



Möchten Sie Ihre binaurale Fusion testen?

Curt Menke

Wußten Sie schon, daß jeder Mensch in seiner zentralen Hörverarbeitung auch eine Art von „Phase-Locked-Loop-Schaltung“ besitzt? Und daß diese Schaltung dringend erforderlich ist, um die von unseren beiden Ohren gelieferten unterschiedlichen Schalleindrücke zu einem ganzheitlichen Höreindruck zu verschmelzen? Diesen Vorgang bezeichnen die Wissenschaftler als „binaurale Fusion“. Deren Funktion ist vergleichbar mit der binokularen Fusion, über die wir im „ELVjournal“ 1/95 berichteten und mit deren Hilfe die beiden unterschiedlichen, von den Augen gelieferten Abbildungen im Gehirn zu einem ganzheitlichen Seheindruck verschmolzen werden. In diesem Beitrag sollen Sie erfahren, wie Sie Ihre binaurale Fusion testen und vielleicht sogar durch ein einfaches Training verbessern können, um so wahrscheinlich auch Ihren Umgang mit Sprache und Ihre Musikalität zu verbessern.

Allgemeines

Seit rund zwei Jahrzehnten befassen sich einige wenige internationale Wissenschaftler mit dem Phänomen, daß jedes unserer Ohren eine etwas vom gegenüberliegenden Ohr abweichende Tonhöhenempfindung aufweist. Zu ihnen gehören der niederländische Wissenschaftler Professor G. van den Brink¹ von der Universität Rotterdam und der Amerikaner Edward M. Burns²

von der Purdue University im Staate Indiana. Sie vermuten, daß die Ursache für diese unterschiedliche Tonhöhenempfindung schlicht anatomisch begründet ist, daß also die örtliche Anordnung der Haarzellen in unserem Hörorgan, der Cochlea oder Schnecke, nicht haarscharf in den beiden Ohren übereinstimmt.

Weshalb wir nicht „doppelt hören“

Also müßten wir ständig reine Töne und

auch Sprache gewissermaßen „doppelt hören“. Da das nicht der Fall ist, hat sich die Natur offenbar eine interne Korrekturmaßnahme ausgedacht, die diesen Effekt verhindert.

Von den etwa 40.000 Nervenfasern (!), die von jedem unserer Ohren zum Gehirn führen, verlaufen 80 % in die gegenüberliegende Gehirnhälfte und 20 % in die dem jeweiligen Ohr naheliegende Hälfte unseres Gehirns. Ein wesentliches Indiz, daß entsprechende Korrekturmaßnahmen er-

folgen, besteht darin, daß nur etwa 1/3 der Nervenfasern, die zwischen Ohren und Gehirn verlaufen, als echte Meldeleitungen geschaltet sind, während die beiden restlichen Drittel als Rückmelde- und Korrekturleitungen vom Gehirn zurück zur Cochlea dienen, mit denen das Gehirn die erhaltenen Informationen verfeinert und präzisiert.

Wie dieser Rückmelde- und Korrekturvorgang im einzelnen funktioniert, darüber wird weitgehend gerätselt. Für uns Techniker sei die Parallele zur Phase-Locked-Loop-Schaltung erlaubt, die wir uns vielleicht so vorstellen dürfen:

Da meldet beispielsweise das linke Ohr bei einem reinen Sinuston eine Frequenz von, sagen wir, 1000 Hz. Gleichzeitig meldet das rechte Ohr 1012 Hz. Solche Abwei-

chungen sind nicht ungewöhnlich, wie Sie gleich erfahren werden. Bevor nun überhaupt ein Doppelhören dieser beiden unterschiedlichen Frequenzen zustande kommt und wahrgenommen wird, dürfte der Phasenunterschied zwischen den beiden Frequenzen über die Rückmeldeleitungen dazu benutzt werden, die betroffenen Haarzellen bzw. Haarzellengruppen in einem oder gar in beiden Ohren „nachzustimmen“.

Wie das genau funktioniert - das wäre noch mehr Spekulation. Vielleicht wird tatsächlich die Eigenresonanz der in Frage kommenden Haarzellen in uns noch unbekannter Weise so verändert, bis sie im Gleichklang sind, also tatsächlich dieselbe Frequenz melden.

Merkt man denn überhaupt eine Doppelhörigkeit?

