

DIN EN 61305-5 Beiblatt 1

ICS 33.160.50

Dieses Beiblatt enthält Informationen zu
DIN EN 61305-5, jedoch keine zusätzlich
genormten Festlegungen.

**Hi-Fi-Geräte und -Anlagen für den Heimgebrauch –
Verfahren zur Messung und Angabe der Leistungskennwerte –
Teil 5: Lautsprecher – Beiblatt 1: Hörprüfungen für Lautsprecher –
Einzelprüfverfahren und Paarvergleich; IEC/TR 61305-6:2005**

Household high-fidelity audio equipment and systems –
Methods of measuring and specifying the performance –
Part 5: Loudspeaker – Supplement 1: Listening tests on loudspeakers – Single stimulus
ratings and paired comparisons; IEC/TR 61305-6:2005

Equipements et systèmes audio grand public haute fidélité –
Méthodes pour mesurer et spécifier les performances –
Partie 5: Haut-parleurs – Supplément 1: Tests auditive pour haut-parleurs – Test
individuelle et comparaison par paires; IEC/TR 61305-6:2005

Gesamtumfang 20 Seiten

Nationales Vorwort

Dieses Beiblatt enthält die deutsche Übersetzung IEC/TR 61305-6:2005 „Household high-fidelity audio equipment and systems – Methods of measuring and specifying the performance – Part 6: Listening tests on loudspeakers – Single stimulus ratings and paired comparisons“.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 100 „Audio, video and multimedia systems and equipment“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ mit den Daten zu dieser Publikation angegebenen Datum (maintenance result date) unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Zuständig für dieses Beiblatt ist das nationale Arbeitsgremium UK 742.5 „Lautsprecher“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort	2
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Prüfungsvorbereitung	6
3.1 Eigenschaften des Abhörraumes	6
3.2 Aufstellung der Lautsprecher und Anordnung der Sitzplätze	7
3.3 Elektrische Anforderungen	7
3.4 Einpegelung der Lautsprecher	8
3.5 Abhörlautstärke der Programmbeispiele	8
3.6 Programmmaterial	8
3.7 Qualifikation und Anzahl der Beurteiler	8
3.8 Prüfdauer	8
4 Einzelprüfungsverfahren	8
4.1 Prüfverfahren	8
4.2 Fragebogen	9
4.3 Prüfablauf	10
4.4 Urteilssicherheit	10
4.5 Varianzanalyse	11
4.6 Faktorenanalyse	11
4.7 Gütebeurteilung	11
4.8 Darstellung der Ergebnisse	11
4.9 Rechenprogramme	13
5 Paarvergleich	13
5.1 Prüfverfahren	13
5.2 Bewertungsmerkmale	14
5.3 Prüfablauf	14
5.4 Anzahl der widersprüchlichen Urteile	14
5.5 Ermittlung der Skalenwerte	14
5.6 Varianzanalyse	15
5.7 Faktorenanalyse	15
Anhang A (informativ) Rechenbeispiel für eine Hörprüfung nach dem Paarvergleich	16
Literaturhinweise	20
Bilder	
Bild 1 – Grenzen für den Verlauf der Nachhallzeit	7
Bild 2 – Darstellung der Ergebnisse für die Lautsprecher 1 bis 10 in den Beurteilungsaspekten Transparenz/Güte und Volumen	12

	Seite
Bild 3 – Darstellung der Ergebnisse für die Lautsprecher 1 bis 10 in den Beurteilungsaspekten Transparenz/Güte und Schärfe	12
Bild 4 – Einstufung der Lautsprecher 1 bis 10 auf dem Gegensatzpaar angenehm – unangenehm.....	13
Tabellen	
Tabelle 1 – Fragebogen zur Lautsprecherbeurteilung in der Einzelprüfung	9

Einleitung

Dieser technische Bericht gibt Empfehlungen für den Aufbau, die Durchführung und die Auswertung von Hörprüfungen.

Die Prüfungen, die in dieser Spezifikation beschrieben werden, sollten in einem Raum durchgeführt werden, dessen Größe und akustischen Eigenschaften einem durchschnittlichen Wohnraum entsprechen. Hierzu werden Empfehlungen für die Raumgröße, die akustischen Eigenschaften, die Anordnung der Lautsprecher und der Hörerplätze und die Umweltbedingungen gegeben.

Der Bericht beschreibt die praktische Durchführung der Prüfungen und gibt Empfehlungen für das Programmmaterial, die Verarbeitung der Daten und ihre endgültige Darstellung. Zusätzlich sollte auf die Empfehlungen von AES 20 verwiesen werden. Das Gebiet der praktischen Gestaltung, der Ausführung und der statistischen Analyse ist so komplex, dass nur die wesentlichen Richtlinien aufgeführt werden können. Es ist deshalb zu empfehlen, Fachleute mit Erfahrung in der praktischen Durchführung und der statistischen Auswertung heranzuziehen.

Die Vielkanalübertragung wird im Hausgebrauch immer häufiger zur Wiedergabe von Aufnahmen mit Rundumklang benutzt. Die Prozeduren, die in dieser Spezifikation beschrieben werden, lassen sich auf eine beliebige Anzahl von Kanälen anwenden.

Der Paarvergleich ist bei einer großen Zahl von Prüfobjekten zeitlich aufwendig, weil jeder Lautsprecher mit jedem anderen verglichen wird. Das Einzelprüfverfahren ist kürzer, da jedes Objekt nur einmal beurteilt wird. Hierbei ist das Urteil nahezu unabhängig von dem geprüften Lautsprecherfeld. Jedes Objekt wird absolut bewertet, während der Paarvergleich eine relative Rangordnung der geprüften Lautsprecher ergibt.

Für die Durchführung von Hörprüfungen wurde ein weiterer technischer Bericht als IEC/TR 60268-13 veröffentlicht, und es ist zu erwarten, dass die beiden technischen Berichte im Rahmen weiterer Arbeiten zusammengeführt werden.

1 Anwendungsbereich

Dieser technische Report bezieht sich auf Lautsprecher nach IEC 61305-5, die für den Heimgebrauch vorgesehen sind.

