulsen à 50 ms, getrennt durch zwei Pausen mit je 1450 ms Länge besteht, ist der Verlauf des Sprachsignals relativ kontinuierlich bis auf eine Pause zwischen den beiden Sätzen.

Die Rauschimpulsfolge ist aus drei mal exakt dem gleichen Impuls zusammengesetzt also nur einem Element, das sich drei mal wiederholt und ein Spektrum von 20 Hz bis 20 kHz abdeckt. Das Sprachsignal kann dagegen mit vielen verschiedenen Elementen beschrieben werden. Das sind z. B. Vokale, die sich durch einen zeitlich kontinuierlichen Verlauf und durch einen hohen Energieanteil bei tiefen Frequenzen (Formanten) beschreiben lassen. Auch Frikative sind zeitlich kontinuierlich, haben jedoch eine relativ hohe Energiekonzentration bei höheren Frequenzen. Bei Plosiven kann die Charaktereigenschaft eines abrupten Stops und einer kurzen Pause des kontinuierlichen Sprachflusses genannt werden.

Die vielen Elemente der Sprache haben alle einen unterschiedlichen On- und Offset und sind uns darüber hinaus sehr bekannt und vertraut. Die On- und Offsets der drei Rauschimpulse sind dagegen immer gleich und die Elemente nicht bekannt, weil die Impulsfolge synthetisch generiert wurde.

Xie Bosun (2001) berichtet von einer starken Frequenzabhängigkeit des Surroundbereichs (RS – LS). W. M. Wagenaars (1990) erhält in seiner Untersuchung des Richtungshörens mit Realschallquellen als Ergebnis für die Lokalisationsungenaugigkeit bei weißem Rauschen als Testsignal eine maximale Richtungsabweichung von 6,2%. Bei seinen anderen verwendeten Testsignalen erhielt er bis zu 39,4% als maximale Richtungsabweichung für einen Sinuston (2000 Hz) mit abruptem On- und Offset, bis zu 84% für einen Sinuston (500 Hz) mit abruptem On- und Offset und bis zu 92% für einen Sinuston (2000 Hz) mit 1 Sek. On- und Offset. Ein breites Spektrum kann offensichtlich für eine präzise Lokalisation helfen. Es

könnten als Folge der unterschiedlichen spektralen Gestalt von Stimuli u. a. auch verschiedene Ergebnisse beim Richtungshören entstehen. Die spektralen Eigenschaften von Rauschimpuls und Sprachsignal unterscheiden sich teilweise sehr deutlich voneinander.

3.5 Betrachtung der verschiedenen Räume

Auch bei dem Vergleich der drei verschiedenen in dieser Untersuchung verwendeten Räume werden zuerst die jeweiligen zu vergleichenden Größen anhand von Errorplot-Diagrammen gegenübergestellt. Daraus werden eventuelle Unterschiede bezüglich Mittelwerte und Streuungen deutlich.

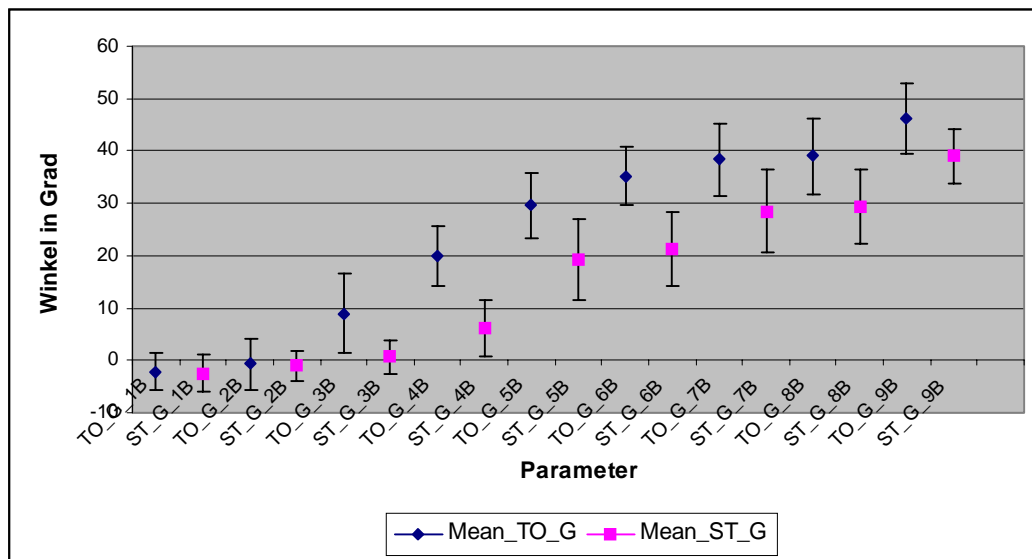


Abb. 3.34. Errorplots, vorderer Bereich bei Rauschimpulswiedergabe, reflexionsarmer Raum und Studio.

Abb. 3.34 zeigt zum Teil deutliche Unterschiede zwischen den jeweils vergleichbaren Mittelwertpaaren¹¹, welche durch die Parameter 1B bis 9B von TO_G und ST_G erzeugt wurden. Man erkennt aber, daß die Abweichungen der Mittelwerte bei Parameter 1B und Parameter 2B nur sehr gering sind. Die maximale Winkeldifferenz der Mittelwerte zwischen TO_G und ST_G beträgt bei Parameter 6B ca. 14°. Im Anhang (vergl. A18) wird deutlich, daß auch teilweise große Mittelwertdifferenzen der jeweiligen Paare bei der Gegenüberstellung des reflexionsamen Raumes und des Büroraumes vorhanden sind. Genauso wird in A18

¹¹ Bei dem Vergleich zweier Parameter unterschiedlicher Räume, z.B. TO_G_1B und ST_G_1B wird in Kap. 3.5 immer von einem Paar gesprochen.

gezeigt, daß sich die jeweiligen Paare bei Vergleich des Studios und des Büroraumes viel geringer unterscheiden. Der größte Unterschied der Mittelwerte innerhalb eines Paares beträgt dort zwischen NO_S_8B und ST_S_8B ca. 5,7°.

Auch im rückwärtigen Bereich sind zum Teil auffällig große Mittelwertdifferenzen innerhalb der einzelnen Paare zu beobachten. Dies scheint besonders zwischen Büroraum und Studio der Fall zu sein. Dort sind bei den Parametern 27B und 28B Winkeldifferenzen teilweise von über 30° zu beobachten.

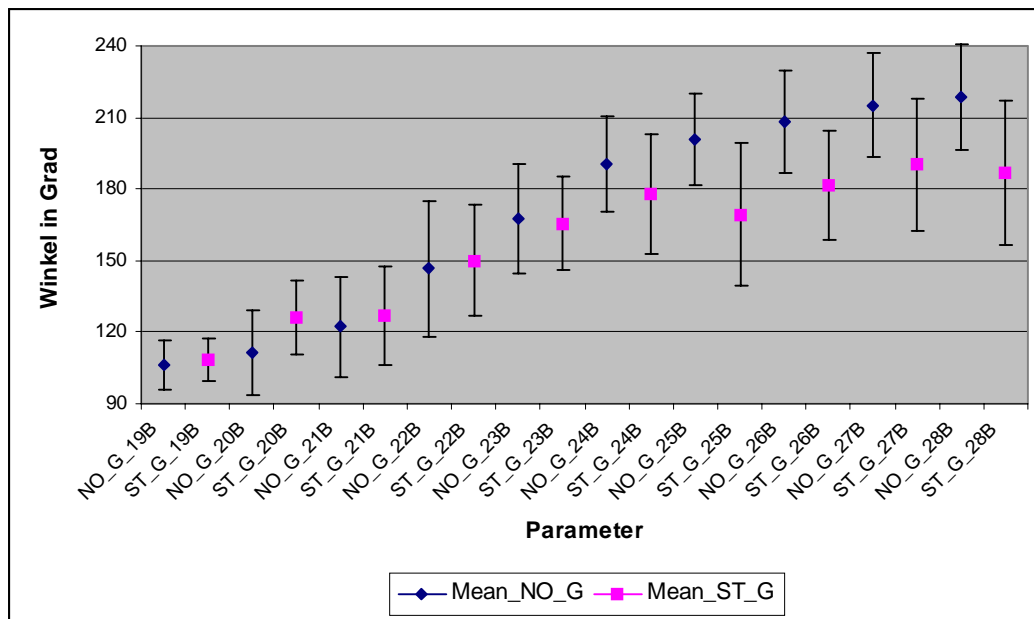


Abb. 3.35. Errorplots zum Vergleich von NO_G und ST_G von Parameter 19B bis 28B.