Nun gibt es aber tatsächlich eine unbekannte Zahl von Menschen, bei denen dieser Vorgang, den wir locker als Phase-Locked-Loop bezeichnet haben, nicht funktioniert. Die Wissenschaftler und Ärzte sprechen dann von „binauraler Diplacusis“ (ausgesprochen: bin-aurale Dipl-acu-sis), also von beidohriger Doppelhörigkeit. Unbekannt ist die Zahl dieser Menschen deshalb, weil sie nur dann auffällig werden, wenn diese Doppelhörigkeit erst während ihres Lebens, zumeist im Alter, auftritt. Denn nur dann bemerken sie ja einen Unterschied gegenüber früher.

Wer bereits mit einer nicht funktionierenden Phase-Locked-Loop-Schaltung in seinem Gehirn zur Welt kommt, kennt die Welt des Hörens ja überhaupt nicht anders, denn woher sollte er wissen, wie man „eigentlich“ hört, wie also die anderen

hören - ihm fehlt ja jedes Vergleichsnormale.

Es darf angenommen werden, daß Menschen mit einer derartigen unbemerkten „binauralen Diplacusis“ sich Zeit ihres Lebens mehr oder weniger stark mit Problemen des Verstehens von Sprache und des Genießens von Musik herumplagen müssen, ohne sich je der eigentlichen Ursache bewußt zu werden.

Da die Zahl der Betroffenen unbekannt ist und sie deshalb auch keine Lobby haben, die ihre Interessen wahrnimmt, wird in keiner Reihenuntersuchung auf dieser Welt, also etwa bei den zahlreichen Vorsorgeuntersuchungen im Vorschulalter, bei

Effektiver Test der binauralen Fusion mit einer speziellen Hardware und Software

der Schuleingangsuntersuchung oder bei der Musterung geprüft, ob eine binaurale Diplacusis vorliegt.

Tatsächlich gibt es weltweit vermutlich weniger als ein Dutzend apparative Einrichtungen, mit denen sich die binaurale Fusion zuverlässig feststellen läßt. Und das hat uns von ELV herausgefordert:

Möchten Sie nun Ihre binaurale Fusion messen?

Eine zuverlässige, nicht ganz leicht zu programmierende, dafür aber recht einfach durchzuführende Methode zum Messen der binauralen Fusion bedient sich genau der oben ausführlich erläuterten Tatsache, daß jedes unserer beiden Ohren eine etwas unterschiedliche Tonhöhenempfindung hat. Das wird uns ja, wie Sie oben erfahren haben, normalerweise gar nicht bewußt, weil wir ja fast ausnahmslos mit beiden Ohren gleichzeitig hören.

Sofern unsere binaurale Fusion einwandfrei arbeitet, werden eben diese unterschiedlichen Tonhöhenindrücke der beiden Ohren zu einem „Kompromißton“ verschmolzen, also mittels der oben bereits erwähnten Phase-Locked-Loop-Schaltung einander angeglichen.

Überlisten können Sie diese Funktion dadurch, daß Sie mittels eines neuartigen, exklusiven ELV-Programms oder auch mittels eines handgehaltenen, batteriebetriebenen Gerätes Ihren beiden Ohren abwechselnd zwei Töne zuführen, von denen der eine feststeht, während sich der andere stufenlos um ca. $\pm 5\%$ um diesen Festwert verändern läßt, und zwar so lange, bis Sie glauben, daß beide Töne gleich hoch sind.

Auf dem Bildschirm oder dem Display des handgehaltenen Gerätes können Sie

dann ablesen, um wieviel Promille die beiden Töne auseinanderliegen.

Im nächsten Durchlauf können sie dann beide Töne gleichzeitig erklingen lassen, um festzustellen, ob Ihr „Fangbereich“ der binauralen Fusion, also der bewußten Phase-Locked-Loop-Schaltung, diese Unterschiedlichkeit Ihrer beiden Ohren auszugleichen imstande ist. Im einzelnen funktioniert das so:

Zuerst das Programm zum Testen der binauralen Fusion

Voraussetzung für die Softwarelösung ist natürlich das Vorhandensein eines

IBM-kompatiblen PCs mit geeigneter Soundkarte. Geeignet sind hierzu alle Soundblaster-kompatible Stereo-Soundkarten.

Sollten Sie noch keine Soundkarte besitzen, so können Sie auch die ELV-Soundkarte mit der Best.Nr.: 10-149-06 verwenden.

