

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohren-
krankheiten, plastische und ästhetische Operationen
der Universität Würzburg

Direktor: Prof. Dr. med. Dr. h. c. Rudolf Hagen

**Lautheitsbeurteilung Normalhörender
bei
absoluter und relativer Skalierung**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
vorgelegt von

Ivan Krastev Ivanov

aus Varna

Würzburg, August 2010

Referent: Prof. Dr. med. Joachim Müller
Koreferent: Prof. Dr. rer. nat. Kathleen Wermke
Dekan: Prof. Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 20.09.2011

Der Promovend ist Zahnarzt

Meinen Eltern gewidmet, die mir mein Studium ermöglicht haben.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Einführung	1
1.2	Skalierung	2
1.2.1	Psychophysik	2
1.2.2	Lautheitsskalierung	3
1.2.3	Lautheitsurteile: Absolut versus Relativ	5
1.3	Fragestellung und Zielsetzung	8
1.3.1	Würzburger Hörfeld (WHF)	10
2	Versuchsplanung und Methodik	13
2.1	Auswahl der Probanden	13
2.2	Tonaudiogramm	13
2.3	Vorversuche	15
2.4	Aufbau der Sequenzen	16
2.5	Stimuli	19
2.5.1	Auswahl	19
2.5.2	Art und Beschaffenheit der Stimuli	20
2.6	Reihenfolge der Testkonditionen und Anzahl der Probanden	22
2.7	Instruktion der Probanden	22
2.8	Freifelddarbietung	25
2.9	Schalltoter Raum	25

2.10	Aufbau der Geräte in der Kammer	26
2.11	Schallpegelmessung	26
2.12	Versuchsablauf	27
3	Technik	29
3.1	Computer	29
3.2	USB-Soundkarte	29
3.2.1	Audiometrie-Aktiv-Box	29
3.3	Skaliertablett	30
3.4	Skalierungsprogramm	31
3.5	Patientendatenbank	32
4	Ergebnisse	33
4.1	Statistische Auswertung	33
4.2	Rohdatenbetrachtung	34
4.3	Visuelle Betrachtung der Urteilsdichte	35
4.4	Urteilsunterschiede der Probanden	39
4.4.1	Absoluturteile	39
4.4.2	Relativurteile	44
4.4.3	Absoluturteilsdifferenzen	49
4.5	Antwort in Abhängigkeit der Absoluturteile vom Pegel	53
4.6	Abhängigkeit der Absoluturteilsdifferenzen und der Relativurteile von den Pegeldifferenzen	54
4.6.1	Abhängigkeit der Absoluturteils- von den Pegeldifferenzen	56
4.6.2	Abhängigkeit der Relativurteile von den Pegeldifferenzen	56
4.7	Erfahrungen und Schwierigkeiten der Probanden während des Versuchs	62

5 Diskussion	65
5.1 Verhaltensweisen der Probanden	65
5.2 Urteilsunterschiede bei den Probanden	67
5.2.1 Absoluturteile	67
5.2.2 Relativurteile	68
5.2.3 Absoluturteilsdifferenzen	69
5.3 Geschlechtsspezifische Urteilsunterschiede	69
5.4 Urteilsunterschiede bei unterschiedlichen Stimulustypen	69
5.5 Pegelabhängigkeit bei den Absoluturteilen	70
5.6 Abhängigkeit der Absoluturteilsdifferenzen und Relativurteile von Pegeldifferenzen	72
5.7 Fehlermöglichkeiten	73
6 Ausblick	77
7 Zusammenfassung	79
A Übersichtstafeln zur Lautheitsskalierung und Urteilsdichte	81
B Zusatzdaten	87
C Skalierungsdaten und Vorgängerabhängigkeiten	95
Literaturverzeichnis	123
Danksagung	
Lebenslauf	

1 Einleitung

1.1 Einführung

Schwerhörigkeit ist eine häufige Erkrankung, die in akute und chronische Verläufe sowie vorübergehende und bleibende Schäden eingeteilt werden kann. Da sie in gewissem Maße auch eine Alterserscheinung darstellt, sind ältere Menschen wesentlich häufiger betroffen als junge. Über die Zahl der Hörgeschädigten in Deutschland gibt eine Publikation des Statistischen Bundesamtes Auskunft (Streppel et al., 2006). Laut Sohn und Jörgenshaus (2001) sind 19% der deutschen Bevölkerung über 14 Jahre hörbeeinträchtigt, eine Zahl, die in den nächsten Jahren aufgrund demographischer Entwicklung und verändertem Freizeitverhalten junger Menschen weiter steigen wird. Die Schwerhörigkeit führt oft bei den Betroffenen zu sozialen, ökonomischen und körperlichen Beeinträchtigungen. Vor allem bei Kindern ziehen Hörschäden psychische Folgen nach sich. Sehr oft ist eine normale Entwicklung des Kindes nicht sichergestellt, dies verringert wiederum seine Zukunftsmöglichkeiten. Durch eine Untersuchung von Florin (1990) wurde klar, wie sich die Schwerhörigkeit bei den Betroffenen auswirkt und wie diese Schäden durch eine frühzeitige Versorgung vermieden werden können. Das Wichtigste für die Betroffenen ist es, eine Hörhilfe zu erhalten, die zu einem möglichst vollständigen Ausgleich des Hörverlustes führt, aber andererseits auch leicht zu bedienen und angenehm zu tragen ist. Um ein solches komfortables Gerät richtig anpassen zu können, ist eine optimale Untersuchung erforderlich.

Eine Methode, die auf langjähriger klinischer Erfahrung beruht, ist die kategoriale Lautheitsskalierung. Laut [Kießling et al. \(1993\)](#) ist das Verfahren von mindestens 95 % der Patienten, insbesondere auch von ungeübten und älteren Personen, problemlos zu beherrschen.

1.2 Skalierung

1.2.1 Psychophysik

Die Psychophysik war ursprünglich eng mit der Skalierung verbunden. Im Laufe der Jahre hat ihr Einfluss jedoch nachgelassen. Zum besseren Verständnis der Entwicklung sollen die Grundgedanken kurz erläutert werden.

In seinem Buch „Elemente der Psychophysik“ versuchte Gustav T. [Fechner](#) diese Lehre zu definieren:

„Unter Psychophysik verstehe ich [. . .] eine Lehre, die, obwohl der Aufgabe nach uralt, doch in Betreff der Fassung und Behandlung dieser Aufgabe sich hier insoweit als eine neue darstellt, dass man den neuen Namen dafür nicht unpassend und nicht unnötig finden dürfte, kurz eine exacte Lehre von den Beziehungen zwischen Leib und Seele.“
([Fechner, 1860](#), Vorwort S. V)

„Die Psychophysik beschäftigt sich damit, ob und wie sich physikalisch exakt meßbare Phänomene (wie z. B. die Lautstärke einer Tonquelle, gemessen in Schalldruck N/m^2) in subjektiven Empfindungen widerspiegeln.“ ([Borg und Staufenbiel, 1997](#), S. 7)

Das ist sehr einfach, wenn dem physikalischen Kontinuum (z. B. Schalldruck) eine entsprechende psychologische Dimension (in diesem Fall: Lautheit) zugeteilt

werden kann. Psychophysische Fragen, wie „Welcher Schalldruck ist so gering, dass ein Ton gerade nicht mehr gehört wird?“ oder: „Gegeben ist der Ton x . Um wie viel lauter als x muss der Ton x' sein, damit die Versuchsperson gerade noch einen Unterschied hört?“, haben später zu der Entstehung und Entfaltung einiger Skalierungsmethoden geführt.

1.2.2 Lautheitsskalierung

Die Lautheitsskalierung ist eine Messmethode zur Erfassung der individuellen Lautstärkewahrnehmung. Schon die Pioniere der Psychophysik waren mit der Frage der Empfindung beschäftigt: Basiert sie auf konstanten Empfindungsunterschieden oder auf konstanten Empfindungsverhältnissen?

Gustav T. Fechner „war davon überzeugt, dass [es] unmöglich ist, Empfindungen direkt zu messen. Er meinte vielmehr, sie könnten nur aus bestimmten Indikatoren - wie z. B. den empirisch beobachteten Unterschiedsschwellen - erschlossen werden. Stevens (1957, 1961) dagegen vertrat die Auffassung, dass man die Vpn [Versuchspersonen] auch ganz direkt nach ihren Empfindungen oder genauer nach ihren Empfindungsstärken fragen könne.“ (Borg und Staufienbiel, 1997).

Laut Weberschem Gesetz kann man sowohl auf eine Konstanz des Empfindungsunterschiedes als auch auf eine Konstanz des Empfindungsverhältnisses bzw. des relativen Empfindungsunterschiedes schließen.

Im Jahr 1887 berichtete Fechner über die Unterschiedshypothese (indirekte Skalierung) auf Basis seiner Probandenuntersuchungen. Etwa 70 Jahre später wurde durch Stevens mit der Methode der direkten Skalierung der Anfang der „neuen Psychophysik“ gesetzt:

„Direkte Verfahren verlangen von den Versuchspersonen Urteile über die Größe von Abständen oder Verhältnissen zwischen Reizen bzw.

den damit korrespondierenden Empfindungen, und verwenden dann diese Urteile direkt zur Skalierbildung.“ (Hellbrück, 1993, S. 197)

Stevens beschreibt zwei Methodenklassen zur direkten Skalierung von Empfindungen, die auf den beiden Hypothesen „Verhältnishypothese“ und „Unterschiedshypothese“ beruhen, die sogenannte Verhältnismethode und die Partitionsmethode.

Verhältnismethode

Eines der ersten Verhältnisskalierungsverfahren ist die Methode der doppelten Reize (Merkel, 1888). Dabei sollen die Versuchspersonen die Stärke eines variablen Reizes verändern, so dass dieser zweimal stärker empfunden wird als ein Standardreiz. Richardson und Ross (1930) haben Versuchspersonen die Aufgabe gegeben, den empfundenen Lautstärken Zahlen zuzuordnen. Dabei wurde den Probanden ein Standardreiz mit dem Zahlenwert 1 vorgegeben. Die zugeordneten Zahlen sollten die Empfindungsverhältnisse darstellen. Später wurde dieses Verfahren von Stevens „Magnitude Estimation“ genannt (Stevens, 1955). Da die Vorgabe des Standardreizes zu Verzerrungen geführt hatte, wurde er weggelassen und die Probanden sollen dem ersten Reiz eine Zahl in freier Wahl zuordnen („Free Magnitude Estimation“). Eine Variante der Free Magnitude Estimation ist die „Absolute Magnitude Estimation“, wobei keine relativen, sondern absolute Zahlzuweisungen vorgenommen werden sollen.

Ein weiteres Skalierungsverfahren ist das sogenannte „Cross Modality Matching“ (CMM), bei dem die Probanden eine Empfindungsdimension auf eine andere Empfindungsdimension abbilden sollen. Diese Methode wird bei der Messung des Hörverlusts eingesetzt.

Partitionsmethode

Partitionsmethoden sind „direkte Methoden, mit denen gleichabständig erscheinende Empfindungsunterschiede gemessen werden“ (Hellbrück, 1993). Diese Methode datiert von 1872, als M. J. Plateau acht Künstler (Maler) ein mittleres Grau zwischen Schwarz und Weiß einstellen ließ. Die dann sogenannte Bisektionsmethode teilt durch die subjektive Mitte das Empfindungskontinuum in zwei gleich erscheinende Diskrepanzen. Eine Erweiterung der Bisektion ist die Äquisektion. Dabei werden wieder zwischen zwei Extremen mehrere Reize ausgelöst, deren Empfindungen gleichabständig erscheinen sollen. Untrennbarer Teil der Partitionsmethode sind die verschiedenen Kategorienskalierungen. In der vorliegenden Arbeit wird das Kategorienunterteilungsverfahren (KU-Verfahren) angewendet. Es wurde 1985 von Heller eingeführt und fand seither verbreitete Anwendung in der Audiologie in Deutschland.

1.2.3 Lautheitsurteile: Absolut versus Relativ

Der Gebrauch der absoluten Urteile kommt häufiger vor, als man es vermutet. In Alltag sind sehr oft Wörter wie z. B. „klein“, „groß“, „hell“, „dunkel“, „laut“ und „leise“ zu hören. Diese Begriffe werden als Feststellung benutzt und helfen uns, tagtäglich bestimmte Gegenstände zu charakterisieren. Bekannt sind natürlich Zwischengrößen wie „mittelgroß“, „mäßig“ und „ziemlich“. Im täglichen Gebrauch werden aber nicht mehr als fünf bis sechs Kategorien verwendet.

„Offensichtlich sind Kategorialurteile nicht dazu da, genaue Maßangaben zu ersetzen. Sie sollen vielmehr die Reize in wenige, leicht überschaubare Kategorien zusammenfassen.“ (Haubensak, 1985, S. 2)

Die Absoluturteils-Methode ist wesentlich weniger aufwändig, da sie eine Einzelreizmethode ist, bei der einige wenige Urteile pro Reiz als ausreichend angese-

hen werden. Da die meisten Absoluturteile nach groben Kategorien zusammenfassend und weniger nach Identifikationsmerkmalen abgegeben werden, verstehen [Martin und Müller \(1899\)](#), [Wever und Zener \(1928\)](#), [Witte \(1960\)](#), [Haubensak \(1985\)](#) darunter Bereichs- oder Klassifikationsurteile.

Die Untersuchung von Martin und Müller veranschaulicht, was man unter der „Methode der absoluten Urteile“ versteht.

Unter Anwendung des Konstanzverfahrens ließen die beiden unterschiedliche Gewichte mit Komparativurteilen (schwer - leicht) bewerten. Nach einer gewissen Zeit gaben die meisten Versuchspersonen keine Komparativurteile mehr ab, sondern „absolute“, z. B. „das ist das leichte Gewicht“. Mit der zunehmenden Erfahrung durch die vielen Vergleiche bildeten sich „absolute Eindrücke“, die zur Aufteilung der Schwere in Kategorien führten.

„Die Methode der absoluten Urteile ist die Methode, die vorzugsweise bei der Untersuchung psychologischer Bezugssysteme angewandt wird [Witte \(1960\)](#), [Haubensak \(1985\)](#). Hierunter versteht man perzeptive Ordnungssysteme, von denen phänomenal absolute Eigenschaften funktional abhängig sind. Solche Systeme sind auch die Grundlagen dafür, dass Menschen sich mit Hilfe von Begriffen, die absolute Eindrücke reflektieren, unterhalten und verstehen können.“
([Hellbrück, 1993](#), S. 201)

Es stellt sich die Frage, ob man immer absolut urteilt, oder ob die Theorie der Relativität zutrifft. Wird eine Feststellung absolut ausgesprochen oder ist sie das Ergebnis eines Vergleichs? In seinem Buch „Absolutes und vergleichendes Urteil“ betrachtet [Haubensak](#) die absoluten Urteile:

„In Wirklichkeit sind sie relativ. Ihre Kontextabhängigkeit ist experimentell leicht nachzuweisen. Dasselbe Gewicht, das uns in einer

Reihe leichterer Gewichte als schwer erscheint, bezeichnen wir als leicht, sobald es zusammen mit noch schwereren dargeboten wird, und dieselbe Person, die wir in unserer alltäglichen Umgebung als ‚normal groß‘ einstufen würden, kommt uns mit einem Male klein vor, wenn wir sie inmitten einer Basketballmannschaft erblicken. Witte hat den Unterschied einmal auf den kurzen Nenner gebracht: ‚Phänomenal sind die Urteile absolut, funktional sind sie relativ.‘ “ (Haubensak, 1985, S. 15)

Helson und sein Nachfolger Sarris unterstützen die These: „Das Wahrnehmungsurteil ist in phänomenaler Hinsicht absolut, jedoch in psychologischer Hinsicht relativ“ (Sarris, 1971, S. 21).

In der Literatur findet man relativ wenige Versuche, die auf der Basis einer Vergleichsmethode durchgeführt wurden. Hellbrück und Heller (1979) berichten über die Festlegung von Lautstärkedifferenzen, die bei Frequenzänderung eines Tones mit konstantem Schalldruckpegel auftreten. Obwohl man nicht ausschließen kann, dass bei der direkten Quantifizierung von phänomenaler Verschiedenheit das Fechnersche Gesetz gilt, standen sie vor dem Problem, die Verschiedenheit zu quantifizieren. Sie spielten den Probanden einen Ton vor, dessen Frequenz von 20 Hz bis 20 kHz verändert wurde. Ziel dabei war es, die Probanden von der sich ändernden Tonhöhe absehen zu lassen, und nur die Lautstärkedifferenz auf einer vorgegebenen Zahlengerade anzugeben. Die Angabe „0“ bedeutete keine Änderung der Lautstärke. Zahlenwerte, die rechts (lauter) bzw. links (leiser) von der Null abgegeben wurden, sollten bedeuten, dass der Ton um entsprechende Einheiten lauter bzw. leiser als der Vorgängerton wurde.

1.3 Fragestellung und Zielsetzung

Auf der Suche nach Verbesserungen bei der Hörgeräteanpassung sollte nicht nur auf das Sprachverständnis, sondern auch auf eine möglichst natürliche Lautheitsempfindung mit dem Hörgerät geachtet werden. Wissenschaftler wie Fechner, Stevens, Fletcher, Heller und Hellbrück versuchten, durch diverse Verfahren die richtige Methode für ein möglichst genaues Hörempfinden zu entwickeln.

Die vorliegende Arbeit untersucht die Absolut- und die Relativskalierungsmethode bzw. die dabei entstandenen Ergebnisse und bemüht sich, Klarheit über deren Wirksamkeit und Effektivität zu schaffen.

Die hier verwendete absolute Lautheitsskalierung ist ein audiometrisches Verfahren auf Basis von kategorialen Urteilen. Bekannt als Hörfeldaudiometrie und von Heller (1985) entwickelt ist dieser Begriff mit der Kategorienunterteilungsskala (KU - Skala) verknüpft. Eine in der Praxis weit verbreitete Hörfeldaudiometrie ist das zweistufige, insgesamt aus 50 Urteilsfeldern aufgebaute Würzburger Hörfeld (WHF), das durch die Zusammenarbeit der Firma Westra electronic GmbH und der Universitäts-HNO-Klinik Würzburg entwickelt wurde (Moser, 1987). Diese Methode wird näher in Abschnitt 1.3.1 (Würzburger Hörfeld (WHF), S. 10) erläutert. Die Methode der relativen Lautheitsskalierung ist ein direktes Skalierungsverfahren. Hier wurde die Idee von der KU - Skala beibehalten, allerdings wurden die fünf absoluten Kategorien durch fünf relative ersetzt. Dadurch wurde die Probandeninstruktion (s. Abschnitt 2.7, Instruktion der Probanden, S. 22) für die Versuchspersonen noch verständlicher. Im Gegensatz zur Absolutlautheitsskalierung, bei der der Proband seine absolute Einschätzung abgab, war es nun die Aufgabe, den Pegel zweier unmittelbar aufeinander folgender Töne zu vergleichen und den Unterschied in der Lautstärke zu beurteilen. Die beiden Skalen sind den Abbildungen 1.1 und 1.2 zu entnehmen.

Im Bereich der Hörhilfenanpassung finden an der HNO-Klinik in Würzburg viele Forschungsarbeiten statt. Das Qualitätskriterium „Lautheit“ wird dort am häufigsten mit dem Würzburger Hörfeld getestet. Dabei werden den Patienten mehrere verschiedene Stimuli in unterschiedlichen Lautstärkepegeln angeboten. Auf Basis ihrer Urteile entsteht ein Kenntnisbild, das zu einer vereinfachten und individuellen Anpassung führt. In der vorliegenden Arbeit wurden ein schmalbandiger (Wobbel-Ton) und ein breitbandiger Reiz (CCITT-Rauschen) verwendet. Die Probanden sollten in zwei verschiedenen Hauptversuchen Urteile über beide abgeben. In der Arbeit von Nägele (2004) wurde die absolute Lautheitsskalierung identisch aufgebaut und durchgeführt.

Die Ergebnisse dieser Arbeit erscheinen statistisch sehr gut abgesichert und stimmen in allen vergleichbaren Aussagen mit der bekannten Literatur überein. Daher ermutigen sie, auf dieser Basis aufzubauen und die Methode zu adaptieren. Mit dieser Studie sollten der Forschungsstand in der absoluten und der relativen Lautheitsskalierung erweitert und die beiden Skalierungsmethoden miteinander verglichen werden. Dabei bildeten sich folgende Fragen heraus:

- Existieren individuelle Unterschiede in den Urteilen der Probanden?
- Gibt es eine Korrelation zwischen absolut und relativ?
- Welche Urteile haben die größere Streuung, relative oder absolute?
- Sind die Absoluturteile durch die Relativurteile erklärbar?
- Gibt es eine Pegelabhängigkeit bei den Absoluturteilen?
- Besteht eine Pegeldifferenzabhängigkeit bei den Absoluturteilsdifferenzen?
- Wie verhalten sich die Absoluturteilsdifferenzen bei den verschiedenen Probanden?
- Kann man eine Abhängigkeit der Relativurteile von den Pegeldifferenzen beobachten?
- Gibt es eine probandenspezifische Wirkung auf die Relativurteile?

1.3.1 Würzburger Hörfeld (WHF)

Unter dem Würzburger Hörfeld versteht man ein psychoakustisches Verfahren zur Ermittlung der individuellen Dynamik-Kennlinien des Gehörs. Die Methode gibt das auf die Person bezogene pegel- und frequenzspezifische Lautheitsempfinden an. Laut [Hellbrück und Moser](#) ist das Erreichen der optimalen Anpassung von Hörhilfen nur durch eine individuelle Form der Lautheitsskalierung mit dem Patienten möglich ([Hellbrück und Moser, 1985](#); [Kollmeier, 1997](#)). Ziel des WHF ist das Angleichen der Hörgeräte und der Cochleaimplantate, um die bestmögliche Tragetoleranz und größeres Wohlbefinden für die Betroffenen zu erreichen. Um die individuelle Lautheitswahrnehmung zu ermitteln, werden den Patienten Reize in einem reflexionsarmen Raum mittels einer Aktivbox dargeboten. Der Schallpegel liegt zwischen 20 dB und 90 dB (Untergrenze einstellbar) und wird in Schritten von 5 dB variiert. Die angebotenen Frequenzen sind üblicherweise 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz und 4000 Hz, können bei Bedarf aber ebenfalls eingestellt werden. Der Teilnehmer teilt seine Urteile per Fingerdruck auf einem berührungsempfindlichen Tablett mit (s. [Abbildung 1.2](#)), das mit einem Computer verbunden ist. Die Urteile werden unverzüglich von einem PC aufgenommen und gespeichert.

Das Tablett verfügt über eine Skala, die dem KU-Verfahren entspricht. Sie ist in fünf Kategorien unterteilt: »sehr laut«, »laut«, »mittellaut«, »leise«, »sehr leise«. Um eine exaktere Differenzierung zu ermöglichen, ist jede dieser Kategorien noch in 10 Untereinheiten eingeteilt. Somit umfasst die Skala 50 Einheiten (1 bis 50). Zusätzlich existiert die Einheit "0" als einzelne Kategorie für »nicht gehört«. Die [Abbildungen 1.1](#) und [1.2](#) zeigen die Beschriftung und die Einteilung des Tablett für absolute und relative Lautheitsangaben.

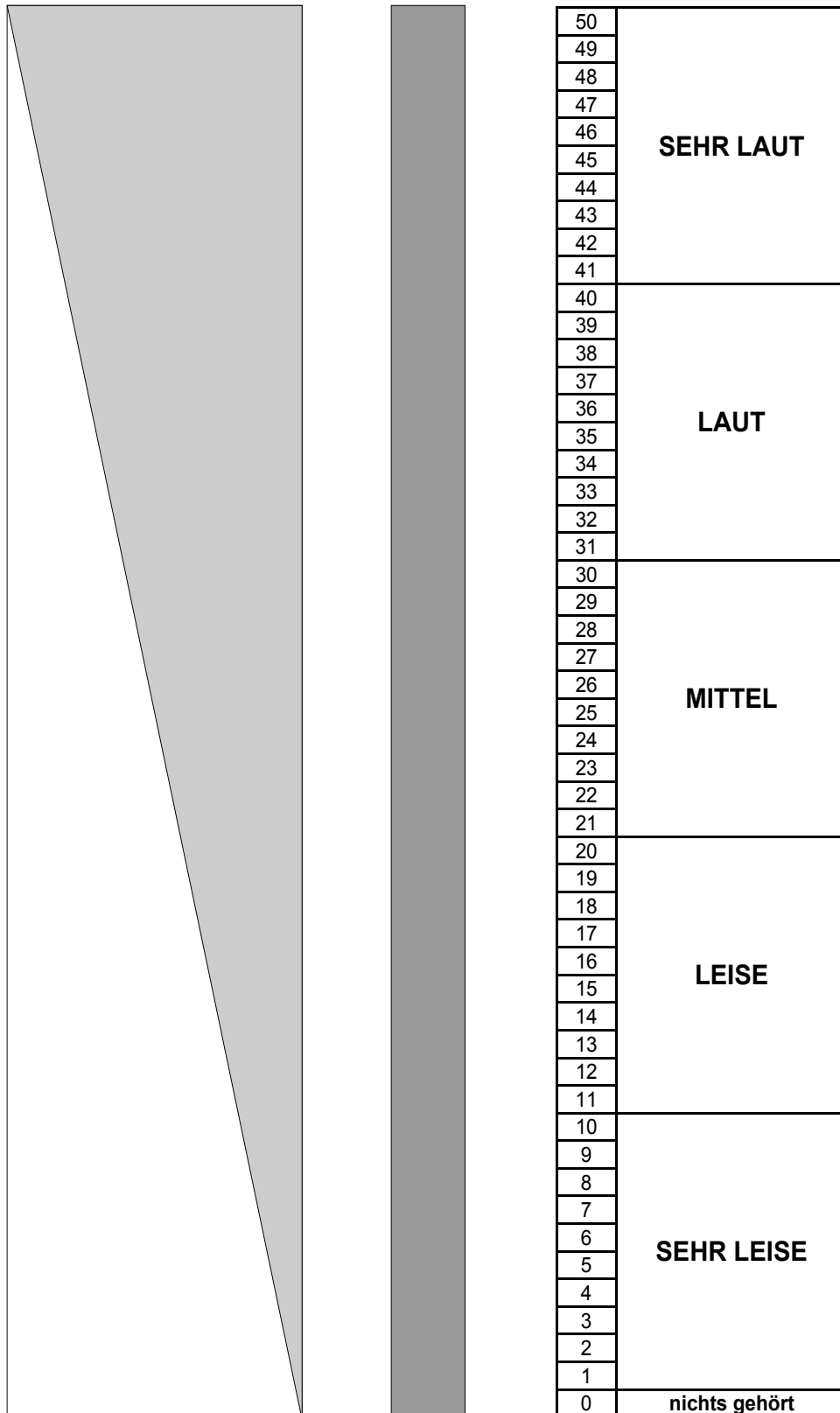


Abbildung 1.1: Skala Absolut (Schema)