Beim Vergleich der beiden Räume mit der lebendigen Akustik mit dem reflexionsarmen Raum sind diese Unterschiede geringer. In Abb. 3.35 wird aber zudem ersichtlich, daß diese Differenz der Mittelwerte innerhalb eines Paares in der Nähe der Realschallquelle (Parameter 19B) wesentlich kleiner ausfällt, als bei den Parametern, die weit von der Realschallquelle entfernt sind (25B bis 28B)

Bezüglich der Streuungen der Mittelwerte kann zwischen Studio und Büro kein einheitlicher Unterschied genannt werden. Bei Impulswiedergabe weist das Studio größere Streuungen auf, als das Büro, jedoch ist bei Wiedergabe von Sprache eher der umgekehrte Fall zu beobachten. Es kann von einer sehr leichten Tendenz gesprochen werden, daß die Meßwerte im Studio und im Büroraum etwas mehr streuen, als im reflexionsarmen Raum, sowohl im vorderen als auch im hinteren Bereich (vergl. A18).

Zwischen reflexionsarmen Raum und Studio, bzw. reflexionsarmen Raum und Büro scheint sich eine unterschiedliche Tendenz der Mittelwertverläufe im vorderen Bereich deutlich zu machen. In beiden Fällen kann der Verlauf der Abstände der vergleichbaren Mittelwerte von Parameter 1B bis 9B als von sehr gering größer werdend bis etwa zur Mitte (Parameter 4B, 5B, 6B) und danach wieder kleiner werdend beschrieben werden. Dieses Verhalten ist in Abb. 3.34 und A18 deutlich zu sehen.

Es ist auch im rückwärtigen Bereich eine abweichende Tendenz des Verlaufs der Mittelwerte zwischen Büroraum und Studio bei Rauschimpulswiedergabe zu erkennen. Diese Differenz wird weg von der Realschallquelle, je weiter die Parameter im rückwärtigen Bereich liegen, immer größer. Das selbe ist bei der Wiedergabe des Sprachsignals zu beobachten (vergl. A18). Zwischen reflexionsarmen Raum und Büroraum kreuzen sich die beiden Mittelwertverläufe sowohl bei Sprachsignal- als auch bei Rauschimpulswiedergabe. Wird der reflexionsarme Raum und das Studio kombiniert, ist unter Verwendung beider Stimuli in A18 im Anhang ein nahezu gleichförmiger Verlauf der Mittelwerte im rückwärtigen Bereich zwischen den beiden Räumen zu sehen.

T-Tests zwischen den Räumen

Es werden in diesem Abschnitt die drei für den Hörversuch verwendeten Räume, reflexions- armer Raum, Studio und Büroraum mit Hilfe von T-Tests verglichen. Wie in Kap. 3.4 werden für den T-Test die nach Kriterium 1.1 und 1.2 bereinigten Daten verwendet und der laterale Bereich ausgeschlossen. Da in jedem Raum der Hörtest mit zwei Testsignalen durchgeführt wurde, sind folgende sechs Raumteilkombinationen zu vergleichen:

Raumteilkombination 1	TO_G – ST_G
Raumteilkombination 2	TO_S – ST_S
Raumteilkombination 3	TO_G – NO_G
Raumteilkombination 4	TO_S – NO_S
Raumteilkombination 5	ST_G – NO_G
Raumteilkombination 6	ST_S – NO_S

Tab. 3.9. Mit dem T-Test zu vergleichende Raumteilkombinationen.

In Diagramm Abb. 3.36 sind für jede Raumteilkombination aus Tab. 3.9 die 6 x 19 erhaltenen Paare aufgelistet. „1“ bedeutet, daß sich die beiden jeweils verglichenen Mittelwerte signifikant unterscheiden. „0“ bedeutet, daß sie sich nicht signifikant unterscheiden (Signifikanzniveau $< 0,05$). Es werden auch hier 2-seitige T-Tests verwendet.

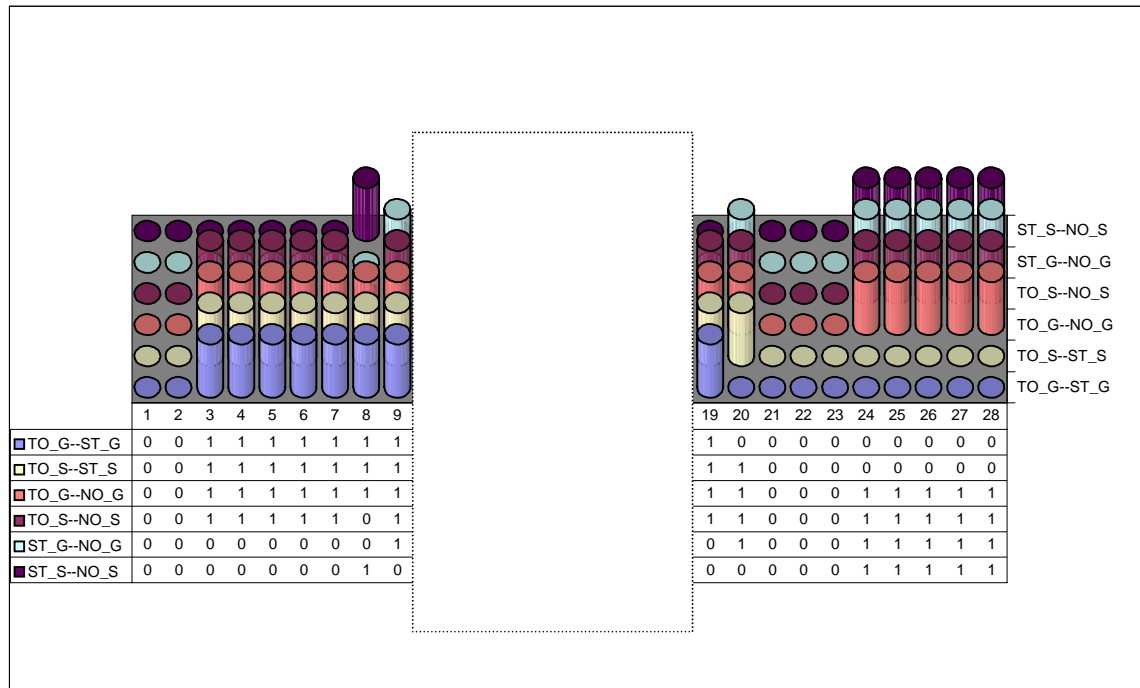


Abb. 3.36. Ergebnisse der verglichenen Räume mit Hilfe von T-Tests.

In dem Diagramm fällt auf, daß bei allen Raumteilkombinationen im vorderen Bereich die Parameter 1B und 2B überhaupt keine signifikanten Unterschiede aufweisen. Anhand der Diagramme in A18 ist zu sehen, daß die Mittelwerte von Parameter 1B und 2B sehr geringe Streuungen aufweisen im Vergleich zu den anderen Parametern im vorderen Bereich (Parameter 3B bis 9B). Weiter ist in A18 zu erkennen, daß sich aber auch die Mittelwerte der vergleichbaren Paare selbst nur gering unterscheiden. Dies könnte der wesentliche Grund für die Auswirkung auf die T-Tests sein. Ansonsten tritt im vorderen Bereich bei allen Raumteilkombinationen eine sehr hohe Anzahl von statistisch signifikanten Werten auf, außer bei den Raumteilkombinationen 5 und 6, welche das Studio und den Büroraum gegenüberstellen.

Dieser Sachverhalt kann mit Hilfe der schon vorher genannten Erläuterungen anhand der Errorplots verständlich werden. Die Mittelwerte unterscheiden sich zwischen dem reflexionsarmen Raum und den beiden Räumen mit der lebendigen Akustik relativ stark, wobei die Streuungen dieser Mittelwerte eher gering sind (vergl. A18). Die Raumteilkombinationen 5 und 6 weichen also offensichtlich mit nur jeweils einem signifikanten Paar deutlich von den anderen vier Raumteilkombinationen aus Tab. 3.9 ab, weil sich dort die Mittelwerte der vergleichbaren Paare in den meisten Fällen stark ähnlich sind.

Im hinteren Bereich weisen die Raumteilkombinationen 3, 4, 5 und 6 von Parameter 24B bis 28B durchweg signifikante Unterschiede auf. Raumteilkombination 1 und 2 hingegen nicht. Bei Parameter 21B, 22B und 23B treten überhaupt keine signifikant unterschiedlichen Paare auf. Es ist zu beobachten, daß im hinteren Bereich die Anzahl der signifikant unterschiedlichen Paare geringer ist, als im vorderen Bereich. Diese Beobachtungen finden sich in den Errorplots wieder. In A18 wird die kleine Anzahl der signifikanten Unterschiede von Raumteilkombination 1 und 2 anhand der geringfügig voneinander abweichenden Mittelwerte deutlich. Die drei sich signifikant unterscheidenden Paare der beiden Raumteilkombinationen, erzeugt durch die Parameter 19B und 20B, können aufgrund der relativ geringen Streuungen der Mittelwerte entstanden sein.