Dieser Report soll in Ergänzung zu den objektiven Prüfverfahren entsprechend IEC 60268-5 Verfahren für den Klangvergleich verschiedener Lautsprecher zur Verfügung stellen.

Es werden zwei Prüfverfahren beschrieben:

- Einzelprüfverfahren;
- Paarvergleich.

Die beschriebenen Methoden können auf eine beliebige Anzahl von Kanälen angewendet werden.

ANMERKUNG Die Prüfabläufe sind für Stereosysteme spezifiziert. Sie können entsprechend auf Multikanal-Systeme angewendet werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 61305-5, *High fidelity audio equipment and systems – Methods of measuring and specifying the performance – Part 5: Loudspeakers.*

IEC 60268-5, *Sound system equipment – Part 5: Loudspeakers.*

ISO 3382, *Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters.*

3 Prüfvorbereitung

3.1 Eigenschaften des Abhörtraumes

Das Volumen des Abhörtraumes muss $80 \text{ m}^3 \pm 20 \text{ m}^3$ bei einer Raumhöhe von $2,75 \text{ m} \pm 0,25 \text{ m}$ betragen. Der Raum sollte einen rechtwinkligen Grundriss aufweisen, wobei das Seitenverhältnis den Wert 2 : 1 nicht überschreiten darf. Ein quadratischer Grundriss ist nicht erlaubt.

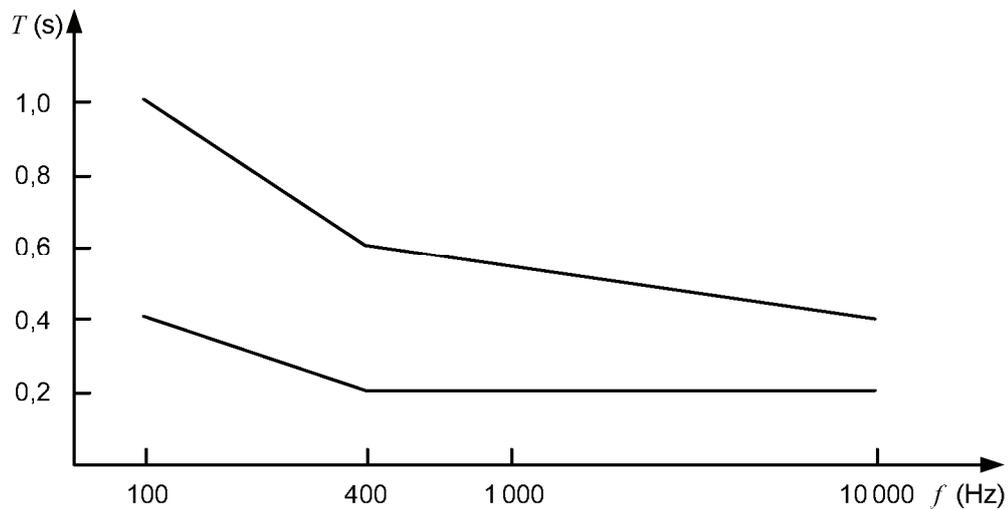


Bild 1 – Grenzen für den Verlauf der Nachhallzeit

Die Nachhallzeit muss innerhalb der Schranken nach Bild 1 verlaufen. Sie darf sich im Bereich von 400 Hz bis 8 kHz innerhalb einer Oktave um maximal +25 % bzw. –20 % verändern. Die Nachhallzeit wird mit Rauschen in Terzbandbreite nach ISO 3382 im besetzten Raum gemessen. Eine Umrechnung der Nachhallzeiten des leeren Raumes auf die des besetzten Raumes ist zulässig.

Ausgeprägte Raumresonanzen müssen durch wohnraumähnliche Möblierung vermieden werden. Die Verteilung des absorbierenden Materials sollte für alle Frequenzbereiche möglichst gleichmäßig erfolgen. Insbesondere ist zu vermeiden, dass parallele Flächen den Schall wesentlich stärker reflektieren als die übrigen Flächen des Raumes; dies gilt auch für Boden und Decke des Prüfraumes. Der AF-bewertete mittlere Pegel des Störschalls im Prüfraum darf den Wert von $L_{AFm} = 25$ dB nicht überschreiten.

3.2 Aufstellung der Lautsprecher und Anordnung der Sitzplätze

Die Lautsprecher müssen für die Beurteiler unsichtbar hinter einem akustisch transparenten Vorhang aufgestellt werden, um Beeinflussungen der Hörer zu vermeiden.

Die Lautsprecher werden in der Aufstellung abgehört, in der sie gewöhnlich benutzt werden (unter Berücksichtigung der Empfehlungen des Herstellers). Das heißt beispielsweise: Regallautsprecher befinden sich im Regal oder in einer akustisch gleichwertigen Aufstellung. Der Abstand von Boden und Decke sollte den üblichen Anordnungen entsprechen. Wenn nicht anders angegeben, sollte der Abstand von den Wänden, Boden und Decke mindestens 0,5 m betragen.

Die Lautsprecher werden in der Betriebsart Stereo beurteilt. Hierbei sollte der Öffnungswinkel zwischen den Lautsprechern eines Paares für keinen Beurteiler kleiner als 45° sein. Die Lautsprecher müssen so aufgestellt werden, dass die Stereobasis in allen Fällen gleich ist. Um Rückwirkungen von den anderen Lautsprechern zu vermeiden, sollen nur die beiden zu prüfenden Lautsprechersätze (Paarvergleich) bzw. der zu prüfende Lautsprecher (Einzelprüfung) aufgebaut sein. Wenn der Paarvergleich angewendet wird, sollen die Basismitte und der Erhebungswinkel nicht mehr als unvermeidbar schwanken.

Falls mehrere Hörer gleichzeitig an einer Prüfung teilnehmen, sind die Sitze so aufzustellen, dass alle Hörer die Lautsprecher ungehindert sehen können, wenn der Vorhang entfernt wird.