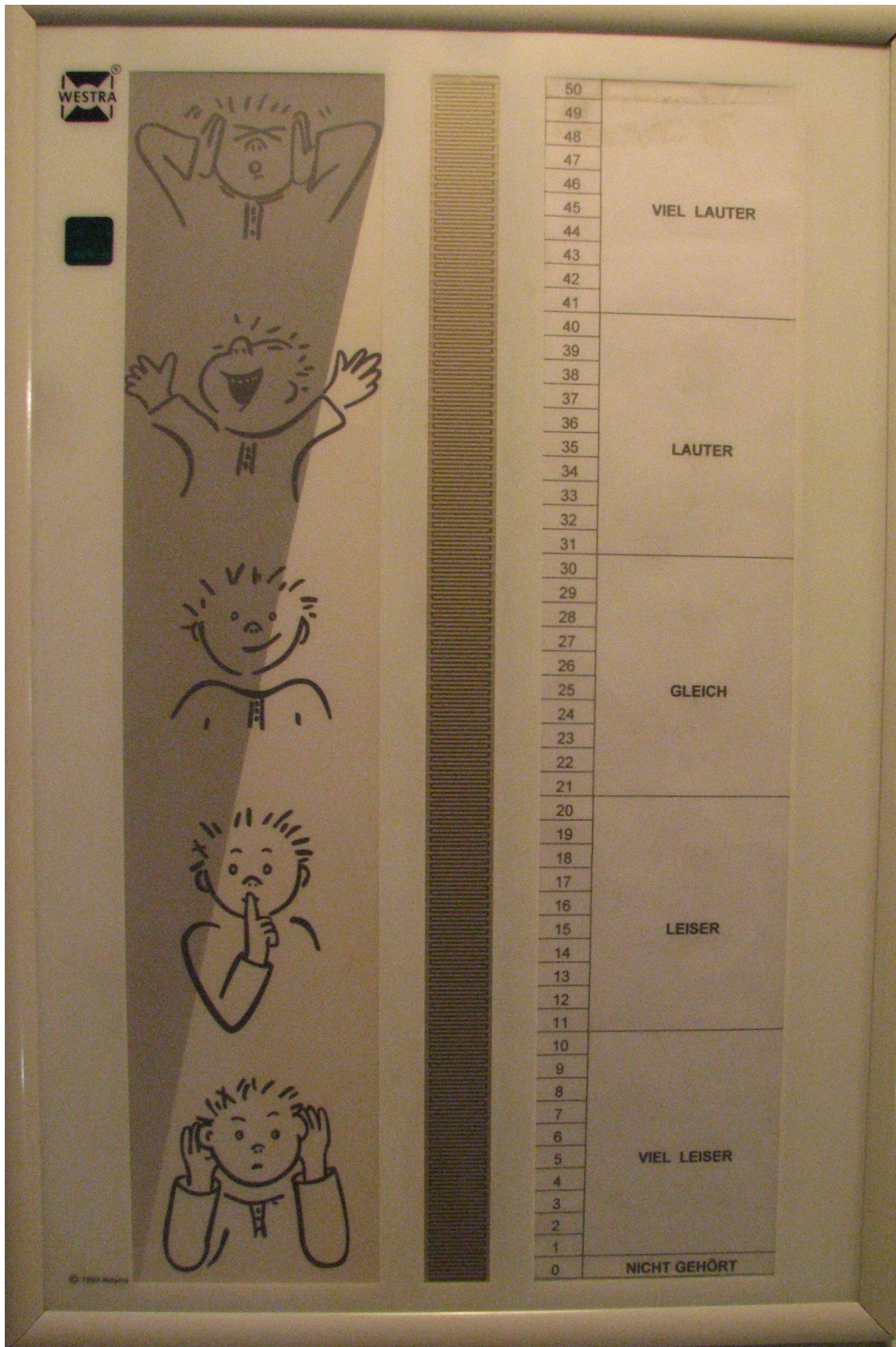


Abbildung 1.2: Skala Relativ (Skaliertablett mit druckempfindlichem Streifen)

2 Versuchsplanung und Methodik

2.1 Auswahl der Probanden

Die Hauptgruppe bestand aus 24 normal hörenden Erwachsenen. Als normal Hörende wurden Probanden angenommen, deren Hörschwelle unter 20 dB bei einer Frequenz zwischen 125 Hz und 4 kHz lag. Da sich die Hörschwelle mit zunehmendem Alter verändert, wurden Probanden zwischen 20 und 30 Jahren ausgewählt. Auch die Aufmerksamkeit und der Fleiß wurden bei den Versuchspersonen beobachtet. Aufgrunddessen wurden zwei Probanden wegen mangelnder Konzentration und fehlender Ernsthaftigkeit bei der Durchführung der Versuche durch zwei neue ersetzt. Bei der vorliegenden Arbeit wurde die gleichmäßige Geschlechtsverteilung nicht perfekt eingehalten (11 männliche und 13 weibliche Personen), da das Geschlecht keine Auswirkung auf die Lautheitsbeurteilung hat (Nägle, 2004, S. 38).

2.2 Tonaudiogramm

Vor dem Hauptversuch wurde von jedem Probanden ein Tonaudiogramm mit dem Audiometer Westra CAD03/1 erstellt.

„Dieses Audiometer wird in der audiometrischen Praxis an der HNO-Univ.-Klinik Würzburg eingesetzt. Die technischen Daten sind der Gerätebeschreibung entnommen (Westra GmbH). Es handelt sich um ein Reinton- und Sprachaudio-



Abbildung 2.1: Audiometrikabine

meter nach IEC 645-1, das einen hohen Bedienungskomfort bietet und mit ausreichend hoher Genauigkeit misst. Die Frequenzen erstrecken sich über einen Bereich von 125 Hz bis 12 kHz mit einer Frequenzgenauigkeit von 1 %. Der Lautstärkepegel reicht von -20 dB bis +120 dB. Der Ton wurde als gepulstes Signal dargeboten.“ (Nägle, 2004, S. 13 f.)

Damit wurde sichergestellt, dass das Gehör aller Probanden normal war, und der niedrigste der angebotenen Schallpegel von 30 dB während des Hauptversuchs auch wirklich gehört werden konnte. Das Tonaudiogramm wurde bei allen Probanden in einer der Audiometrikabinen der Universität Würzburg erstellt (Abbildung 2.1).

2.3 Vorversuche

Vor den eigentlichen Hauptversuchen wurden Vorversuche durchgeführt, um herauszufinden, wie die Probanden vor allem mit der noch nicht erprobten Relativ-Skala zurechtkämen. Dabei wurde auch die Konzentration über die gesamte Versuchsdauer beobachtet. Zusätzliche, aber nicht unwesentliche Aufgabe war die Untersuchung des Schwierigkeitsgrades bei den beiden unterschiedlichen Skalen.

Die Probanden trafen fast immer dieselben Aussagen, u. a.:

- Mache ich etwas falsch ?
- Die Zeit zum Reagieren ist zu kurz!
- Ich habe jetzt verpasst mein Urteil abzugeben. Soll ich von vorne anfangen?
- Ich finde relativ schwerer als absolut!
- Ich finde absolut schwerer als relativ!
- Wie lange dauert es noch?
- Wobbel ist schwerer zu beurteilen als CCITT!
- CCITT ist schwerer zu beurteilen als Wobbel!
- Muss ich bestimmte Zahlen auf der Skala drücken?

Auf der Basis der Beobachtungen und der Aussagen der Probanden wurde die Probandeninstruktion (s. Abschnitt 2.7, [Instruktion der Probanden](#), S. 22 ff.) zusammengestellt.

2.4 Aufbau der Sequenzen

Der Aufbau des Versuchs und der Sequenzen sollte möglichst exakt dem der Arbeit von Nägle (2004) entsprechen. Daher wurden genau die selben Sequenzen verwendet, wie sie von Naegle in ihrer Arbeit angegeben wurden:

„In der vorliegenden Arbeit sollte untersucht werden, in welchem Ausmaß das Urteil über eine Lautstärke von der Lautstärke des Vorgänger-Stimulus abhängt. Zusätzlich sollte der Proband urteilen, ohne sich der eigentlichen Fragestellung bewusst zu sein. Dadurch wird vermieden, dass das Urteil der Probanden durch das Wissen über Kontexteffekte zusätzlich beeinflusst wird.

Es sollten Lautstärkepegel im Bereich von 30 dB bis 90 dB in Fünferschritten getestet werden. Das ergab eine Anzahl von 13 Pegeln. Eine Sequenz wurde so konstruiert, dass jedem dieser 13 Pegel als Vorgänger jeweils alle anderen 13 Pegel einmal vorgeschaltet wurden. So konnte von jedem der Pegel die Lautheitsbeurteilung in Abhängigkeit von jedem möglichen Vorgänger erfasst werden. Damit bestand eine Sequenz aus $13 \times 13 = 169$ Stimuli.

Da der erste Ton der gesamten Sequenz auch einen Vorgänger brauchte, wurde diesem der noch fehlende Vorgängerpegel vorangestellt. Dieser eine Pegel kam damit 14-mal, statt wie alle anderen 13-mal in der Sequenz vor. Daraus resultieren insgesamt 170 Stimuli in einer Sequenz. Um den Probanden eine Eingewöhnungsphase zu geben, die ihnen jedoch nicht bewusst sein sollte, wurde der eigentlichen Hauptsequenz noch einmal eine Initialsequenz aller vorkommenden Lautstärkepegel, also 13 Stimuli, vorausgeschickt. Zusam-

men mit dieser bestand die Gesamtsequenz also aus 183 Stimuli. Mit einem speziell entwickelten Computerprogramm wurden Sequenzen erzeugt, die die genannten Anforderungen erfüllten.

Während die Initialsequenz unverändert blieb, wurde die eigentliche Kernsequenz in mehreren, um einige Stimuli durchrotierten Varianten verwendet. Damit wurde versucht, potentielle Lerneffekte und einen Einfluss des Vorgängerstimulus zu minimieren.

Zusätzlich wurde eine separate Übungssequenz generiert, um die Probanden mit dem Versuchsablauf vertraut zu machen. Diese Sequenz enthielt alle im Haupttest vorkommenden Pegel von 30 dB bis 90 dB. Die Versuchsperson hatte damit eine nach oben und unten abgegrenzte Menge an Reizen und konnte sich ihr eigenes Bezugssystem bilden.“ (Nägle, 2004, S. 15)

2 Versuchsplanung und Methodik

Die folgende Übersicht stellt die Übungssequenz, die Initialsequenz und eine der 13 möglichen Hauptsequenzen in dB dar:

60 35 85 55 80 40 65 30 90 50 75 45 70 (Übungssequenz)

60 35 85 55 75 45 65 30 90 50 80 40 70 (Initialsequenz)

60

60 35 60 40 60 65 60 75 60 45 60 70 60

30 60 85 60 50 60 55 60 80 60 90 35 35

40 35 65 35 75 35 45 35 70 35 30 35 85

35 50 35 55 35 80 35 90 40 40 65 40 75

40 45 40 70 40 30 40 85 40 50 40 55 40

80 40 90 65 65 75 65 45 65 70 65 30 65

85 65 50 65 55 65 80 65 90 75 75 45 75

70 75 30 75 85 75 50 75 55 75 80 75 90

45 45 70 45 30 45 85 45 50 45 55 45 80

45 90 70 70 30 70 85 70 50 70 55 70 80

70 90 30 30 85 30 50 30 55 30 80 30 90

85 85 50 85 55 85 80 85 90 50 50 55 50

80 50 90 55 55 80 55 90 80 80 90 90 **60** (Hauptsequenz)

2.5 Stimuli

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Stimuli zu vergleichen und anzuwenden, die tagtäglich in der Praxis bei den meisten Höranalysen zum Einsatz kommen. Die Untersuchung der Lautheitsempfindung bei Rockmusik und „babble-speech“ von [Fucci et al. \(1997\)](#) ist ein Beispiel für den Umfang der Untersuchungsmöglichkeiten.

In den Arbeiten von [Nägle \(2004\)](#) und [Kaulitz \(2007\)](#) kamen vier verschiedene Stimuli zum Einsatz: CCITT-Rauschen, Sprache, Sinuston (1 kHz) und Wobbelton (mit 6 Hz um 1 kHz frequenzmoduliert), jeweils mit 1 s Stimulusdauer (s. [Abb. 2.2](#)). Bei CCITT-Rauschen und Sprache handelt es sich um breitbandige, bei Sinus- und Wobbelton um schmalbandige Signale. In den Lautheitsurteilen zeigten sich zwischen den beiden breitbandigen und zwischen den beiden schmalbandigen Signalen keine Unterschiede ([Nägle, 2004, S. 42 f.](#)), so daß in der vorliegenden Arbeit nur jeweils ein breit- und ein schmalbandiges Signal zum Einsatz kam.

2.5.1 Auswahl

Als breitbandiges Signal wurde das CCITT-Rauschen gewählt, da es genormt ist und in der Audiologie häufig zum Einsatz kommt; das Sprachsignal hingegen wurde für die Arbeit von [Nägle](#) extra aufgezeichnet. Als schmalbandiges Signal kam der Wobbelton zum Einsatz, da mit dem Sinuston im freien Schallfeld die Gefahr stehender Sinuswellen existiert. Als Auszug sind die Beschreibungen zu den Stimulustypen im [Abschnitt 2.5.2](#) erläutert. Da die Untersuchungen nur mit Wobbel-Ton und CCITT-Rauschen stattgefunden haben, werden hier die Charakteristiken des Sprachstimulus und des Sinus-Tons nicht dargestellt.

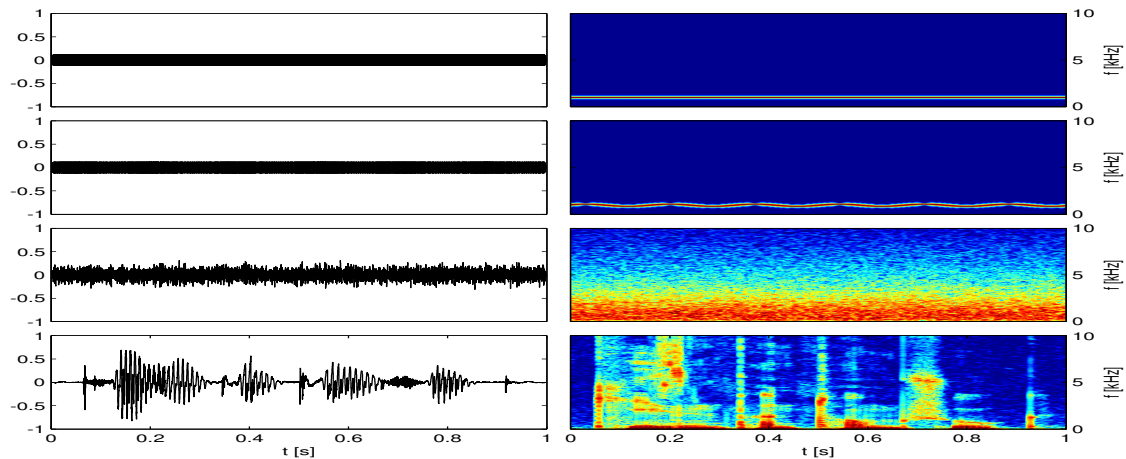


Abbildung 2.2: Zeitverlauf und Spektrogramm der vier Stimuli. Von oben nach unten: Sinus, Wobbel, CCITT-Rauschen und Sprachsignal

2.5.2 Art und Beschaffenheit der Stimuli

Die Art und die Beschaffenheit der Stimuli entsprechen exakt den von [Nägle \(2004\)](#) verwendeten Stimuli bei CCITT-Rauschen und Wobbel-Ton:

„Alle Stimuli wurden in Dauer und Pegel (A-bewertete Impulsmessung) gleich ausgelegt. Da der genaue Aufbau der Stimuli, wie auf üblichen Audiometrie- CDs angeboten, nicht bekannt war, wurden sie für diese Versuche von Dipl.-Ing. Stefan Brill neu generiert. Alle Stimuli waren genau eine Sekunde lang und wurden mit 16 Bit und einer Abtastfrequenz von 44,1 kHz aufgezeichnet. Es wurde eine verlustfreie digitale Kodierung in Microsoft WAV-Dateiformat verwendet.

Jeder dieser Stimuli wurde so erstellt, dass das Signal mit einer \sin^2 -Rampe der Dauer von 5 ms begann und endete. So wurde ein Knacken am Anfang oder Ende des Stimulus vermieden. [Abbildung 2.2](#) zeigt jeweils den zeitlichen Verlauf (linke Spalte) und das Spektrogramm (rechte Spalte) der vier Stimuli.

Wobbel-Ton

Der Wobbel-Ton wird ebenfalls in der Hörschwellenaudiometrie verwendet. Er ist ein Stimulus, bei dem sich die Frequenz über einen definierten Bereich permanent ändert. Seine Frequenz von 1 kHz variiert im Bereich zweier Halbtonschritte hinauf und hinunter, nach oben bis zu 1122 Hz und nach unten bis zu 891 Hz. Es wird so ein Frequenzbereich von einer Terz, das heißt von vier Halbtonschritten überdeckt. Die Änderung wird mit einer Frequenz von 6 Hz dreiecksförmig auf einer linearen Frequenzachse durchfahren, so wie auf Audiometrie-CDs üblich. Der zeitliche Verlauf und das Spektrogramm ist in Abbildung 2.2 (zweite Zeile) dargestellt.

CCITT-Rauschen

Beim CCITT-Rauschen handelt es sich um ein Signal, das ursprünglich aus dem Bereich der Telefontechnik stammt und nach dem Standardisierungsgremium »Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique« benannt ist. Es ist so konstruiert, dass das Leistungsspektrum demjenigen von Sprache entspricht. Es enthält Frequenzanteile in gleicher Verteilung wie normale Sprache.

Das CCITT-Rauschen ist ein Breitbandrauschen, das nicht nur in der täglichen Audiometrie als Signal verwendet wird. Man verwendet es auch als Vertäubungsgeräusch bei der Messung von bilateral schwerhörigen Patienten. An der HNO-Univ.-Klinik Würzburg wird es zusätzlich als Lokalisierungsreiz beim Richtungshörtest bilateral implantierter CI-Patienten eingesetzt. Außerdem findet das CCITT-Rauschen

als Kalibrierungsrauschen Verwendung. Der zeitliche Verlauf und das Spektrogramm sind in Abbildung 2.2 (dritte Zeile) dargestellt.“ (Nägler, 2004, S. 19 ff.)

2.6 Reihenfolge der Testkonditionen und Anzahl der Probanden

Die beiden Stimuli wurden jeweils in den zwei Hauptversuchen „Absoluturteil“ und „Relativurteil“ verwendet, so dass sich vier Testkonditionen ergaben. Um Auswirkungen eventueller Lernprozesse oder Anfangsschwierigkeiten zu reduzieren, bzw. gleichmäßig auf die Konditionen zu verteilen, wurde jedem Probanden eine andere Reihenfolge angeboten.

Vier Elemente können in 24 ($n!$: n-Fakultät; $4! = 24$) mögliche Reihenfolgen angeordnet werden. Durch die Festlegung der Probandenzahl auf 24 erhielt jeder Proband eine andere Reihenfolge der Testkonditionen.

2.7 Instruktion der Probanden

Die Probandeninstruktion wurde jedem Probanden vor den Versuchen zum Lesen gegeben. Alle erhielten exakt die selbe Information. Nach dem Durchlesen wurden die gestellten Fragen beantwortet und eventuelle Unklarheiten beseitigt, um Missverständnisse bezüglich der Versuchsdurchführung zu vermeiden. Es wurde angestrebt, dass der Proband in einer lockeren und ruhigen Atmosphäre möglichst frei und unbesorgt seine Urteile abgibt. Dies sollte zu möglichst genauen Skalierungsergebnissen führen. Der Proband sollte über den Ablauf der gesamten Messung informiert sein. Er sollte aber nicht von den Ergebnissen der anderen Probanden erfahren und überlegen können, ob er ähnliche oder unterschiedliche Urteile im Vergleich zu seinen Vorgängern abgibt.

Probandeninstruktion:

Es handelt sich um einen Versuch, in dem Ihre individuelle Lautheitsbeurteilung erforscht werden soll. Dafür werden Ihnen Töne mit verschiedenen Lautstärken präsentiert. Solange Sie das beurteilen, was Sie im Moment der Präsentation des Tons wahrnehmen, können Sie bei diesem Test nichts falsch machen.

Es werden vier Testreihen durchgeführt. Um bei Ihnen die „absolute“ und die „relative“ Lautheitsempfindung zu erfassen, hören und skalieren sie jeweils eine Testreihe mit einem „Wobbel“-Ton und einem Rausch-Ton („CCITT-Rauschen“). Innerhalb einer Testreihe werden 183 Stimuli desselben Typs mit unterschiedlicher Lautstärke präsentiert. Die Lautstärken sind willkürlich angeordnet und gehen in Fünferschritten von 30 dB bis 90 dB. Es besteht also keine Gefahr einer Gehörschädigung.

Die Hörversuche finden in einem schalltoten Raum statt. Dieser ist aus akustischen Gründen mit Glaswolle ausgekleidet. Wenn Sie eine Unverträglichkeit gegenüber Glaswolle haben, sagen Sie uns das bitte, dann werden wir die Hörversuche nicht durchführen.

Achten Sie darauf, dass Sie im Fall der Absolutbeurteilung jeden Ton für sich beurteilen, so wie Sie ihn in diesem Moment wahrnehmen. Im Fall der Relativbeurteilung soll der aktuelle Ton im Vergleich zum Vorgängerton beurteilt werden.

Eine Testreihe dauert ca. 16 Minuten.

Die Stimulusdauer beträgt eine Sekunde. Sie haben vier Sekunden Zeit, ihr Urteil auf dem Skaliertablett abzugeben, bevor der nächste Stimulus folgt. Sind Sie einmal zu spät mit Ihrer Angabe, so ist die Software so programmiert, dass die Sequenz automatisch, ohne dass Sie es merken, um fünf Stimuli zurückspringt

und nur der fehlende Wert verwendet wird. Fahren Sie also einfach mit der Beurteilung fort, falls Sie zu spät gedrückt haben.

In der Absolutbeurteilung steht Ihnen eine Skala mit fünf Hauptkategorien zur Verfügung: <sehr leise>, <leise>, <mittel>, <laut>, <sehr laut>

In der Relativbeurteilung steht Ihnen ebenfalls eine Skala mit fünf (anderen) Hauptkategorien zur Verfügung <viel leiser>, <leiser>, <gleich>, <lauter>, <viel lauter>

Bitte geben Sie innerhalb der Kategorien nochmals eine Feineinteilung und somit die Tendenz zur nächster darunter oder darüber liegenden Kategorie an. Die Zahlen sind zur besseren Orientierung angezeigt. Es kommt nicht darauf an, immer wieder die gleichen Zahlen zu drücken. Die verschiedenen Urteile sollen mit dem Radiergummiaufsatz eines von uns zur Verfügung gestellten Bleistiftes möglichst senkrecht auf das Tablett, mit möglichst immer gleichem, festem Druck abgegeben werden.

Sie sollten sich nicht mit den Händen am Tablett abstützen, da dieser Druck durch den Widerstand des Tablett fälschlicherweise als Wert registriert werden könnte. Vor dem Beginn des Tests wird Ihnen eine Übungssequenz angeboten, die alle im Versuch vorkommenden Lautstärken beinhaltet und zur Bildung eines Bezugssystems dienen soll. Auf Wunsch kann die Übungssequenz so oft gespielt werden, bis Sie mit der Bedienung des Tablett und der Durchführung des Tests vertraut sind. Sie können auch vor jedem neuen Stimulus die Übungssequenz anhören.

Während des Versuchs darf nicht gesprochen oder pausiert werden. Die Testergebnisse werden von uns vertraulich behandelt. Sie werden nur für wissen-

schaftliche Zwecke anonymisiert verwendet. Bitte seien Sie möglichst aufmerksam und bemüht, die Lautstärke des Stimulus zu beurteilen.

Sie können den Test jederzeit abbrechen. Die bis dahin bereits erhobenen Daten werden dadurch allerdings ungültig und können nicht verwendet werden.

2.8 Freifelddarbietung

Eine bekannte Untersuchung von Hellbrück (1983) und Hellbrück, Oguey, und Seiler (1984) ergab Unterschiede in der Lautheitsskalierung zwischen Frauen und Männern bei der Darbietungsart mit Kopfhörern. Die vorliegenden Versuche wurden im Freifeld durchgeführt, um eventuelle geschlechtsspezifische Artefakte ausschließen zu können. Es sollen keinerlei Reflexionen beim Hören im Freifeld von den Schallquellen auftreten. Aufgrund der Ergebnisse von Nägele (2004), die in derselben Versuchsanordnung keine geschlechtsspezifischen Unterschiede gefunden hatte, waren hier ebenfalls keine zu erwarten.

2.9 Schalltoter Raum

Um eventuelle Nebengeräusche, Reflexionen und andere Störfaktoren auszuschließen, wurden sämtliche Versuche in einem Spezialraum der HNO-Klinik der Universität Würzburg durchgeführt. Diesen Raum nennt man „*Camera silens*“. Seine Ausmaße betragen etwa 5×5×4 Meter. An allen Wänden, Decken, Türen und auf dem Boden sind große Würfel aus Glaswolle, Schaumstoffkeile und -würfel angebracht. Bei den Messungen sind die Türen geschlossen und die Lüftung im Vorraum ist ausgeschaltet.

Durch diesen reflexionsarmen Raum können exakte Messungen vorgenommen werden (Hellbrück, 1993). Die „*Camera silens*“ eignet sich auch hervorragend für andere Forschungszwecke z. B. im Bereich der Cochlea-Implantate.

2.10 Aufbau der Geräte in der Kammer

Der Aufbau der Geräte in der Kammer entspricht exakt dem Aufbau bei der Arbeit von Nägle:

„Um den Versuch jederzeit mit exakt den gleichen Bedingungen durchführen zu können, wurde die Position aller Geräte und Gegenstände in der Kammer mit Klebeband markiert. Als Lautsprecher diente eine Aktivbox der Firma Westra- Electronic (Abschnitt 3.2.1 (Audiometrie-Aktiv-Box, S. 29)). Ein Sessel für die Probanden wurde so platziert, dass der Abstand von der Kopfmitte (Frontalebene durch die Gehörgänge) zur Front der Aktivbox 1,5 m betrug. An der Decke über dem Sessel war eine Schraubenmutter an einer Schnur so befestigt, dass sie exakt 1,5 m Abstand zum Lautsprecher hatte und knapp über dem Kopf des Probanden hing. Der Proband wurde mit dem Sessel nun so ausgerichtet, dass die Position der Schraubenmutter genau mit der Frontalebene übereinstimmte. Somit betrug der Gehörgangsabstand des Probanden vom Lautsprecher 1,5 m. Der Proband saß dezentral in der Kammer.

Ein Computer spielte die Stimuli über eine Audiokarte ab und zeichnete die Antworten der Probanden über das Skaliertablett direkt auf.“ (Nägle, 2004, S. 26)

2.11 Schallpegelmessung

Nachdem der Versuchsaufbau abgeschlossen war, wurden die angebotenen Schallpegel mit Hilfe eines 90 dB-Kalibrierrauschens nachgemessen, kalibriert und am Lautsprecher justiert. Alle Stimuli in den Pegeln von 30 dB, 35 dB usw.

Tabelle 2.1: Gemessene Schallpegel bei Pegelvorgabe vom Computer, gemessen in 1,5 m Abstand, alle Angaben in dB

Pegel	Wobbel	CCIT
30	29,7	29,0
35	35,0	33,4
40	40,4	38,3
45	45,3	43,5
50	50,6	48,5
55	55,6	54,3
60	60,4	59,3
65	65,8	63,8
70	71,0	69,2
75	76,2	73,5
80	81,3	79,1
85	86,3	83,7
90	91,3	89,3

bis 90 dB wurden einzeln gemessen (Schallpegelmesser Brüel & Kjær Investigator 2260, A-bewertet, „Fast“-Messung). Die maximale Abweichung sowohl bei Wobbel-Ton als auch bei CCITT-Rauschen war kleiner als 2,0 dB. Die Tabelle 2.1 stellt die einzelnen Messwerte dar.