Ist dies gesichert, so legen Sie die ELV-Diskette in das Laufwerk ein. Für ELV-Leser, die den Text dieses Beitrages nicht oder nicht mehr vollständig in Erinnerung haben, erscheint zunächst eine Einführung in das Problem ähnlich den vorstehenden Erläuterungen. Dieser Teil kann durch Betätigen der Escape-Taste vollständig übersprungen werden, so daß sogleich mit dem eigentlichen Test begonnen werden kann.

Er besteht aus zwei Abschnitten, nämlich dem Test der Frequenzablage zwischen den beiden Ohren und dem anschließenden Test der binauralen Fusion. Setzen Sie den an Ihren PC angeschlossenen Kopfhörer auf, nachdem Sie dazu auf dem Bildschirm aufgefordert wurden.

Betätigen Sie ebenfalls gemäß Aufforderung die Leertaste. Sogleich hören Sie abwechselnd im rechten und im linken Kopfhörersystem für jeweils eine halbe Sekunde einen Ton. Genau genommen, zwei leicht verschiedene Töne. Der eine Ton hat eine Frequenz von 500 Hz, der andere eine um bis zu 5 % höhere oder tiefere Frequenz, die bei jedem Programmstart vorsorglich neu zufallsbestimmt wird. Das müßten Sie merken. Nun werden Sie aufgefordert, durch Betätigen der Cursortasten die Frequenz des einen Tons so weit herunter- oder hinaufzufahren, bis Sie den Eindruck haben, daß beide Töne genau gleich hoch klingen. Falls Sie diesen Punkt glauben überfahren zu haben, können Sie mit der anderen Cursortaste natürlich auch in Gegenrichtung fahren. Um welchen Betrag die Tonhöhe mit jedem Antippen der Cursortaste nach unten und nach oben ver-

ändert wird, dürfen Sie nicht erfahren, da Sie sich sonst ungewollt selbst überlisten könnten.

Auf dem Bildschirm schlägt die Stunde der Wahrheit

Die Folge Ihrer Cursorbewegungen wird Ihnen als Linie von links nach rechts auf dem Bildschirm dargestellt. Nach einer Weile werden Sie den Eindruck haben, daß tatsächlich auf beiden Ohren dieselbe Tonhöhe wahrzunehmen ist. Dann betätigen Sie die Leertaste, und auf dem Display erscheinen zum einen die „Null-Linie“, d. h. die echte Frequenz von 500 Hz, und zum anderen die auf ein Promille genaue Abweichung Ihrer beiden Ohren voneinander. Typische wissenschaftlich ermittelte Werte reichen durchaus bis zu 2 %. Aufgrund der vorgenannten Erläuterungen ist es ja auch nicht so wichtig, wie groß die Ablage (Abweichung) ist, sondern ob der Fangbereich Ihrer Phase-Locked-Loop-Schaltung groß genug ist, aus diesen beiden unterschiedlichen Tönen bei gleichzeitigem Ertönen wieder einen einzigen erklingen zu lassen. Das stellen wir auf folgende Weise fest:

Nachdem Sie sich den Verlauf Ihrer Annäherungskurve und den Wert Ihrer Ablage angeschaut haben, betätigen Sie erneut die Leertaste. Für einige Sekunden hören Sie wieder abwechselnd zum Eingewöhnen die beiden Töne, und zwar genau in der von Ihnen angefahrenen Endstellung. Danach aber hören Sie diese Töne nicht mehr abwechselnd, sondern gleichzeitig. In diesem Augenblick müßten die beiden Töne sofort oder spätestens nach Bruchteilen einer Sekunde zur Kopfmittle springen und zu einem einzigen Ton verschmelzen. Das wäre die binaurale Fusion!

Hören Sie weiterhin getrennte Töne zur Linken und zur Rechten, so arbeitet Ihre binaurale Fusion nicht einwandfrei. Durch erneutes Betätigen der Cursortasten könnten Sie dann feststellen und auf dem Bildschirm lesen, ab welcher Frequenzablage Ihr Fangbereich einsetzt, also das Hören eines einzigen Tones beginnt. Fortan könnten Sie dann den erwähnten Ablauf häufiger wiederholen, um Ihr Phase-Locked-Loop-Programm zur Tonhöhenerkennung und -verarbeitung zu verbessern.