Die Gestalt der Raumteilkombinationen 3 bis 6 sind auch in den Errorplots aus A18 im Anhang nachzuvollziehen. Man erkennt bei allen vier Kombinationen, daß die Mittelwerte der jeweils verglichenen Paare ab Parameter 24B bis Parameter 28B zunehmend mehr voneinander abweichen. Da die Streuungen der Mittelwerte sich nicht von der Tendenz genauso vergrößern, kann die hohe Anzahl der dort auftretenden signifikanten Unterschiede mit diesem Zusammenspiel erläutert werden. Von Parameter 21B bis 23B sind keine signifikanten Unterschiede bei den vier Raumteilkombinationen vorhanden, weil sich an dieser Stelle die Mittelwerte der jeweiligen Paare sehr ähnlich sind und die Streuung nicht kleiner ist, als bei den Mittelwerten der Parameter 24B bis 28B. Bei den Parametern 19B und 20B treten wieder einige sich signifikant unterscheidende Paare auf, denn dort sind die Streuungen der Mittelwerte sehr gering im Vergleich zu den Mittelwertdifferenzen der Paare.

Bei einer globalen Betrachtung des Diagramms in Abb. 3.36, tritt noch die Frage auf, warum sich im hinteren Bereich das Studio signifikanter von dem Büroraum, als vom reflexionsarmen Raum unterscheidet, während im vorderen Bereich eher der umgekehrte Fall gilt. Hiermit kann die Auffälligkeit der Errorplots zwischen Studio und Büro im vorderen Bereich untermauert werden. Es ist in A18 deutlich zu erkennen, daß in dem Diagramm sowohl bei der Rauschimpuls-, als auch bei der Sprachsignalwiedergabe die Mittelwerte der jeweilig vergleichbaren Parameter nur gering voneinander abweichen bei einer relativ großen Streuung. Bei Vergleich von Studio und reflexionsarmer Raum sind die Abstände zwischen den Mittelwerten, wie schon in Abb. 3.34 diskutiert, teilweise ziemlich groß. Genauso wird anhand der T-Tests die Auffälligkeit im hinteren Bereich bestätigt, daß dort zwischen dem reflexionsarmen Raum und dem Studio die Abstände der vergleichbaren Mittelwerte relativ

gering sind und beim Vergleich von Studio und Büroraum ein deutlich größeres Ausmaß annehmen.

Faßt man die statistisch signifikanten Werte der jeweiligen Stimuli jeder Raumkombination (= jeweils zwei Raumteilkombinationen mit Impuls und Sprache) für den vorderen und hinteren Bereich zusammen, so erhält man folgende Ergebnisse:

	Anzahl der statist. Signifikanten Paare	Prozent [%] ca.
TO – ST	17	45
TO – NO	27	71
ST – NO	13	34

Tab. 3.10. Statistisch signifikante Werte der verglichenen Räume.

Tabelle 3.10 besagt, daß sich der Unterschied zwischen dem reflexionsarmen Raum und Büroraum am wenigsten aus Zufälligkeiten ergibt, weil hier mit 27 von 38 Werten die größte Anzahl der sich signifikant unterscheidenden Mittelwertpaaren vorhanden sind. Dagegen ist der Unterschied zwischen Studio und Büroraum am zufälligsten, weil bei diesem Vergleich die wenigsten statistisch signifikant unterschiedlichen Paare auftreten (13 Stück). Dieses Ergebnis kann auch anhand der Errorplots in A18 nachvollzogen werden. Von insgesamt 114 verglichenen Paaren, bzw. durchgeführten T-Tests (38 pro Raumkombination) zeigen 57 Paare einen signifikanten Unterschied. Das sind genau 50%.

Interpretation der Ergebnisse

Die drei verwendeten Räume weichen in verschiedenem Ausmaß voneinander ab. In Abb. 3.36 wird die in Kap. 3.1.4 gemachte Beobachtung noch einmal untermauert, daß sich die Räume voneinander unterscheiden.

Die abweichenden Mittelwerte der jeweils verglichenen Parameter werden in Kap. 3.1.4 an erster Stelle auf die verschiedenen Raumbegrenzungsflächen zurückgeführt. Hat ein Raum eine besonders stark reflektierende Wand, wie z.B. der Büroraum (Studio nicht so stark wegen der versetzt angeordneten Fenster), mit seiner planen Fensterfront auf der linken Seite der Probanden, kann man möglicherweise von einer seitlichen Verschiebung der Phantom-schallquellen in Richtung der Fensterfront (links) ausgehen. Auch Spiegelungen an orthogonalen Wänden könnten eine Rolle spielen. Dies ist in A18 zwischen reflexionsarmen Raum und Büro einmal im vorderen Bereich zu erkennen. Die Mittelwerte im Büroraum verlaufen fast bei jedem Parameter weiter links als bei den vergleichbaren Parametern im reflexionsarmen Raum.

Im hinteren Bereich ist analog zu sehen, daß der Verlauf der Mittelwerte im Büroraum zumindest ab Parameter 24B deutlich weiter nach links tendiert, als der Mittelwertverlauf im reflexionsarmen Raum. Auch das im Studio und Büroraum vorhandene Inventar könnte ein Grund dafür sein, daß sich der reflexionsarme Raum, wie in Tab. 3.10 zu sehen ist, wohl stärker von den beiden anderen Räumen unterscheidet, als das Studio vom Büroraum.

3.6 Abschätzung problematischer Aspekte

Durch die in diesem Kapitel zu besprechenden problematischen Aspekte entstanden bei der Versuchsdurchführung Fehlerquellen, welche zum Teil nachträglich nur noch schwer analysiert werden können. Es muß an dieser Stelle noch erwähnt werden, daß es oftmals nicht möglich sein wird, die im folgenden eingeschätzten Datenverzerrungen quantitativ zu betrachten. Die Fehlerdiskussion soll hauptsächlich dazu dienen eine qualitative Einschätzung der bei dieser Untersuchung begangenen Fehler durchzuführen, um bei eventuell zukünftigen Studien störende Faktoren besser in den Griff zu bekommen.

3.6.1 Methodische Probleme

Aufgrund der Art der Versuchsplanung, entstanden für die Hauptuntersuchung Probleme, welche allerdings nur durch einen unverhältnismäßig hohen Aufwand vor dem Hauptversuch vermeidbar gewesen wären.

3.6.1.1 Carry-Over-Effekte

Durch die Bemühungen zur Vermeidung von Reiheneffekten (vergl. Kap. 2.1.6) besteht durchaus die Gefahr, daß sich zusätzliche Carry-Over-Effekte bilden. Auch die in Kap. 2.1.6 diskutierten Carry-Over-Effekte können, wie dort schon erwähnt wurde nicht vollständig eliminiert werden. Bei der Versuchsauswertung war es jedoch nicht möglich, Ergebnisverfälschungen zu entdecken, welche direkt auf Carry-Over-Effekte zurückzuführen sind. Carry-Over-Effekte können gut mit den Wiederholungsparametern (Parameter 1, 11, 16, 22 und 28) überprüft werden. Leider stehen in der Parameterreihenfolge vor den Original- sowie auch vor den Wiederholungsparametern oftmals Parameter, die sich wiederum ähnlich sind (vergl. Kap. 2.1.6). Also wird diese Analyse hier wenn es nötig erscheint mit Hilfe von benachbarten Parametern durchgeführt.

Nach dem ersten Kriterium in Kap. 2.1.6 sollen sich große und kleine, bzw. mittlere Sprünge unregelmäßig abwechseln. Hier würde der Parameter 22B in Frage kommen, weil sich vor

seinem ersten Erscheinen Parameter 12B vor ihm befindet und vor seiner Wiederholung Parameter 1B wiedergegeben wird. Bei den Mittelwerten von jeweils Original- und Wiederholungsparameter macht sich bis auf eine Ausnahme die Tendenz bemerkbar, daß der Originalparameter generell einen niedrigeren Mittelwert besitzt, als der Wiederholungsparameter. Diese Differenz beträgt im Durchschnitt ca. 8° . Offenbar vermuten die Probanden, daß nachdem sie eine Schallquelle vorne wahrgenommen haben eine Schallquelle von hinten noch weiter im rückwärtigen Bereich, als wenn sie vorher eine Schallquelle im seitlichen Bereich lokalisiert haben.

