

4. Probanden und Methode

4.1 Probanden:

In einem Vorversuch wurden 37 normalhörende Erwachsene untersucht. Als normalhörend galt, wessen Hörschwelle in dem Frequenzbereich von 0,125 bis 8 kHz besser oder gleich als 15 dB HL war. Die Erwachsenen waren zwischen 20 und 49 Jahren alt, der Altersmedian lag bei 25,1 Jahren. Insgesamt nahmen 23 Frauen (63,9%) und 13 Männer (36,1%) an der Untersuchung teil. Darauf folgend wurden als Hauptstudie 77 hörgesunde Kinder zwischen 3,9 und 11,0 Jahren untersucht. Diese unterteilten sich in 2 Gruppen, um die altersabhängigen Entwicklungsunterschiede zu berücksichtigen. Gruppe I bestand aus 41 Schulkindern im Alter von 7 -11 Jahren, Gruppe II setzte sich aus 36 Vorschulkindern im Alter von 3,9 - 6,11 Jahren zusammen. Bei allen Kindern wurde die Normalhörigkeit durch ein Spiel- oder Tonschwellenaudiogramm ermittelt, wobei wieder 15 dB HL als Grenzwert fungierte. Die Altersmediane lagen bei Gruppe I bei 8,11 und bei Gruppe II bei 5,7 Jahren. In Gruppe I befanden sich 13 Mädchen (31,7%) und 28 Jungen (68,3%), in der zweiten Gruppe waren 13 Mädchen (34,2 %) und 25 Jungen (65,8%).

4.2 Methodik

Zu Beginn der Untersuchung und in regelmäßigen wöchentlichen Abständen wurde das zur Hörfeldskalierung benutzte Audiometriesystem für die Messungen kalibriert. Die Kalibrierung der Lautstärkepegel auf 90 dB SPL erfolgte in 1 m Abstand vom Lautsprecher mit einem Precision Sound Level Meter der Firma Brüel und Kjaer, Typ 2203.

Die Hörfeldskalierung wurde entsprechend dem Würzburger Hörfeld mit einem rechnergesteuerten System der Firma Westra (IBM kompatibler PC 3/86) gemessen. Die Reize wurden dabei von einer CD [Westra-CD Nr. 7] über einen Lautsprecher lab-501 (Westra Electronic GmbH) dargeboten. Die Versuchsteilnehmer saßen in 1 m Abstand zur Box, wobei sich der Lautsprecher auf Kopfhöhe befand. Die Antworten der Probanden wurden mit der Skaliereinheit (Westra Skaliertabelle 1993) registriert, die direkt mit dem Computer verbunden war. Bei den verwendeten Reizen handelte es sich jeweils um Terzbandrauschen mit den unten genannten Mittenfrequenzen. Konventionell wurden 4 Frequenzen à 16 Pegel untersucht. Dafür integrierte der Hersteller 3 verschiedene Hörfelder in das Programm (Hörfeld 1: 500, 1000, 2000 und 4000 Hz; Hörfeld 2: 630 1250, 2500 und

5000 Hz; Hörfeld 3: 800, 1600, 3150 und 6300 Hz). Untersucht wurden nur zwei lange Versionen, in Anlehnung an die WESTRA-Nomenklatur Version WHF1 und WHF3 benannt. Die Probanden wurden binaural mit dem einstufigen Verfahren im Freifeld untersucht. Die Anwendung über Kopfhörer, die monaurale Verwendung und das 2-stufige Verfahren verblieben als weitere Optionen im Computer, wurden aber nicht anhand dieser Arbeit untersucht. Einstufig bedeutet, dass der Ton direkt nach dem Höreindruck auf die vorgegebene Skala eingetragen werden musste. Im Gegensatz dazu muss beim zweistufigen Verfahren der Ton erst der gröberen verbalen Ebene zugeordnet und dann nach erneutem Hören feiner differenziert werden. Hierauf wurde verzichtet, weil es die Messung zum einen verlängert und zum anderen die Kinder in ihrer Urteilsgebung verunsichert. Die Reizgabe erfolgte pseudorandomisiert mit Pegeln zwischen 20 und 90 dB. Pro Frequenz untersuchte man 15 Pegel. Der Abstand zwischen den Reizen betrug maximal 19 s. Als Standardabstand wurde 12 s gewählt. Hatten die Kinder im Übungsdurchlauf Schwierigkeiten, sich in dieser Zeit für eine Kategorie in Form eines Teddybäres zu entscheiden, wurde bei der Untersuchung die Zeitspanne verlängert. Bei schnellerer Antwort des Teilnehmers verkürzt sich die Zeit bis zum nächsten Reiz automatisch. Und dieser wird dann ohne größere Pause angeboten.