2.12 Versuchsablauf

Zum Nachweis der Normalhörigkeit wurde in einer klinischen Audiometrikabine (Abbildung 2.1) ein Tonaudiogramm durchgeführt.

In der Camera silens wurden die Probanden auf dem Sessel platziert und mit der Probandeninstruktion befasst. Es wurde darauf geachtet, dass die Probanden den Versuch verstehen und auch eventuelle Unklarheiten beseitigt wurden. Vor jedem Versuch wurde eine Übungssequenz vorgespielt. Danach gab es je-

weils eine Pause von circa 5 Minuten, um den Probanden Zeit zu geben sich auf die nächste Sequenz vorzubereiten. Zwischen den Versuchsläufen wurden die Probanden im Hinblick auf Durchführungsschwierigkeiten, Wahrnehmung, Präzision und Feststellung befragt.

3 Technik

3.1 Computer

Bei den durchgeführten Versuchen wurde ein Notebook Panasonic CF-37 verwendet. Der Computer lief mit dem Betriebssystem Windows 2000 Professional, SP1. Der Rechner war mit Intel M Prozessor mit 1,4 GHz, 128 MB RAM und einem Festplattenspeicher von 30 GB ausgestattet.

3.2 USB-Soundkarte

Eventuelle Störgeräusche durch die eingebaute Soundkarte des Notebooks wurden durch Verwendung einer externen USB-Soundkarte minimiert. Das Gerät wurde an der HNO-Klinik Würzburg entwickelt und verfügt über eine USB-Schnittstelle und einen D/A-Wandler (digital-analog-Wandler) des Typs PCM 2707 der Firma „Burr-Brown“.

3.2.1 Audiometrie-Aktiv-Box

Der Hauptversuch wurde mit einer Freifeld-Audiometrie-Box „LAB 501“ der Firma Westra-Electronic durchgeführt. Die Aktivbox deckt den für den Versuch benötigten Schallpegelbereich ab. Die Bauform bündelt den Schall stark auf den frontalen Bereich der Box, so dass sich der Lautsprecher laut Hersteller durch hohe Linearität und geringere Verzerrung auszeichnet. Durch den vollkomplementären

Gegentakt-Endverstärker kann die Box mit den Ausmaßen 235×335×24 mm einen Schalldruckpegel von bis zu 112 dB abgeben.

3.3 Skaliertablett

Die von den Probanden abgegebenen Urteile wurden mittels WHF-Skaliertablett der Firma Westra-Electronic aufgenommen. In der Mitte des Tablett befindet sich ein Drucksensorstreifen, neben dem beidseitig die möglichen Bewertungen in Worten und Zahlen angegeben sind (KU-Verfahren nach [Heller \(1985\)](#), siehe auch Abbildung 1.2 auf Seite 12). Der Proband gibt seine Wertung ab, indem er mit der Radiergummikappe eines umgekehrt senkrecht gehaltenen Bleistiftes auf die Skala drückt. Im Sensorstreifen entsteht ein lokaler Kurzschluss. Der dadurch entstandene modifizierte ohmsche Gesamtwiderstand wird gemessen und in einen Zahlenwert umgerechnet. Dieser Wert wird vom Computer über einen USB - Adapter abgefragt und gespeichert. Durch das Verwenden eines mit Radiergummi versehenen Bleistiftes wurden unerwünschtes Abrutschen und ungenauer Druck verringert, außerdem konnte dadurch eine höhere Präzision erreicht werden. Weiterhin mussten die Probanden nur geringe Handbewegungen ausführen, so dass sie nicht so schnell ermüdeten und bessere Konzentration aufbrachten.

3.4 Skalierungsprogramm

Es wurde eine weiterentwickelte Version des Skalierungsprogramm verwendet wie bei der Arbeit von [Nägle \(2004\)](#):

Das Programm

„[...] wurde von Dipl.-Ing. (FH) Alexander Möltner als Modifikation eines bereits existierenden Programms für diesen Versuch weiterentwickelt. Es ermöglichte dem Benutzer, die gewünschten Sequenzen abzuspielen, die Messwerte aufzunehmen und die Werte in einer Datei zu speichern.

Das Programm lädt eine Sequenzdatei, die die Reihenfolge der Stimuluspegel definiert. Vom Versuchsleiter wird interaktiv die Stimulusart bestimmt. Die Software spielt die Sequenzen und fragt die Antwort vom Skaliertablett ab. Die Stimulusdaten und Antworten werden in einer Protokolldatei gespeichert. Es ist möglich, die Urteilsabgabe des Probanden und somit die Streuung direkt am Bildschirm in einer Graphik zu beobachten, da die Werte sofort in einem Koordinatensystem dargestellt werden. Auf der x-Achse sind die Angebotspegel von 30 dB bis 90 dB aufgetragen, auf der y-Achse die Antwortmöglichkeiten von 1 bis 50 in der Einheit hel. Die Urteile sind für den Versuchsleiter als grüne Punkte in der Graphik sichtbar. Bei Ausbleiben einer Antwort zeigt die Graphik an entsprechender Stelle einen roten Punkt. Der Versuchsleiter kann zusätzlich in zwei Feldern sowohl den gerade abgespielten Stimuluspegel, sowie das Fortschreiten der 183 Stimuli langen Sequenz beobachten. So kann er während des Versuchsablaufs schon Tendenzen in den Urteilen erkennen und den Probanden anschließend sofort gezielte Fragen stellen, zum Bei-

spiel, ob der Proband Schwierigkeiten hatte, sein Urteil zu fällen oder ob es ihm bei leisen Tönen einfacher gefallen ist, ein Urteil zu bilden. Ist die Streuung sehr groß, kann der Proband zum Beispiel über seine Konzentrationsfähigkeit befragt werden. Das Programm beinhaltet außerdem einen Sicherheitsmechanismus: Falls in definierter Antwortzeit kein Urteil erfolgt, wird der Wert »0« registriert. Das Programm springt automatisch um 5 Stimuli in der Sequenz zurück, ohne dass der Proband etwas davon bemerkt. Die letzten fünf Pegel werden nochmals abgespielt. Nun wird lediglich die »0« durch das erneut abgegebene Urteil ersetzt.“ (Nägle, 2004, S. 30 f.)

3.5 Patientendatenbank

Als Patientenverwaltungsprogramm wurde das von Westra-Electronic entwickelte Programm zu Erfassung der Probandendaten verwendet. Dabei musste man zu Anfang jeder Messung die Patientendaten (Name, Vorname, Geburtsdatum und Geschlecht) eintragen, um das Skalierprogramm starten zu können. Alle Antworten, die der Proband durch das Skaliertablett gegeben hatte, wurden vom Programm erfasst und auf dem Computer gespeichert.

4 Ergebnisse

4.1 Statistische Auswertung

Die Lautheitsskalierungsversuche wurden mit 24 Probanden durchgeführt. Jeder Proband absolvierte vier Durchläufe, bei denen jeweils 169 Stimuli ausgewertet wurden. Also flossen insgesamt $24 \times 4 \times 169 = 16224$ Urteile in die Auswertung ein. Alle Rohdaten sind im Anhang C, [Skalierungsdaten und Vorgängerabhängigkeiten](#) (S. 95 ff.), aufgeführt. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm *R* ([R Development Core Team, 2010a](#)).

Es wurden folgende Einflussfaktoren mit CCITT-Rauschen und Wobbel-Ton untersucht:

1. Probandenspezifische Unterschiede in den Absolut- und Relativurteilen bzw. in den Differenzen der Absoluturteile
2. Abhängigkeit der Absoluturteile vom Schallpegel
3. Abhängigkeit der Absoluturteilsdifferenzen und der Relativurteile von Schallpegeldifferenzen

Da diese Einflussfaktoren unterschiedlichen statistischen Skalentypen angehören, kamen jeweils unterschiedliche statistische Auswertungsmethoden zur Anwendung.

Die Fragen zu Proband, Stimulustyp und Geschlecht gehören einer Nominal- bzw. Kategorialeskala an. Pegel, Vorgängerpegel und Vorgängerurteil sind Fak-

toren metrischen Skalentyps. Zur Untersuchung der Abhängigkeit von Einflussfaktoren werden Regressionen verwendet. Hierbei wird unterschieden zwischen linearen und nichtlinearen Regressionen, wobei letztere für die Untersuchung der Pegelabhängigkeit verwendet werden. Erstere werden bei der Frage nach der Abhängigkeit vom Vorgängerpegel und vom Vorgängerurteil angewandt. Wo immer es möglich war, wurden verteilungsunabhängige Verfahren bevorzugt. Als globaler multipler Test wurde der Kruskal-Wallis- und als Einzeltest der Wilcoxon-Test verwendet.

4.2 Rohdatenbetrachtung

Die vollständigen Rohdaten der Untersuchungen sind im Anhang A (S. 81 ff.) zu finden.

In zwei Grafiken wurde die gesamte Urteilsabgabe aller 24 Probanden (jeweils 12 Probanden pro Grafik) abgebildet. Auf der Abszisse sind für die absoluten Lautheitsurteile alle 13 Pegel von 30 dB bis 90 dB und für die relativen Lautheitsurteile alle 25 möglichen Differenzen aufeinanderfolgender Pegel von – 60 dB bis + 60 dB dargestellt. Auf der Ordinate wurden die Antwortmöglichkeiten vom Skaliertablett für die absoluten Urteile von 0 hel bis 50 hel und für die relativen Urteile von – 25 hel bis + 25 hel übernommen.

Bei der Betrachtung der grafischen Darstellung der Rohdaten wurden individuelle Unterschiede auffällig. Dabei wurden 3 Probanden ausgewählt, bei denen diese Auffälligkeiten sehr deutlich waren.

Der Proband 96 zeigte eine große Streuung innerhalb eines Pegels bei den Absoluturteilen von CCITT-Rauschen. Beim Wobbel-Ton dagegen gab er bei den Pegeln 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80 ziemlich identische Urteile ab. Bei den Relativurteilen wies der Proband auch eine große Streuung und gleichzeitig eine

Tendenz zu groben kategorialen Angaben sowohl bei CCITT-Rauschen als auch bei Wobbel-Ton auf. Die feine „hel“-Unterteilung wurde wenig beachtet.

Die Punkteverteilung des Probanden 99 fiel bei den absoluten Versuchen ziemlich gleichmäßig aus und bewegte sich zwischen 4 und 47. Seine Urteile ergaben eine geringere Streuung. Er nutzte die Skala komplett aus. Die Relativpunktvolke sieht aber bei dieser Person ganz anders aus. Hier wurden grundsätzlich die groben Kategorien genutzt und wenig auf die feine „hel“-Unterteilung geachtet.

Auch Proband 102 urteilte ähnlich kategorial bei den relativen Versuchen. Bei ihm ist zusätzlich eine unvollständige Skalaausnutzung deutlich. Er ließ die Kategorien: „sehr leise“ und „sehr laut“ fast komplett aus, was deutlich bei den Absoluturteilen zu beobachten war. Demzufolge ist die Steigung deutlich flacher als bei den anderen Probanden.

In Abbildung 4.1 werden diese unterschiedlichen Urteilmuster der 3 ausgewählten Probanden grafisch wiedergegeben.

4.3 Visuelle Betrachtung der Urteilsdichte

Eine andere grafische Darstellung der Rohdaten der Probanden 96, 99, 102 bietet die Abbildung 4.2. Die Lautheitsurteile des jeweiligen Probanden wurden auf der x-Achse aufgetragen, die Werte auf der y-Achse geben die Verteilungsdichte der Urteile an. Die Diagramme stellen eine nichtparametrische Dichteschätzung mit Epanechnikov-Kern (Rinne 2003, S. 482ff.; R Development Core Team (2010b), S. 2361 ff.) dar. Die komplette Datenbank von allen 24 Probanden ist in Anhang A (S. 81 ff.) zusammengefasst.

Die absoluten Urteile des Probanden 96 wiesen eine unterschiedliche Flächenverteilung bei CCITT-Rauschen und Wobbel-Ton auf. Die Punktvolke bei

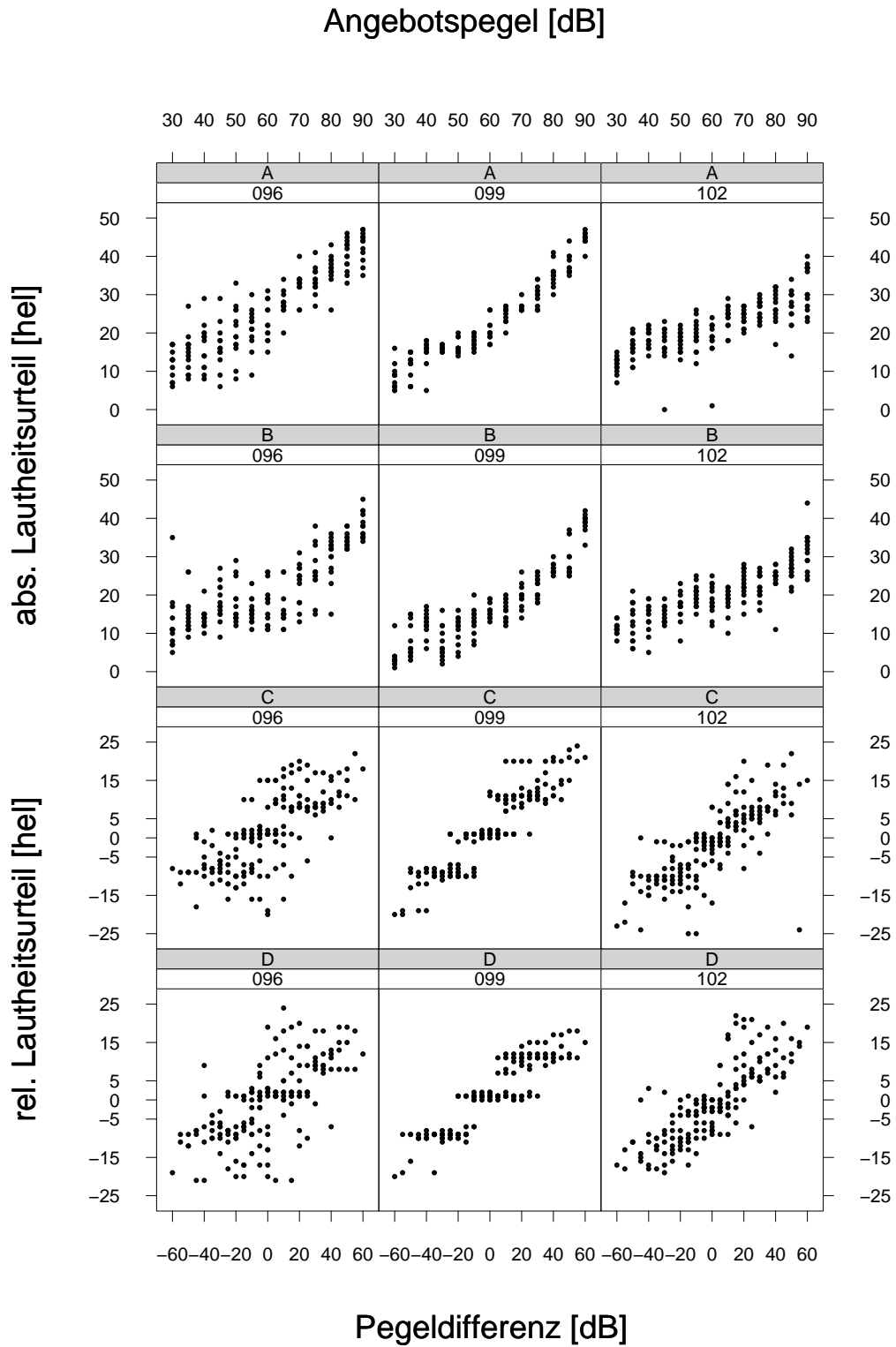


Abbildung 4.1: Rohdaten dreier Probanden für die vier Testkonditionen (A, C: CCITT-Rauschen; B, D: Wobbel-Ton), Lautheitsurteil aufgetragen über dem Schallpegel

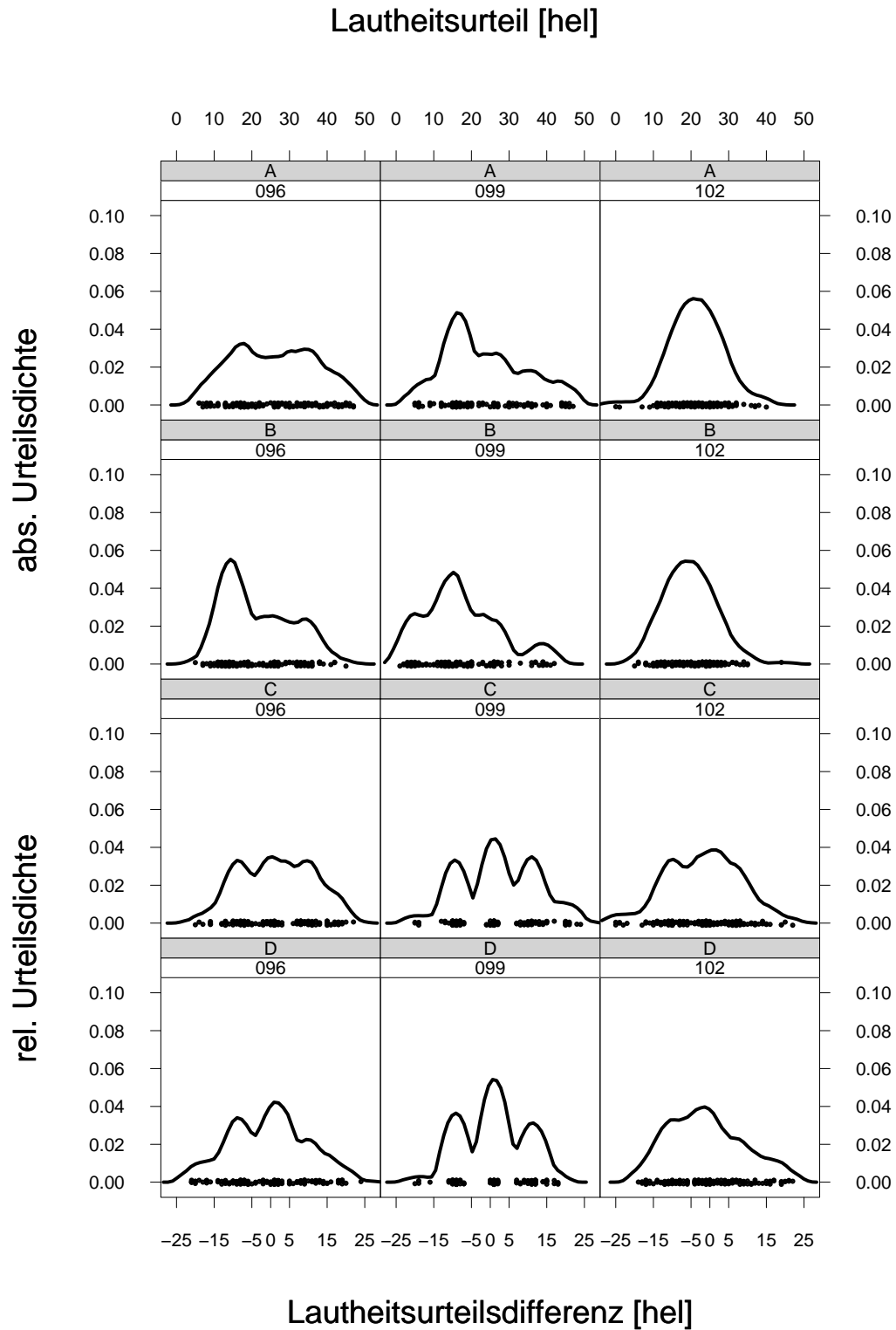


Abbildung 4.2: Urteilsdichte dreier Probanden für die vier Testkonditionen (A, C: CCITT-Rauschen; B, D: Wobbel-Ton), Dichte aufgetragen über dem Urteil

CCITT-Rauschen war ziemlich gleichmäßig, wobei die Extreme eine deutliche Abflachung zeigten. Interessanterweise urteilte dieselbe Versuchsperson mit Wobbel-Ton anders. Die Darstellung der Grafik lässt eine hohe Nutzung der unteren Hälfte der Skala (also die Kategorie „leise“) erkennen. Dieses Ergebnis könnte man damit erklären, dass der Proband den Wobbel-Ton insgesamt etwas leiser als das CCITT-Rauschen empfunden hat.

Beim CCITT-Rauschen ist die Verteilung der Relativurteile mit dem Ergebnis zu den Absoluturteilen in etwa vergleichbar. Beim Wobbel-Ton dagegen ergaben sich deutliche Unterschiede. Der Proband 96 nutzte die Kategorien „leiser“ und „gleich“ bei diesem Versuch am häufigsten. Dies ist in der Grafik an den zwei ausgeprägten Gipfeln zu erkennen. Der Proband entschied sich nur selten für die Kategorien „viel lauter“ und „viel leiser“.

Die grafische Darstellung der Urteilsdichte beim Probanden 99 veranschaulicht eine ungleichmäßige Verteilung. Die absoluten Urteile – sowohl beim CCITT-Rauschen als auch beim Wobbel-Ton – ergaben ein „ein Gipfel“-Relief. Die am häufigsten genutzte Skalenfläche fiel in die Kategorie „leise“. Beim Wobbel-Ton ist der „Gipfel“ an seiner Basis etwas breiter gestaltet, was für eine Verwendung der Kategorien „mittel“ und „sehr leise“ spricht. Insgesamt wurde aber bei den Absoluturteilen die obere Skalenfläche viel weniger als die untere genutzt.

Ein komplett anderes Bild ergibt sich bei den Relativurteilen desselben Probanden. Auf der Abbildung 4.2 ist ein „drei Horn“-Relief zu sehen. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Versuchsperson fast ausschließlich nur drei Kategorien verwendet hat: „leiser“, „gleich“ und „lauter“. Die Flächenverteilung umfasst im Wesentlichen nur diese drei Gruppen, wobei die Kategorie „gleich“ beim Wobbel-Ton am stärksten ausgeprägt ist. Dies spricht für ein ziemlich gleiches Empfinden des Probanden bei den diversen Pegeln.

Beim Probanden 102 zeigt sich eine extrem geringe Flächennutzung. Beson-

ders bei den Absoluturteilen konzentriert sich die Flächenverteilung fast ausschließlich in der Mitte. Das Flächenrelief zeichnet ein „ein-Gipfel“-Relief ziemlich mittig beim CCITT-Rauschen und etwas nach links verschoben beim Wobbel-Ton aus. Diese Darstellung deutet darauf hin, dass der Wobbel-Ton generell etwas leiser empfunden wurde.

Bei den Relativurteilen verläuft die Kurve deutlich flacher als bei den Absoluturteilen. Bei diesen Versuchen nutzte der Proband nicht nur die Mitte der Skala sondern auch die neben der Mitte liegenden Kategorien „leiser“ und „lauter“. Ungeachtet dessen kann man auch hier die Flächenausnutzung als unzureichend bezeichnen. Wie auch bei den Absoluturteilen ist die Punktwolke beim Wobbel-Ton im Vergleich zum CCITT-Rauschen leicht nach links verschoben.

4.4 Urteilsunterschiede der Probanden

Die Lautheitsurteile der Probanden lassen sich in Form von Box und Whisker-Plots darstellen. In jedem Plot ist die gesamte Antwortgabe eines Probanden enthalten. Der fettgedruckte Mittelstrich zeigt die Lage des Medians. Die Kerbenlänge, die sich nach dem Minimal- und dem Maximalwert richtet, entspricht circa der Breite des 95 %-Konfidenzintervalls ([Rinne 2003](#), S. 49ff).

4.4.1 Absoluturteile

In [Abbildung 4.3](#) wurden die absolut abgegebenen Lautheitsurteile aller Probanden in oben genannter Form dargestellt, wobei die Urteile über das CCITT-Rauschen und den Wobbel-Ton hier zusammengefasst wurden. Die Probanden wurden in aufsteigender Reihenfolge des Medianwerts angeordnet. Diese Reihenfolge wird auch in den folgenden Abbildungen beibehalten.

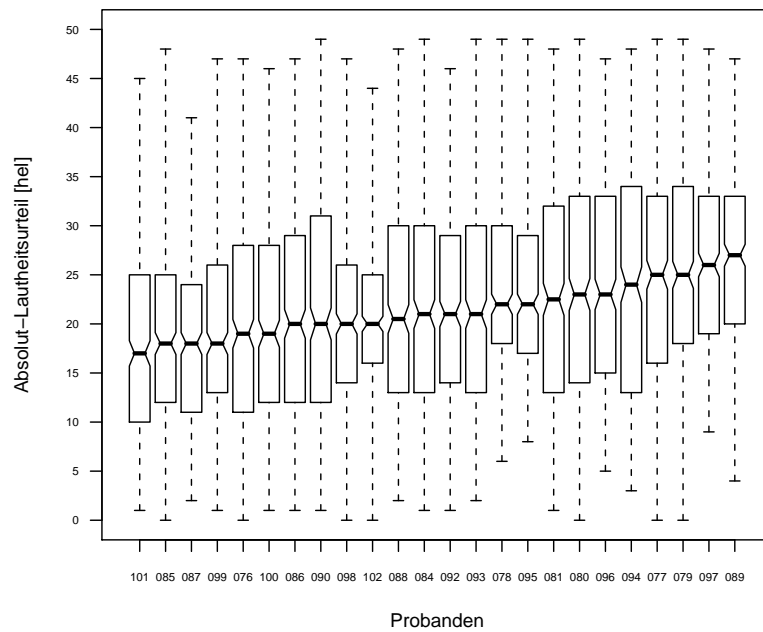


Abbildung 4.3: Absolutlautheitsurteile aller Probanden (CCITT-Rauschen und Wobbel-Ton kombiniert). Die Probanden wurden nach aufsteigendem Medianwert angeordnet

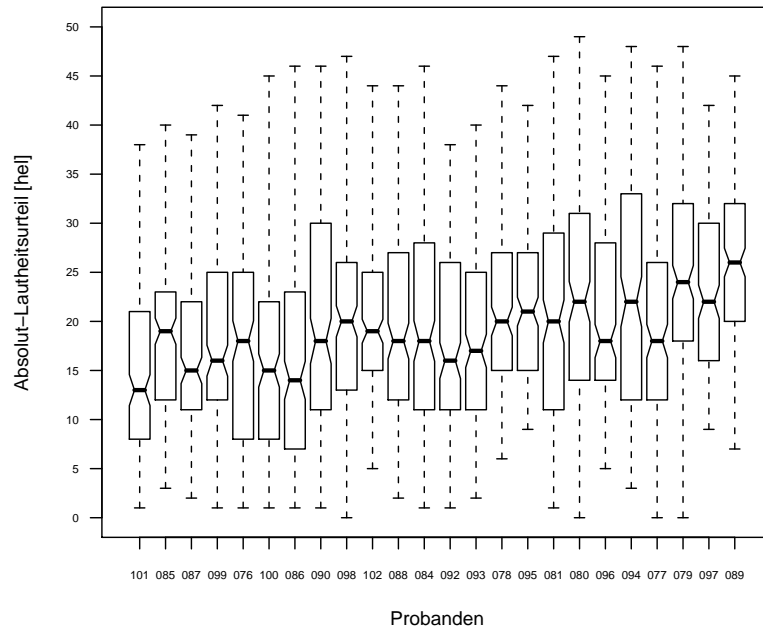


Abbildung 4.4: Absolute Lautheitsurteile der 24 Probanden der Hauptgruppe, Wobbel-Ton, Probandenreihenfolge wie in Abb. 4.3

Es ist erkennbar, dass das Ergebnis der Absoluturteile stark vom individuellen Empfinden des einzelnen Probanden abhängt. Trotz der sehr homogenen Probandengruppe ergeben sich im Median Abweichungen von 12 hel. Auch die Unterschiede im Minimal- und Maximalwert sind ablesbar. Der Grafik sind in diesem Merkmal Abweichungen von circa 8 hel zu entnehmen. Vielsagend sind die unteren Quartile der Probanden 78, 85, 93, 95, 99 und 102 bzw. die oberen Quartile der Probanden 89, 98 und 102, die deutlich kleiner sind als beim Rest der Testgruppe. Der Proband 102 ist noch einmal hervorzuheben, da seine Urteile sowohl im unteren als auch im oberen Quartil ziemlich median konzentriert sind, was für eine unvollständige Skalanutzung spricht.