Ein zweites Beispiel ist der Gegensatz der verschiedenen Richtungen, die vor einem bestimmten Parameter wiedergegeben werden. Diese Voraussetzung bieten die beiden Parameter 13B und 14B. Vor 13B wird Parameter 28b und vor 14B, Parameter 4B wiedergegeben. Bei Betrachten der Mittelwerte fällt jedoch keine Tendenz auf, die für Carry-Over-Effekte sprechen würde, weil die erhaltenen Mittelwerte für Parameter 13B erwartungsgemäß ein bißchen kleiner sind, als die Mittelwerte für Parameter 14B bis auf zwei Ausnahmen in allen Signal-Raum-Kombinationen. Somit kann hier also nicht auf Carry-Over-Effekte geschlossen werden.

Aufgrund der hier erläuterten Beispiele muß davon ausgegangen werden, daß bezüglich der aus dem Hörversuch erhaltenen Daten, Carry-Over-Effekte in bestimmten Fällen eine Rolle spielen. Dies hat sich hier zumindest für das erste Kriterium aus Kap. 2.1.6, der unregelmäßigen Abfolge von großen und kleinen Sprüngen bestätigt. Diese Beobachtung soll für nachfolgende Untersuchungen Anlaß geben, dem Thema Carry-Over-Effekte größere Aufmerksamkeit zu schenken.

3.6.1.2 Lerneffekte

Aufgrund der wiederholten Untersuchung derselben Stichprobe (drei Räume) ist es nötig zwei verschiedene Arten von Lerneffekten zu unterscheiden.

a) Lerneffekte während des selben Termins

Auch Lerneffekte können innerhalb eines Termins in einem Raum gut anhand der fünf wiederholten Parameter überprüft werden. Würde z. B. ein Parameter eine bestimmte Streuung aufweisen, so könnte anhand der Streuung des Wiederholungsparameters auf eventuelle Lerneffekte geschlossen werden. Die Errorplots in Abb. 3.37 stellen als Beispiel im

Bürraum bei Rauschimpulswiedergabe jeweils die fünf Original- und Wiederholungsparameter bei bereinigten Daten nach Kriterium 1.1 und Kriterium 1.2 gegenüber.

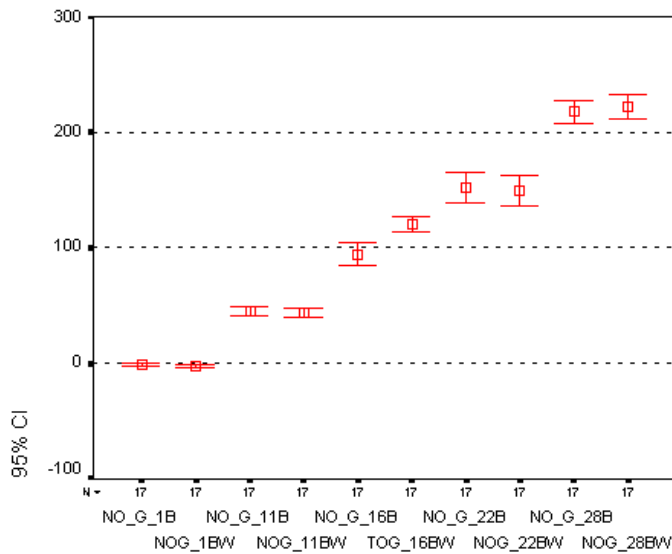


Abb. 3.37. Errorplots der Original- und Wiederholungsparameter im Bürraum bei Rauschimpulswiedergabe.

Aus Abb. 3.37 könnte ein Lerneffekt interpretiert werden, wenn die meisten Standardabweichungen der Originalparameter größer wären, als die Standardabweichungen deren zugehöriger Wiederholungsparameter. Dies trifft zwar für die beiden Parameter NO_G_16B und NO_G16BW zu, jedoch bei den anderen vier Parameterpaaren ist dieser Zusammenhang nicht zu beobachten. Auch bei den fünf übrigen Signal-Raum-Kombinationen im Anhang (vergl. A19) ist dies nicht ersichtlich.

Die Errorplotdiagramme in A19 weisen auf keine Tendenz hin, daß entweder Mittelwerte von Originalparametern stärker streuen, als Mittelwerte von Wiederholungsparametern oder umgekehrt. Das Verhältnis ist relativ ausgeglichen und deshalb kann hier eher nicht von einem Lerneffekt innerhalb eines Untersuchungstermins gesprochen werden. Es wurden hier bereinigte Daten herangezogen, weil eventuelle Ausreißer bei der Darstellung mit Errorplots nicht berücksichtigt würden. Aus diesem Grund sind in dem folgenden Diagramm die V-H-, bzw. H-V-Verwechsler der Parameter 1B, 22B und 28B und deren Wiederholungen extra dargestellt.

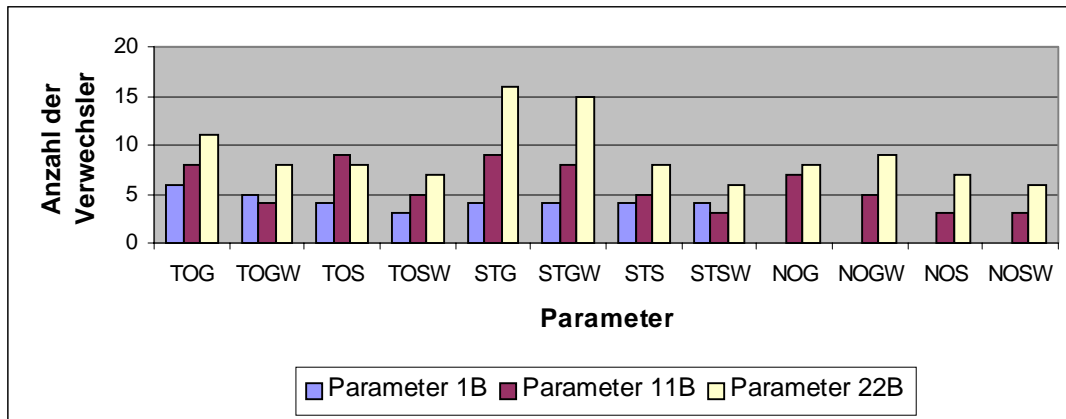


Abb. 3.38. Anzahl der V-H-, bzw. H-V-Verwechsler der Original-, und Wiederholungsparameter 1B, 11B und 22B.

In Abb. 3.38 ist zu sehen, daß bis auf eine Ausnahme bei Parameter 22B im Büro bei Rauschimpulswiedergabe durchweg bei den jeweiligen Wiederholungsparametern aus den vorderen und hinteren Wiedergabebereichen die Anzahl der Verwechsler geringer ist, als bei den entsprechenden Originalparametern. Hin und wieder ist die Anzahl auch gleich. Damit wird ein Hinweis gegeben, daß bezüglich der V-H-, bzw. H-V-Verwechslungen bei der Wiederholung der Parameterfolgen eventuell ein schwacher Lerneffekt vorhanden ist.

b) Lerneffekte bezüglich der drei Termine

Aufgrund der langen Zeitintervalle von zwei bis drei Wochen, die zwischen den drei Versuchsdurchläufen in den verschiedenen Räumen lagen, können Lerneffekte weitgehend ausgeschlossen werden. Leider können Sie praktisch nicht überprüft werden, weil eine unterschiedliche Standardabweichung der Parameter z. B. im letzten Termin (Bürraum) im Vergleich zum ersten Termin (reflexionsarmer Raum) auch wegen der unterschiedlichen Raumakustik auftreten kann (vergl. Kap. 3.5). Es ist praktisch nicht möglich die Variable Raum von der Variable Lerneffekt zu trennen.

c) Zusammenfassung der Lerneffekte

Innerhalb eines Termins können anhand der Wiederholungsparameter mit bereinigten Daten praktisch keine Hinweise für Lerneffekte gefunden werden. Bei ausschließlicher Betrachtung der V-H-Verwechslungen, wird eine Tendenz für Lerneffekte deutlich, weil die Anzahl der Verwechsler bei den meisten Originalparametern höher ist, als bei den Wiederholungsparametern (vergl. Abb. 3.38). Diese Tendenz macht sich jedoch nur schwach bemerkbar. Lerneffekte, die sich eventuell aus Gründen der dreifachen Wiederholung der Stichprobe

ergeben, können aus dem in Punkt b) erwähnten möglichen Einfluß der Variable Raum nicht ermittelt werden.

3.6.2 Problematische Aspekte des Zeigerbretts

Obwohl die Probleme des Zeigerbretts als Meßinstrument schon in Kap. 2.1.4 und in Kap. 2.1.5 geschildert wurden, soll hier noch einmal darauf hingewiesen werden, daß in den drei Winkelbereichen verschieden große Meßungenauigkeiten auftraten, welche aufgrund des Abstandes des Kopfes der VP zum Mittelpunkt des Zeigerbretts verursacht wurden und nur mit großem Aufwand zu verhindern gewesen wären.