4.2.1 Die Juniorversion

Wie bei dem konventionellen Würzburger Hörfeld wurde auch die Kurzform vom rechnergesteuerten System in der camera silens dargeboten. Es wurden pro Frequenz fünf Lautstärkeabstufungen gemessen, wobei auf die bei Moser (58) 1996 ermittelten Durchschnittspegel der Lautheitseindrücke für die Begriffe sehr laut (>90 dB), laut (80 dB), mittellaut (65 dB), leise (45 dB) und sehr leise (30 dB) zurückgegriffen wurde. Es wurden zwei verkürzte Signalabfolgen in das Programm eingearbeitet

1. Junior1 (4 Frequenzen): 500, 1000, 2000, 4000 Hz à 20 Rauschimpulse (**Tab. 1**)

2. Junior3 (3 Frequenzen): 800, 1600, 3150 Hz à 15 Rauschimpulse (**Tab. 2**)

Bei der Wahl der Abfolge der Reizpegel wurde sowohl eine allzu große wie auch zu geringe Schwankung der Pegel zueinander vermieden (28).

Mithilfe eines DOS-Eingabe-Menüs wurden aus den original Hörfeldern die zu untersuchenden Reize herausgesucht und anhand des von Westra gebräuchlichen Signalcodes

zu einem neuen Hörfeld zusammengefügt. Die Signalcodes sind in **Tabelle 1** und **2** in einer Spalte einzeln benannt.

Reiz-abfolge	Signal code	Pegel	Frequenz
1	24	65	1000
2	46	90	2000
3	3	45	500
4	48	30	4000
5	20	45	1000
6	8	65	500
7	43	80	2000
8	15	90	500
9	56	65	4000
10	32	30	2000
11	28	80	1000
12	62	90	4000
13	39	65	2000
14	1	30	500
15	52	45	4000
16	30	90	1000
17	60	80	4000
18	35	45	2000
19	18	30	1000
20	12	80	500

Tab. 1: Reihenfolge der Rauschimpulse des Junior1. Der Signalcode gibt die von der Firma Westra verwendete Codierung für diesen Rauschimpuls an.

Reiz-abfolge	Signal code	Pegel	Frequenz
1	5	50	800
2	30	90	1600
3	41	70	3150
4	18	30	1600
5	15	90	800
6	45	80	3150
7	22	50	1600
8	1	30	800
9	26	70	1600
10	36	50	3150
11	47	90	3150
12	10	70	800
13	28	80	1600
14	32	30	3150
15	13	80	800

Tab. 2: Reihenfolge der Rauschimpulse des Junior3

Pro Hörfeld werden die ein- und zweistelligen Codes anhand von einzelnen Numerierungen der möglichen Reize vergeben. Beispielsweise codiert die 24 im Hörfeld 1 für einen Rauschimpuls von 65 dB bei 1000 Hz.