3.3 Elektrische Anforderungen

Die Lautsprecher werden mit einer Anlage betrieben, deren Eigenschaften das Prüfergebnis nicht beeinflussen. Die Anlage besteht aus einer Quelle, einem Pegelsteller und einem Leistungsverstärker mit niedrigem Ausgangswiderstand und ausreichender Leistung (auch bei den größten Signalpegeln darf keine Übersteuerung auftreten). Klangsteller sind sowohl bei der Anlage als auch bei den Prüflingen in eine neutrale Stellung zu bringen. Abweichende Einstellungen sind anzugeben.

DIN EN 61305-5 Bbl 1:2005-11

Die Abweichungen vom konstanten Übertragungsmaß dürfen im Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz nicht größer als 0,5 dB sein, gemessen in den einzelnen Kanälen zwischen Eingang der Anlage und Ausgang des Leistungsverstärkers.

3.4 Einpegelung der Lautsprecher

Die Lautsprecher werden mit Hilfe eines programmähnlichen Messsignals auf gleichen Schallpegel an einem mittleren Abhörplatz eingestellt. Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, die Lautsprecher mit rosa Rauschen anzusteuern und einen Schalldruckpegel von 75 dB(A) einzustellen.

ANMERKUNG Die Aufgabe, Lautsprecher messtechnisch mit rosa Rauschen so einzustellen, dass die Wiedergabe von Musik und Sprache bei allen Lautsprechern gleich laut klingt, ist exakt nicht lösbar, wenn die Lautsprecher unterschiedliche Frequenzgänge aufweisen. Es ist lediglich möglich, einen brauchbaren Kompromiss mit diesem Signal zu finden.

3.5 Abhörlautstärke der Programmbeispiele

Die Abhörlautstärke muss für die einzelnen Programmbeispiele so eingestellt werden, dass die Lautstärkeempfindung derjenigen an einem mittleren Hörerplatz im originalen Aufführungsraum entspricht.

3.6 Programmmaterial

Das Prüfprogramm sollte enthalten:

- a) Sprache;
- b) Kammermusik;
- c) Orchestermusik (Tutti-Passagen eines großen Orchesters);
- d) Solostimme und instrumentale Begleitung;
- e) Unterhaltungsmusik ohne wesentliche elektronische Verfremdung.

Die Länge der einzelnen Ausschnitte sollte im Bereich zwischen 60 Sekunden und 120 Sekunden liegen. Die Ausschnitte sollen möglichst mit musikalischen Phrasen übereinstimmen. Das verwendete Programmmaterial ist im Einzelnen anzugeben.

3.7 Qualifikation und Anzahl der Beurteiler

Die Beurteiler müssen ein gesundes Gehör haben, d. h. der Hörverlust darf im Frequenzbereich zwischen 125 Hz und 8 kHz auf keinem Ohr größer als 20 dB sein [1]. Außerdem sollten sie musikalisch vorgebildet oder interessiert sein, regelmäßig Konzerte besuchen und andererseits elektroakustische Musikaufnahmen hören. Die Anzahl der Beurteiler soll nicht kleiner als 10 sein.

3.8 Prüfdauer

Die Dauer eines Prüfabschnittes sollte 1,5 h nicht überschreiten, wobei nach 0,75 h eine angemessene Pause einzuschieben ist. Für einen Beurteiler sollte die Prüfdauer an einem Tag 3 h nicht überschreiten.

4 Einzelprüfverfahren

4.1 Prüfverfahren

Aufgabe einer Hörprüfung ist es, eine Bewertung der Gesamtqualität verschiedener Lautsprecher zu gewinnen. Dieses Gesamturteil wird durch eine Vielzahl von Klangcharakteristika des Lautsprechers geformt. Nach Untersuchungen von Gabrielson et al. [2] lassen sich drei voneinander unabhängige Eigenschaften (Beurteilungsaspekte) finden, die wie folgt benannt werden können:

- Volumen;
- Schärfe;
- Transparenz.

Ein Gesamturteil bildet sich aus der Zusammenfassung der einzelnen Urteile. Da diese aus einem Vergleich mit dem optimalen Klang einer Originalaufführung stammen, können Lautsprecher mittels Einzelprüfung beurteilt werden. Das Ergebnis der Hörprüfung erlaubt nicht nur eine relative Einstufung des Lautsprechers innerhalb eines Prüfensembles, sondern eine Absolut-Einstufung.

Jeder Lautsprecher wird nur einmal mit jedem Programmbeispiel geprüft, so dass die Einzelprüfung wesentlich kürzer ist als der Paarvergleich, bei dem jeder Lautsprecher mit jedem anderen verglichen wird. Zur Überprüfung der Urteilssicherheit der Prüfer muss die Einzelprüfung wiederholt werden. Der gesamte Zeitaufwand wächst aber nur unwesentlich, weil lediglich ein Teil der Einzelprüfungen wiederholt werden muss.

4.2 Fragebogen

Um Bewertungen zu den drei Beurteilungsaspekten Volumen, Schärfe und Transparenz zu gewinnen, benutzt man zweckmäßigerweise einen Fragebogen aus begrifflichen Gegensatzpaaren. Da die Begriffe nicht für jeden Beurteiler eine Beschreibung der Empfindungen in exakt gleicher Form darstellt, ist es sinnvoll, zu jedem Beurteilungsaspekt mehrere Begriffe zu verwenden. Im deutschen Sprachgebrauch hat sich auf Grund mehrerer Untersuchungen folgender Fragebogen als brauchbar erwiesen:

Tabelle 1 – Fragebogen zur Lautsprecherbeurteilung in der Einzelprüfung

		1	2	3	4	5	6	
1	hell	---	--	-	-	--	---	dunkel
2	deutlich	---	--	-	-	--	---	undeutlich
3	natürlich	---	--	-	-	--	---	unnatürlich
4	diffus	---	--	-	-	--	---	konzentriert
5	tiefenbetont	---	--	-	-	--	---	tiefenarm
6	brillant	---	--	-	-	--	---	matt
7	unangenehm	---	--	-	-	--	---	angenehm
8	rund	---	--	-	-	--	---	spitz
9	schmal	---	--	-	-	--	---	breit
10	schlank	---	--	-	-	--	---	voluminös
11	gedämpft	---	--	-	-	--	---	kräftig
12	unausgewogen	---	--	-	-	--	---	ausgewogen
13	grell	---	--	-	-	--	---	dumpf
14	weich	---	--	-	-	--	---	hart
15	nicht durchsichtig	---	--	-	-	--	---	durchsichtig
16	trocken	---	--	-	-	--	---	nachklingend
17	rau	---	--	-	-	--	---	klar
18	verfärbt	---	--	-	-	--	---	unverfärbt
19	scharf	---	--	-	-	--	---	stumpf