Wie in Kap. 2.1.4 auch schon erwähnt wird, tangiert dieser Effekt hauptsächlich den lateralen Bereich. Man kann davon ausgehen, daß bei einem Winkel von 90° , bzw. -90° der maximale Fehler eine Winkelabweichung von ca. 14° verursacht, vorausgesetzt die VP ist ungefähr 0,5 m mit ihrem Kopf vom Mittelpunkt des Bretts entfernt und nimmt die jeweilige Phantomschallquelle im Abstand von 2,2 m wahr, wie auch die Lautsprecher positioniert sind. Da jedoch in Kap. 3.1.3 keine genauere Beschreibung anhand von Mittelwerten und Streuungen vorgenommen wird, sondern ausschließlich eine qualitative Betrachtung von Wahrnehmungstypen, werden die dort gemachten Erkenntnisse praktisch nicht merkbar durch das Ausmaß dieses Fehlers beeinträchtigt.

Je weiter die Schallquelle vorne bzw. auch hinten gehört wird, desto kleiner wird dieser Fehler. Angenommen er beeinflusst eine Phantomschallquelle erzeugt durch Parameter 5B, so beträgt er ungefähr eine Winkelabweichung von $2,5^\circ$. Diese Winkelabweichung ist jedoch vernachlässigbar klein im Vergleich der dort existierenden durchschnittlichen Standardabweichung von ca. 18° . Auch im rückwärtigen Bereich beträgt die Standardabweichung gemittelt über die beiden Parameter 24B und Parameter 25B ca. 83° , der aufgrund des Zeigerbretts zu erwartende Fehler aber nur 6° , erscheint hier also noch trivialer, wie im vorderen Bereich.

Das Meßinstrument war außerdem nur zum Erfassen der horizontalen Ebene ausgerichtet. Zwar hatten die Probanden, wenn sie eine Phantomschallquelle in einer abweichenden Ebene wahrgenommen hatten, die Möglichkeit mit den Smilys zu signalisieren, daß völlige Unsicherheit besteht, die genaue Richtung konnten sie jedoch nicht mit dem Zeiger angeben. Diese Ungenauigkeit wirkte sich vor allem dann aus, wenn sie eine Schallquelle z. B. von oben hörten und den Zeiger daraufhin in eine beliebige Richtung drehten. Aufgrund der in der Literatur angegebenen Elevation (Anhebung) von Phantomschallquellen bei Winkeln größer

als 60°, (vergl. Theile und Plenge, 1976), werden diese Fehler hauptsächlich im rückwärtigen und lateralen Bereich vermutet.

3.6.3 Optische Hinweise und Kopfposition

In den drei Räumen, in welchen der Versuch durchgeführt wurde, kam es zu nicht vorher einkalkulierten, unterschiedlichen Lichtverhältnissen. Es wurde in jedem Raum darauf geachtet ihn möglichst dunkel zu gestalten, damit die VP beim Betreten des Raumes die Lautsprecher so wenig wie möglich erkennen konnte.

Im reflexionsarmen Raum sind die Bedingungen dafür optimal. Es gibt dort keine Fenster und dieser Raum kann deshalb vollständig abgedunkelt werden. Die VP konnte die Lautsprecher auf dem Weg von der Tür bis zum Einnehmen ihres Platzes in der Kabine kaum erkennen. Im Studio gibt es zwar einen Vorhang, dieser verändert dort jedoch die akustischen Eigenschaften und ist nicht ausschließlich zum Abdunkeln des Raumes vorgesehen. Aus diesem Grund wurde der Vorhang nicht zugezogen. Im Büroraum gibt es eine weiße Gardine, offensichtlich vorgesehen, um starke Sonneneinstrahlung zu vermeiden. Die im Studio und Büroraum vorhandenen Jalousien werden zwar automatisch von Lichtsensoren gesteuert, sind jedoch nicht geeignet um völlig abzudunkeln.

Die beschriebenen Verhältnisse führten dazu, daß die Probanden im ersten, also reflexionsarmen Raum die Lautsprecher weitgehend nicht erkannten. Im Studio als zweiten Raum wurde aufgrund des hellen Lichtes dieses Geheimnis für die meisten VP's jedoch gelüftet (vergl. Kap. 2.3.2).

Die hauptsächliche Auswirkung dieser Erkenntnis könnten die in Kap. 3.1.1.2 erwähnten Abweichungen der Realschallquelle R, bzw. deren benachbarten Phantomschallquellen im vorderen Bereich sein, welche vor allem im reflexionsarmen Raum sehr ausgeprägt sind, aber weniger im Studio und Büroraum.

Da der Kopf der VP nicht fixiert wurde, war auch eine falsche Sitzposition des Probanden nicht immer auszuschließen, trotz der visuellen Überwachung durch den VL. Diese Ungenauigkeit wurde in Kauf genommen zur Gewährleistung der externen Validität. Es wurde bei den Versuchsdurchgängen auch praktisch keine falsche Sitz-, bzw. Kopfhaltung prognostiziert, trotz des inmitten des Versuchs abgeschafften Laserpointers.

Durch den beweglichen Kopf könnte es aber zu dem vor allem im lateralen Bereich festgestellten Wahrnehmungsloch kommen, welches anhand des in Kap. 3.1.3 beschriebenen

Wahrnehmungstyp 2 dargestellt werden kann. Wie man in Abb. 3.22 sieht, ist dieser Typ auch relativ häufig vertreten, vor allem im reflexionsarmen Raum. Die Vermutung rührt daher, daß bei Theile und Zieglmeier (1996) die minimalen Kopfbewegungen unterbunden wurden und im lateralen Bereich dort das Wahrnehmungsloch möglicherweise deshalb nicht so stark ausgeprägt ist (vergl. Abb. 3.24).

4 Diskussion

Im folgenden wird erörtert, wie die beiden Punkte von zentraler Bedeutung für die hier durchgeführte Untersuchung im Zusammenhang stehen. Ein Ziel dabei wäre, eine detaillierte Aussage darüber zu bekommen, wie die Positionierung von Schallquellen 360° um den Hörer herum funktioniert. Dies wird in Kapitel 4.1, 4.2 und 4.3 besprochen. Das zweite Ziel ist es in Kapitel 4.4 eine Antwort auf die Frage zu finden, inwieweit die Wahrnehmung des menschlichen Gehörs sich von in der Praxis unvermeidbaren Störbedingungen wie eine Veränderung der Wiedergabesignale oder die Veränderung der Raumakustik beeinflusst wird. Der Diskussionsteil endet schließlich im Rahmen des Ausblicks in Kapitel 4.5 mit einer Abschätzung der Bedeutung dieser Merkmale für das Surroundpanning an Mischpulten und mit Vorschlägen für zukünftige Studien.

4.1 Vorderer Bereich

Im vorderen Bereich gibt es im Vergleich mit dem lateralen und rückwärtigen Bereich allgemein gute Ergebnisse. Diese Erkenntnis ist hauptsächlich an den Streuungen der Mittelwerte bei Schallwiedergabe mit Hilfe der Parameter 1B bis 9B festzumachen. Im vorderen Bereich gibt es die kleinsten Streuungen der drei betrachteten Winkelbereiche. Dieses Ergebnis gilt allerdings nur für die nach Kriterium 1.1 bereinigten Daten und verwundert eigentlich nicht, weil es aus der betrachteten Literatur, z.B. Xie Bosun (2001) und Theile/Zieglmeier (1996) so zu erwarten war.

Bei der Betrachtung von unbereinigten Daten macht sich jedoch vor allem im reflexionsarmen Raum eine Änderung bemerkbar. Es treten nur dort die nach Kriterium 1.1 definierten V-H-Verwechslungen auf. Diese Besonderheit ist in diesem Raum sowohl bei Sprachsignal-, als auch bei Rauschimpulswiedergabe vorhanden und wird in Kap. 3.1.1.1 anhand von akustischen Informationen begründet, die hauptsächlich in akustisch lebendigen Räumen auftreten. Da jedoch im reflexionsarmen Raum eine künstlich herbeigeführte Raumakustik vorhanden ist, wird davon ausgegangen, daß dieses Problem in der Praxis wahrscheinlich selten zu beobachten sein wird.