Die Probanden und Patienten skalierten in der camera silens der Klinik. Die erwachsenen Probanden skalierten sowohl WHF1 und 3 und die Juniorversion 1 und 3. Bei den Kindergruppen wurde nur die Versionen WHF1 und Junior1 untersucht. Der Versuchsleiter bediente den Computer von außen. Bei möglichen "Ausrutschern" wurden die Werte einzeln kontrolliert. **Tabelle 3** zeigt eine Übersicht über alle durchgeführten Messungen.

Als Ergebnis erhielt man eine lineare Pegellautheitsfunktion der unterschiedlichen Frequenzen, in dB nach KU aufgetragen. Bei beiden Verfahren konnte so für die

Routineanwendung schnell ein Bild der Lautheitsfunktion des Probanden/Patienten hergestellt werden.

Aufteilung der Testversionen		WHF1	WHF3	Junior1	Junior3	
Frequenzen		500, 1000, 2000, 4000 Hz	800, 1600, 3150 Hz	500, 1000, 2000, 4000 Hz	800, 1600, 3150 Hz	
Versuchsteilnehmer		Anzahl der Testdurchläufe				
Erwachsene	n = 37	Vorversuch	1	1	2	2
Schulkinder	n = 41	Hauptversuch	1		1	
Vorschulkinder	n = 36		1		1	
Kinder im Retest	n = 21		1		2	
Kinder mit Hörstörungen	n = 15	Appendix	1		1	

Tab. 3: Aufteilung der Testversionen und die untersuchten Frequenzen sowie die Anzahl der Testdurchläufe der verschiedenen Versuchsteilnehmer



Abb. 2: Dargestellt ist das Skaliertablett beim konventionellen Würzburger Hörfeld. [nach Westra 1993]

4.2.2 Versuchsdurchführung

Jedem Probanden wurden in einem Durchgang randomisiert entweder erst das konventionelle WHF und dann die Juniorversion oder umgekehrt präsentiert. Zuvor wurden die Probanden von stets derselben Person eingewiesen und über den Pegelbereich orientiert. Zur einfachen Orientierung erfolgte ein Probedurchlauf, bei dem das leiseste und lauteste Geräusch der Untersuchung vorgespielt wurde. Eingreifende Hinweise, wie z.B. *“Sie hören/du hörst jetzt einen lauten Ton”* wurden nicht gegeben.

Den erwachsenen Probanden standen 7 wörtliche Kategorien unterteilt in insgesamt 50 Feinabstufungen für die Lautheitsbeurteilung

zur Verfügung. Diese Feinabstufungen waren nicht deutlich ersichtlich, sondern konnten nur durch die durchgängige, berührungsempfindliche Skala angewählt werden (**Abb. 2**). Um die