Name:

Datum:

Beispiel Nr.:

Hierbei lassen sich Beurteilungsaspekte und Gegensatzpaare folgendermaßen zuordnen:

Beurteilungsaspekt	Gegensatzpaar
Volumen	5, 9, 10, 11
Schärfe	1, 4, 6, 8, 13, 14, 19
Transparenz	2, 3, 15, 16, 17, 18
Gesamturteil:	3, 7, 12

Werden weitere Gegensatzpaare hinzugefügt, sollte an Hand der Ergebnisse der später sowieso durchzuführenden mehrfaktoriellen Varianzanalyse (siehe [3]) überprüft werden, ob die weiteren Gegensatzpaare zur Differenzierung der Lautsprecher geeignet sind und von den Beurteilern einheitlich verstanden und benutzt werden.

ANMERKUNG Der Gebrauch einer geraden Zahl von Urteilsstufen hat sich als vorteilhaft herausgestellt, weil sie die Prüfer zu einer Urteilsabgabe bewegen.

4.3 Prüfablauf

Nachdem die Beurteiler instruiert wurden und eine Auswahl der Programmbeispiele kennen gelernt haben, sollen sie einige Lautsprecher anhand des Fragebogens beurteilen, um das Verfahren kennen zu lernen. Hierbei haben die Beurteiler für jeden Lautsprecher und jedes Programmbeispiel einen Fragebogen auszufüllen. Danach beginnt die eigentliche Prüfung. Will man Reihenfolgeeffekte vermeiden, müsste man jeden Lautsprecher mit jedem Programmbeispiel in einer zufälligen Folge anbieten. Hierzu müssten die Lautsprecher sehr häufig gewechselt werden. Ein brauchbarer Kompromiss ist die aufeinander folgende Beurteilung sämtlicher Programmbeispiele für einen Lautsprecher; jedoch muss der Beurteilungsbogen nach jedem Programmbeispiel abgegeben werden, damit der Beurteiler keinen Anhaltspunkt aus den Urteilen der vorangegangenen Beispiele bekommt. Zur Überprüfung der Urteilssicherheit sollten 1/5 bis 1/4 der Lautsprecher zweimal geprüft werden, ohne dass die Beurteiler Kenntnis davon haben.

4.4 Urteilssicherheit

Bevor mit der eigentlichen Auswertung der Daten begonnen wird, sollte die Urteilssicherheit der Prüfer mit einem einfachen Verfahren untersucht werden. Hierzu werden alle Fragebögen genommen, die aus einer zweimaligen Beurteilung eines Lautsprechers stammen. Getrennt nach Versuchspersonen wird für alle Gegensatzpaare und Programmbeispiele die Differenz der Einstufung beim ersten und zweiten Durchgang gebildet, quadriert und gemittelt. Da die Beurteiler die Skala unterschiedlich ausschöpfen, ist es sinnvoll, das Ergebnis auf die Varianz aller Urteile der Prüfung zu normieren.

Anhand der Kennzahl, die sich aus der Normierung ergibt, können die Prüfer verglichen werden. Auf Grund der bisher vorliegenden Erfahrungen kann die Kennzahl mit folgender Gleichung ermittelt werden:

$$k = \frac{A_{sd}}{V_{tot}} \leq 1,5 \quad (1)$$

Dabei ist

A_{sd} das Mittel der quadrierten Differenzen,
 V_{tot} die totale Varianz.

Die Urteile von Prüfern, deren Kennzahl größer als 1,5 ist, sollen in der weiteren Auswertung nicht verwendet werden.

Hinweis zur Bestimmung der Kennzahl:

Die Urteile eines Prüfers zu den Gegensatzpaaren über alle Programmbeispiele und Lautsprecher seien

$a_{i,j,k}$	mit	$i = 1 \dots r$	Gegensatzpaare
		$j = 1 \dots s$	Beispiele
		$k = 1 \dots u$	Lautsprecher

Die Einstufungen aus den wiederholten Messungen an einer ausgewählten Zahl t von Lautsprechern seien

$b_{i,j,k}$	mit	$i = 1 \dots r$	Gegensatzpaare
		$j = 1 \dots s$	Beispiele
		$k = 1 \dots t$	Lautsprecher

mit $t \leq u$. Dann beträgt der Mittelwert der Differenzquadrate A_{sd}

$$A_{sd} = \frac{\sum_{ijk} (a_{ijk} - b_{ijk})^2}{r s t} \quad (2)$$

und die totale Varianz

$$V_{tot} = \frac{\sum_{ijk} (a_{ijk} - \bar{a})^2}{r s u - 1} \quad (3)$$

Dabei ist

$$\bar{a} = \frac{\sum_{ijk} a_{ijk}}{r s u} \quad (4)$$

4.5 Varianzanalyse

Hat man die Daten der urteilsunsicheren Personen aus dem Datensatz entfernt, sollte als nächstes eine mehrfaktorielle Varianzanalyse ausgeführt werden, die folgende Einflussgrößen in ihrer Varianz aufklärt und mit Hilfe einer F-Prüfung auf Signifikanz überprüfbar macht. Die Einflussgrößen sind:

- Unterschiede der Lautsprecher (gewünscht);
- Unterschiede zwischen den Beispielen (möglich, aber meist nicht vorhanden);
- Unterschiede zwischen den Prüfern (unerwünscht, Fehlervarianz).

Sind die Unterschiede zwischen den Lautsprechern – bezogen auf die Fehlervarianz – signifikant, sind ferner die Unterschiede zwischen den Programmbeispielen gering, dann kann man die Urteile je Gegensatzpaar über die Beispiele und Personen mitteln.