Eine weitere entscheidende Beobachtung im vorderen Bereich ist in Kap. 3.1.1.2 die starke Abweichung der Richtungseinschätzung für die Realschallquelle R. Die aus den Meßergebnissen erhaltenen Medianwerte betragen im Studio und Büroraum ca. 40° und im

reflexionsarmen Raum ca. 50° . Es ist also schon in den beiden akustisch lebendigen Räumen, Studio und Büroraum eine Abweichung zu sehen, die im reflexionsarmen Raum noch stärker auftritt. Diese Abweichung ist bei der gesamten Betrachtung des vorderen Bereiches sowohl für die Realschallquelle R als auch für alle sich im vorderen Bereich befindenden Parameter gültig.

Für einen möglichen Erklärungsansatz könnte es eine Rolle spielen, daß dem Probanden während des Versuches in schneller und zufälliger Folge Schallquellen aus scheinbar beliebiger Richtung vorgespielt wurden. Anstelle der bei der Stereowiedergabe üblichen Eingrenzung des Wiedergabebereichs durch die Position der Lautsprecher (Lautsprecherebene vor den Hörer, gleichschenkliges Dreieck mit dem Hörer) existierten hier nicht nur keinerlei vergleichbare Orientierungsmöglichkeit, sondern es wurden Schallsignale auch aus den sonst eher untergeordneten Seiten und Hintenbereiche gleichwertig und zudem mit größerer Häufigkeit als von vorne präsentiert. Diese Erweiterung des Hörbereichs könnte zu der allgemeinen Überschätzung geführt haben, weil der Hörer seine Aufmerksamkeit auf diesen Bereich intensivierte.

Die generell festzustellende Abweichung in allen drei Räumen wird als einhergehend mit der bei dem Versuch weitgehend ausgeschlossenen optischen Orientierung betrachtet. Demnach gibt es eine Tendenz nach hinten sowohl für die Real- als auch Phantomschallquellen im vorderen Bereich, wenn die Lautsprecher nicht zu sehen sind, weil viele Schallsignale von hinten angeboten werden und eine Fixierung nach vorne fehlt. Als weiterer möglicher Faktor wurde angedacht, daß das Bestreben der Orientierung nach optischen Fixpunkten, wie z. B. die rechte obere Ecke des Zeigerbretts bei 45° , bzw. die vordere rechte Ecke der Kabine eine Rolle spielt. Dies wird jedoch eher als unwahrscheinlich eingeschätzt, weil diese Verschiebung nicht nur für die vordere, rechte Ecke gilt, sondern durchweg für den vorderen Bereich.

Eine mögliche Ursache für das stärkere Auftreten dieser Abweichung im reflexionsarmen Raum könnte die optische Erahnung der Lautsprecher im Studio und Büroraum aufgrund der dort unvermeidbaren Lichteinstrahlung sein. Auch beim Betreten der Probanden des Versuchslabors waren im Studio und Büro die aufgestellten Lautsprecher deutlich zu erkennen im Gegensatz zum reflexionsamen Raum.

Noch eine interessante und in Kap. 3.1.1.4 diskutierte Beobachtung ist die Besonderheit der Parameter 1B und 2B. Für beide Parameter werden aus den Daten Median- und Mittelwerte erhalten, von jeweils ca. 0° . Die Parameter 1B und 2B unterscheiden sich auch kaum

bezüglich ihrer Streuungen, die sehr gering gegenüber den Streuungen der Parameter 3B bis 9B ist. Obwohl bei Parameter 8B auch Lautsprecher R um 12 dB lauter ist, als Lautsprecher C, reicht die Pegeldifferenz an dieser Stelle für eine deutliche Verschiebung der Phantomschallquelle offensichtlich gut aus. Diese Besonderheit, die sich hier für den Parameter 2B ergibt, besagt, daß die ihm zugeordnete Pegeldifferenz ($\Delta L = 12$ dB) vorne nicht zu einer Summenlokalisation führt. Als weitere Begründung wird die optische Fixierung des schwarzen Visierpunktes für den Laserpointer eingeschätzt.

4.2 Hinterer Bereich

Der Effekt der H-V-Verwechslung erscheint in Kap. 3.1.2.1 wesentlich problematischer, als der V-H-Verwechslungseffekt in Kap. 3.1.1.1. Im hinteren Bereich werden von den wiedergegebenen Werten bis zu 53,3 % nach Kriterium 1.2 vorne wahrgenommen (bei V-H-Verwechslungen max. 20%). Es kann hier nicht die selbe Raumabhängigkeit wie bei den V-H-Verwechslern festgestellt werden. Jedoch gibt es eine Tendenz bezüglich der verschiedenen Testsignale. Bei dem Rauschimpuls sind die H-V-Verwechsler in jedem Raum etwas höher als bei der Wiedergabe des Sprachsignals.

Etwas bessere Ergebnisse bekommt der Tonmeister durch die Wiedergabe von kontinuierlichen und vertrauten Wiedergabesignalen. Trotz allem wird die H-V-Verwechslung hier als ein äußerst schweres Problem bei Verwendung einer 3.2-Aufstellung eingeschätzt.

Nach einer Datenbereinigung mit Kriterium 1.2 entstehen auch hier erstaunlich gute Werte, mit relativ kleinen Streuungen der Mittelwerte. Es ist zu sehen, daß die Phantomschallquellen doch recht gut differenziert wahrgenommen werden können, wenn H-V-Verwechslungen ausgeschlossen werden.

Stellt man die Mittelwerte der H-V-Verwechsler den Mittelwerten aus den bereinigten Daten im rückwärtigen Bereich gegenüber, so weisen beide Mittelwertverläufe ein quasisymmetrisches Verhalten zur Ohrachse auf.

Es sind bei den hinteren Parametern (19B bis 28B) trotz bereinigter Daten nach Kriterium 1.2 noch deutlich größere Streuungen zu erkennen, als bei den Parametern des vorderen Bereiches. Auch der Verlauf der Median- und Mittelwerte ist hinten unregelmäßiger als vorne. Als möglicher Grund wird dafür in Kap. 3.1.2.3 angegeben, daß der Basiswinkel der hinteren Lautsprecher (RS und LS) mit 140° zu groß für eine Stereoabbildung ist. Es wird angenommen, daß als Folge davon einige Probanden nach ihren eigenen Angaben (vergl.

Kap. 2.3.2) die Phantomschallquelle über ihrem Kopf wahrnahmen. Weitere Gründe könnten der visuell nicht zu erfassende rückwärtige Bereich, und der symmetrische Aufbau des menschlichen Kopfes sein.

Des weiteren ist analog zum vorderen Bereich eine starke Abweichung der Lokalisationskurven im Büroraum im Vergleich zu den beiden anderen Räumen erkennbar. Dieses Merkmal wird in Kap. 3.1.2.3 auf die sehr einseitige Anordnung der reflektierenden Flächen zurückgeführt, wodurch sich der Büroraum möglicherweise von den beiden anderen Räumen abgrenzt.

Eine andere Auffälligkeit kann hier bezüglich der in Kap. 3.2 diskutierten Sicherheit genannt werden. Es wird sowohl bei der Behandlung der subjektiven als auch objektiven Sicherheit einheitlich festgestellt, daß die Unsicherheit, mit welcher die Schallquellen von den Probanden lokalisiert wurden, im rückwärtigen Bereich größer ist, als im vorderen und sogar lateralen Bereich. Dies gilt für alle sechs Signal-Raum-Kombinationen. Ein Interpretationsansatz ist hierfür die Größe des Basiswinkels des jeweiligen Stereopaars, mit welchem die Phantomschallquelle erzeugt wird. Mit Basiswinkeln, die größer als 60° sind, können nach der Vermutung von Theile/Plenge (1976) Phantomschallquellen nicht mehr eindeutig wiedergegeben werden. Je größer der Winkel, desto unzuverlässiger wird demnach die Wiedergabe. Eine weitere Begründung könnte sein, daß eine 3.2-Mehrkanalwiedergabe eine relativ ungewohnte Situation für die meisten Probanden darstellt.

4.3 Lateraler Bereich

Bei der Behandlung des lateralen Bereichs in Kap. 3.1.3 stellt sich sehr schnell heraus, daß die Lokalisationsergebnisse dort sehr inkonsistent sind. Die für jede Versuchsperson getrennt ermittelten Kurvenverläufe weisen sehr unterschiedliche Verläufe auf. Faßt man diese Verläufe zusammen, so bilden sich daraus vier Gruppen. Jede Gruppe repräsentiert einen anderen Hörertyp.

Bei den Hörertypen gibt es u. a. eine Gruppe, bei der deutlich eine Summenlokalisierung zu beobachten ist. Die Lokalisationskurven steigen gleichmäßig von Parameter 10B bis 18B an. Eine zweite Gruppe ordnet die lokalisierten Phantomschallquellen generell einer der beiden Realschallquellen R und RS zu. Der Verlauf der Lokalisationskurven weicht bei ansteigenden Parametern zuerst von der Realschallquelle R nicht ab, steigt dann sprunghaft bei der Erhöhung von nur einer Parameterstufe an, auf ungefähr den Wert der Realschallquelle RS und bleibt dort konstant bei weiterer Parametererhöhung.