Und jetzt die Hardware für denselben Zweck

Da nicht jeder ständig seinen Laptop mit sich herumträgt und ELV sicher ist, daß viele Leser diese Möglichkeit des Testens

der binauralen Fusion auch bei Freunden ausprobieren wollen, ist die Hardwareversion im bekannten Profil-Gehäuse entstanden. Hier können wir uns in Anlehnung an den vorher so ausführlich beschriebenen Ablauf kürzer fassen:

An die einzige Buchse unten am Gerät schließen Sie einen beliebigen Walkman-Hörer an und setzen ihn auf. Daraufhin ist der Einstellknopf in der Mitte auf Rechtsanschlag zu drehen. Nachdem Sie einmal kurz auf die Taste links neben dem Einsteller gedrückt haben, nehmen Sie im Kopfhörer abwechselnd für jeweils etwa eine halbe Sekunde den bewußten Ton von etwa 500 Hz und einen deutlich höheren Ton wahr.

Sie schließen die Augen, damit Sie nicht

Verbesserung der Musikalität und des Umgangs mit der Sprache durch einfaches Training

auf dem Display über dem Einsteller die Promilleabweichung erkennen und Gefahr laufen, sich selbst zu überlisten.

Nun drehen Sie den Einsteller so lange, bis Sie glauben, daß die beiden Töne genau übereinstimmen. Auf dem Display können Sie ablesen, um wieviel Promille die Tonhöhenempfindungen Ihrer beiden Ohren auseinanderliegen.

Nach 32 Sekunden schaltet das Gerät automatisch ab. Sollten Sie bis dahin noch nicht fertig eingestellt haben, können Sie natürlich einen weiteren Durchlauf mit der erwähnten linken Taste auslösen.

Nun aber kommt die eigentliche Feststellung Ihrer binauralen Fusion: In der letzten Stellung, in der Sie die beiden Töne als genau gleich hoch erlebt haben, lassen Sie den Einsteller stehen und betätigen nun zunächst wieder kurz die Starttaste und halten anschließend die Taste rechts vom Drehknopf gedrückt. Jetzt dürfen Sie nur noch einen Ton auf Kopfmittle hören. Hören Sie weiterhin getrennte Töne zur Linken und zur Rechten, so arbeitet Ihre binaurale Fusion nicht einwandfrei.

Durch erneutes Drehen des Einstellers können Sie dann feststellen und auf dem Display ablesen, ab welcher Frequenzablage Ihr Fangbereich einsetzt, also das Hören eines einzigen Tones beginnt. Fortan können Sie dann den erwähnten Ablauf häufiger wiederholen, um Ihr Phase-Locked-Loop-Programm zur Tonhöhenerkennung und -verarbeitung zu verbessern.

Schaltung

Das Schaltbild des Binaural-Fusions-Testers ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Schaltung arbeitet mit zwei Oszillatoren,

wobei der erste, bestehend aus IC 3 A, R 1 und C 9, mit einer festen Frequenz von ca. 2000 Hz schwingt. Der zweite Oszillator, bestehend aus IC 1 A, C 4, R 2, R 3 und R 4, kann mit dem Poti R 2 im Bereich von ca. 1900 Hz bis 2100 Hz verändert werden.

Durch Betätigung der Reset-Taste TA 2 wird das IC 4 vom Typ CD 4020 in den Anfangszustand versetzt, und der Ausgang Q 13 wechselt auf Low-Potential. Über das NAND-Gatter IC 1 B werden die zwei Oszillatoren freigegeben, deren Ausgangsfrequenzen auf die Zählbausteine IC 2 A bzw. IC 2 B vom Typ CD 4520 geschaltet sind. Der Ausgang Pin 6 des IC 2 A teilt die Oszillatorfrequenz durch 16 und liefert ein 125Hz-Taktsignal für IC 4.

An dessen Q7-Ausgang Pin 13 steht ein

1Hz-Rechtecksignal an, das zur Steuerung der Tonausgabe genutzt wird. Durch dieses Signal und IC 3 C

werden die Gatter IC 3 B und IC 3 D abwechselnd freigegeben, welche die 500Hz-Signale der Q 2-Ausgänge von IC 2 durchschalten und über die Widerstände R 9, R 10 und die Kondensatoren C 5, C 6 auf die Klinkenbuchse geben. Im Kopfhörer ist somit abwechselnd auf einem Kanal der feste 500Hz-Ton und auf dem anderen Kanal der variable Ton zu hören. Durch Drücken des Tasters TA 1 wird das Gatter IC 3 B zugleich mit IC 3 D freigegeben, und die zwei Töne sind gleichzeitig im Sekundenrhythmus zu hören.