4.6 Faktorenanalyse

Wie schon erwähnt, sind drei Aspekte für die Beurteilung wesentlich. Um Maßzahlen für die Ausprägung der Beurteilungsaspekte bei den verschiedenen Lautsprechern zu gewinnen, wird die Faktorenanalyse zur Datenkompression angewendet. Hiermit werden alle Urteile zu Gegensatzpaaren zusammengefasst, die nahe bei den Beurteilungsaspekten liegen (Faktorenanalyse mit anschließender Varimax-Rotation und nachfolgender Faktorenwertschätzung). Als Ergebnis erhält man für jeden Lautsprecher Zahlenwerte über die Ausprägung der Beurteilungsaspekte.

4.7 Gütebeurteilung

Im Gegensatz zu den in 4.6^{N1)} berechneten Ausprägungen der Lautsprechereigenschaften sollen zur Gütebeurteilung die über Beurteiler und Programmbeispiele gemittelten Werte aus den Fragebögen, z. B. zu dem Gegensatzpaar „angenehm – unangenehm“, herangezogen werden. So bleibt die Originallage im Beurteilungsspielraum erhalten, insbesondere wenn nur Lautsprecher einer bestimmten Güteklasse beurteilt werden.

4.8 Darstellung der Ergebnisse

Neben der Darstellung der Ausprägungen in tabellarischer Form ist eine grafische Darstellung in den Ebenen des Faktorenraumes hilfreich. Beispiele: siehe Bilder 2 und 3.

^{N1)} Nationale Fußnote: In der IEC-Fassung steht hier fälschlicherweise der Verweis auf 3.6.

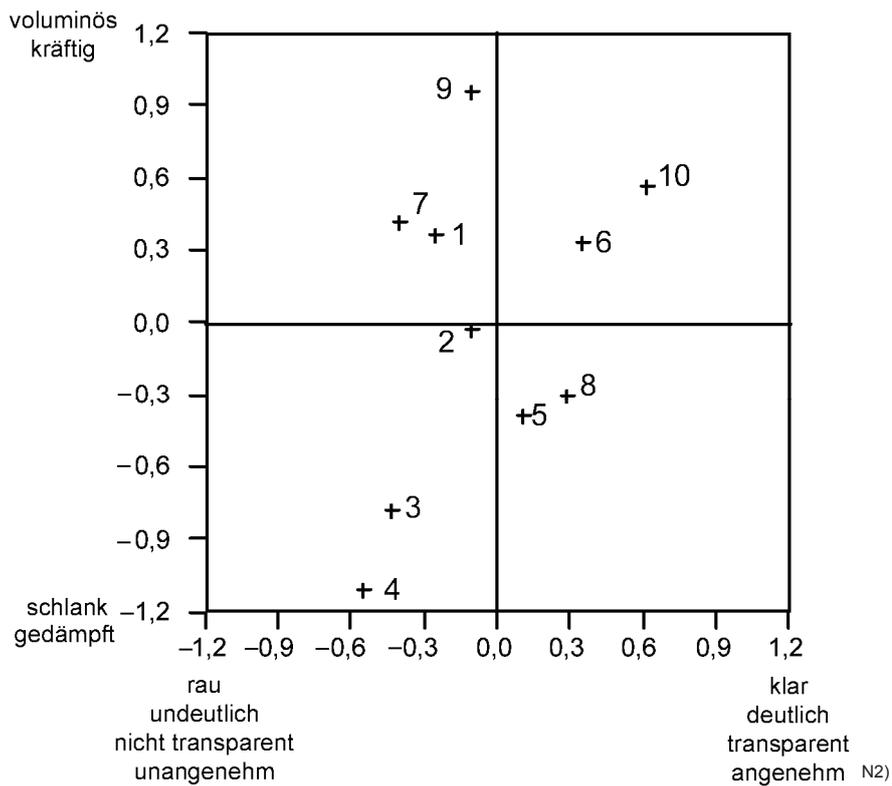


Bild 2 – Darstellung der Ergebnisse für die Lautsprecher 1 bis 10 in den Beurteilungsaspekten Transparenz/Güte und Volumen

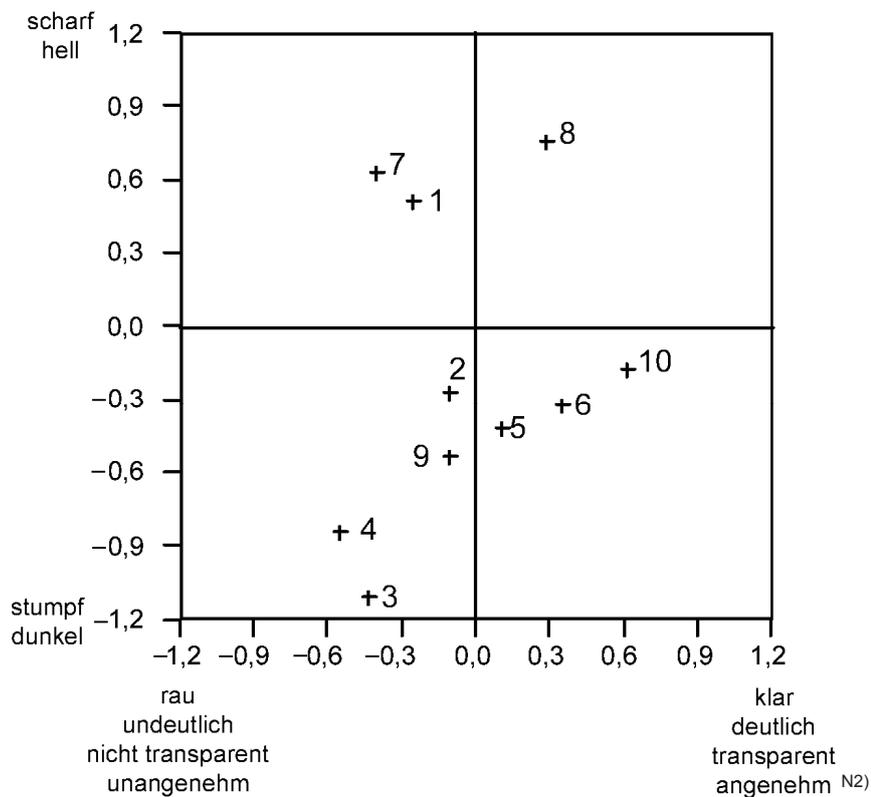


Bild 3 – Darstellung der Ergebnisse für die Lautsprecher 1 bis 10 in den Beurteilungsaspekten Transparenz/Güte und Schärfe

^{N2)} Nationale Fußnote: In der IEC-Fassung haben die Bilder 2 und 3 vertauschte Beschriftungen an den senkrechten Achsen.