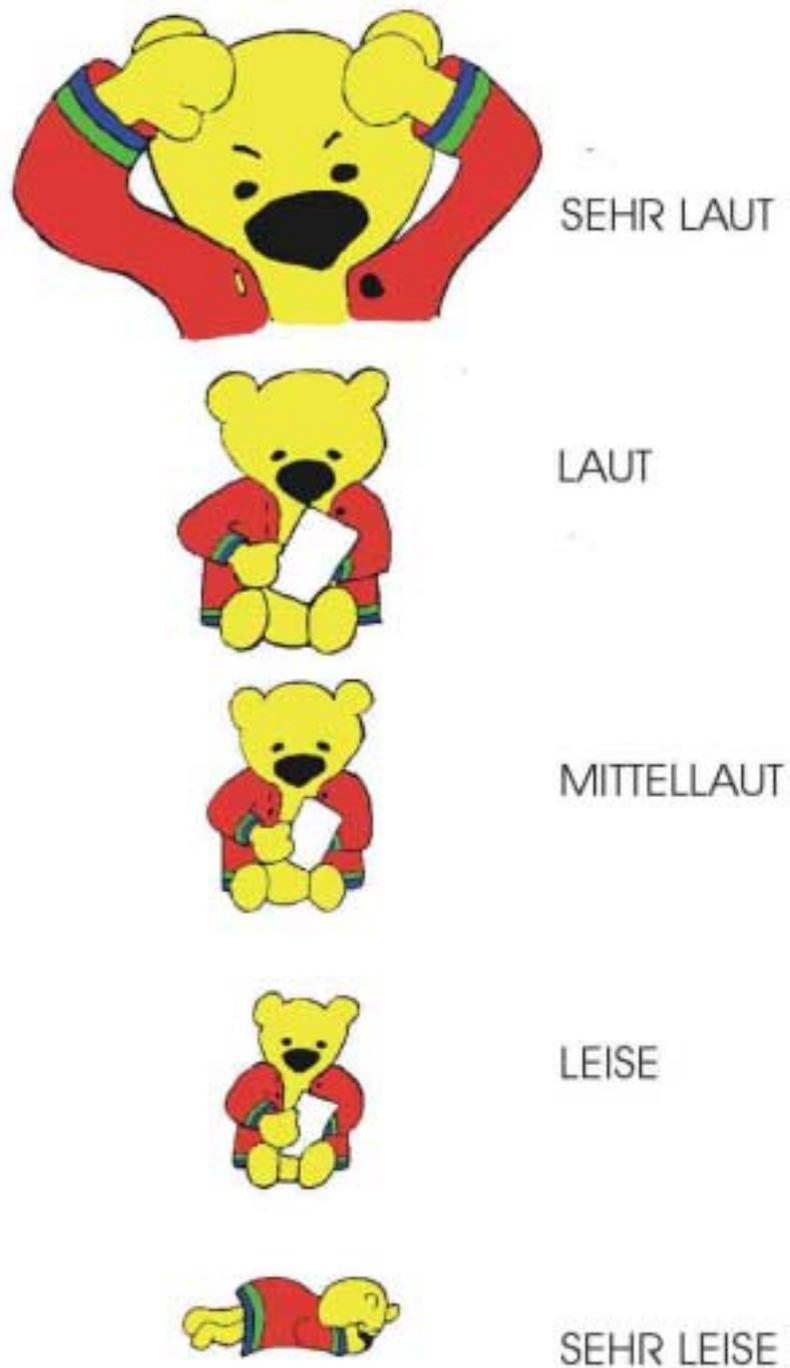


Abb. 3: Neugestaltetes, kindgerechtes Skaliertablett Die Nasen der Bären lagen der berührungsempfindlichen Skala an. (Nase „sehr leise“ entspricht 5 KU; „leise“ - 15 KU; „mittellaut“ - 25 KU; „laut“ - 35 KU; „sehr laut“ - 45 KU).

Kinder mehr anzusprechen, wurde ein kindgerechtes Skalierungstablett entworfen, auf dem 5 Teddybären unterschiedlicher Größe für die Lautheitseindrücke von sehr laut (großer Bär, der sich die Ohren zuhält) bis sehr leise (kleines schlafendes Bärchen) abgebildet waren (**Abb. 3**). Die Kinder wurden angewiesen, dem jeweiligen Bären auf die Nase zu drücken, der ihre Empfindung widerspiegelte. Unter der Nase befand sich der berührungsempfindliche Steifen, der die Übertragung zum Computer ermöglichte.

4.2.3 Einweisende Worte für die Probanden

Die Erklärung des Testverfahrens erfolgte für Erwachsene nach dem empfohlenen Schema des WHF (88):

“Sie hören jetzt von dem Lautsprecher verschiedene Signale, die hell, dunkel, laut und leise klingen. Geben Sie bitte jedesmal an, wie laut Sie das Signal hören. Auf dem Skaliertablett sehen Sie unterschiedliche Klassen: sehr leise, leise, mittellaut, laut, sehr laut, zu laut. Drücken Sie mit dem Finger auf die goldenen Streifen auf dem Skalierungstablett an die entsprechende Stelle. Die Begriffe dienen Ihnen als Anhaltspunkte, Sie können auch Zwischenwerte angeben, wenn Sie es so empfinden. Sie brauchen nur zu drücken, wenn Sie ein Signal hören”

Kindereinweisung:

“Komm, wir spielen ein Computerspiel. Du hörst jetzt von dem Lautsprecher verschiedene Geräusche, die hell, dunkel, laut und leise klingen. Jedesmal, wenn du ein Geräusch gehört hast, sollst du sagen, wie laut du das findest. Damit das wie bei einem richtigen Computerspiel ist, drückst du nach jedem Geräusch auf das hier (Skaliertablett).