In den Abbildungen 4.4 und 4.5 wurden die Absoluturteile der Probanden in Wobbel-Ton und CCITT-Rauschen differenziert. Es ist ein deutlicher Lautheitsunterschied zu erkennen. Die Testgruppe empfand das CCITT-Rauschen lauter als

Tabelle 4.1: Statistische Kennwerte der Lautheitsurteile aller Probanden der Hauptgruppe bei den Absoluturteilen (Wobbel-Ton): Mittelwert (\emptyset), Standardabweichung, Minimum, 1. Quartil, Median, 3. Quartil, Maximum und mittlere absolute Abweichung (MAD). Diese Werte werden auch in folgenden Tabellen angegeben.

Proband	\emptyset	Std.	Min.	1. Q.	Med.	3. Q.	Max.	MAD
076	17,14	10,31	1	8,0	18,0	25,0	41	11,86
077	19,38	10,74	0	12,0	18,0	26,0	46	8,90
078	21,69	9,25	6	15,0	20,0	27,0	44	8,90
079	25,15	9,86	0	18,0	24,0	32,0	48	8,90
080	23,78	11,63	0	14,0	22,0	31,0	49	13,34
081	20,28	11,14	1	11,0	20,0	29,0	47	13,34
084	20,07	12,07	1	11,0	18,0	28,0	46	11,86
085	18,69	8,66	3	12,0	19,0	23,0	40	8,90
086	15,72	11,34	1	7,0	14,0	23,0	46	13,34
087	16,60	8,24	2	11,0	15,0	22,0	39	7,41
088	19,57	10,58	2	12,0	18,0	27,0	44	10,38
089	26,24	8,95	7	20,0	26,0	32,0	45	8,90
090	20,07	11,44	1	11,0	18,0	30,0	46	11,86
092	17,99	9,13	1	11,0	16,0	26,0	38	11,86
093	17,92	9,21	2	11,0	17,0	25,0	40	10,38
094	22,56	12,17	3	12,0	22,0	33,0	48	14,83
095	22,07	8,41	9	15,0	21,0	27,0	42	8,90
096	21,43	9,29	5	14,0	18,0	28,0	45	10,38
097	23,02	8,61	9	16,0	22,0	30,0	42	8,90
098	20,11	9,25	0	13,0	20,0	26,0	47	8,90
099	17,20	10,06	1	12,0	16,0	25,0	42	10,38
100	16,70	10,34	1	8,0	15,0	22,0	45	10,38
101	15,18	8,83	1	8,0	13,0	21,0	38	8,90
102	19,64	6,67	5	15,0	19,0	25,0	44	7,41

Tabelle 4.2: Statistische Kennwerte der Lautheitsurteile aller Probanden der Hauptgruppe bei den Absoluturteilen (CCITT-Rauschen). Spaltenbezeichnungen wie in Tab. 4.1

Proband	Ø	Std.	Min.	1. Q.	Med.	3. Q.	Max.	MAD
076	22,50	12,36	0	12,0	24,0	31,0	47	11,86
077	30,52	9,85	11	23,0	30,0	38,0	49	11,86
078	25,67	9,03	8	19,0	26,0	31,0	49	8,90
079	27,17	11,99	4	18,0	26,0	37,0	49	13,34
080	25,49	12,48	6	15,0	25,0	36,0	49	16,31
081	27,17	11,95	3	18,0	29,0	38,0	48	14,83
084	25,38	11,76	4	17,0	23,0	33,0	49	11,86
085	20,37	11,65	0	11,0	18,0	28,0	48	10,38
086	26,07	9,94	5	19,0	26,0	32,0	47	10,38
087	21,37	9,04	6	14,0	20,0	27,0	41	10,38
088	24,37	11,56	4	15,0	25,0	33,0	48	14,83
089	27,56	9,82	4	20,0	28,0	35,0	47	11,86
090	23,69	12,42	3	13,0	22,0	33,0	49	14,83
092	24,72	10,10	5	16,0	24,0	32,0	46	11,86
093	26,92	10,90	2	20,0	26,0	35,0	49	10,38
094	24,81	11,18	7	14,0	24,0	35,0	48	16,31
095	25,78	10,46	8	18,0	26,0	31,0	49	10,38
096	26,04	10,94	6	17,0	26,0	34,0	47	13,34
097	29,88	7,70	15	24,0	28,0	35,0	48	7,41
098	22,37	10,35	7	14,0	21,0	26,0	46	8,90
099	23,40	10,81	5	16,0	20,0	31,0	47	8,90
100	22,91	10,71	2	14,0	22,0	30,0	46	11,86
101	21,20	9,70	5	14,0	20,0	29,0	45	10,38
102	21,50	6,69	0	17,0	21,0	26,0	40	7,41

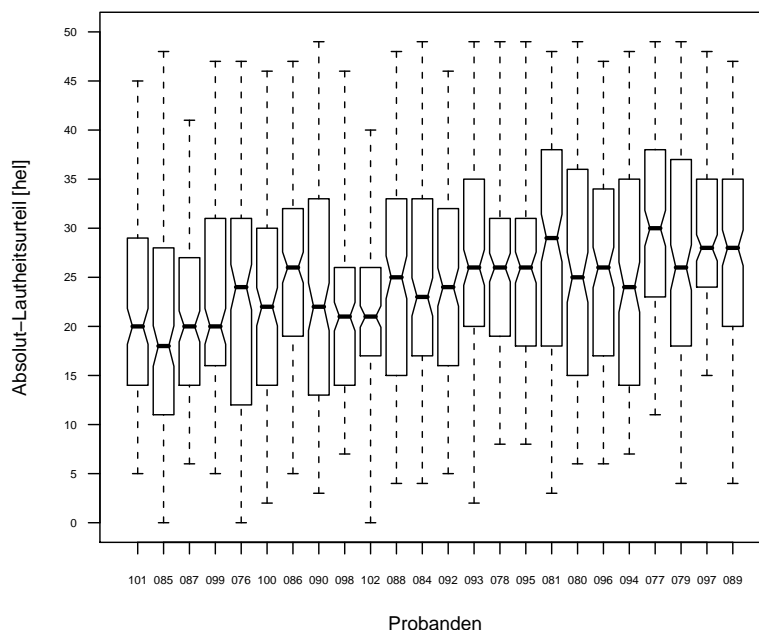


Abbildung 4.5: Absolute Lautheitsurteile der 24 Probanden der Hauptgruppe, CCITT-Rauschen, Probandenreihenfolge wie in Abb. 4.3

den Wobbel-Ton. Der Medianwert, aber auch die Extremwerte sind bei CCITT-Rauschen mit circa 10 hel in Richtung Maximalwert versetzt. Dieses Ergebnis befindet sich in sehr guter Übereinstimmung mit den Resultaten von [Nägler](#).

Der Kontrast wird noch deutlicher, wenn man die statistischen Kennwerte der Probanden genauer betrachtet. In den Tabellen [4.1](#) und [4.2](#) wurden die Medianwerte, die Extreme, die Standard- und die Absolutabweichungen aufgelistet. Die größten Differenzen ergeben sich hier bei den Medianwerten. Insbesondere bei den Probanden 77 (Medianwert: Wobbel 18/CCITT 30) und 86 (Medianwert: Wobbel 14/CCITT 26) ist dieser Unterschied sehr deutlich.

4.4.2 Relativurteile

Bei den Relativurteilen ist in den Abbildungen [4.6](#), [4.7](#) und [4.8](#) auf den ersten Blick eine erstaunliche Homogenität festzustellen. Vor allem sind die Median-

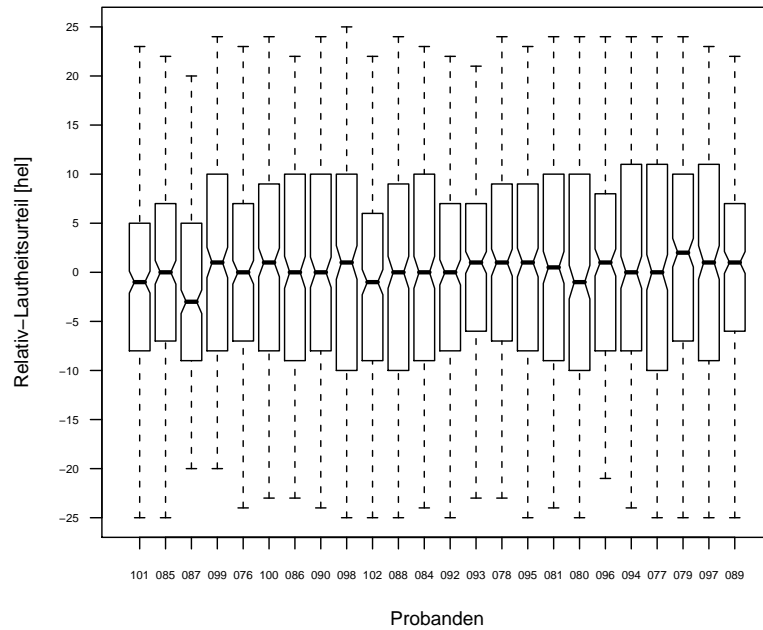


Abbildung 4.6: Relativlautheitsurteile aller Probanden (CCITT-Rauschen und Wobbel-Ton kombiniert), Probandenreihenfolge wie in Abb. 4.3

werte bei allen 24 Probanden fast identisch. Der Wobbel-Ton wirkte bei der Testgruppe wieder etwas leiser, so dass die Werte im Vergleich zum CCITT-Rauschen etwas unterhalb der „0 hel-Grenze“ lagen. Die analogen Ergebnisse lassen sich sehr gut erläutern. Beim Relativurteilen vergleichen die Probanden zwei aufeinanderfolgende Pegel und zwar im Bereich von 30 dB bis 90 dB in Fünferschritten. Da aber die Differenzen zwischen 30 dB und 90 dB bzw. 90 dB und 30 dB jeweils nur ein Mal vorkommen, wird demzufolge jeweils nur ein einziger Wertung abgegeben. Je kleiner der Unterschied zwischen den Pegeln ist, desto mehr Kombinationen sind möglich und umso mehr Urteile sind abzugeben. Dieses statistische Artefakt führt zwangsläufig dazu, dass der Medianwert sowohl beim CCITT-Rauschen als auch beim Wobbel-Ton in der Nähe von 0 „hel“ liegt. Diese Ergebnisse bestätigen auch die Tabellen 4.3 und 4.4 zu den statistischen Kennwerten deutlich.

4 Ergebnisse

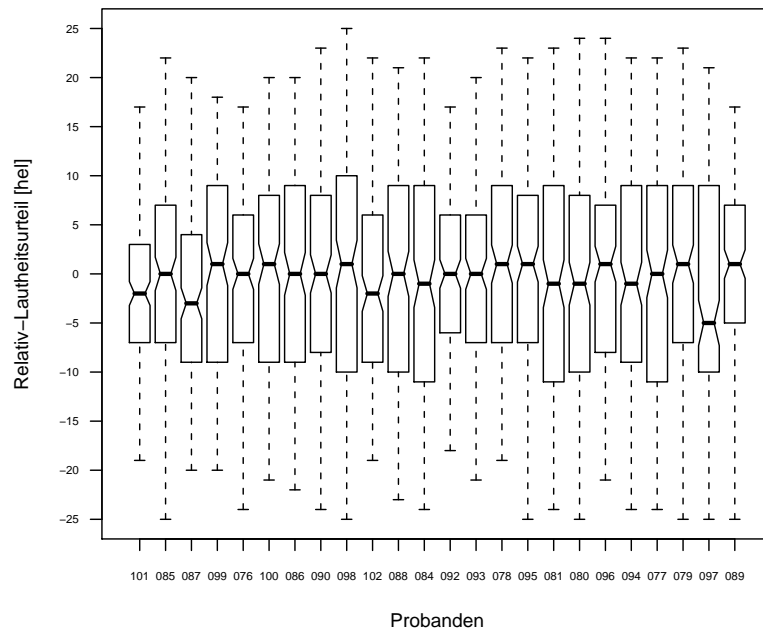


Abbildung 4.7: Relative Lautheitsurteile der 24 Probanden der Hauptgruppe, Wobbel-Ton, Probandenreihenfolge wie in Abb. 4.3

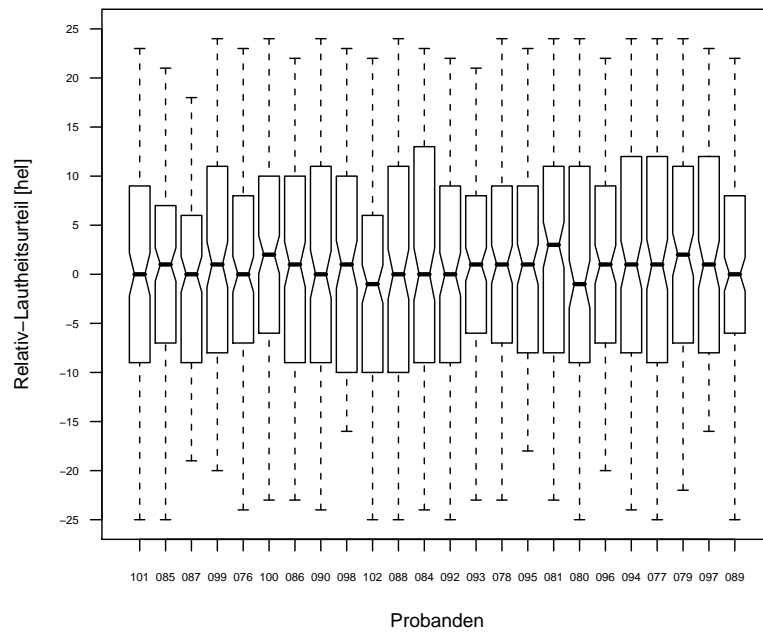


Abbildung 4.8: Relative Lautheitsurteile der 24 Probanden der Hauptgruppe, CCITT-Rauschen, Probandenreihenfolge wie in Abb. 4.3

Tabelle 4.3: Statistische Kennwerte der Lautheitsurteile aller Probanden der Hauptgruppe bei den Relativurteilen (Wobbel-Ton), Spaltenbezeichnungen wie in Tab. 4.1

Proband	Ø	Std.	Min.	1. Q.	Med.	3. Q.	Max.	MAD
076	-0,94	8,58	-24	-7,0	0,0	6,0	17	10,38
077	-0,54	12,09	-24	-11,0	0,0	9,0	22	14,83
078	1,70	10,45	-19	-7,0	1,0	9,0	23	11,86
079	0,82	11,70	-25	-7,0	1,0	9,0	23	11,86
080	-0,34	11,33	-25	-10,0	-1,0	8,0	24	13,34
081	-0,39	12,49	-24	-11,0	-1,0	9,0	23	14,83
084	-1,24	11,64	-24	-11,0	-1,0	9,0	22	14,83
085	-0,53	9,50	-25	-7,0	0,0	7,0	22	10,38
086	0,17	10,54	-22	-9,0	0,0	9,0	20	13,34
087	-2,49	8,86	-20	-9,0	-3,0	4,0	20	8,90
088	-0,54	10,51	-23	-10,0	0,0	9,0	21	13,34
089	0,60	8,53	-25	-5,0	1,0	7,0	17	8,90
090	0,20	10,86	-24	-8,0	0,0	8,0	23	11,86
092	-0,29	8,20	-18	-6,0	0,0	6,0	17	8,90
093	-0,41	8,87	-21	-7,0	0,0	6,0	20	8,90
094	-0,30	11,14	-24	-9,0	-1,0	9,0	22	11,86
095	0,52	11,21	-25	-7,0	1,0	8,0	22	11,86
096	-0,48	10,18	-21	-8,0	1,0	7,0	24	11,86
097	-0,49	11,29	-25	-10,0	-5,0	9,0	21	13,34
098	0,40	11,99	-25	-10,0	1,0	10,0	25	14,83
099	0,78	8,55	-20	-9,0	1,0	9,0	18	13,34
100	-0,47	10,79	-21	-9,0	1,0	8,0	20	11,86
101	-1,86	7,74	-19	-7,0	-2,0	3,0	17	7,41
102	-1,00	9,93	-19	-9,0	-2,0	6,0	22	11,86

Tabelle 4.4: Statistische Kennwerte der Lautheitsurteile aller Probanden der Hauptgruppe bei den Relativurteilen (CCITT), Spaltenbezeichnungen wie in Tab. 4.1

Proband	Ø	Std.	Min.	1. Q.	Med.	3. Q.	Max.	MAD
076	0,63	11,52	-24	-7,0	0,0	8,0	23	11,86
077	2,20	13,08	-25	-9,0	1,0	12,0	24	14,83
078	1,41	11,11	-23	-7,0	1,0	9,0	24	11,86
079	2,69	12,31	-22	-7,0	2,0	11,0	24	13,34
080	0,72	12,41	-25	-9,0	-1,0	11,0	24	14,83
081	1,44	12,34	-23	-8,0	3,0	11,0	24	16,31
084	0,83	12,64	-24	-9,0	0,0	13,0	23	14,83
085	0,01	9,82	-25	-7,0	1,0	7,0	21	11,86
086	1,15	10,78	-23	-9,0	1,0	10,0	22	14,83
087	-1,18	9,69	-19	-9,0	0,0	6,0	18	11,86
088	0,57	11,76	-25	-10,0	0,0	11,0	24	14,83
089	0,61	10,15	-25	-6,0	0,0	8,0	22	10,38
090	1,00	12,76	-24	-9,0	0,0	11,0	24	14,83
092	0,25	10,58	-25	-9,0	0,0	9,0	22	13,34
093	1,52	9,64	-23	-6,0	1,0	8,0	21	10,38
094	2,14	12,79	-24	-8,0	1,0	12,0	24	14,83
095	0,76	10,20	-18	-8,0	1,0	9,0	23	13,34
096	1,55	9,73	-20	-7,0	1,0	9,0	22	11,86
097	2,50	11,01	-16	-8,0	1,0	12,0	23	14,83
098	0,75	11,13	-16	-10,0	1,0	10,0	23	16,31
099	2,17	10,06	-20	-8,0	1,0	11,0	24	14,83
100	2,09	11,48	-23	-6,0	2,0	10,0	24	11,86
101	-0,82	11,87	-25	-9,0	0,0	9,0	23	13,34
102	-1,69	9,68	-25	-10,0	-1,0	6,0	22	10,38

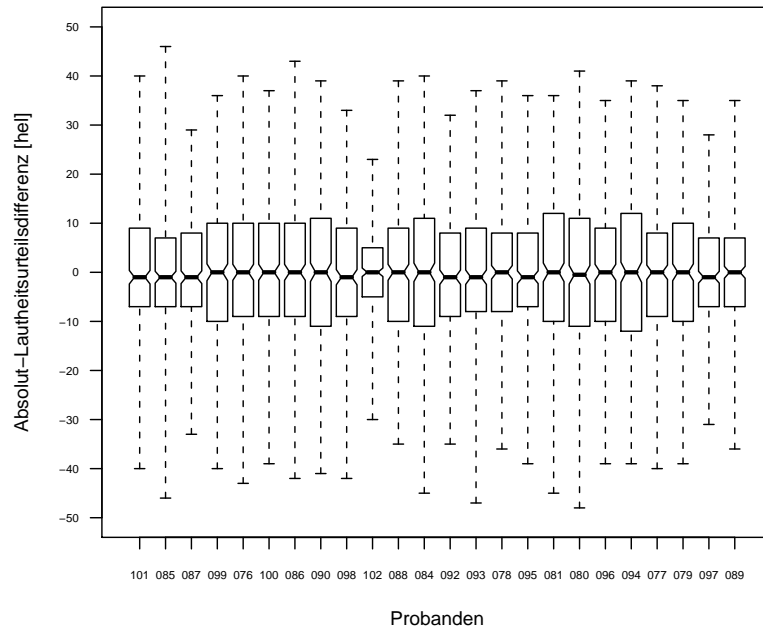


Abbildung 4.9: Absolutlautheitsurteilsdifferenzen aller Probanden (CCITT-Rauschen und Wobbel-Ton kombiniert), Probandenreihenfolge wie in Abb. 4.3

4.4.3 Absoluturteilsdifferenzen

Das Ergebnis bei den Relativurteilen wurde zusätzlich noch durch die Differenzen bei den Absoluturteilen bestätigt. Dabei versuchte man, die Relativurteile durch eine statistische Berechnung auf der Grundlage der von der Testgruppe abgegebenen Absoluturteile zu ermitteln. Die Differenz von zwei aufeinander folgenden Absoluturteilen verhält sich reziprok zu den eigentlichen Relativurteilen, die von den Probanden im Idealfall abgegeben werden sollten. Die ausgerechneten „hel“-Unterschiede kommen umso öfter vor, je kleiner die Abweichung zwischen den unmittelbar nacheinander abgegebenen Urteilen war. Es ist also ein zu 0 hel tendierender Medianwert zu erwarten.

Die Abbildungen 4.9, 4.10 und 4.11 vermitteln einen fast exakt auf 0 hel gelegenen Medianwert. Auch die Tabellen 4.5 und 4.6 belegen nahezu dieselben

4 Ergebnisse

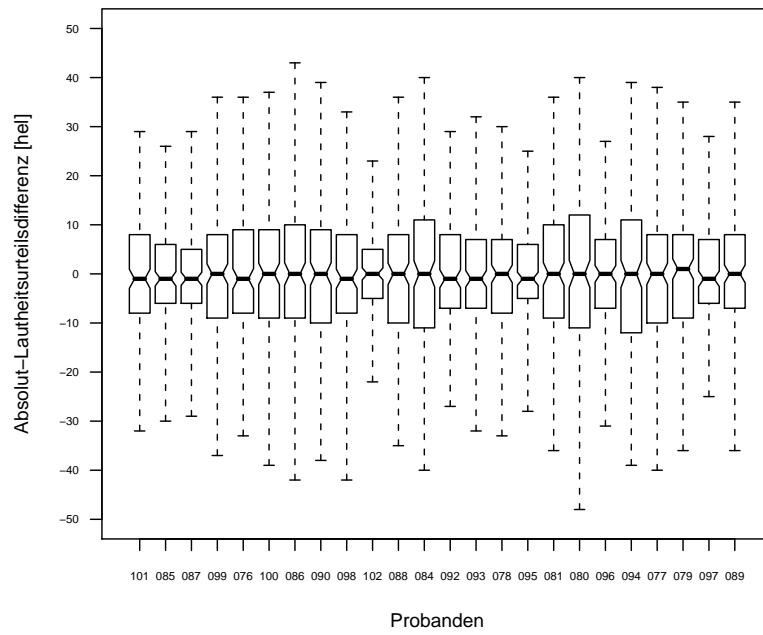


Abbildung 4.10: Absoluturteilsdifferenzen der 24 Probanden der Hauptgruppe, Wobbel-Ton, Probandenreihenfolge wie in Abb. 4.3

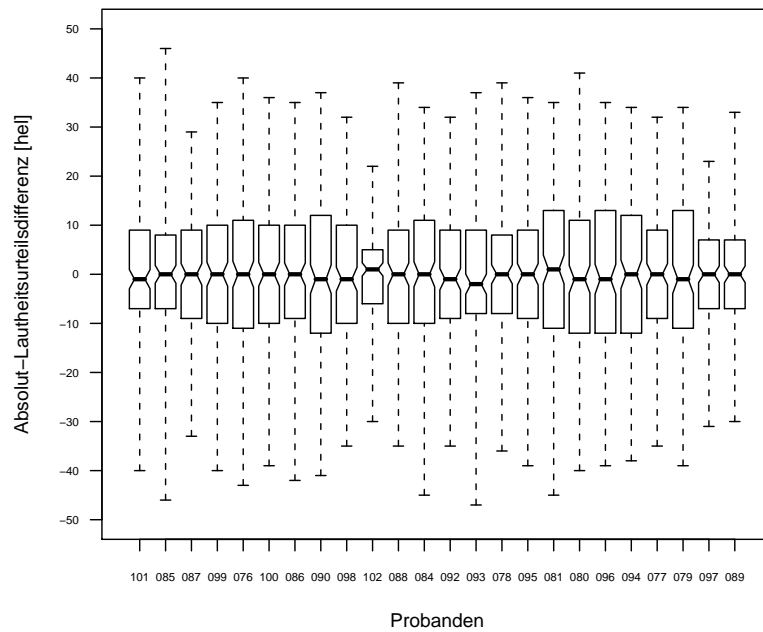


Abbildung 4.11: Absoluturteilsdifferenzen der 24 Probanden der Hauptgruppe, CCITT-Rauschen, Probandenreihenfolge wie in Abb. 4.3

Tabelle 4.5: Statistische Kennwerte der Lautheitsurteile aller Probanden der Hauptgruppe bei den Absoluturteilsdifferenzen (Wobbel-Ton), Spaltenbezeichnungen wie in Tab. 4.1

Proband	Ø	Std.	Min.	1. Q.	Med.	3. Q.	Max.	MAD
076	-0,05	13,75	-33	-8,0	-1,0	9,0	36	13,34
077	0,01	14,79	-40	-10,0	0,0	8,0	38	13,34
078	-0,02	12,08	-33	-8,0	0,0	7,0	30	11,86
079	-0,03	13,60	-36	-9,0	1,0	8,0	35	13,34
080	0,01	17,35	-48	-11,0	0,0	12,0	40	16,31
081	0,01	14,69	-36	-9,0	0,0	10,0	36	13,34
084	0,04	16,95	-40	-11,0	0,0	11,0	40	16,31
085	0,05	10,56	-30	-6,0	-1,0	6,0	26	8,90
086	0,09	15,58	-42	-9,0	0,0	10,0	43	13,34
087	-0,03	10,40	-29	-6,0	-1,0	5,0	29	8,90
088	-0,02	14,29	-35	-10,0	0,0	8,0	36	13,34
089	-0,04	11,69	-36	-7,0	0,0	8,0	35	10,38
090	-0,02	15,39	-38	-10,0	0,0	9,0	39	14,83
092	-0,02	11,68	-27	-7,0	-1,0	8,0	29	11,86
093	-0,04	12,20	-32	-7,0	-1,0	7,0	32	11,86
094	-0,03	17,03	-39	-12,0	0,0	11,0	39	16,31
095	0,02	10,39	-28	-5,0	-1,0	6,0	25	7,41
096	-0,08	12,20	-31	-7,0	0,0	7,0	27	10,38
097	0,01	11,72	-25	-6,0	-1,0	7,0	28	10,38
098	-0,03	13,07	-42	-8,0	-1,0	8,0	33	11,86
099	0,02	13,62	-37	-9,0	0,0	8,0	36	13,34
100	-0,09	13,27	-39	-9,0	0,0	9,0	37	13,34
101	-0,01	11,76	-32	-8,0	-1,0	8,0	29	11,86
102	0,00	8,46	-22	-5,0	0,0	5,0	23	7,41