Die grafische Darstellung der Gütebeurteilung sollte eine Skala mit dem originalen Wertebereich 1 bis 6 benutzen. Beispiel: siehe Bild 4.

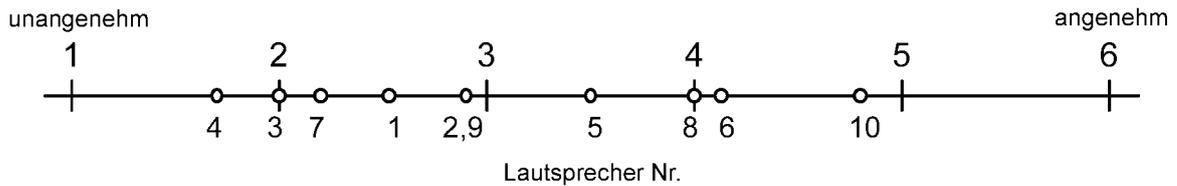


Bild 4 – Einstufung der Lautsprecher 1 bis 10 auf dem Gegensatzpaar angenehm – unangenehm

4.9 Rechenprogramme

Für die Ausführung der einzelnen Auswerteschritte sind Rechenprogramme notwendig. Diese sind:

- mehrfaktorielle Varianzanalyse;
- Faktorenanalyse mit Varimax-Rotation und
- Faktorenwertschätzung.

5 Paarvergleich

5.1 Prüfverfahren

Die Aufgabe einer Hörprüfung ist es, mehrere Objekte mit unterschiedlichen Ausprägungen eines Bewertungsmerkmals auf einer Skala anzuordnen. Sind die unterschiedlichen Ausprägungen nur in einem Vergleich feststellbar und ist dieses nicht gleichzeitig möglich, kann man das Prüfverfahren des Paarvergleiches (AB-Vergleich) wählen. Hier wird jedes Objekt mit jedem Objekt verglichen. Dabei ist zu entscheiden, welches Objekt ein bestimmtes Merkmal ausgeprägter zeigt. Die folgenden Erläuterungen und das Rechenbeispiel im Anhang A bauen auf einer zweistufigen Skala (weniger – mehr) auf. Wird eine dreistufige Skala verwendet (weniger – gleich – mehr), sind die Gleichungen (A.1), (A.2a) und (A.2b) in Anhang A nicht gültig. Die so gewonnenen zahlreichen Ordinalurteile erlauben es, in Verbindung mit dem Urteilsmodell „Law of comparative judgement“ [4], [5] die Objekte auf einer Skala für das betreffende Merkmal anzuordnen.

Die Anwendung des Prüfverfahrens setzt außerdem eine geeignete Auswahl von Bewertungsmerkmalen voraus. Diese müssen so gewählt sein, dass bei allen Vergleichen nur die unterschiedliche Ausprägung dieses Bewertungsmerkmals urteilsbildend ist; das Bewertungsmerkmal muss eindimensional sein. Ist dies nicht der Fall, kann es zu inkonsistenten Reihenfolgen (zirkuläre Triaden) kommen, wenn bei verschiedenen Vergleichen trotz gleicher Fragestellung unterschiedliche Aspekte eines Bewertungsmerkmals urteilsbildend sind (mehrdimensionale Bewertungsmerkmale).

Treten trotz richtig gewählter Bewertungsmerkmale zirkuläre Triaden auf, dann kann dieses auf Urteilsunsicherheit zurückzuführen sein. Mit Hilfe eines Vergleichs der tatsächlich aufgetretenen zirkulären Triaden mit der maximal möglichen Anzahl [4] oder mit der zufällig auftretenden [6] lässt sich ein Maß für die Urteilssicherheit finden. Dieses sollte bei jeder Prüfung auch überprüft werden.

Wenn alle Vergleiche durchgeführt sind, werden die Ergebnisse in einer so genannten Dominanzmatrix zusammengefasst. Da aber bei einer Zusammenfassung der Urteile die auftretenden Differenzen nicht den empfundenen Distanzen entsprechen, ist eine Transformation der Werte aus der Dominanzmatrix in eine Normalverteilung erforderlich (z -Umwandlung [4]).

Weiterhin kann die Rangfolge der Prüfobjekte durchaus von den Programmbeispielen abhängen. Deshalb sind die Urteile zunächst für jedes Programmbeispiel getrennt auszuwerten. Weichen die einzelnen Rangfolgen nur wenig voneinander ab, darf man eine Zusammenfassung der Dominanzmatrizen vornehmen.

Die gefundene Rangfolge ist weder in ihrem Nullpunkt noch in ihrer Spreizung allgemein gültig. Sie gilt vielmehr für das ausgewählte Prüffeld.

5.2 Bewertungsmerkmale

Der Paarvergleich sollte für eine Reihe von eindimensionalen Beurteilungsmerkmalen durchgeführt werden, die eine Aussage über die Klangqualitäten der Lautsprecher zulassen. Hierzu sollten die nachfolgenden Beurteilungsmerkmale benutzt werden, die sich für eine widerspruchsfreie Beurteilung als brauchbar erwiesen haben:

- a) hell – dunkel
- b) weiche Höhen – harte Höhen
- c) voluminös – schlank
- d) kräftige Bässe – schwache Bässe
- e) deutlich – undeutlich
- f) transparent – nicht transparent
- g) verfärbt – unverfärbt
- h) ausgewogen – unausgewogen

Die verwendeten Merkmale sind anzugeben.