Dieser Bär hier, der große, der sich die Ohren zuhält, steht für ein sehr lautes Geräusch. Wenn du ein Geräusch hörst, das so laut ist, dass du dir am liebsten die Ohren zuhalten möchtest, dann drücke dem Bären auf die Nase (vormachen, nachmachen lassen).

Der nächste Bär hält sich nicht mehr die Ohren zu, aber ist auch noch recht groß, das ist etwa so, als wenn du laut mit jemandem spielst, rufst etc. (vormachen lassen). Dem kannst du dann auch auf die Nase drücken, wenn du ein Geräusch gehört hast, das genauso laut ist.

Der nächste Bär, der ist schon ein bisschen kleiner, und der ist auch in der Mitte von allen Bären. Dieser ist für ein mittellautes Geräusch, so ungefähr wie eine Unterhaltung mit deiner Mutti, Vati etc.. Dem kannst du dann wieder auf die Nase drücken.

Der nächste Bär ist noch etwas kleiner. Der ist für ein leises Geräusch, so als wenn man flüstert (vormachen lassen). Dem kannst du auch auf die Nase drücken.

Der letzte Bär ist sehr klein und schläft. Dieser ist für ein sehr leises Geräusch, so als wenn man es fast gar nicht mehr hört (bei Geschwisterkindern ein Beispiel geben: Wenn XX schläft, muss man immer so leise sein, damit er/sie nicht aufwacht). Da der Bär die Hände vorm Gesicht hat, kannst du dem ja einfach auf den Bauch drücken, hier so (vormachen)."

Anschließend wurde das Verständnis der Begriffe „laut“, „leise“, etc. anhand einer kurzen Übung überprüft: *„Wenn du etwas sehr Lautes hörst, auf wessen Nase musst du dann drücken?“* (alle Bären noch mal durchgehen)

Dann wurde ein kurzer Übungsdurchlauf durchgeführt (ca. 5 Reize), bis das Kind verstanden hatte, wie der Test ablief. Wenn das Kind noch sehr jung war, begleitete die Mutter es in die Kabine und nahm es auf den Schoß, wobei darauf geachtet wurde, dass seitens der Mutter keine Hilfestellung gegeben wurde. Wichtig war auch die Kontrolle, ob das Kind beim Zeigen der Bären den berührungsempfindlichen Streifen erreichte.

4.2.4 Untersuchungen zur Reliabilität

In allen Gruppen erfolgte die Überprüfung der Reliabilität des Verfahrens anhand von Wiederholungsmessungen. Bei allen Erwachsenen und 21 Kindern wurde eine Wiederholungsmessung der Juniortests durchgeführt (**Tabelle 3**). Der Abstand zwischen der ersten Messung und der Wiederholung betrug 1 bis 130 Tage. Dabei wurde die Abweichung der Skalierung, die mittels der Differenzen (72) der Einzelabweichungen errechnet wurde, beurteilt.