Tabelle 4.6: Statistische Kennwerte der Lautheitsurteile aller Probanden der Hauptgruppe bei den Absoluturteilsdifferenzen (CCITT), Spaltenbezeichnungen wie in Tab. 4.1

Proband	Ø	Std.	Min.	1. Q.	Med.	3. Q.	Max.	MAD
076	0,00	16,82	-43	-11,0	0,0	11,0	40	16,31
077	0,02	13,90	-35	-9,0	0,0	9,0	32	13,34
078	0,01	12,34	-36	-8,0	0,0	8,0	39	11,86
079	0,04	16,76	-39	-11,0	-1,0	13,0	34	16,31
080	0,01	17,08	-40	-12,0	-1,0	11,0	41	16,31
081	0,01	16,59	-45	-11,0	1,0	13,0	35	17,79
084	-0,01	16,09	-45	-10,0	0,0	11,0	34	16,31
085	0,00	15,89	-46	-7,0	0,0	8,0	46	11,86
086	-0,01	13,91	-42	-9,0	0,0	10,0	35	14,83
087	-0,03	12,20	-33	-9,0	0,0	9,0	29	13,34
088	0,00	15,64	-35	-10,0	0,0	9,0	39	14,83
089	0,02	12,20	-30	-7,0	0,0	7,0	33	10,38
090	-0,01	17,63	-41	-12,0	-1,0	12,0	37	19,27
092	0,01	13,43	-35	-9,0	-1,0	9,0	32	13,34
093	-0,04	14,53	-47	-8,0	-2,0	9,0	37	13,34
094	0,02	16,66	-38	-12,0	0,0	12,0	34	17,79
095	-0,03	14,83	-39	-9,0	0,0	9,0	36	13,34
096	0,02	15,79	-39	-12,0	-1,0	13,0	35	16,31
097	-0,01	10,33	-31	-7,0	0,0	7,0	23	10,38
098	-0,01	14,54	-35	-10,0	-1,0	10,0	32	14,83
099	0,00	14,96	-40	-10,0	0,0	10,0	35	14,83
100	-0,04	15,01	-39	-10,0	0,0	10,0	36	14,83
101	0,00	13,32	-40	-7,0	-1,0	9,0	40	11,86
102	0,01	8,87	-30	-6,0	1,0	5,0	22	8,90

4.5 Antwort in Abhängigkeit der Absoluturteile vom Pegel

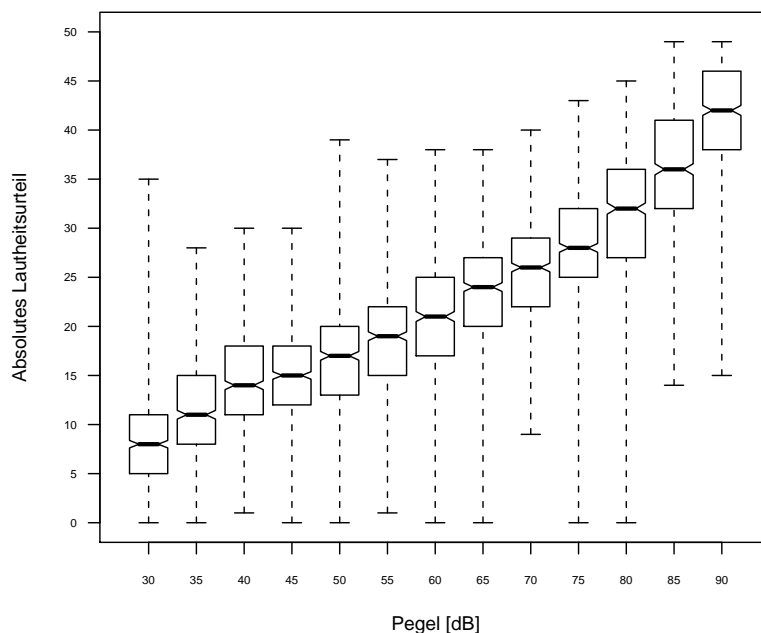


Abbildung 4.12: Absolute Lautheitsurteile in Abhängigkeit vom Schallpegel als Box-Plot für Wobbel-Ton und CCITT-Rauschen, alle Probanden

Medianwerte wie bei den Relativurteilen. Durch diesen Vergleich wird auch deutlich, dass die Testhauptgruppe sehr aufmerksam, genau und konzentriert ihre relativen Urteile abgegeben hat.

4.5 Antwort in Abhängigkeit der Absoluturteile vom Pegel

Die Abhängigkeit der Absoluturteile vom Pegel wurde als multipler Box-Plot dargestellt. Die Grafik 4.12 beinhaltet die Antworten der Probanden bei CCITT-Rauschen und Wobbel-Ton zusammen. Auf der x-Achse ist der angebotene Pegel und auf der y-Achse das absolute Lautheitsurteil aufgetragen. Für eine bessere Übersicht wurden noch zwei einzelne Box-Plot-Grafiken (CCITT 4.13 und Wobbel 4.14) zugefügt, um die unterschiedlichen Empfindungen der Probanden zu veranschaulichen. Den genauen Verlauf der Lautheitsempfindung kann

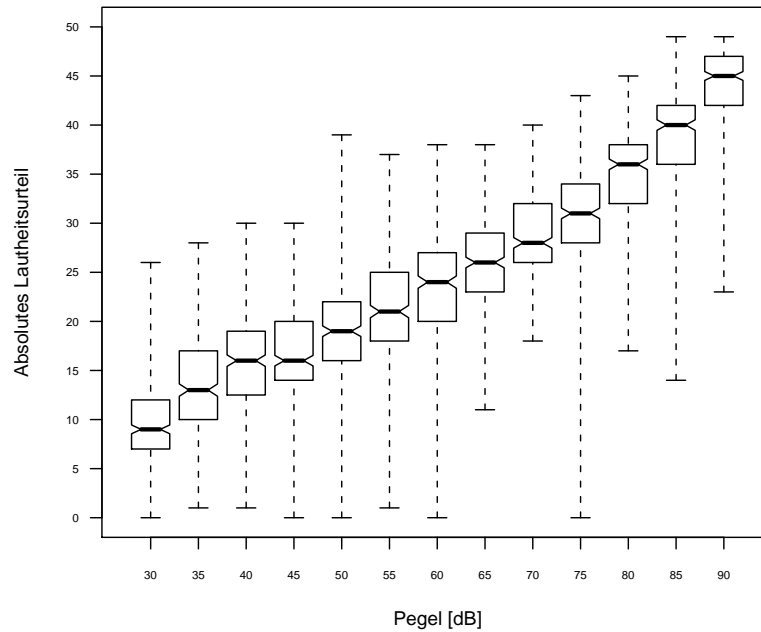


Abbildung 4.13: Absolute Lautheitsurteile in Abhängigkeit vom Schallpegel als Box-Plot für CCITT-Rauschen, alle Probanden

man in den Abbildungen 4.12, 4.13 und 4.14 klar ablesen. Die fast geradlinige Steigung beim CCITT-Rauschen und beim Wobbel-Ton sieht man in der Grafik 4.15. Die beiden „Geraden“ wurden mit dem nichtlinearen, lokalen „LOESS“-Regressionsmodell erzeugt. Die Statistik wurde hier zusätzlich durch die statistischen Kennwerte vervollständigt.

4.6 Antwort in Abhängigkeit der Absoluturteilsdifferenzen und der Relativurteile von den Schallpegeldifferenzen

In der Absicht, den Zusammenhang zwischen Absolut- und Relativurteilen besser darzustellen, wurden zwei zusätzliche statistische Überlegungen mit einbezogen. Da sich die Absoluturteilsdifferenzen reziprok zu den Relativurteilen verhalten, wurde noch nach eventuellen signifikanten Unterschieden bei der Abhängigkeit von den Schallpegeldifferenzen gesucht.

4.6 Abhängigkeit der Absoluturteilsdifferenzen und der Relativurteile von den Pegeldifferenzen

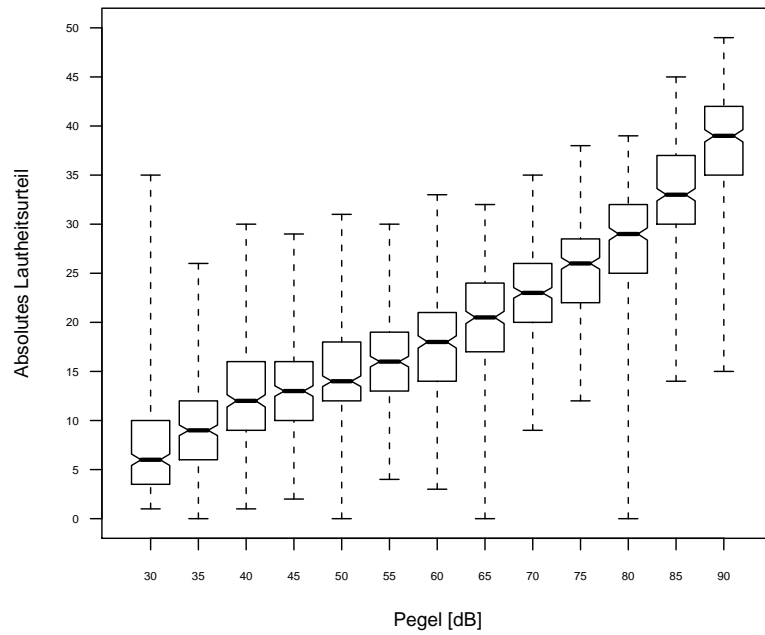


Abbildung 4.14: Absolute Lautheitsurteile in Abhängigkeit vom Schallpegel als Box-Plot für Wobbel-Ton, alle Probanden

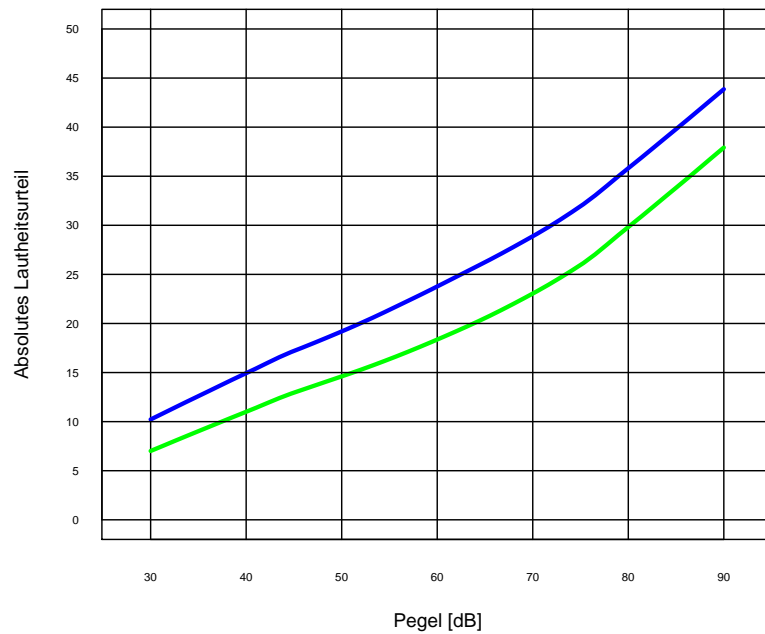


Abbildung 4.15: Absolute Lautheitsurteile in Abhängigkeit vom Schallpegel (nichtlineare „LOESS“-Regressionskurve) für Wobbel-Ton und CCITT-Rauschen, alle Probanden

Tabelle 4.7: Statistische Kennwerte der absoluten Lautheitsurteile (CCITT und Wobbel) in Abhängigkeit vom Schallpegel, Spaltenbezeichnungen wie in Tab. 4.1

Pegel	Ø	Std.	Min.	1. Q.	Med.	3. Q.	Max.	MAD
30	8,34	4,71	0	5,0	8,0	11,0	35	4,45
35	11,39	5,14	0	8,0	11,0	15,0	28	5,93
40	14,16	5,32	1	11,0	14,0	18,0	30	4,45
45	14,92	5,22	0	12,0	15,0	18,0	30	4,45
50	16,90	5,18	0	13,0	17,0	20,0	39	4,45
55	18,63	5,23	1	15,0	19,0	22,0	37	5,93
60	20,75	5,91	0	17,0	21,0	25,0	38	5,93
65	23,26	5,50	0	20,0	24,0	27,0	38	5,93
70	25,63	5,50	9	22,0	26,0	29,0	40	5,93
75	28,13	5,65	0	25,0	28,0	32,0	43	5,93
80	31,62	5,71	0	27,0	32,0	36,0	45	5,93
85	36,00	5,82	14	32,0	36,0	41,0	49	5,93
90	41,43	5,36	15	38,0	42,0	46,0	49	5,93

4.6.1 Abhängigkeit der Absoluturteilsdifferenzen von den Pegeldifferenzen

Die Absoluturteilsdifferenzen entsprechen den statistisch errechneten Relativurteilen. Demzufolge sind ähnliche Ergebnisse zu erwarten. Die Box-Plot-Grafiken 4.16 (CCITT-Rauschen) und 4.17 (Wobbel-Ton) zeigen jeweils einen fast geradlinigen, gleichmäßig ansteigenden Verlauf. Im Vergleichs-Diagramm 4.18 sehen die beiden „LOESS“-Regressionskurven fast wie Geraden aus.

4.6.2 Abhängigkeit der Relativurteile von den Pegeldifferenzen

Durch die Darstellung der Relativurteile als multipler Box-Plot für das CCITT-Rauschen und den Wobbel-Ton bzw. in Form einer „LOESS“-Regressionskurve lässt sich zusätzlich eine Aussage darüber machen, ob und inwieweit die Schall-

4.6 Abhängigkeit der Absoluturteilsdifferenzen und der Relativurteile von den Pegeldifferenzen

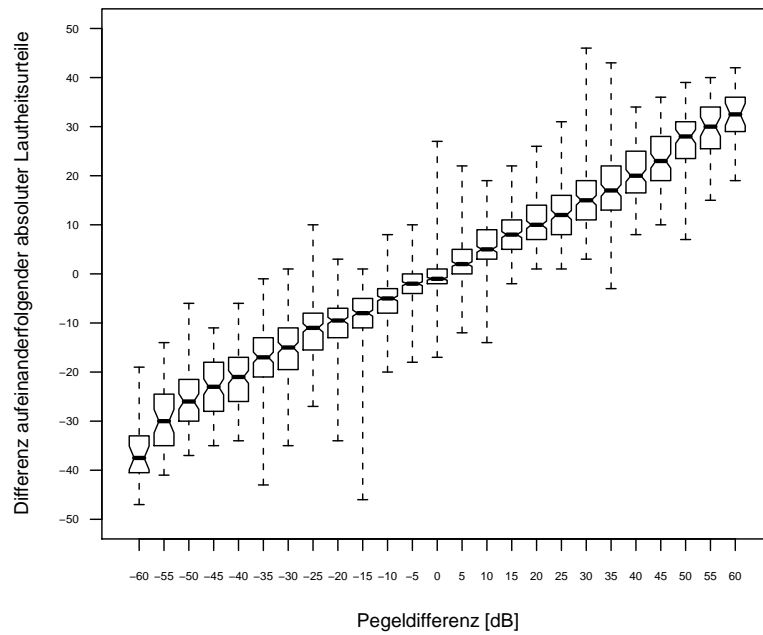


Abbildung 4.16: Abhängigkeit der Absoluturteilsdifferenzen von der Pegeldifferenz bei den 24 Probanden der Hauptgruppe, CCITT-Rauschen

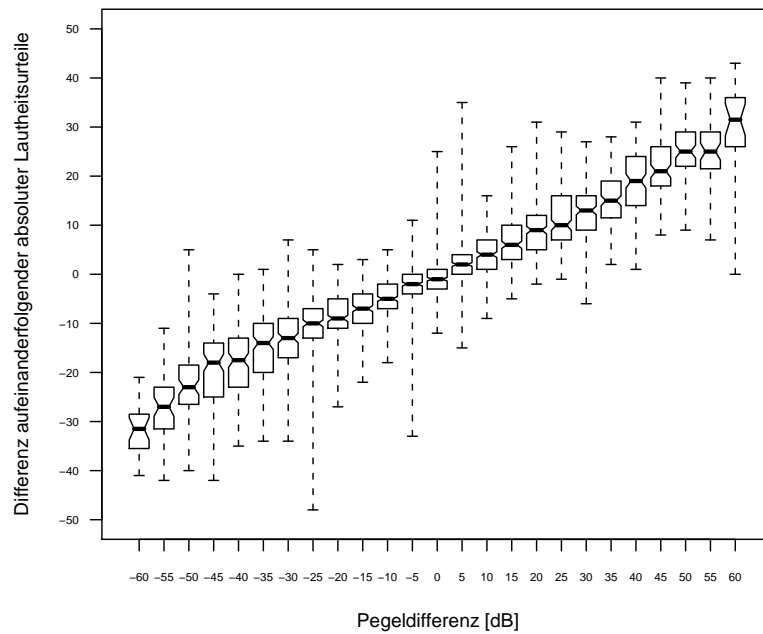


Abbildung 4.17: Abhängigkeit der Absoluturteilsdifferenzen von der Pegeldifferenz bei den 24 Probanden der Hauptgruppe, Wobbel-Ton

4 Ergebnisse

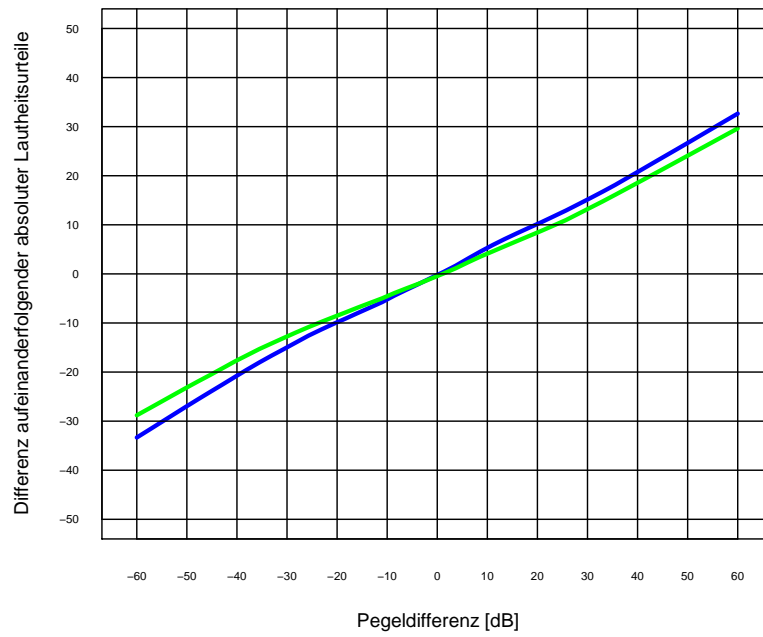


Abbildung 4.18: Abhängigkeit der Absoluturteilsdifferenzen von der Pegeldifferenz, CCITT und Wobbel im Vergleich

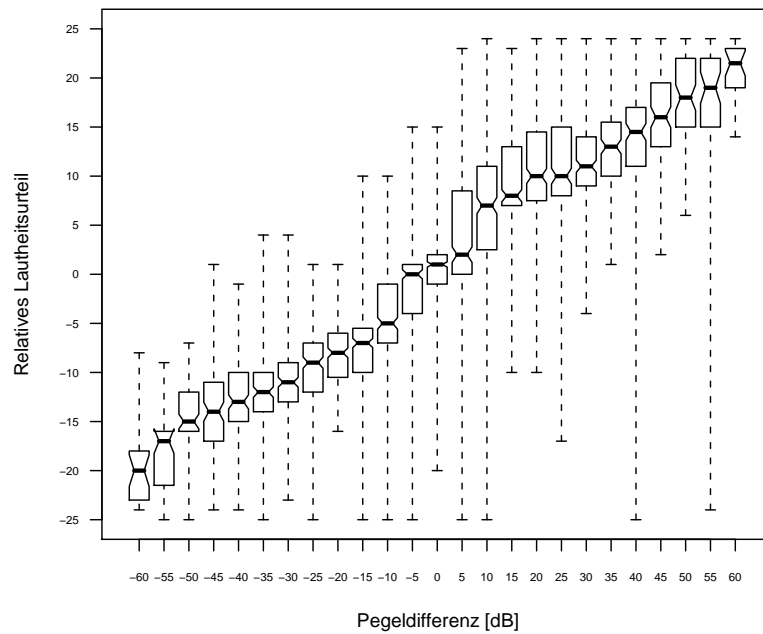


Abbildung 4.19: Abhängigkeit der Relativurteile von der Pegeldifferenz bei den 24 Probanden der Hauptgruppe, CCITT-Rauschen

Tabelle 4.8: Statistische Kennwerte der Absoluturteilsdifferenzen (CCITT und Wobbel) in Abhängigkeit von der Schallpegeldifferenz, Spaltenbezeichnungen wie in Tab. 4.1

Pegeldiff.	Ø	Std.	Min.	1. Q.	Med.	3. Q.	Max.	MAD
-60	-34,40	6,34	-47	-39,5	-35,0	-31,0	-19	5,93
-55	-28,35	7,04	-42	-33,5	-28,0	-24,0	-11	7,41
-50	-23,95	6,92	-40	-29,0	-24,0	-19,5	5	7,41
-45	-21,45	7,17	-42	-27,0	-21,0	-16,0	-4	7,41
-40	-19,55	6,59	-35	-25,0	-19,0	-15,0	0	7,41
-35	-16,35	6,58	-43	-21,0	-16,0	-12,0	1	5,93
-30	-14,16	6,44	-35	-18,0	-14,0	-10,0	7	5,93
-25	-11,45	5,83	-48	-14,0	-11,0	-7,0	10	4,45
-20	-9,42	5,31	-34	-12,0	-9,0	-6,0	3	4,45
-15	-7,73	4,82	-46	-10,0	-7,0	-5,0	3	4,45
-10	-5,28	4,09	-20	-8,0	-5,0	-2,5	8	4,45
-5	-2,31	3,73	-33	-4,0	-2,0	0,0	11	2,97
0	-0,69	3,58	-17	-2,0	-1,0	1,0	27	2,97
5	2,40	4,08	-15	0,0	2,0	5,0	35	2,97
10	4,92	4,47	-14	2,0	5,0	8,0	19	4,45
15	7,50	4,82	-5	4,0	7,0	10,0	26	4,45
20	10,00	5,29	-2	6,0	9,0	13,0	31	4,45
25	11,82	5,97	-1	7,0	11,0	16,0	31	5,93
30	14,11	5,91	-6	10,0	14,0	18,0	46	5,93
35	16,50	6,37	-3	12,0	16,0	21,0	43	5,93
40	19,57	6,19	1	15,0	20,0	24,0	34	7,41
45	22,61	6,30	8	18,0	22,0	27,0	40	5,93
50	25,70	6,10	7	22,0	26,0	30,0	39	5,93
55	27,22	6,33	7	23,0	27,0	32,0	40	6,67
60	31,12	7,64	0	27,5	32,0	36,0	43	5,93

4 Ergebnisse

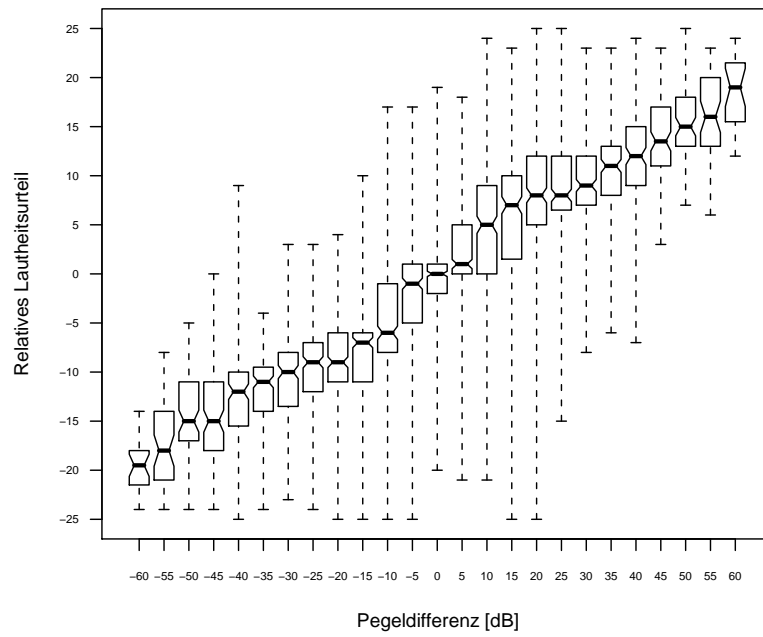


Abbildung 4.20: Abhängigkeit der Relativurteile von der Pegeldifferenz bei den 24 Probanden der Hauptgruppe, Wobbel-Ton

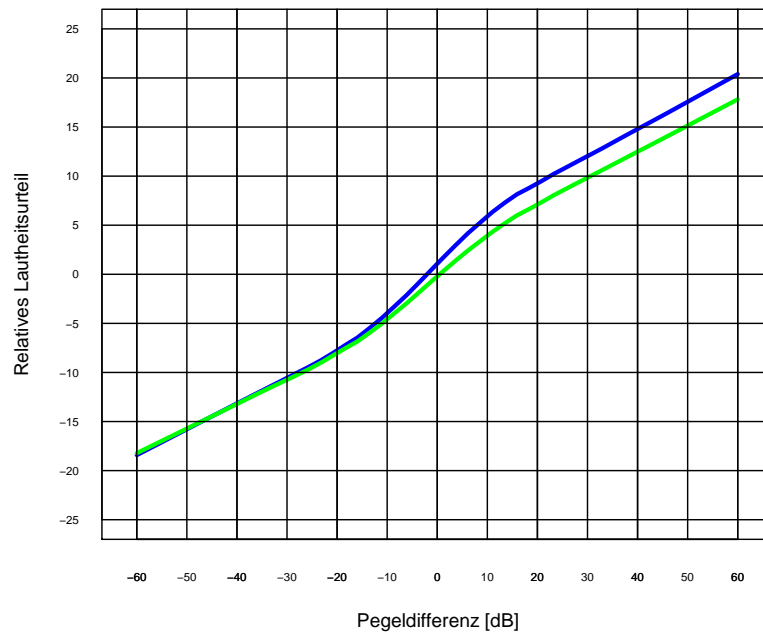


Abbildung 4.21: Abhängigkeit der Relativurteile von der Pegeldifferenz, CCITT und Wobbel im Vergleich

Tabelle 4.9: Statistische Kennwerte der Relativurteile (CCITT und Wobbel) in Abhängigkeit von der Schallpegeldifferenz, Spaltenbezeichnungen wie in Tab. 4.1

Pegeldiff.	Ø	Std.	Min.	1. Q.	Med.	3. Q.	Max.	MAD
-60	-19,71	3,12	-24	-22,5	-20,0	-18,0	-8	2,97
-55	-17,78	4,07	-25	-21,0	-18,0	-15,0	-8	4,45
-50	-14,81	4,17	-25	-17,0	-15,0	-12,0	-5	2,97
-45	-14,26	4,88	-24	-17,0	-14,0	-11,0	1	4,45
-40	-12,74	4,74	-25	-15,0	-12,5	-10,0	9	3,71
-35	-11,94	4,18	-25	-14,0	-12,0	-10,0	4	2,97
-30	-11,03	4,18	-23	-13,0	-11,0	-8,0	4	3,71
-25	-9,57	4,14	-25	-12,0	-9,0	-7,0	3	2,97
-20	-8,40	3,94	-25	-11,0	-9,0	-6,0	4	2,97
-15	-7,53	4,72	-25	-10,0	-7,0	-6,0	10	2,97
-10	-5,06	5,44	-25	-7,5	-5,0	-1,0	17	4,45
-5	-1,79	4,55	-25	-4,0	0,0	1,0	17	2,97
0	-0,07	5,10	-20	-1,0	0,0	1,0	19	1,48
5	3,35	5,76	-25	0,0	1,0	7,0	23	4,45
10	6,04	6,73	-25	1,0	7,0	10,0	24	7,41
15	7,96	6,41	-25	5,0	7,5	11,0	23	5,19
20	9,53	6,34	-25	7,0	9,0	13,0	25	4,45
25	10,21	6,08	-17	7,0	9,0	13,0	25	4,45
30	10,72	4,90	-8	8,0	10,0	13,0	24	2,97
35	11,96	4,51	-6	9,0	12,0	14,0	24	4,45
40	13,33	5,33	-25	10,0	13,0	16,0	24	4,45
45	15,12	4,81	2	12,0	15,0	19,0	24	4,45
50	16,80	4,28	6	14,0	16,5	20,0	25	3,71
55	16,91	6,21	-24	14,0	18,0	22,0	24	5,93
60	19,79	3,34	12	17,0	21,0	22,5	24	2,97

Tabelle 4.10: Statistische Vergleichskennwerte der Lautheitsurteile benachbarter Schallpegel (Wobbel-Ton und CCITT-Rauschen): Differenz benachbarter Mittelwerte und Mediane, p-Wert des Wilcoxon-Tests

Pegel	$\Delta \bar{\varnothing}$	$\Delta \text{Med.}$	p-Wert
30 — 35	3,05	3,0	$< 1,0 \times 10^{-9}$
35 — 40	2,77	3,0	$< 1,0 \times 10^{-9}$
40 — 45	0,75	1,0	0,006283119
45 — 50	1,99	2,0	$< 1,0 \times 10^{-9}$
50 — 55	1,73	2,0	0,000000007
55 — 60	2,12	2,0	$< 1,0 \times 10^{-9}$
60 — 65	2,51	3,0	$< 1,0 \times 10^{-9}$
65 — 70	2,38	2,0	$< 1,0 \times 10^{-9}$
70 — 75	2,50	2,0	$< 1,0 \times 10^{-9}$
75 — 80	3,49	4,0	$< 1,0 \times 10^{-9}$
80 — 85	4,38	4,0	$< 1,0 \times 10^{-9}$
85 — 90	5,44	6,0	$< 1,0 \times 10^{-9}$

pegeldifferenzerhöhung um jeweils 5 dB auch eine statistisch signifikante Lautheitsurteilserhöhung mit sich bringt. Schon die optische Betrachtung des Box-Plots zeigt bei jedem Pegel eine Urteilserhöhung, die u. a. am Anstieg des Medianwerts erkennbar ist. Der statistische Vergleich der jeweils benachbarten Pegelpaare bestätigt diesen Eindruck durch die signifikanten Unterschiede zwischen den Pegeln (s. Tabelle 4.10).