Die Abweichung der Oszillatorfrequenzen wird in Promille auf dem LCD-Display angezeigt. Dazu wird die Differenzfrequenz auf einfache Weise über die Gatter IC 1 C und IC 1 D vom Typ CD 4093 erzeugt. Am Eingang des Gatters IC 1 C werden bei jeder positiven Flanke der Oszillatorfrequenzen kurze Spikes über die Kondensatoren C 1 und C 2 erzeugt. Mit dem Gatter IC 1 D und den Bauteilen D 1, R 7 und C 3 ist ein retriggerbares Monoflop realisiert, an dessen Ausgang die Differenzfrequenz ansteht.

Angenommen, die Oszillatoren schwingen mit genau der gleichen Frequenz, so kann es sein, daß die positiven Flanken genau übereinander liegen. Dann werden negative Spikes mit einer Frequenz von 2000 Hz am Ausgang von IC 1 D erzeugt, die das nachgeschaltete Monoflop nachtriggern, so daß der Ausgang von IC 1 C auf High-Potential bleibt.

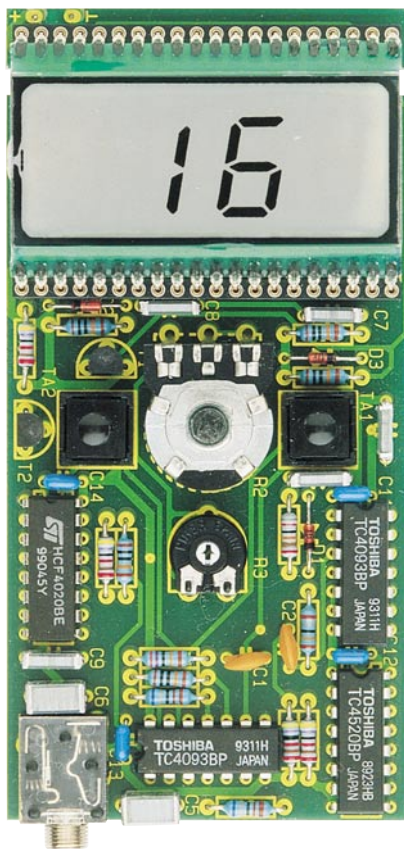
Im anderen Fall sind die Flanken der Oszillatorfrequenzen gegeneinander phasenverschoben, so daß am Ausgang von IC 1 C keine Spikes auftreten. Somit wird das Monoflop nicht getriggert, und am Ausgang des IC 1 D liegt Low-Potential.

leitungen auf 60 mm zu kürzen und direkt an die Anschlußpins oberhalb der LCD-Anzeige zu löten (rote Leitung an „+“).

Zum Abschluß sind alle Anschlußbeinchen der Bauelemente auf der Lötseite auf ca. 1 mm Überstand zu kürzen, ohne dabei die Lötstellen selbst anzuschneiden. Hierdurch wird beim anschließenden Gehäuseeinbau ein Verkratzen des Gehäuseunterteils vermieden.

Gehäuseeinbau

Der Einbau in das klare Profilgehäuse gestaltet sich sehr einfach, da das Gehäuse bereits mit allen Bohrungen versehen ist.



Ansicht der fertig aufgebauten Leiterplatte

Durch Auseinanderschieben der beiden Gehäusehälften ist das Gehäuse leicht zu öffnen.

Zuerst werden die Beschriftungseinlage und die bestückte Leiterplatte in das Gehäuseoberteil gelegt, so daß die Taster und die Potiachse durch die entsprechenden Bohrungen ragen. In der Platine befinden sich zwei Einkerbungen, die um die Stege in dem Gehäuseoberteil fassen und die Leiterplatte fixieren.

Als dann ist die Batterie anzuschließen und oberhalb der Leiterplatte in das Gehäuse zu legen.

Nun kann das Gehäuseunterteil vorsichtig aufgeschoben werden, wobei auf vor-

stehende Anschlußbeinchen zu achten ist, die das Gehäuse verkratzen könnten. Den Abschluß bildet die Montage des Alu-Drehknopfes, der mit einem Reduzierstück auf die Potiachse gesteckt und verschraubt wird.