Die in Kap. 3.1.3 vier verschiedenen definierten Wahrnehmungstypen sind nicht personenabhängig. Derselben VP werden bei mehreren Durchgängen (aufgrund der verschiedenen Testsignale und Räume) verschiedene Wahrnehmungstypen zugeordnet. Es kann in Kap. 3.1.3 keine Begründung dafür gefunden werden. Es wird jedoch vermutet, daß die vier Verläufe in bestimmter Weise von Signal- und raumcharakteristischen Eigenschaften abhängig sind, weil zum einen bei vorexperimentellen Versuchen bei Sprache die Phantomschallquelle zwischen den Lautsprechern R und RS hin- und hergewandert ist und weil in Kap. 3.1.3 verschiedene Hörertypen verstärkt in bestimmten Räumen zu finden sind. Die beiden Typen der gleichmäßigen Anstiege (Typ 1 und Typ 3) werden tatsächlich häufiger den lebendigeren Räumen zugeordnet und der abrupte Verlauf (Typ 2) eher dem reflexionsarmen Raum. Die genaue Abhängigkeit eines Wahrnehmungstyps wird in Kap. 3.1.3 nicht analysiert.

4.4 Variation der Stimuli und Räume

Variation der Wiedergabesignale

In Kap. 3.4 kann zwischen den zwei verschiedenen Teststimuli ein relativ geringer Unterschied bezüglich der Streu- und Mittelwerte festgestellt werden. Ca. 26% der verglichenen Testsignalpaare unterscheiden sich signifikant. Eine weitere Erkenntnis aus dem Vergleich ist, daß der Rauschimpuls generell etwas mehr streut, als das Sprachsignal. Gründe hierfür könnten die Kontinuität, bzw. der Sprachfluß des Wiedergabesatzes hingegen der durch lange Pausen geprägten Rauschimpulsfolge sein. Eine andere Ursache könnte der Unterschied des drei mal wiederholten exakt gleichen Rauschimpulses zu dem Sprachsignal sein, welches aus vielen verschiedenen Elementen besteht. Auch die On- und Offsets sind bei der Sprache sehr verschieden und bei den Impulsen immer gleich, was eine gewisse Bedeutung für eine unterschiedliche Wahrnehmung haben kann.

Variation der Räume

Auch die drei Räume, in welchen der Hörversuch durchgeführt wurde, unterscheiden sich bezüglich des Ergebnisses in Kap. 3.5. Hinsichtlich der T-Tests ist die Anzahl der erhaltenen signifikant unterschiedlichen Paare hier sogar doppelt so hoch, als bei dem Vergleich der in Kap. 3.4 behandelten Wiedergabesignale. Allerdings scheinen hier die Streuungen der Parameter nicht so sehr ins Gewicht zu fallen, wie der Unterschied deren Mittelwerte. Die Abweichung der Mittelwerte zwischen zwei Räumen scheint besonders groß, wenn ein Raum von

den Reflexionsflächen unsymmetrisch ausgestattet ist, d.h. stark verschiedene Reflexionen von den einzelnen Raumrichtungen zu erwarten sind.

4.5 Sicherheit der Richtungszuweisung

Bezüglich der in Kap. 3.2 behandelten Sicherheit kann sowohl für die Ergebnisse der subjektiven Selbsteinschätzung der Probanden, als auch für die A-B-Sicherheit zumindest qualitativ der Schluß gezogen werden, daß sich in beiden Fällen die Resultate ähnlich sind. Im vorderen Bereich wird die Richtung der Phantomschallquellen mit der größten Sicherheit zugeordnet, im seitlichen Bereich unsicherer als im vorderen Bereich und rückwärtig am unsichersten. Des weiteren werden Realschallquellen sicherer beurteilt als Phantomschallquellen.

Man könnte deshalb vermuten, daß die Größe des Basiswinkels eines Lautsprecherstereopaars entscheidend für die Wahrnehmungssicherheit ist. Theile und Plenge (1976) sprechen davon, daß Basiswinkel größer als 60° ungeeignet für eine stereophone Wiedergabe sind. Es wird angenommen daß sich große Basiswinkel je nach Richtungsanordnung des Lautsprecherpaares verschieden auswirken, jedoch die eigene Sicherheitseinschätzung der Probanden generell negativ beeinträchtigt wird, hingegen bei kleinen Basiswinkeln ($\leq 60^\circ$). Diese Vorstellung kombiniert sich vermutlich mit der Tatsache, daß es eine höhere Vertrautheit der Wiedergaberichtung von vorne gegenüber der Seite und hinten gibt.

4.6 Ausblick

Vorschläge für Surroundpanning

In Kap. 1.2 wird eine detaillierte Beschreibung des Surroundpannings anhand der digitalen Mischkonsole Logic2 von AMS-Neve durchgeführt. Aufgrund der Untersuchungsergebnisse aus Kap. 3 werden im folgenden Vorschläge für eine Modifizierung dieser integrierten Applikation gemacht.

Die Erkenntnis aus Kap. 3.1.1.4, daß bei Parameter 2B ($\Delta L=12\text{dB}$) die Pegeldifferenz nicht ausreicht, um eine Abweichung von der 0° -Richtung zu erzeugen, kann hier verarbeitet werden. Ein erster Vorschlag zur Lösung des Problems könnte eine Abänderung der Panoramakurven sein. Die Kurven sollten so verlaufen, daß die Pegeldifferenzen zwischen C und R, bzw. C und L von $\Delta L= \infty \text{ dB}$ (nur Lautsprecher C) direkt auf $\Delta L= 7 \text{ dB}$ ansteigen, um eine

Wahrnehmungsänderung zu erzeugen. Oder es müßte eine Zwischenstufe innerhalb der beiden Differenzen $\Delta L = 7$ dB und $\Delta L = 12$ dB gebildet werden, etwa bei $\Delta L = 9$ dB, bzw. $\Delta L = 10$ dB, damit der große Sprung (hier ca. 10°) unterteilt wird.

Ein Problem bei diesem Versuch und auch allgemein beim Mischen in der Praxis ist die starke Dominanz der Realschallquelle C. Das einfache Abschalten des Centers wäre zwar möglich, jedoch für eine 3.2-Wiedergabe nicht unbedingt erwünscht, denn es würde eine reine Phantomschallquelle entstehen. Ein Kompromiß könnte eine negative Divergenz sein, die bei dem hier behandelten Logic2 nicht zu finden ist, aber z. B. bei Harddisk Recording Systemen wie Pro Tools ab Version 5.1 enthalten ist.

Der Divergenzregler wird üblicherweise eingesetzt, um den Center-Kanal breiter erscheinen zu lassen, indem die Front-Kanäle L und R eingesetzt werden. Dies ist bis zu dem Punkt möglich, an dem alle drei Lautsprecher den selben Pegel abstrahlen. Bei einem System, das mit einer negativen Divergenz ausgestattet ist, kann der Centerlautsprecher relativ zu den Lautsprechern L und R beliebig im Pegel abgesenkt werden. Schon eine leichte Dämpfung des Centerlautsprechers würde vermutlich zu einem gleichmäßigeren Verlauf der Phantomschallquelle von L über C nach R beitragen.

Für die Zukunft sollte kritisch überlegt werden, ob es überhaupt sinnvoll ist, eine 3.2-Aufstellung, wie sie bisher verwendet wird, auch so beizubehalten. Nach den Erkenntnissen dieser Untersuchung wäre es u. a. nicht unangebracht, die Lautsprecheraufstellung zu modifizieren. Sehr interessant wäre eine weitere Untersuchung der schon bei Theile und Plenge (1976) verwendeten Aufstellung von sechs Lautsprechern mit einem Winkel von jeweils 60° dazwischen (z.B. $\pm 30^\circ$, $\pm 90^\circ$ und $\pm 150^\circ$ angeordnet). Damit könnte die Seite stabilisiert werden, der hintere Bereich eingeengt, und im vorderen Bereich eine Stereostandaraufstellung realisiert werden. Das Mehrkanalübertragungsverfahren SDDS von Sony bietet schon heute sieben vollwertige Übertragungskanäle. Damit ließe sich eine solche Aufstellung nicht nur praktisch realisieren, es steht sogar noch ein zusätzlicher Kanal für einen Centerlautsprecher zur Verfügung. Obwohl es bereits angedacht war, diese Verfahren auch für DVD zu nutzen, gibt es bis heute noch keine Decoder für DVD's, die mit SDDS ausgestattet sind.