4.7 Erfahrungen und Schwierigkeiten der Probanden während des Versuchs

Es wurden vor und nach jedem einzelnen Versuch Meinungen und Empfindungen von den Probanden erfragt. Diese äußerten sehr interessante und unterschiedliche Ansichten, wodurch die Individualität der Versuchspersonen zum Ausdruck kam.

4.7 Erfahrungen und Schwierigkeiten der Probanden während des Versuchs

Mehr als die Hälfte der Versuchsteilnehmer fand, dass die relative Skalierung schwieriger als die absolute war. Sie erfordert intensives Nachdenken und große Konzentration. Die absoluten Urteile waren für diese Gruppe einfacher abzugeben, da man spontan und ohne große Überlegungen entscheiden konnte.

Allerdings empfand es fast die Hälfte der Testgruppe einfacher, relativ zu urteilen als absolut. Diese Versuchspersonen hielten es für schwieriger, Urteile abgeben zu müssen *ohne* darüber nachzudenken.

Die Übungssequenz vor dem Versuch wurde als sehr angenehm empfunden, da sich die Probanden mit dem Skaliertablett vertraut machen konnten und zu einem besseren Verständnis gelangten. Nach den ersten zwei Versuchen wurde die Übungssequenz auf Wunsch bei der Mehrheit der Probanden nicht mehr abgespielt, weil sie die gestellten Aufgaben verstanden hatten und sehr gut damit zurechtgekommen waren.

Alle Versuchspersonen nahmen den Wobbel-Ton leiser wahr als das CCITT-Rauschen, auch wenn beide den selben Pegel hatten. Insgesamt fiel es den Probanden beim CCITT-Rauschen leichter, unterschiedliche Pegel zu differenzieren. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass das CCITT-Rauschen im Gegensatz zum Wobbel-Ton unangenehm empfunden wurde. Einzelne Personen empfanden die hohen Pegel beim CCITT-Rauschen sogar als störend oder zu laut.

Die Mehrheit der Probanden kam sehr gut mit den Versuchen zurecht. Bei manchen Personen traten zwar zu Ende des Versuchs Müdigkeit und Konzentrationsschwächen auf, aber dennoch wurden die gestellten Aufgaben zur vollsten Zufriedenheit gelöst.

5 Diskussion

5.1 Verhaltensweisen der Probanden bezüglich des Urteilsbereichs und der Urteilsdichte

Wenn man die Urteilsbereiche und die Verteilungsdichte bei den Probanden betrachtet (s. Anhang A, S. 81 ff.), erkennt man deutliche Unterschiede, vor allem bei den Probanden 96, 99 und 102 (s. Abschnitt 4.2, Rohdatenbetrachtung, S. 34 ff.). Aus den Grafiken kann man jeweils die Ausnutzung der Skala und auch die Verteilungsdichte ablesen. Beide weisen individuelle Charakteristika auf.

Bei absoluter Skalierung unterschied sich beispielsweise die Urteilsabgabe des Probanden 96 beim CCITT-Rauschen nicht besonders stark von der der anderen Probanden. Allerdings ergaben sich beim Wobbel-Ton deutliche Unterschiede.

In Abbildung 4.1 fällt auf, dass der Proband trotz des ansteigenden Pegels von 45 bis 80 hel seine Urteilsabgabe nur unwesentlich verändert. Auch eine Kategorisierung bei den Relativurteilen ist zu entnehmen. Der Proband nutzte grundsätzlich nur die drei Kategorien »gleich«, »leiser« und »lauter« und wählte auch innerhalb der Kategorie nur den mittleren Bereich. Dieses Phänomen ließ sich bei mehreren Personen feststellen. Ein sehr deutliches Beispiel dafür ist Proband 99. Die freien Bereiche der Punktwolke bei den Relativurteilen sind ein Indiz für die grobe kategoriale Skalierung des Urteilgebers. Offensichtlich nutzte der Proband die Skalenbereiche »viel leiser« und »viel lauter« seltener.

Ein ähnliches Verhalten zeigte der Proband 102. Bei der Absolutlautheitsskalierung empfand er die niedrigsten und vor allem die höchsten Pegel wesentlich weniger stark ausgeprägt, so dass sich seine Bewertungen hauptsächlich in mittlerem Bereich der Skala bewegten. Dieses Verhalten bestätigt die Abbildung 4.2.

Nach gründlicher Betrachtung der Verhaltensweisen der Probanden drängten sich die Fragen auf, welche äußerlichen Einflüsse auf den einzelnen Versuchsteilnehmer eingewirkt hatten, und wie weit dessen innere Verfassung für die Bewertung eine Rolle gespielt hatte. Bei der Auswahl der Probanden wurde auf eventuelle externe Einflüsse wie hohes Alter, Hörschwäche oder Unzuverlässigkeit geachtet. Die Methode der Urteilsabgabe wurde in einer Dissertation untersucht (Haaga, 2009). Eine der darin untersuchten Methoden entsprach der hier verwendeten und stellte sich als die am wenigsten empfindliche für Sequenzeffekte heraus. Darüber hinaus kann man nur spekulieren, welche zusätzlichen Faktoren die Urteile der Probanden beeinflussen könnten.

Im Hinblick auf die Überlegungen von Boretzki et al. (1994) und Heller (1991) wurde eine Probandeninstruktion und eine Übungssequenz erstellt, mit denen die Probanden auf die Versuche vorbereitet wurden. Dadurch wurde bei ihnen ein besseres Verständnis und eine schnellere Orientierung in den Tests erreicht. Die Bildung eines *individuellen* Bezugssystems sollte weitgehend ausgeschlossen werden. Es ist noch wichtig zu erwähnen, dass die Übungssequenz auf Wunsch ein- oder mehrmals wiederholt wurde, um ausreichende Sicherheit und Verständnis bei jedem der 24 Personen zu gewährleisten. Die Befragung der Probanden zwischen bzw. nach den Testläufen ergab eine hohe Zufriedenheit mit der Aufklärung und den Übungsdurchläufen.

Die Konzentration und die Aufmerksamkeit können als schwer beeinflussbare Komponenten betrachtet werden. Auch die mentale Verfassung der Probanden

wäre ein zusätzlicher Faktor. Mehr als zwei Drittel der Probanden wurden während der Ferien, im Urlaub oder am Wochenende getestet, um ein möglichst genaues Ergebnis zu erzielen. Nach dem Durchlauf des Versuchs fand ein Gespräch mit der Testperson über deren Gemütslage und Befinden statt. Ein Teil der Testgruppe hielt den Versuch für zu lang und zu schwer, so dass sich diese Probanden vor allem beim letzten Durchlauf überfordert fühlten. Ein anderer Teil empfand das Urteilen amüsant und entspannend. Eine dritte Gruppe äußerte sich relativ neutral.

Alle Probanden, die ein Musikinstrument spielten oder sich intensiver mit Musik beschäftigten, hatten weniger Schwierigkeiten, die Versuche zu verstehen und durchzuführen. Dies könnte damit zusammenhängen, dass die musikalisch Geübten möglicherweise ein empfindlicheres und feineres Gehör entwickelt haben.

5.2 Urteilsunterschiede bei den Probanden

Die Ergebnisse aller Teilnehmer wurden bei den Absoluturteilen, Relativurteilen und den Absoluturteilsdifferenzen statistisch ausgewertet. Ungeachtet der gleichen Aufgaben und Anleitungen bestehen Unterschiede, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

5.2.1 Absoluturteile

Die individuelle Urteilsabgabe der Probanden ist bei den Absoluturteilen offensichtlich. Man erkennt Unterschiede von bis zu 12 hel bei den Medianwerten und auch die Differenz bei den Extremen beträgt bis zu 8 hel. Die Quartilsgrößen unterscheiden sich und rahmen die etwas verschiedenen Urteilsbereiche der Testpersonen ein. Die einzelnen abweichenden Ergebnisse bestätigen die Indi-

vidualität der Teilnehmer. Betrachtet man aber die gesamte Lautheitsübersicht erkennt man, dass die Probanden die Aufgabe verstanden hatten und in gewisser Weise ähnlich urteilten. Die einzelnen durch die Punktwolke entstandenen „Treppen“ zeigen ein ziemlich vergleichbares Bild - sowohl bei CCITT-Rauschen als auch bei Wobbel-Ton.

5.2.2 Relativurteile

Bei der Betrachtung der Box-Plots in den Abbildungen 4.6, 4.7 und 4.8 ist eine erstaunliche Anordnung der Medianwerte in der Nähe der „0 bel-Grenze“ zu sehen. Diese auf den ersten Blick erstaunliche Homogenität erklärt sich durch die immer geringer werdende Anzahl bei zunehmender Pegeldifferenz. Die kleinen Pegelunterschiede kommen innerhalb eines Durchlaufs bedeutend öfter vor und rufen ein statistisches Artefakt hervor. Das individuelle Verhalten der Teilnehmer lässt sich aus der Punktwolke und der Größe der Quartile gut ablesen. Das Vergleichen des Pegels mit dem Vorgängerpegel brachte für circa die Hälfte der Testgruppe Schwierigkeiten mit sich. Das Problem dieser Probanden bestand im Nachdenken und Überlegen, wie gleich oder um wieviel lauter bzw. leiser der Ton zum Vorgänger war. Bei diesem Versuch brauchten manche Teilnehmer mehr als eine Testsequenz, bis sie die Aufgabe verstanden und sich sicher gefühlt haben. Die andere Hälfte der Gruppe äußerte sich sehr positiv und empfand das relative Urteilen leichter als das absolute. Die unterschiedliche Favorisierung der beiden Hauptversuche könnte an den Charaktereigenschaften des einzelnen Probanden liegen. Es könnte zum Beispiel damit zusammenhängen, ob diese Person im Allgemeinen überlegt oder spontan handelt. Diese Aussage bewegt sich allerdings am Rande der Spekulation. Für dieses Phänomen wurden keine aussagekräftigen Argumente gefunden.

5.2.3 Absoluturteilsdifferenzen

Mit den Absoluturteilsdifferenzen wurde angestrebt, einen illustrativen Vergleich zwischen relativen und absoluten Urteilen zu schaffen. Ein Relativurteil bezieht sich auf zwei hintereinander abgegebene Pegel. Die Differenz von zwei aufeinander folgenden Absoluturteilen bezeichnet man als die Absoluturteilsdifferenz. Dieses Resultat verhält sich reziprok zum eigentlichen Relativurteil, das von den Probanden im Idealfall abgeliefert werden sollte. Die so statistisch errechneten Absoluturteilsdifferenzen unterscheiden sich sehr wenig von den tatsächlich abgegebenen Relativurteilen. Diese Beobachtung belegt die Glaubwürdigkeit der Relativurteilsabgabe, der Versuchsanordnung und bestätigt die Fähigkeit der Probanden, diese Aufgabe zu leisten.

5.3 Geschlechtsspezifische Urteilsunterschiede

Bei der vorliegenden Arbeit wurden keine offensichtlichen Unterschiede zwischen Männern und Frauen bei Freifeldarbeit über Lautsprecher gefunden. Ohne diese Aussage hier statistisch gesichert machen zu können, harmonisiert diese Beobachtung mit der bekannten Literatur (Hellbrück, 1983; Nowak, 1979; Nägle, 2004).

5.4 Urteilsunterschiede bei unterschiedlichen Stimulustypen

Dieser Arbeit liegen zwei Hauptversuche zu Grunde, die beide mit CCITT-Rauschen und Wobbel-Ton durchgeführt wurden. Jeder der 24 Probanden erfasste den breitbandigen Stimulus (CCITT-Rauschen) im Vergleich zum schmalbandigen Stimulus (Wobbel-Ton) als lauter. Diese Feststellung wurde in der Abbildung 4.15 grafisch dargestellt. Das CCITT-Rauschen wurde mit circa 3-5 hel lauter

empfunden als der Wobbel-Ton. Das Resultat zeigt eine Übereinstimmung mit den Arbeiten von [Ricketts und Bentler \(1996\)](#) und [Nägle \(2004\)](#):

„korrelieren wie erwartet mit dem Lautheitswahrnehmungsmodell von [Zwicker und Fastl \(1999\)](#), nach dem breitbandige Stimuli, im Gegensatz zu schmalbandigen, in mehrere Frequenzgruppen fallen und daher in der Summe auch lauter beurteilt werden.“ ([Nägle, 2004](#), S. 66)

5.5 Pegelabhängigkeit bei den Absoluturteilen

Bei der Betrachtung der Absoluturteile in den Abbildungen [4.12](#), [4.13](#) und [4.14](#) lässt sich die Reaktion der Probanden auf den erhöhten Schallpegel deutlich erkennen. Die signifikanten Unterschiede werden noch deutlicher durch die Analyse der Medianwerte aus der Tabelle [4.7](#). Die Probanden skalieren bei jeder Steigerung des Schallpegels signifikant höher, auch wenn die Differenz der Schallpegel nur 5 dB beträgt. Die Lautheitsempfindungskurve in Abbildung [4.15](#) verdeutlicht die ausgewerteten Ergebnisse sowohl beim CCITT-Rauschen als auch beim Wobbel-Ton. In der Literatur wird über ähnliche Verläufe berichtet ([Kollmeier, 1997](#); [Nägle, 2004](#)).

Die Versuchsreihe von [Hellbrück et al. \(1995\)](#) zeigte einige Unterschiede, die bei der Arbeit von [Nägle \(2004\)](#) näher erläutert wurden. Bei dieser Reihe

„[. . .] zeigten einige Lautheitsempfindungskurven eine Nicht-Monotonität, die Hellbrück als Sequenzeffekte bezeichnete und deren Existenz er in Folgeversuchen nachweisen konnte. Zwischen 60 dB und 65 dB zeigten die Kurven einer bestimmten Reizabfolge unabhängig von der Frequenz einen Abfall. Es gibt einige Unterschiede zu den Versuchsmethoden in der vorliegenden Arbeit, die näher dis-

kutiert werden sollen, da hier keine Effekte auftraten. Bei Hellbrück wurden die Versuche mit unterschiedlichen Frequenzpaaren durchgeführt. Hellbrück wechselte innerhalb einer Versuchsreihe zwischen zwei Frequenzen und verschiedenen Schallpegeln. Dieser Wechsel zwischen Frequenz und Pegel ist ein gravierender Unterschied zur Durchführung in dieser Arbeit und könnte die Ursache solcher Sequenzeffekte sein. Da die Effekte jedoch bei Verwendung der gleichen Sequenz unabhängig vom Frequenzpaar immer wieder auftraten und bei anderen Sequenzen ausblieben, muss diese Ursachenannahme verworfen werden. Somit könnte man annehmen, dass eine gut durchdachte Darbietungsabfolge der Reize eine wichtige Voraussetzung für die Lautheitsskalierung darstellt. Der tatsächliche Grund solcher Effekte ist trotz weitgreifender Literatur bis heute nicht vollständig geklärt (Haubensak, 1992).

Als Ursachen werden die Darbietungsabfolge von Stimuli, Vergleichsurteile innerhalb einer Serie oder für uns ungreifbare wahrnehmungspsychologische Abläufe angenommen. Es wird daher dazu geraten, die Serie von Stimuli ausgewogen zu generieren. Es wird außerdem empfohlen, keine extrem unterschiedlichen, oder sehr ähnlichen Schallpegel aufeinander folgen zu lassen und die Sequenz nicht mit extremen Pegeln zu beginnen. Der Proband sollte immer eine Orientiertheit über die Reizserie haben, um Vergleichsurteile zu vermeiden (Heller, 1980).

Der Sequenzaufbau der in dieser Arbeit durchgeführten Versuche, die Probandeninstruktion und die Methodik wurden so genau wie möglich nach diesen Vorschlägen verwirklicht. Da keine Nicht-Mo-

notonität gefunden wurde, kann davon ausgegangen werden, dass die Sequenzeffekte erfolgreich eliminiert wurden. Störende Einflüsse konnten weitgehend ausgeschlossen und der Vorgängereffekt so untersucht werden.“ (Nägler, 2004, S. 67)

5.6 Abhängigkeit der Absoluturteilsdifferenzen und der Relativurteile von den Pegeldifferenzen

Die Relativurteile können auch statistisch durch die Absoluturteilsdifferenzen dargestellt werden. In diesem Zusammenhang können die ausgerechneten und die abgegebenen Urteile verglichen werden. In Abbildung 4.18 ergeben die Absoluturteilsdifferenzen eine Gerade mit einer ziemlich konstanten Steigung. Diese Gerade nähert sich einer ideal gedachten Gerade an, die in Relation zur konstanten Pegelveränderung eine absolut konstante Steigung aufweist.

Etwas anders ist die Situation bei den wirklichen Relativurteilen. Die Abbildungen 4.19 und 4.20 zeigen sowohl beim CCITT-Rauschen als auch beim Wobbel-Ton eine nicht konstante Steigung und anstatt einer Geraden eine Kurve. Interessant ist die Steigung bei Pegeldifferenzen zwischen -10 dB, -5 dB, 0 dB, 5 dB und 10 dB. In beiden Abbildungen sind klar sichtbare Sprünge zwischen -10 dB, -5 dB und zwischen 10 dB und 5 dB zu erkennen. Die Steigung von -5 dB bis 5 dB verläuft dagegen relativ flach. Über die Gründe dieser Ergebnisse kann nur spekuliert werden. Eine sinnvolle Erklärung dafür könnte sein, dass für die Mehrheit der Probanden die Differenzierung der Pegel schwierig war, wenn der Unterschied sehr klein war (zwischen 0 dB und 5 dB). Möglicherweise gaben sie deshalb in diesem Bereich öfter das Urteil »gleich« oder zumindest nahe bei »0« ab. Bei etwas größerem Unterschied (z. B. bei 10 dB) registrierte die Testgruppe diesen offenbar leichter und bewertete den Pegel eindeutig als »lauter« bzw.

»leiser«. Diese Hypothese gäbe eine Erklärung für den geknickten Verlauf des Relativurteils.

Abgesehen von diesem Differenzbereich nahe 0 dB verlaufen die Kurven der Absoluturteilsdifferenzen und der Relativurteile vergleichbar.

5.7 Fehlermöglichkeiten

Die Durchführung verschiedener Testprogramme kann für die Probanden aufwändig und anspruchsvoll sein, vor allem wenn es um Psychoakustik geht. Aufgrund dessen sind diverse Fehlerquellen möglich, die das Ergebnis verfälschen können.

Vor den Hauptversuchen wurden einige Vorversuche in der Camera silens durchgeführt, um häufig auftretende Fehler möglichst auszuschließen. In dieser Camera sorgt eine Klima- und Lüftungsanlage für Luftzufuhr. Deren Geräuschpegel war im Raum selbst nicht zu hören und hätte deshalb die Messung nicht beeinflussen können. Dies bestätigte sich durch die Ergebnisse der Vorversuche, die keine Fehleranzeigen erbrachten, so dass einige der Testergebnisse in den Hauptversuch übernommen werden konnten. Dennoch wurde die Klima- und Lüftungsanlage während der Messungen immer abgeschaltet. Außerdem blieben die äußere und die innere Tür der Camera geschlossen, um den Hintergrundschallpegel gering zu halten.

Eine nichtausreichende Instruktion und mangelhafte Information der Probanden könnten auch zu unerwünschten Fehlern führen. Die vorbereitete ausführliche Probandeninstruktion sollte diese Fehlerquelle weitestgehend beseitigen. Sie erwies sich als sehr wichtig, um den Testpersonen ihre Beklommenheit und Ungewissheit zu nehmen, ohne ihnen die eigentlich wesentlichen Hintergründe der Fragestellung zu benennen. Es lässt sich nicht ausschließen, dass noch ei-

ne gewisse Unsicherheit verblieb und den Probanden der Mut zum Nachfragen fehlte. In der mündlichen Befragung ergaben sich darauf jedoch keine Hinweise. Dies könnte in einem anderen Forschungsprojekt untersucht werden.

Die Durchführung zweier ähnlicher Hauptversuche könnte zu Verwirrung, Vermischung und Desorientierung der Probanden führen. Durch die Probesequenz vor jedem Versuchsteil sollte erreicht werden, auch diese Fehlerquote gering zu halten und die Versuchsperson auf die eigentliche Aufgabe vorzubereiten. Die Sequenzen sowie die Stimulusarten wurden so kombiniert, dass möglichst keine Lernprozesse innerhalb der Testreihe stattfanden. Zusätzlich bekam jeder Proband eine um einige Stimuli verschobene Sequenz vorgespielt, so dass bei jedem zwar ähnliche, aber nicht exakt die selben Bedingungen zutrafen. Die in Kapitel 4.7 (S. 62 ff.) bereits erwähnten Aussagen der Probanden deuten auf eine Individualität des Schwierigkeitsgrades und der Aufnahmefähigkeit hin. Dieser Einfluss kann zu divergierenden Ergebnissen oder auch zu Fehlern führen.

Bei fast jedem wissenschaftlichen Experiment können Einflüsse bestehen, die schwer zu kontrollieren sind, und daher nur die Möglichkeit bleibt, eventuelle Auswirkungen so gering wie möglich zu halten.

Die verschiedenen Tageszeiten und die mentale Verfassung der Probanden spielen auch eine wesentliche Rolle. Es wurde angestrebt, die Hauptversuche an Wochenenden oder Feiertagen durchzuführen, doch nicht alle Probanden konnten diesen Wunsch erfüllen. Zusätzlich wurde darauf geachtet, dass sich die Versuchspersonen in guter Kondition befanden und leistungsfähig waren. Allerdings ist es ziemlich schwierig, teilweise sogar unmöglich, das Allgemeinbefinden der Testpersonen einzuschätzen und gegebenenfalls auf Änderungen zu reagieren.

Schon die unterschiedlichen Reaktionen auf den schalltoten Raum warfen Fragen auf. Manche fanden die Kammer beängstigend und gruselig, andere wieder-

um waren eher fasziniert von diesem Kunstwerk aus Glaswolle und Schaumstoff. Dies könnte unterschiedliche Auswirkungen auf die mentale Verfassung der Getesteten gehabt haben, wodurch wiederum die Motivation, die Stimmung und die Konzentration beeinflusst wurden.

Die denkbaren Fehlermöglichkeiten lassen einige Fragen offen, die evtl. als Basis für ein weitere Untersuchungen dienen können.

6 Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurden absolute und relative Lautheitsskalierung einander im Direktvergleich gegenübergestellt. Durch die genauen Untersuchungen sind jedoch noch einige Fragen aufgekommen, die zum Teil nur unvollständig beantwortet werden konnten.

Ein wichtiger Punkt in der Arbeit bestand darin, den Zusammenhang zwischen den absoluten und den relativen Urteilen herauszufinden. Dabei wurden einige Parallelen aufgezeigt. Es ist aufgefallen, dass unterschiedlich viele Differenzen bei den Relativurteilen vorkommen. Die Pegeldifferenzen + 60 dB und – 60 dB kamen 13 Mal weniger vor als die Differenzen 0 dB. Je größer die Pegelunterschiede wurden, desto weniger häufig traten sie auf. Bei den Absoluturteilen dagegen beträgt die Anzahl der zu beurteilenden Pegel konstant dreizehn.

Es ist prinzipiell schwierig gewesen, diesen Vergleich in der vorliegenden Arbeit mathematisch darzustellen. Diese Ergebnisse lassen es sinnvoll erscheinen neue Pegelsequenzen zu entwickeln, bei denen sich die *Pegeldifferenzen* für die Relativurteile gleichmäßig verteilen. Die Konsequenz wäre jedoch eine Ungleichverteilung der *Pegel*. Außerdem müßten diese neuen Sequenzen dann auch bei der absoluten Urteilsabgabe eingesetzt werden.