5.3 Prüfablauf

Jeder Lautsprechersatz wird mit jedem anderen Lautsprechersatz durch Umschalten des Prüfprogramms von einem Lautsprechersatz auf den anderen verglichen. Die Reihenfolge der Lautsprecher muss zufällig sein; von den möglichen zufälligen Reihenfolgen sind solche auszuschließen, bei denen ein Prüfobjekt an mehr als zwei aufeinander folgenden Paarvergleichen beteiligt ist.

Die Anonymität der Prüfobjekte darf durch die Art der Umschaltung nicht verletzt werden. Zwei verschiedene Durchführungsarten bieten sich an:

- a) Jeder der beiden Lautsprechersätze sollte etwa gleich lang eingeschaltet sein; die Intervalle sollten 2 s bis 10 s betragen und in keinem Fall 20 s überschreiten. Die Beispiele sollten so lang sein, dass innerhalb eines Beispiels mehrfach hin- und hergeschaltet werden kann. Das Umschalten darf entweder der Prüfungsleiter oder ein Beurteiler vornehmen.
- b) Der Vergleich darf auch so durchgeführt werden, dass das Programmbeispiel zunächst in der ganzen Länge von einem Lautsprechersatz wiedergegeben wird und anschließend vom zweiten. Die Dauer der Programmbeispiele sollte bei diesem Verfahren unter 60 s liegen.

In beiden Verfahren sind für jedes Programmbeispiel Urteile zu allen Merkmalen zu fällen. Der Beurteiler hat bei jedem Merkmal zu entscheiden, welcher der beiden Lautsprechersätze das Merkmal stärker aufweist. Das Urteil wird verdeckt und ohne vorherige Aussprache notiert.

5.4 Anzahl der widersprüchlichen Urteile

Um die Anzahl der zirkulären Triaden zu bestimmen, sind die Urteile für jedes Merkmal getrennt nach Programmbeispiel und Prüfer auszuwerten. Die Anzahl kann mit der maximal möglichen Zahl von zirkulären Triaden oder der zufällig auftretenden Anzahl verglichen werden. Anschließend werden die Urteile der Prüfer getrennt nach Urteilsmerkmal und Programmbeispiel zusammengefasst; weichen die Urteile in Abhängigkeit von den Programmbeispielen nur wenig voneinander ab, dürfen sie für alle Programmbeispiele zusammengefasst werden.

5.5 Ermittlung der Skalenwerte

Die Skalenwerte werden aus den Einzelurteilen entsprechend dem Beispiel in Anhang A ermittelt. Sollen die Differenzen in den Skalenwerten den Unterschieden der Empfindungen entsprechen, müssen sie zusätzlich z-standardisiert [4] werden.

5.6 Varianzanalyse

Hat man die Daten der urteilsunsicheren Personen aus dem Datensatz entfernt, sollte als nächstes eine mehrfaktorielle Varianzanalyse ausgeführt werden, die folgende Einflussgrößen in ihrer Varianz aufklärt und mit Hilfe einer F-Prüfung auf Signifikanz überprüfbar macht. Die Einflussgrößen sind:

- Unterschiede der Lautsprecher (gewünscht)
- Unterschiede zwischen den Beispielen (möglich, aber meist nicht vorhanden)
- Unterschiede zwischen den Prüfern (unerwünscht, Fehlervarianz)

Sind die Unterschiede zwischen den Lautsprechern – bezogen auf die Fehlervarianz – signifikant, sind ferner die Unterschiede zwischen den Beispielen gering, dann kann man die Urteile über die Programmbeispiele und Personen zu einem Mittelwert zusammenfassen.

5.7 Faktorenanalyse

Wie schon erwähnt, sind für die Beurteilung drei Aspekte signifikant. Um Maßzahlen für die Ausprägung der Beurteilungsaspekte bei den verschiedenen Lautsprechern zu gewinnen, eignet sich die Faktorenanalyse zur Datenkompression (Faktorenanalyse mit anschließender Varimax-Rotation und nachfolgender Faktorenwertschätzung). Als Ergebnis erhält man für jeden Lautsprecher Zahlenwerte über die Ausprägung der Beurteilungsaspekte.

Anhang A (informativ)

Rechenbeispiel für eine Hörprüfung nach dem Paarvergleich

Anhang A enthält ein Rechenbeispiel für eine Hörprüfung nach der Methode des Paarvergleiches. Das Beispiel basiert auf den Urteilen von fünf Prüfern über ein Beurteilungsmerkmal bei fünf Lautsprechersätzen (im Folgenden als „Lautsprecher“ bezeichnet).

A.1 Überprüfung der Urteilssicherheit

Die 10 Urteile aus den 10 AB-Vergleichen werden für jeden einzelnen Hörer in eine Dominanzmatrix eingetragen:

Lautsprecher	Hörer 1				
	1	2	3	4	5
1		0	1	1	0
2	<u>1</u>		1	1	1
3	<u>0</u>	<u>0</u>		1	0
4	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>		0
5	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	
a_j	2	0	3	4	1
a_j^2	4	0	9	16	1

Unterstrichene Ziffern entsprechen den Antworten auf dem Fragebogen. Eine 1 wird dann vergeben, wenn ein Lautsprecher mit der Nummer des Spaltenkopfes einem anderen mit der Nummer des Zeilenkopfes bezüglich des geprüften Merkmals vorgezogen wird. Die Koeffizienten oberhalb der Hauptdiagonalen ergänzen sich mit den gespiegelten Koeffizienten unterhalb der Hauptdiagonalen zu 1.