4.3 Zusatzdiagnostik

4.3.1 Bestimmung der Hörschwelle

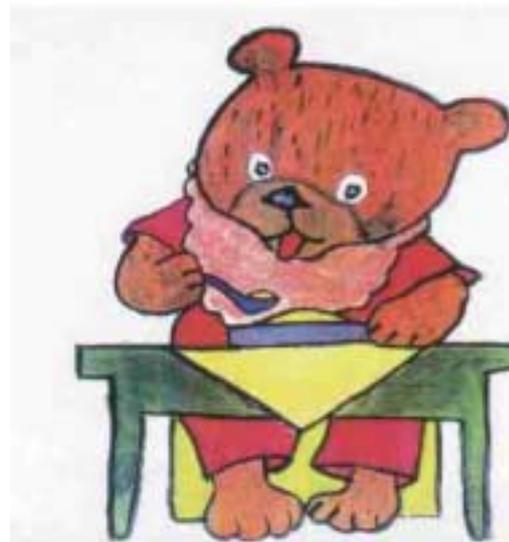
Um bei Normalpersonen eine Schwerhörigkeit auszuschließen, wurde die Hörschwelle mit einem Tonschwellenaudiogramm im Frequenzbereich von 0,125 bis 8 kHz bestimmt. Bei Kindern wurde je nach Alter ein Spielaudiogramm oder schon eine normale Tonschwellenaudiometrie durchgeführt.

4.3.2 Entwicklungsdiagnostik

Da das Alter in der Entwicklungsperiode einen großen Einfluss auf die kognitiven Fähigkeiten hat, wurde eine "altersentsprechende Entwicklung" der Kinder als Einschlusskriterium für die Studie vorausgesetzt. Bei den Kindern ab 5 Jahren wurde ein grobes Entwicklungsscreening durch den Intelligenztest nach Raven erhoben. Dieser Test untersuchte die visuellen Fähigkeiten. Den Kindern wurden verschiedene farbige oder schwarzweiße Muster vorgelegt, in denen jeweils ein Feld ausgelassen war. Für die Ergänzung des Bildes waren 6 verschiedene Möglichkeiten vorgegeben. Das Kind zeigte auf den Vorschlag, der ihm als richtig erschien. Jede richtige Antwort ergab einen Punkt. Die Punkte wurden anhand von Tabellen der Altersnorm auf einen Intelligenzquotienten umgerechnet.

Für die Kinder unter 5 Jahren wurde der Teddy-Test verwendet. Der von Frau Dr. Friedrich, an der Martin Luther Universität Halle entworfene Teddy-Test überprüft die semantischen Fähigkeiten. Die Kinder bekamen verschiedene Bilder vorgelegt und hatten die Aufgabe, diese zu beschreiben. Anschließend wurden alle Bilder erneut durchgesprochen und anhand von standardisierten Fragen die passiven Fähigkeiten der Kinder überprüft (**Abb. 4**).

Abb. 4: Beispielhaft ist ein Bild aus dem Teddy-Test dargestellt. Das Bild heißt "Der Teddy isst". [nach G. Friedrich]



Beispiel: Das Kind sagte: „*Der Teddy isst.*“ Die semantische Relation "Aktion" wurde vom Kind selbst genannt. In diesem Beispiel folgten dann diese standardisierten Fragen: "Was isst der Teddy?" (Frage nach dem Objekt); "Womit isst der Teddy?" (Frage nach dem Instrument); "Wo isst der Teddy?" (Frage nach der Lokalisation); "Warum isst der Teddy" (Frage nach der Finalität und Kausalität). Jede korrekte semantische Relation gab einen Punkt. Die Normwerte wurden für das freie Sprechen und die standardisierte Variante getrennt erhoben. Zusätzlich floss die Wortzahl im ersten Teil für das freie Sprechen mit ein. Für jede Antwort gab es entsprechend den Normtabellen einen Statime-Wert. 5 ± 2 galt als

Normbereich. Größere Abweichungen wurden als Sprachverzögerung in diesem Bereich beurteilt.

Die bei der Befragung anwesenden Eltern gaben auch Auskunft darüber, ob die abgefragten Wörter und Begebenheiten dem Kind bekannt waren.