Die relative Skala war auch Gegenstand der Überlegungen. Bei dieser Arbeit wurde die feine Skalierung mit den jeweils 10 Einheiten je Kategorie von der absoluten Skala in die relative übernommen. Der Bewertungsbereich war mit 0 bis 50 „hel“ angegeben. Im Gegensatz dazu könnte man beispielsweise auf der

relativen Skala den Zahlenbereich von -25 bis $+25$ „hell“ eintragen. Dadurch könnten die Probanden außerdem den Eindruck gewinnen, es handele sich um einen anderen Versuch. Dies wiederum könnte ihnen helfen, sich beim Vergleich der vorgespielten Pegel besser zu konzentrieren.

Ein immer noch interessantes und unerforschtes Thema ist die Bedeutung der allgemeinen kognitiven Leistungsfähigkeit der Probanden für den Versuch. Unter unseren ausgewählten Probanden waren Personen, die gute musikalische Kenntnisse hatten. Es war auffällig, dass diese sehr gut mit den gestellten Aufgaben zurechtkamen. Denkbar wäre hier der Einsatz von begleitenden Fragebögen bzw. kognitiven Tests zur Quantifizierung solcher potentieller Einflußfaktoren.

7 Zusammenfassung

Die absolute und die relative Lautheitsskalierung einer homogenen Gruppe von 24 audiometrisch überprüft normalhörenden Probanden wurde nach einer modifizierten Methode des Würzburger Hörfeldes untersucht. Es handelte sich um junge Probanden zwischen 20 und 30 Jahren (Studenten).

Es wurden zwei Hauptversuche mit unterschiedlichen Urteilsskalen durchgeführt, eine für Absolutskalierung und eine für Relativskalierung. Beide Methoden wurden mit jeweils zwei Stimulustypen getestet, einem breitbandigen (CCITT-Rauschen) und einem schmalbandigen (Wobbel-Ton). Der Pegelbereich bewegte sich in Fünferschritten zwischen 30 dB und 90 dB. Die Reihenfolge war so gewählt, dass jeder Pegel jedem anderen möglichen Pegel als Vorgänger diene. Hierdurch bestand die Möglichkeit, sowohl bei den absoluten als auch bei den relativen Urteilen verschiedene Abhängigkeiten bei den Stimulustypen und den einzelnen Probanden oder auch die Einflüsse des Vorgängerpegels und des Vorgängerurteils auf das Lautheitsurteil gezielt zu betrachten.

Die Stimulusdauer betrug jeweils eine Sekunde, die Versuchsperson hatte jeweils vier Sekunden Zeit, ihr Urteil abzugeben.

Die Bewertungen wiesen sowohl bei der absoluten Skalierung als auch bei der relativen Skalierung eine Probandenspezifität auf. Trotz dieser Individualität der Testpersonen ist bei der Absolutbeurteilung mit zunehmendem Pegel ein streng monotoner Anstieg der Lautheitsbeurteilung zu erkennen. Dabei empfand die Versuchsgruppe die breitbandigen Stimuli mit ca. 3,5 hel bis ca. 7,5 hel signifi-

kant lauter als die schmalbandigen. Eine positive Abhängigkeit des Urteils wurde sowohl vom Vorgängerpegel, als auch vom Vorgängerurteil festgestellt.

Auch bei der Relativbeurteilung wurde in Bezug auf die Pegeldifferenzen ein Anstieg beobachtet, wobei die Steigung nicht gleichmäßig verlief. Im Bereich zwischen -10 dB und -5 dB bzw. $+5$ dB und $+10$ dB ist ein deutlicher Sprung erkennbar, dagegen verläuft die Kurve zwischen -5 dB und $+5$ dB relativ flach. Die Relation zwischen den breitbandigen und den schmalbandigen Stimuli ist bei der Relativskalierung deutlich kleiner als bei der Absolutskalierung. Im Bereich von -25 dB bis 0 dB haben die Probanden fast keinen Unterschied zwischen CCITT-Rauschen und Wobbel-Ton empfunden.

Um einen Vergleich zu ermöglichen, wurden den Relativurteilen die ausgerechneten Absoluturteilsdifferenzen gegenübergestellt. Die Steigung der so entstandenen Kurve verläuft sehr gleichmäßig. Diese ideale Situation wurde jedoch von den direkt abgegebenen Relativurteilen nicht bestätigt.

Die Häufigkeit der angebotenen Pegeldifferenzen ist bei der Relativskalierung und bei der Absolutskalierung sehr unterschiedlich. Dadurch ergibt sich als statistisches Artefakt zwangsläufig eine Zentrierung um die Skalenmitte.

Relativurteile und berechnete Absoluturteilsdifferenzen sind zwar über weite Bereiche deckungsgleich, stimmen aber bei geringen Differenzen nicht überein, was (zumindest in diesem Bereich) auf unterschiedliche Mechanismen schließen läßt.

A Übersichtstafeln zur Lautheitsskalierung und Urteilsdichte

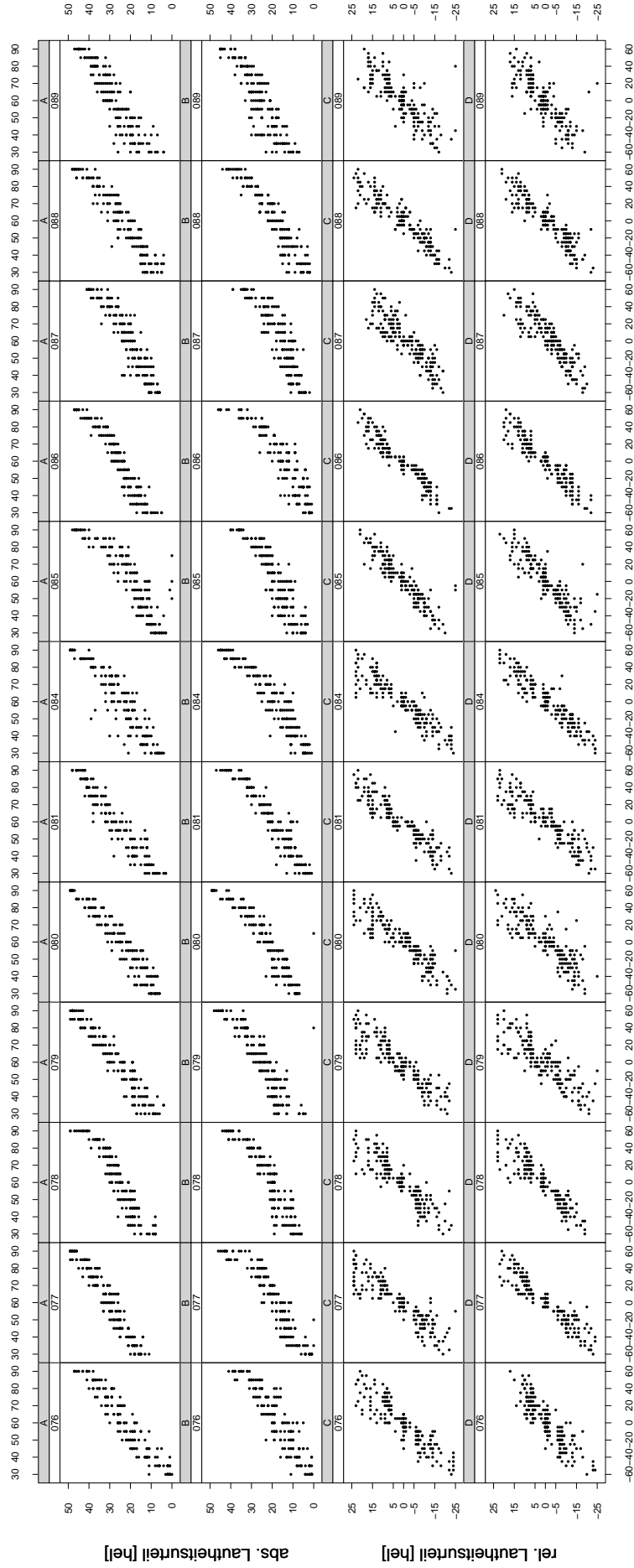
Die folgenden vier Seiten fassen die Skalierungsdaten für alle Probanden in Übersichtstafeln zusammen. Diese Abbildungen ermöglichen einen direkten Vergleich der Testergebnisse aller Versuchspersonen, außerdem sind die individuellen Unterschiede zu entnehmen.

Die ersten zwei Seiten bieten die Übersicht zu den Lautheitsurteilen in Abhängigkeit vom Schallpegel bei der Absolutskalierung und in Abhängigkeit von aufeinander folgenden Schallpegeldifferenzen bei der Relativskalierung. Die beiden Hauptversuche sind jeweils mit einem breitbandigen (CCITT-Rauschen) und einem schmalbandigen (Wobbel-Ton) Stimulus präsentiert. Die Buchstaben A, B, C und D entsprechen den Absoluturteilen mit CCITT(A) und Wobbel(B) bzw. den Relativurteilen mit CCITT(C) und Wobbel(D) der jeweiligen Versuchsperson. Jeder Einzelpunkt entspricht dem auf dem Skaliertablett abgegebenen Urteil der Testperson.

Auf den nächsten zwei Seiten sind in jeder Einzelgrafik auf der Ordinate die Urteilsdichte der Lautheitsurteile und auf der Abszisse die Bewertungen der Probanden in „hel“ eingetragen. Auch hier sind alle 169 einzelnen Urteile der Probanden in die Diagramme einbezogen.

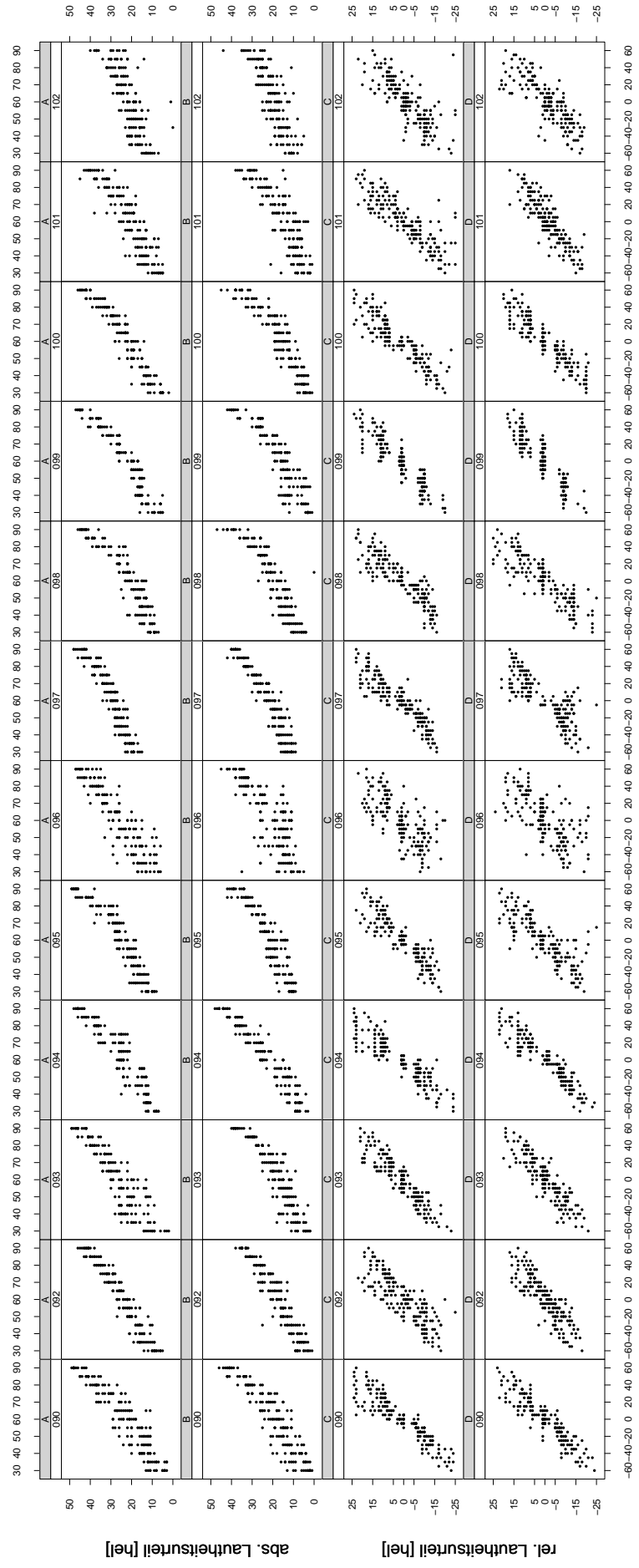
A Übersichtstafeln zur Lautheitsskalierung und Urteilsdichte

Angebotspegel [dB]



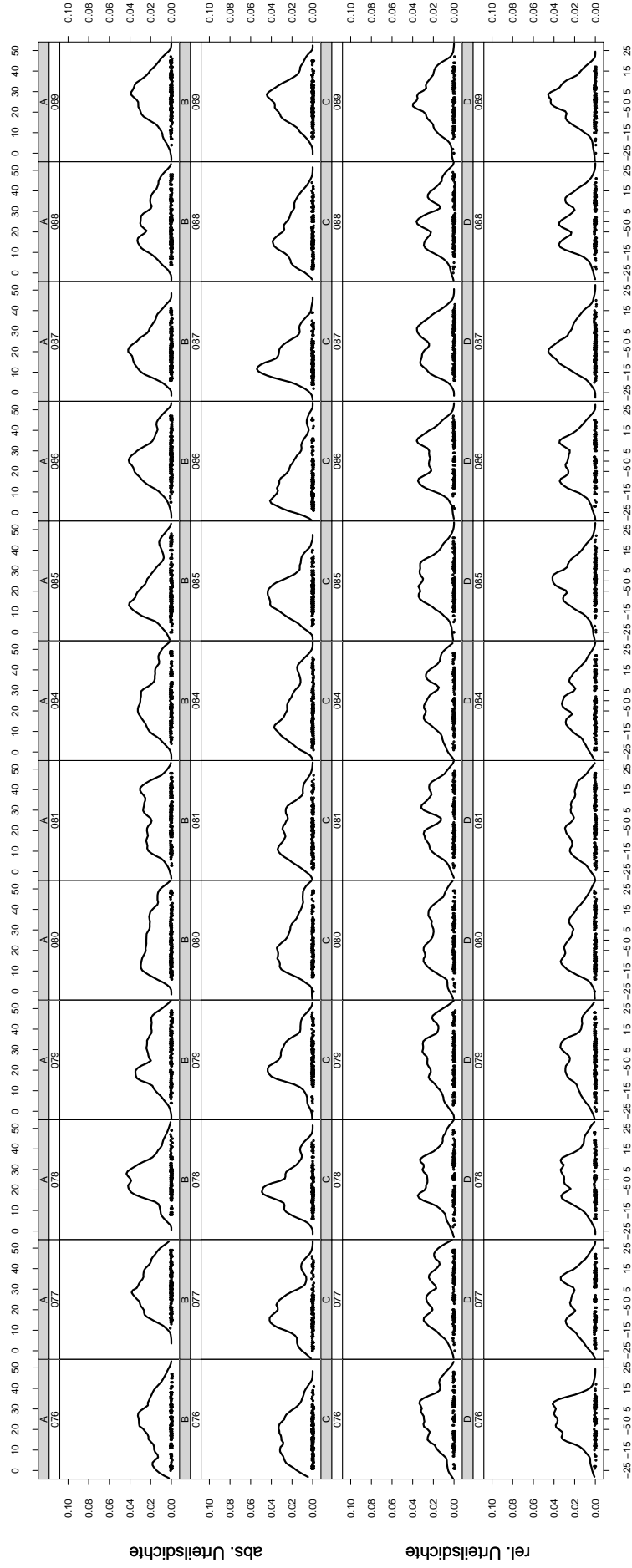
Differenz aufeinanderfolgender Angebotspegel [dB]

Angebotspegel [dB]



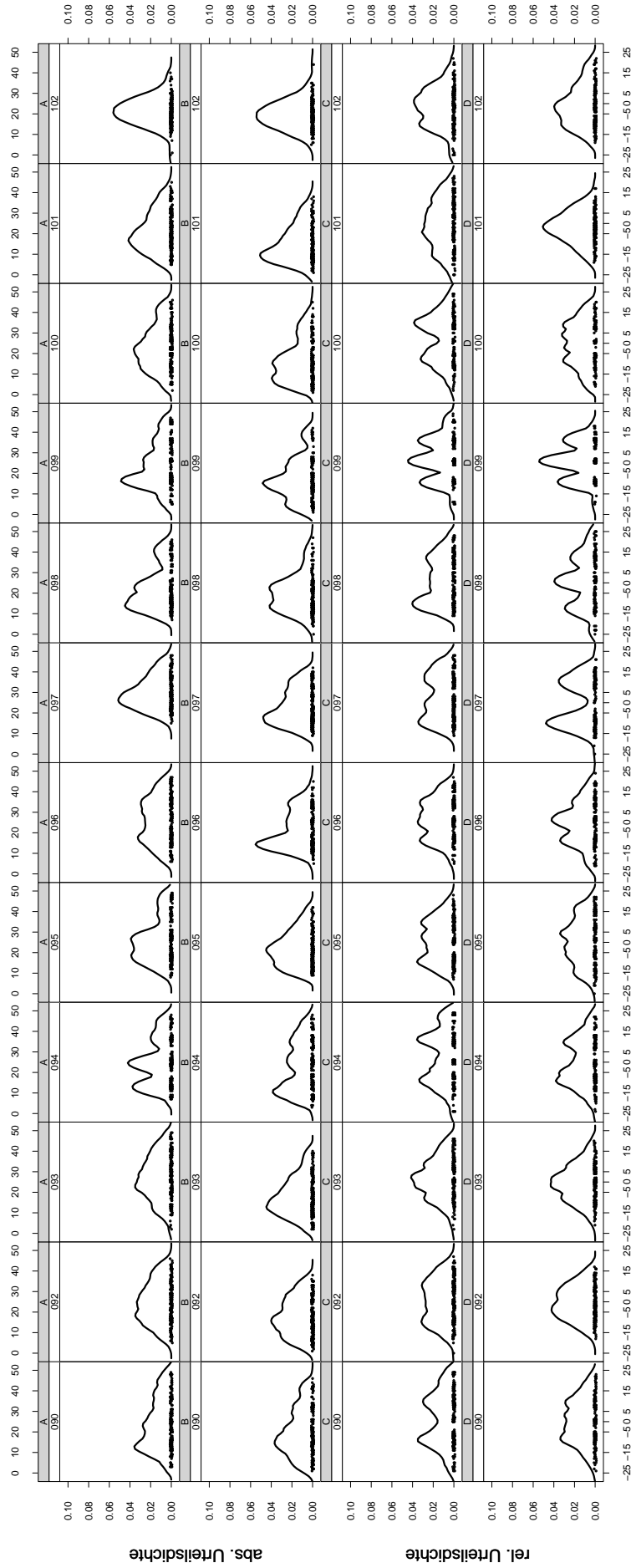
Differenz aufeinanderfolgender Angebotspegel [dB]

Lautheitsurteil [he]



Differenz aufeinanderfolgender Lautheitsurteile [he]

Lautheitsurteil [hel]



Differenz aufeinanderfolgender Lautheitsurteile [hel]

B Zusatzdaten

Die folgenden Seiten stellen die Skalierungsdaten für alle Probanden in einer Lautheitsempfindungsfunktion („LOESS“-Regression) dar, die alle Probanden durch individuelle Kurven und den Medianwert für alle Probanden kombiniert präsentiert. In den Grafiken wurde die Skalierung der Probanden für Absoluturteile und Relativurteile angezeigt.

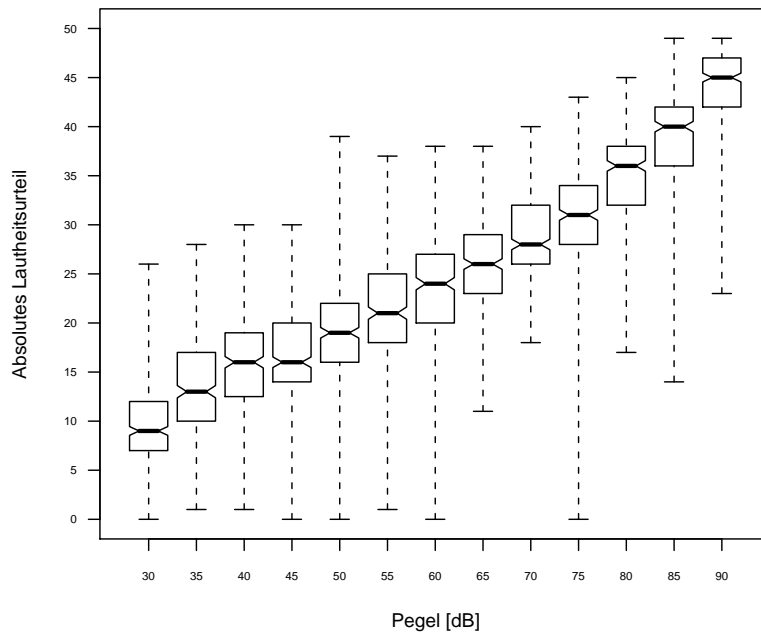


Abbildung B.1: Absoluturteile in Abhängigkeit vom Pegel: CCITT-Rauschen

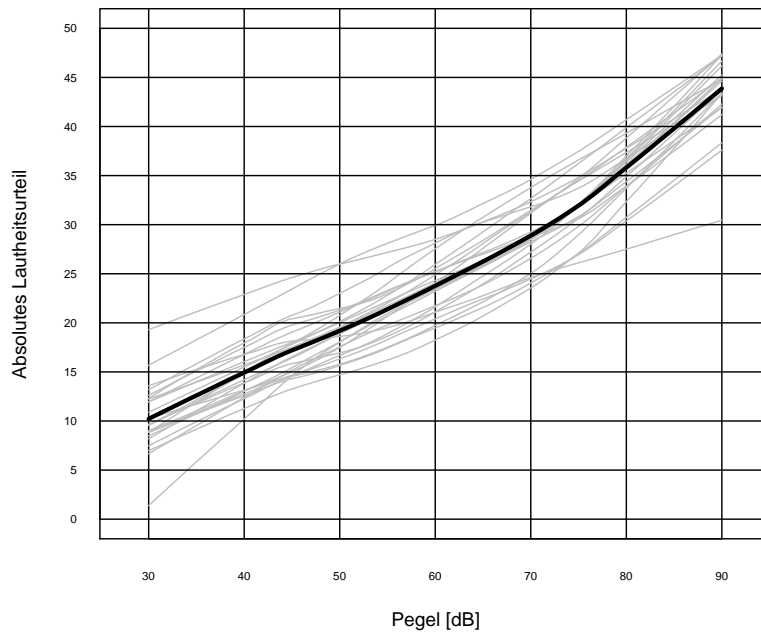


Abbildung B.2: Absoluturteile in Abhängigkeit vom Pegel: CCITT-Rauschen. Lautheitsempfindungsfunktionen („LOESS“-Regression) individuell und für alle Probanden kombiniert

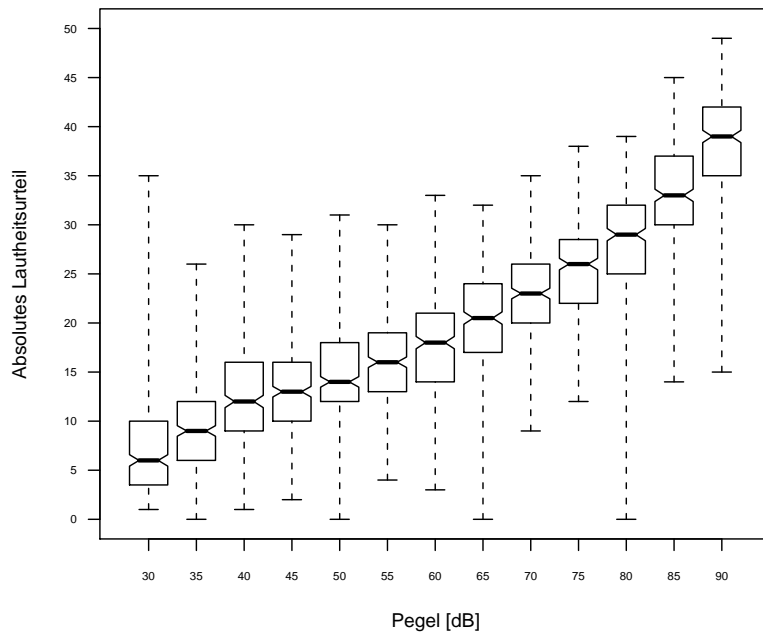


Abbildung B.3: Absoluturteile in Abhängigkeit vom Pegel: Wobbel-Ton

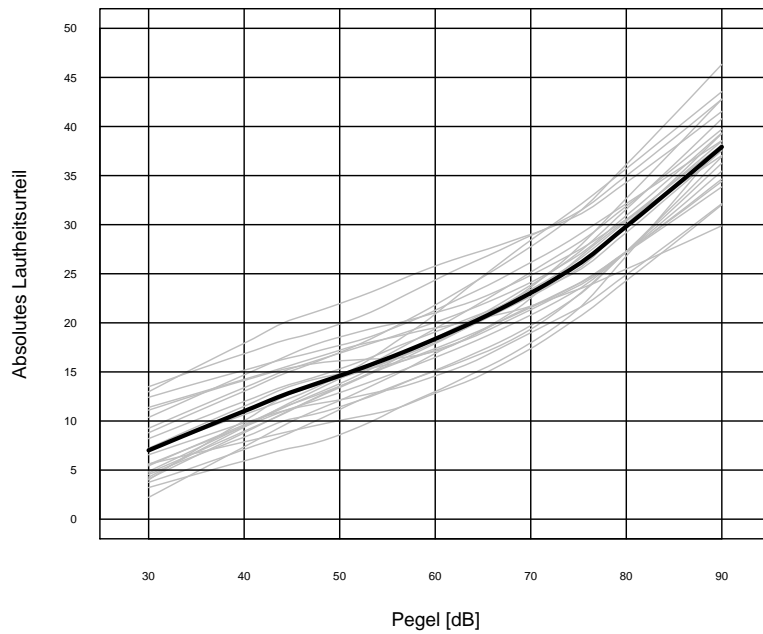


Abbildung B.4: Absoluturteile in Abhängigkeit vom Pegel: Wobbel-Ton. Lautheitsempfindungsfunktionen („LOESS“-Regression) individuell und für alle Probanden kombiniert

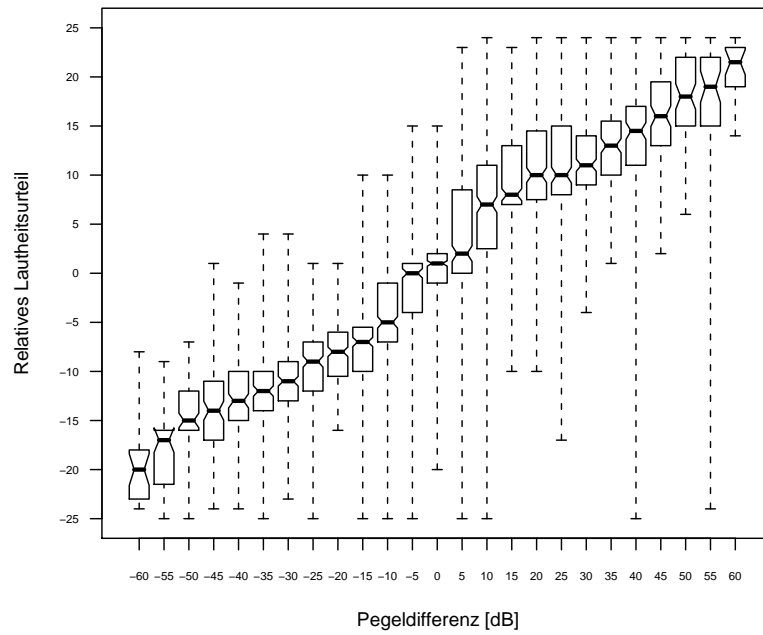


Abbildung B.5: Relativurteile in Abhängigkeit von der Pegeldifferenz: CCITT-Rauschen