Abgleich

Der Abgleich des Binaural-Fusions-Testers erfolgt mit einem kleinen Schraubendreher und bedarf keiner weiteren Meßgeräte. Das Poti wird in die Mittelstellung gebracht und mit dem Schraubendreher der Trimmer R 3 verstellt, bis die LCD-Anzeige keine Differenz („00“) anzeigt.

Stückliste: Binaural-Fusions-Tester

Widerstände:

6,8kΩ	R10, R9
47kΩ	R5, R6, R11, R15
100kΩ	R8, R12, R13, R14, R16
180kΩ	R4
270kΩ	R1
820kΩ	R7
PT10, liegend, 50kΩ	R3
Poti, 4mm, 22kΩ	R2

Kondensatoren:

820pF	C1, C2
2,2nF	C7
3,3nF	C3
56nF	C9
6,8nF	C4
22nF	C8
100nF	C5, C6
100nF/ker	C11-C18

Halbleiter:

CD4093	IC1, IC3
CD4520	IC2
CD4020	IC4
CD40103	IC5
CD4518	IC6
CD4056	IC7, IC8
BC548	T2
BC558	T1
1N4148	D1-D3

Sonstiges:

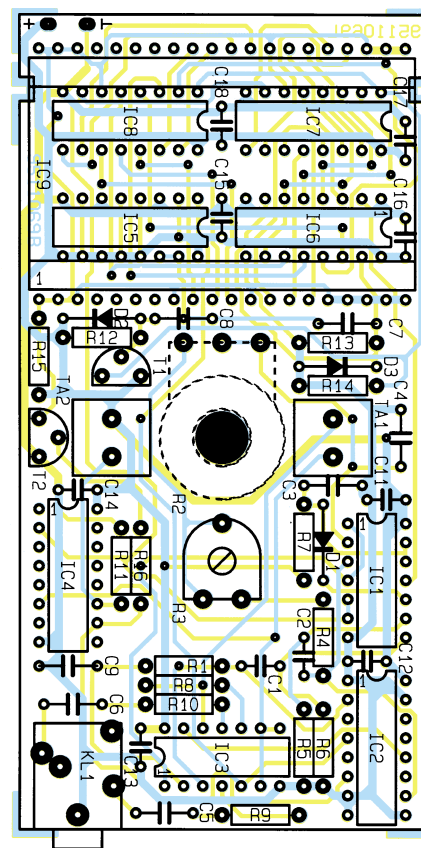
2 Print-Taster, stehend, 15 mm	TA1, TA2
1 Klinkenbuchse, Printmontage, stereo	KL1
1 Walkman-Kopfhörer	
1 LC-Display, 3,5stellig	
2 IC-Sockel, 40polig	
1 Alu-Drehknopf	
1 Knopfdruckstück 4 mm / 6 mm	
1 Profil-Gehäuse, gebohrt	
1 Beschriftungseinlage	
1 Batterieclip	

Ein weiterer Abgleich der Oszillatorfrequenzen ist nicht erforderlich, da zur Prüfung der binauralen Fusion lediglich die Differenzfrequenz von Bedeutung ist und nicht die Grundfrequenz der Töne.

Batteriewechsel

Wenn das Gerät nicht mehr einwandfrei arbeitet, oder die Töne nicht mit dem Poti auf gleiche Frequenz abgeglichen werden können, so ist dieses ein Zeichen für eine verbrauchte Batterie, die dann auszutauschen ist.

Zum Batteriewechsel ist das Gehäuse zu öffnen, indem das Gehäuseunterteil nach



Bestückungsplan des Binaural-Fusions-Testers

unten abgeschoben wird. Danach kann die Batterie entnommen, ausgetauscht und das Gehäuseunterteil wieder aufgeschoben werden.

Da das Gerät mit empfindlichen Bauteilen aufgebaut ist, sollten die Leiterplatte und die Bauteile nicht unnötig berührt werden, damit es aufgrund statischer Entladungen nicht zu Beschädigungen des Gerätes kommt. **ELV**

Literatur:

1. G. van Brink „Dichotic pitch fusion“, Journal of the Acoustic Society of America, Vol. 59, No. 6, June 1976, p. 1471---1476
2. Edward G. Burns „Pure tone pitch anomalies“, Journal of the Acoustic Society of America, Vol. 72, No. 5, Nov 1982, p. 1394 1402