Obwohl keiner der beiden Tests ausreichend ist, um eine vollständige Entwicklungsdiagnostik durchzuführen, können beide Tests einen groben Überblick über die Entwicklung des Kindes darlegen. Kinder, die in diesen Tests nicht auffällig wurden und auch in der Befragung als unauffällig galten, konnten so in der Studie als altersentsprechend entwickelt eingegliedert werden ohne eine vollständige Beurteilung ihrer Entwicklung zu erfassen.

4.4 Statistische Auswertung:

Für die Frequenzbereiche wurden jeweils die einzelnen Pegellautheitsfunktionen errechnet. Dabei klassifizierte sich die Funktion durch die lineare Regression der Antworten:

$$y = mx + b$$

Die Steigungswerte m und Achsenabschnitte b wurden dabei errechnet. Die **lineare Regression** passt eine Gerade einer Punktwolke so an, dass die Abstände der Wertepaare zur Gerade gleich sind. Diese Angleichung bezieht sich auf die abhängige Größe y , die auf der Ordinate aufgetragen wird. In diesem Fall war die unabhängige Einflussgröße der Pegel in dB und die abhängige Größe die Antwort des Probanden in KU.

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$
$$b = \bar{y} - m\bar{x}$$

Zum Vergleich der Schwankungen der Antworten um den Graphen errechnete man das Bestimmtheitsmaß. Das **Bestimmtheitsmaß** r^2 ist ein Maß für die Prozentzahl der Gesamtvariabilität der abhängigen Variablen y durch die lineare Regression auf die unabhängige Variable x .

$$r^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \right)^2$$

Um die Einzelwerte für den Graphen zu erfassen, wurde mit Hilfe des Integrals unter den Einzelwerten die **Fläche** unter dem Graphen errechnet. Als Einheit werden die Zahlen in Punktwerten angegeben.

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{2} mx^2 + bx + c$$

Bei Betrachtung der Antworten der Gruppen wurden die einzelnen Antworten der Probanden anhand des arithmetischen Mittelwertes \bar{x} gemittelt. Die interindividuellen Unterschiede wurden mit der **Standardabweichung** s der Antworten der Probanden errechnet.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Zur Bestimmung der intraindividuellen Unterschiede wurden bei jeder Antwort die Abweichungen der verschiedenen Messungen errechnet und durch die Anzahl der Pegel einer Frequenz dividiert. Es ergab sich eine Schwankung in KU für jede Frequenz innerhalb der verschiedenen Messungen.

Die beiden Messungen wurden anschließend noch mit errechneten Flächenwerten durch den Intraclass-Koeffizienten korreliert. Der Koeffizient vergleicht die Ähnlichkeit innerhalb definierter Klassen zur Gesamtähnlichkeit der Elemente der Grundgesamtheit. Die Elemente einer Klasse sind um so homogener, je größer der Koeffizient ist. Zur weiteren Beurteilung der Übereinstimmung wurde der Wilcoxon-Test mit den errechneten Flächenwerten verwendet. Er ist nach Sachs (76) ein Test für Paardifferenzen und gibt Auskunft darüber, ob die paarig geordneten Beobachtungen symmetrisch um den Median verteilt liegen.

Die **Auswertung der Verwendungshäufigkeit** der einzelnen Kategorien wurde auf einen Erwartungswert bezogen. Aus den bei Moser (58) angegebenen Steigungswerten ließ sich mit Hilfe einer linearen Gleichung errechnen, bei welchem Pegel wieviele kategoriale Unterteilungseinheiten zu erwarten waren.

$$y = m * x + b \Rightarrow x = \frac{y - b}{m}$$

Anhand dieser Werte konnte für das konventionelle WHF kalkuliert werden, wie oft eine Teddybär-Kategorie zu erwarten war. Die Absolutwerte wurden in relative Häufigkeiten umgewandelt. Der zu erwartende Wert in jeder Kategorie entsprach der Zahl 100. Eine Teddybär-Kategorie fasste die 50 möglichen Antwortkategorien in 5 Bereiche zusammen.