Die Spaltensummen a_j geben an, wie häufig ein bestimmter Lautsprecher im Verlauf der Paarvergleiche einem anderen vorgezogen wurde. Mit Hilfe von a_j^2 lässt sich berechnen, wie viele zirkuläre Triaden aufgetreten sind. Ihre Anzahl ist:

$$d = n(n-1)(2n-1)/12 - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n a_j^2 \quad (\text{A.1})$$

mit n = Anzahl der Prüfobjekte und a_j^2 = Quadrat der Spaltensummen. Hörer 1 hat in diesem Beispiel keine zirkulären Triaden erzeugt:

$$d = 5 \cdot 4 \cdot 9 / 12 - \frac{1}{2} (4 + 0 + 9 + 16 + 1) = 0$$

Die Dominanzmatrizen der vier weiteren Hörer lauten beispielsweise:

	Hörer 2				
Lautsprecher	1	2	3	4	5
1		0	0	1	1
2	1		1	1	0
3	1	0		1	0
4	0	0	0		0
5	0	1	1	1	
a_j	2	1	2	4	1
a_j^2	4	1	4	16	1

	Hörer 3				
Lautsprecher	1	2	3	4	5
1		0	1	1	0
2	1		1	0	1
3	0	0		0	1
4	0	1	1		0
5	1	0	0	1	
a_j	2	1	3	2	2
a_j^2	4	1	9	4	4

	Hörer 4				
Lautsprecher	1	2	3	4	5
1		0	1	1	0
2	1		0	1	1
3	0	1		1	0
4	0	0	0		0
5	1	0	1	1	
a_j	2	1	2	4	1
a_j^2	4	1	4	16	1

	Hörer 5				
Lautsprecher	1	2	3	4	5
1		1	1	1	0
2	0		1	1	1
3	0	0		1	0
4	0	0	0		0
5	1	0	1	1	
a_j	1	1	3	4	1
a_j^2	1	1	9	16	1

Zur Bestimmung der Urteilssicherheit wird der Koeffizient K von Kendall

$$K = 1 - \frac{d}{d_{\max}} \quad (\text{A.2})$$

herangezogen, der die Anzahl d der aufgetretenen zirkulären Triaden mit der maximalen möglichen Anzahl d_{\max} [4] vergleicht:

$$d_{\max} = n(n^2 - 4) \frac{1}{24} \quad n \text{ gerade} \quad (\text{A.2a})$$

$$d_{\max} = n(n^2 - 4) \frac{1}{24} \quad n \text{ ungerade} \quad (\text{A.2b})$$

Nach Gleichung (A.2b) ist $d_{\max} = 5$ für $n = 5$. Mit den Gleichungen (A.1) und (A.2) ergeben sich folgende Werte für die 5 Hörer:

Hörer	$\sum a_j^2$	d	K
1	30	0	1,0
2	26	2	0,6
3	22	4	0,2
4	26	2	0,6
5	28	1	0,8

In dem zusammenfassenden Urteil werden nur Hörer mit einem Konsistenzkoeffizienten $\geq 0,6$ berücksichtigt. Hörer 3 wird deshalb wegen seiner geringen Urteilssicherheit (4 zirkuläre Triaden von 5 möglichen) von der weiteren Auswertung ausgeschlossen.

Für die Zusammenfassung der Urteile werden die Dominanzmatrizen der Hörer 1, 2, 4 und 5 aufsummiert und ergeben so die kombinierte Dominanzmatrix:

Lautsprecher	1	2	3	4	5
1		1	3	4	1
2	3		3	4	3
3	1	1		4	0
4	0	0	0		0
5	3	1	4	4	
S_{uj}	7	3	10	16	4

Die Spaltensummen S_{uj} der kombinierten Dominanzmatrix geben an, wie oft die Prüfer einen Lautsprecher einem anderen bezüglich des untersuchten Merkmals vorgezogen haben.

A.2 Berechnung der Skalenwerte

Zunächst werden die Elemente der kombinierten Dominanzmatrix auf das Intervall 0 ... 1 normiert:

Lautsprecher	1	2	3	4	5
1		0,25	0,75	1	0,25
2	0,75		0,75	1	0,75
3	0,25	0,25		1	0
4	0	0	0		0
5	0,75	0,25	1	1	

Jedes Element dieser normierten Dominanzmatrix wird entsprechend 5.1^{N3)} mit der inversen Verteilungsfunktion der Normalverteilung transformiert. Da bei dieser Umwandlung die Werte 0 und 1 auf den unendlich fernen Punkt abgebildet werden, wird die Matrix in diesem Fall unbrauchbar. Man hilft sich in ähnlichen Fällen so, dass die Werte 0 und 1 auf endliche z -Werte abgebildet werden. Eine geeignete Funktion ist z. B.:

$$z = \arcsin(2p - 1)$$

Die Transformation ergibt folgende z -Matrix:

Lautsprecher	1	2	3	4	5
1		-0,52	0,52	1,57	-0,52
2	0,52		0,52	1,57	0,52
3	-0,52	-0,52		1,57	-1,57
4	-1,57	-1,57	-1,57		-1,57
5	0,52	-0,52	1,57	1,57	

Die Skalenwerte D_i werden so bestimmt, dass die Doppelsumme

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (D_i - D_j - z_{ij})^2 \rightarrow \min$$

ein Minimum annimmt. Die Lösung dieser Gleichung führt zu dem bekannten Ausgleichsproblem. Falls die Matrix voll besetzt ist, sind die Skalenwerte D_j gleich dem Mittelwert der Koeffizienten der betreffenden Spalte:

$$D_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{ij}$$

In diesem Fall betragen die Skalenwerte der 5 Lautsprecher:

Lautsprecher	1	2	3	4	5
Rangfolge	3	4	2	1	4
D_j	-0,21	-0,63	0,21	1,26	-0,63

^{N3)} Nationale Fußnote: In IEC 61305-6 wird hier fälschlicherweise auf Abschnitt 4.1 verwiesen.

Literaturhinweise

- [1] ISO 389: *Acoustics – Reference zero for the calibration of audiometric equipment*
- [2] Gabrielson, A. et al.: *Judgement and dimension analyses of perceived sound quality of sound-reproducing systems*. JASA 55 (1974)9 854 – 861
- [3] Bortz, J.: *Ein Verfahren zur Tauglichkeit von Ratingskalen*. Psychologie und Praxis, Band XVI (1972), Seite 49
- [4] Sixtl, F.: *Messmethoden der Psychologie*. Verlag Julius Beetz 1967
- [5] Guilford, J. P.: *Psychometric Methods*. McGraw Hill 1954
- [6] Lienert, J. A.: *Verteilungsfreie Methoden der Biostatistik*, Band II. Verlag Anton Heim, Meisenheim 1979