Weitere Untersuchungen

Da sich in der hier durchgeführten Studie vor allem H-V-Verwechsler praktisch unter allen Bedingungen (alle Wiedergabesignale und Räume) als akutes Problem entpuppten, könnte für eventuell zukünftige Studien eine Untersuchung zur Verhinderung von H-V-Verwechslungen in Frage kommen. Auch Laufzeitdifferenzen als Parameter für eine Stereoabbildung wäre ein

interessanter Ansatzpunkt. Nach Dickreiter (1997, Band 1, S. 128) funktioniert eine Laufzeitstereophonie in manchen Fällen besser als die klassischen Pegelstereophonie. Interessant wäre hier auch die Kombination der beiden Parameter Laufzeit und Pegel. Weiter könnte eine systematische Variation des Basiswinkels im Surroundbereich genauere Informationen über Merkmale des Stereobasiswinkels liefern. Ziel wäre hier z. B. die Verhinderung der Elevation von Phantomschallquellen.

Eine weitere neue Erkenntnis dieser Untersuchung sind die verschiedenen Wahrnehmungstypen im lateralen Bereich. In Kap. 3.1.3 wird aufgrund der sich dort sehr stark unterscheidenden Lokalisationskurven und damit auch Wahrnehmungscharakteren eine Aufteilung in qualitative Hörertypen vorgenommen. In einer weiteren Studie könnte versucht werden, diese Hörertypen zu quantifizieren und es könnten vielleicht sogar Ursachen gefunden werden, wie es zum Entstehen dieser Hörertypen kommt, bzw. in welchen Fällen der Proband zwei Schallquellen wahrnimmt oder nur eine (wie erwünscht), um daraufhin weitere entsprechende Maßnahmen einzuleiten. Eine Laufzeitstereophonie könnte auch hier zur Stabilisierung der Abbildungsrichtung von Phantomschallquellen führen und zur Vereinheitlichung der Hörertypen.

5 Literaturverzeichnis

- BIRAN, A.; BREINER, M.; MATLAB 5 für Ingenieure. Addison-Wesley Verlag München (1999).
- BLAUERT, J.; Räumliches Hören. Hirzel Verlag Stuttgart (1974).
- BLAUERT, J.; Spatial Hearing. MIT Press Cambridge (1997).
- BORTZ, J.; DÖRING, N.; Forschungsmethoden und Evaluation. Springer Verlag Berlin (1995).
- BORTZ, J.; Statistik für Sozialwissenschaftler. Springer Verlag Berlin (1993).
- BOSUN, X.; Signal Mixing for a 5.1-Channel Surround Sound System – Analysis and Experiment. J.A.E.S. Volume 49, No.4 (2001).
- BÜHL, A.; ZÖFEL, P.; SPSS Version 9. Addison-Wesley Verlag München (2000).
- DICKREITER M.; Handbuch der Tonstudioteknik Band 1. Saur Verlag München (1997).
- DICKREITER M.; Handbuch der Tonstudioteknik Band 2. Saur Verlag München (1997).
- FELDKELLER, R.; ZWICKER, E.; Das Ohr als Nachrichtenempfänger. S. Hirzel Verlag Stuttgart (1956).
- FELLBAUM, K.; Sprachverarbeitung und Sprachübertragung. Springer Verlag Berlin (1984).
- KLAUS, H.; FELLBAUM, K.; SOTSCHKE, J.; Auditive Bestimmung und Vergleich der Sprachqualität von Sprachsynthesystemen für die deutsche Sprache. In: Acta Acustica, Vol. 83, S. Hirzel Verlag (1997), S. 124.
- FELS, P.; Mehrkanaltonwiedergabe unter Heimbedingungen. In: Bericht zur 20. Tonmeistertagung, Karlsruhe 1998. Hrsg.: Bildungswerk des Verbandes Deutscher Tonmeister, Verlag K.G.Saur, München 1999. S. 543.
- GUSKI, R.; Wahrnehmen – ein Lehrbuch. W. Kohlhammer Verlag Stuttgart (1996).
- HANDEL, S.; Listening. MIT Press Cambridge (1989).
- HECKL, M.; MÜLLER, H.A.; Taschenbuch der Technischen Akustik. Springer Verlag Berlin (1994).
- KEPPEL, G.; SAUFLEY, W.; TOKUNAGGA, H.; Introduction into Design and Analysis. Freeman Verlag New York (1993).

- MACKENSEN, P.; Gedanken zur Gesamtheit der Lokalisationsmerkmale. In: Bericht zur 21. Tonmeistertagung, Hannover (2000). Hrsg.: Verbandes Deutscher Tonmeister, Verlag K.G.Saur, München (2000), S. 239.
- MACKENSEN, P.; REICHENAUER, K.; THEILE, G.; Einfluß der spontanen Kopfdrehungen auf die Lokalisation beim binauralen Hören. In: Bericht zur 20. Tonmeistertagung, Karlsruhe (1998). Hrsg.: Bildungswerk des Verbandes Deutscher Tonmeister, Verlag K.G.Saur, München 1999, S. 218.
- MOORE, C. J.; ,An entrodution to the psychology of hearing. Academic Press San Diego (1997).
- MOORE, C. J.; Hearing. Academic Press San Diego (1995).
- SARRIS, V.; Methodische Grundlagen der Experimentalpsychologie. Reinhardt Verlag München.
- SCHICK, A.; Schallwirkung aus psychologischer Sicht. Klett-Cotta Verlag Stuttgart (1979).
- SOREN, NIELSEN, H.; Auditory Distance Perception in Different Rooms. J.A.E.S. Volume 41, No.10 (1993), S. 755.
- SOTSCHECK, J.; Methoden zur Messung der Sprachgüte I: Verfahren zur Bestimmung der Satz und Wortverständlichkeit. In: Der Fernmeldeingenieur, Heft 10, S. 1-31, Bad Windsheim (1976).
- STEFFEN, F.; Richtungsbezogene mehrkanalige Übertragung von Schallquellen mit Stützung durch getrennt aufgenommene Rauminformationen. In: Bericht zur 19. Tonmeistertagung, Karlsruhe (1996). Hrsg.: Bildungswerk des Verbandes Deutscher Tonmeister, Verlag K. G. Saur, München (1996), S. 531.
- STEINKE, G.; Wieviel Kanäle/Signale braucht der Mensch? Plädoyer für die Standard-3/2-Stereo-Hierarchie und ihre Optimierung im Heim. In: Bericht zur 21. Tonmeistertagung, Hannover 2000. Hrsg.: Verbandes Deutscher Tonmeister, Verlag K.G.Saur, München (2000), S. 283.
- THEILE G.; Über die Lokalisation im überlagerten Schallfeld. Dissertation, Berlin (1980).
- THEILE, G.; Möglichkeit und Grenzen der 3/2-Stereo-Aufnahmen. In: Bericht zur 19. Tonmeistertagung, Karlsruhe 1996. Hrsg.: Bildungswerk des Verbandes Deutscher Tonmeister, Verlag K.G.Saur, München (1996). S. 139.
- THEILE, G.; Multichannel natural music recording based on psychoacoustic principles. IRT (2001).

- THEILE, G.; PLENKE G.; Localisation of Lateral Phantom Sources. In: J.A.E.S. Volume 25, No. 4 (1976), S.196.
- VDT, IRT, SRT; SURROUND SOUND FORUM Empfehlungen für die Praxis. SSF01-10/98.
<http://www.tonmeister.de>
- VDT, IRT, SRT; SURROUND SOUND FORUM Empfehlungen für die Praxis. SSF02-10/98.
<http://www.tonmeister.de>
- WAGENAARS, W.M.; Localisation of Sound in a Room with Reflecting Walls. In: J.A.E.S. Volume 38, No.3 (1990).
- WEBERS J.; Das Handbuch der Tonstudiotchnik. Franzis Verlag Poing (1999).
- WERNITZ, B.; Akustische Vermessung der neuen Studioräume des Fachgebiets Kommunikationswissenschaft. Diplomarbeit, Berlin (1997).
- ZANGENFEIND R.; Surround Sound Das optimale Klangerlebnis zu Hause. Compact Verlag München (1997).
- ZIEGLMEIER, W; THEILE, W.; Darstellung seitlicher Schallquellen bei Anwendung des 3/2-Stereo-Formats. In: Bericht zur 19. Tonmeistertagung, Karlsruhe (1996). Hrsg.: Bildungswerk des Verbandes Deutscher Tonmeister, Verlag K.G.Saur, München (1996). S. 159-169.
- ZWICKER, E.; FASTL, H.; Psychoacoustics: Facts and Models. Springer Verlag Berlin (1999).