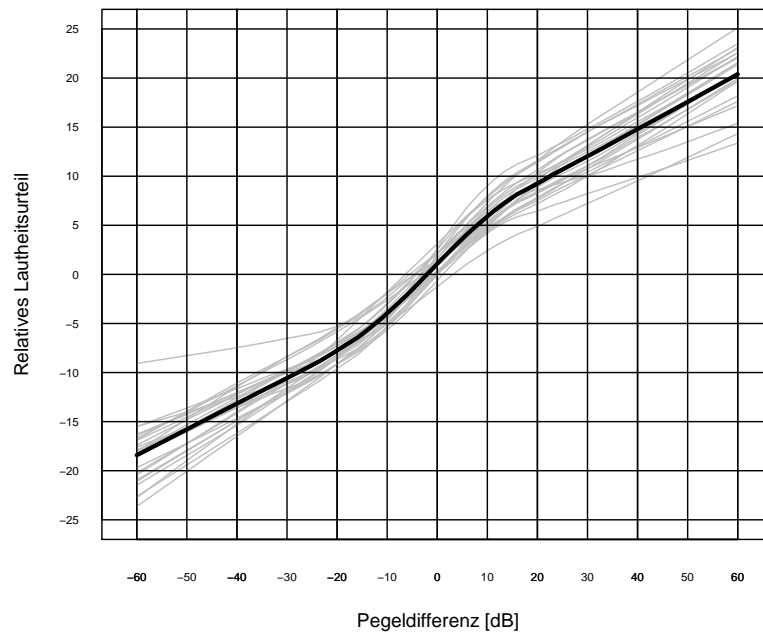


Abbildung B.6: Relativurteile in Abhängigkeit von der Pegeldifferenz: CCITT-Rauschen. Lautheitsempfindungsfunktionen („LOESS“-Regression) individuell und für alle Probanden kombiniert

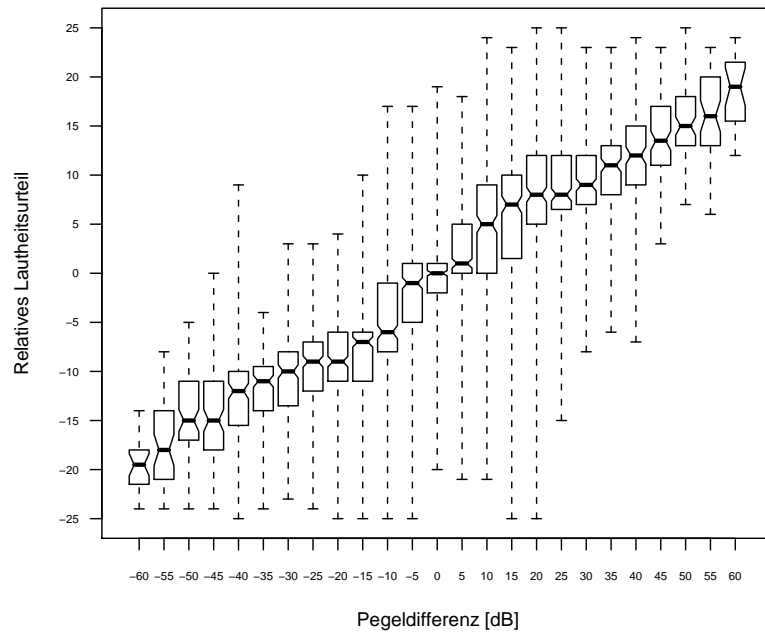


Abbildung B.7: Relativurteile in Abhängigkeit von der Pegeldifferenz: Wobbel-Ton

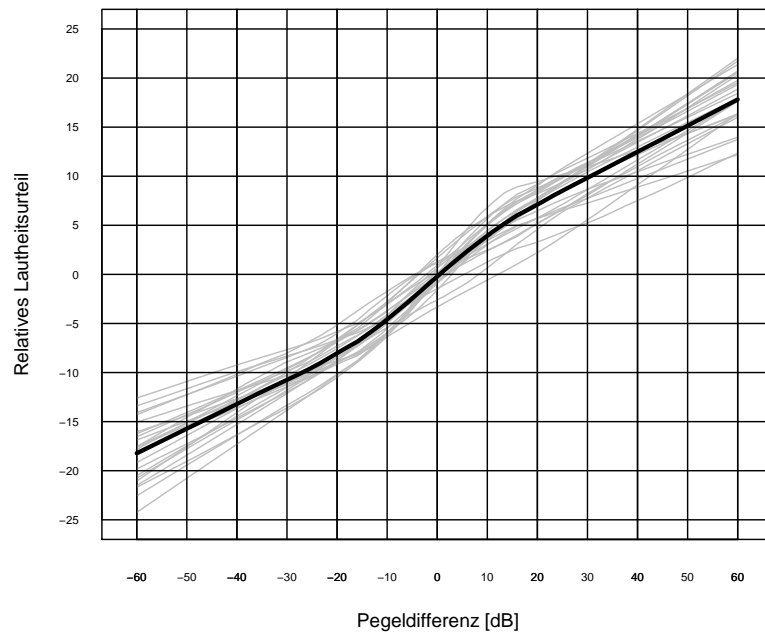


Abbildung B.8: Relativurteile in Abhängigkeit von der Pegeldifferenz: Wobbel-Ton. Lautheitsempfindungsfunktionen („LOESS“-Regression) individuell und für alle Probanden kombiniert

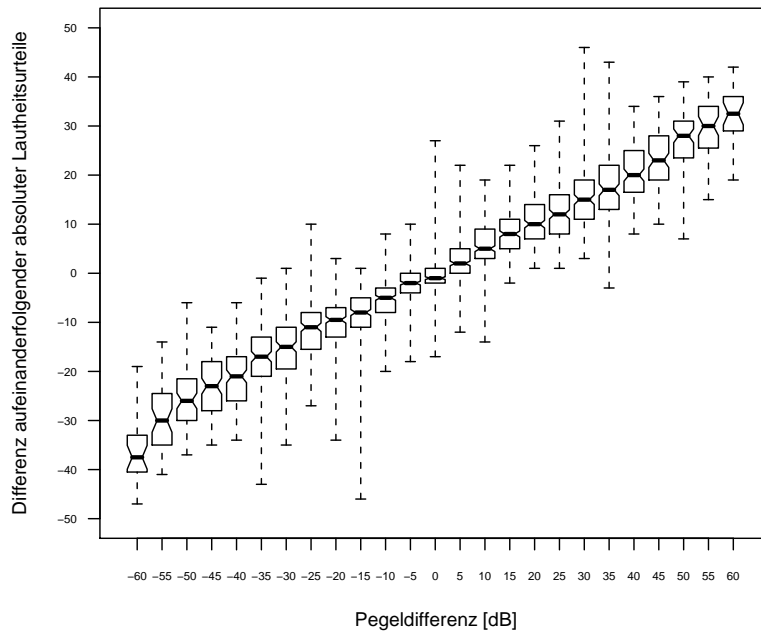


Abbildung B.9: Relativurteile in Abhängigkeit von der Pegeldifferenz: CCITT-Rauschen

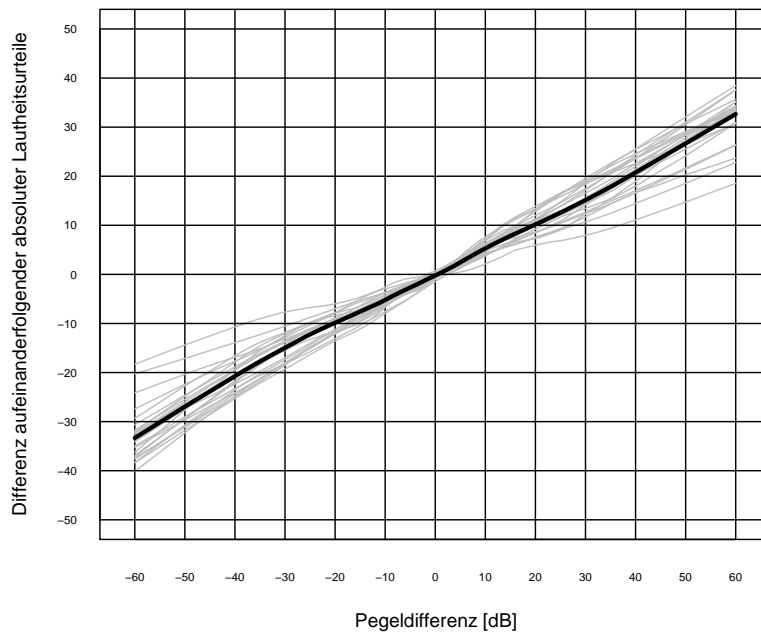


Abbildung B.10: Relativurteile in Abhängigkeit von der Pegeldifferenz: CCITT-Rauschen. Lautheitsempfindungsfunktionen („LOESS“-Regression) individuell und für alle Probanden kombiniert

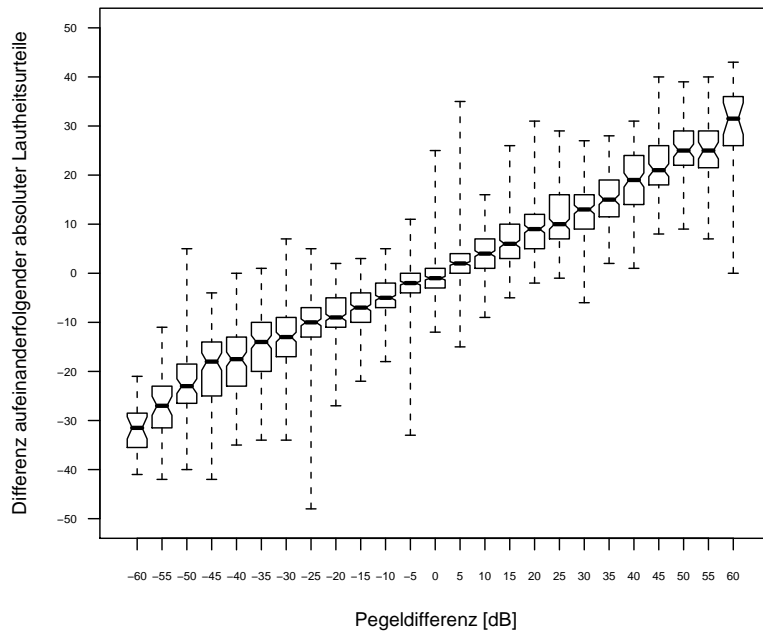


Abbildung B.11: Relativurteile in Abhängigkeit von der Pegeldifferenz: Wobbel-Ton

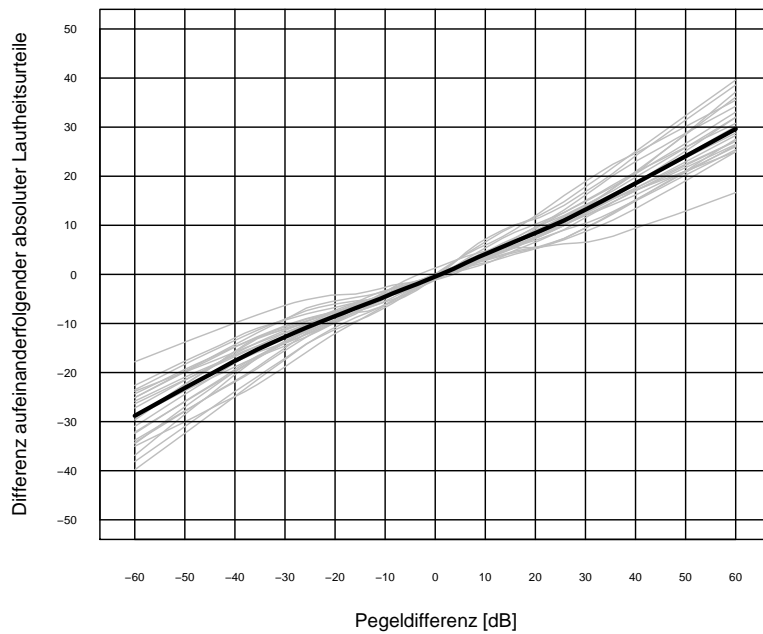


Abbildung B.12: Relativurteile in Abhängigkeit von der Pegeldifferenz: Wobbel-Ton. Lautheitsempfindungsfunktionen („LOESS“-Regression) individuell und für alle Probanden kombiniert

C Skalierungsdaten und Vorgängerabhängigkeiten

Auf den folgenden Seiten werden die Skalierungsdaten für alle Probanden der Testgruppe dargestellt. Jede einzelne Seite präsentiert einen Überblick über die Daten jeweils einer Versuchsperson. Dabei geben zwei Abbildungen Auskunft über die Absolut- und die Relativurteile, die in jeweils sechs Einzelgrafiken untergliedert sind. Die Buchstaben A, B, C und D über den Einzelgrafiken kennzeichnen die in dieser Arbeit verwendeten Stimulustypen bei den jeweiligen Hauptversuchen (CCITT-Rauschen: A und C; Wobbel-Ton: B und D). Für die Absolut- und Relativurteile wurde derselbe Datensatz in den drei Spalten drei Mal auf unterschiedliche Weise dargestellt. Auf der Ordinate sind für alle drei Darstellungsarten die Lautheitsurteile in hel angezeigt. Zur besseren Veranschaulichung der Grafiken wurde für die einzelnen Schalldruckpegel eine Farbkodierung vergeben, die den Abbildungen [C.1](#) und [C.2](#) zu entnehmen ist. Die Urteile in den drei Spalten wurden in Abhängigkeit von unterschiedlichen Kategorien eingetragen.

- Spalte 1 stellt die Lautheitsurteile der jeweiligen Person dar. Das Eintragen der Urteile zu den angebotenen Stimuli erfolgte bei der Absolutskalierung in Abhängigkeit vom Schallpegel und bei der Relativskalierung in Abhängigkeit von den Schallpegeldifferenzen. Jeder der 13 Pegel kommt 13 Mal vor. Soweit dieselben Urteile abgegeben wurden, führte dies zu einer Überlagerung der Punkte in der Grafik.
- Die zweite Spalte zeigt auf der Abszisse die Schalldruckpegel des Vorgän-

- gerstimulus bei der Absolutskalierung und die Vorgängerpegeldifferenz bei der Relativskalierung. Die unterschiedliche Farbkodierung gibt den Schalldruckpegel des zu bewertenden Stimulus an. Auf der Ordinate ist der Urteilswert in „hel“ abzulesen. Aus den 13 Lautheitsurteilen, die jeweils zu einem Schalldruckpegel gehören, wurde eine Regressionsgerade ermittelt. Eine positive Steigung der Gerade entspricht einer positiven Abhängigkeit vom Vorgängerstimulus bzw. von der Vorgängerpegeldifferenz.
- In Spalte 3 sind die Lautheitsurteile in Abhängigkeit vom Vorgängerurteil analog zur Methode in Spalte zwei eingetragen. Die Farbkodierung zeigt den Schalldruckpegel des zu beurteilenden Stimulus an. Die Lautheitsurteile sind der Ordinate in „hel“ zu entnehmen. Aus der Steigung der Regressionsgerade lässt sich eine Aussage über den Grad der Abhängigkeit vom Vorgängerurteil ableiten. Eine positiv verlaufende Steigung beweist eine positive Abhängigkeit vom Vorgängerurteil.

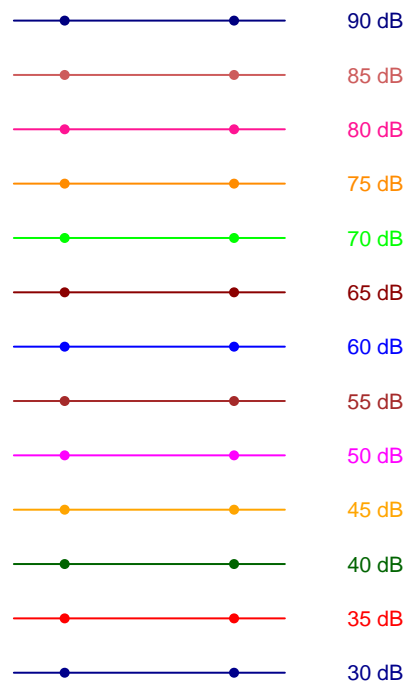


Abbildung C.1: Farblegende für die Skalierungsdaten auf den folgenden Seiten bei der Absolutskalierung

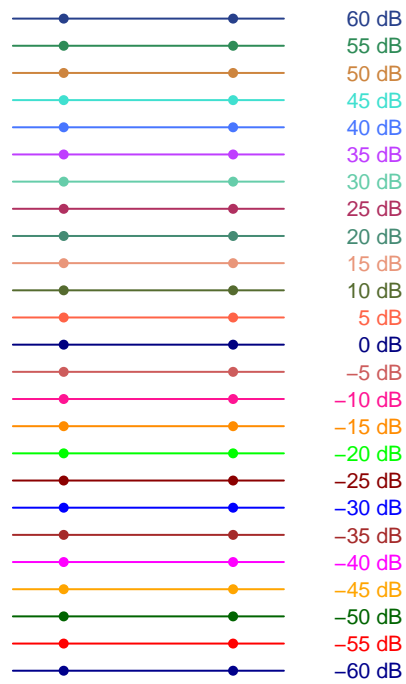
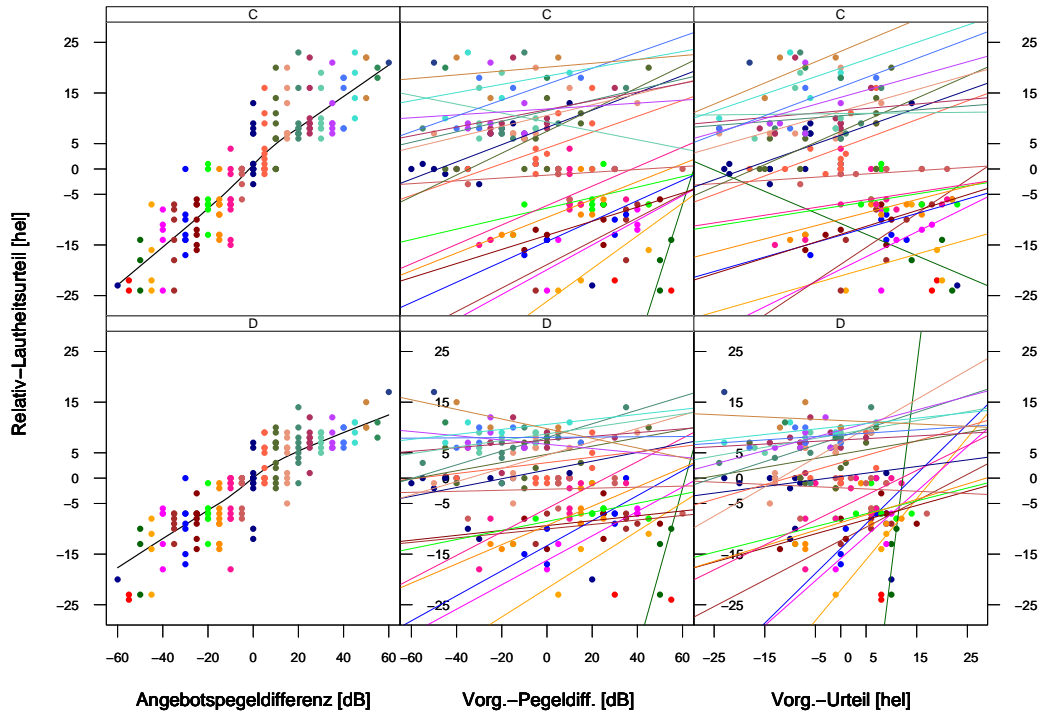
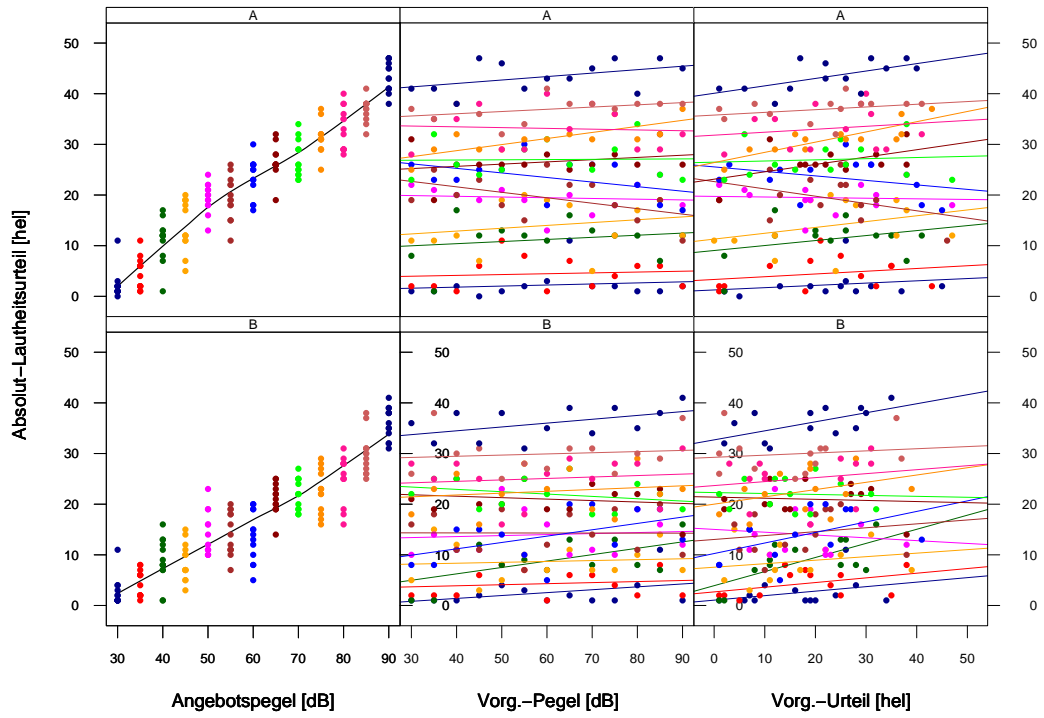
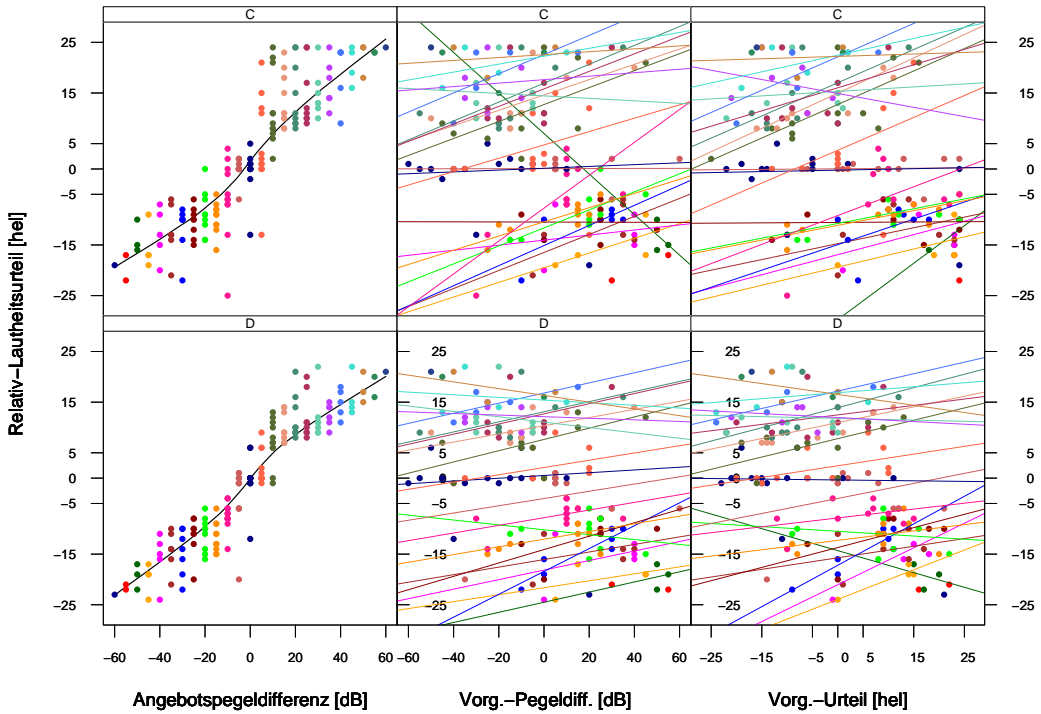
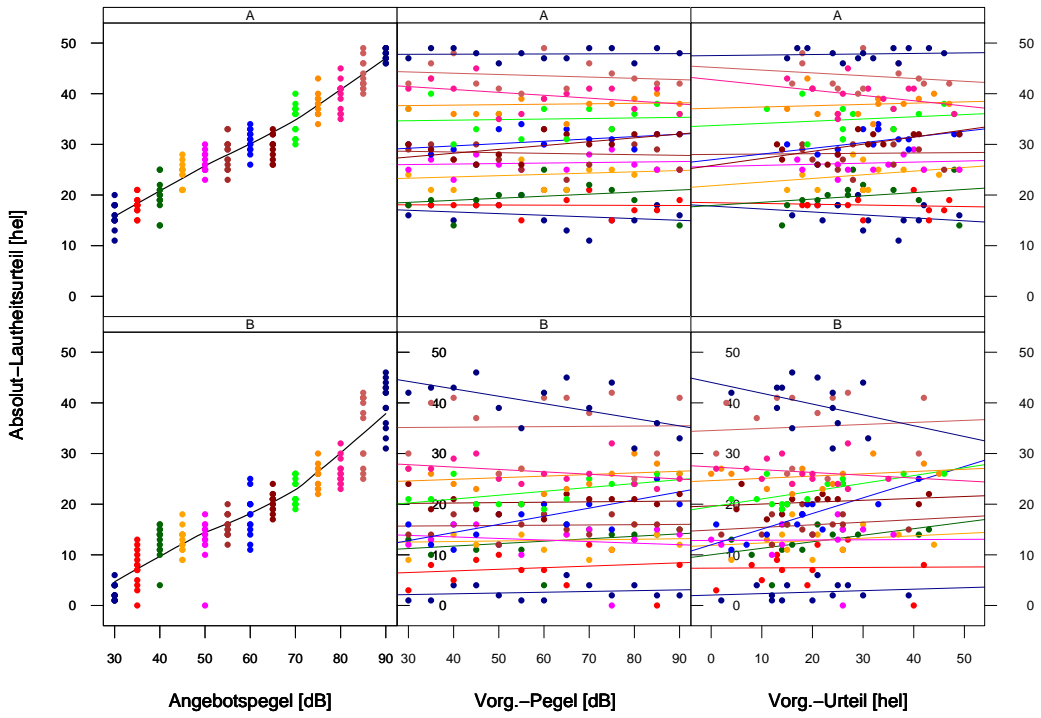


Abbildung C.2: Farblegende für die Skalierungsdaten auf den folgenden Seiten bei der Relativskalierung

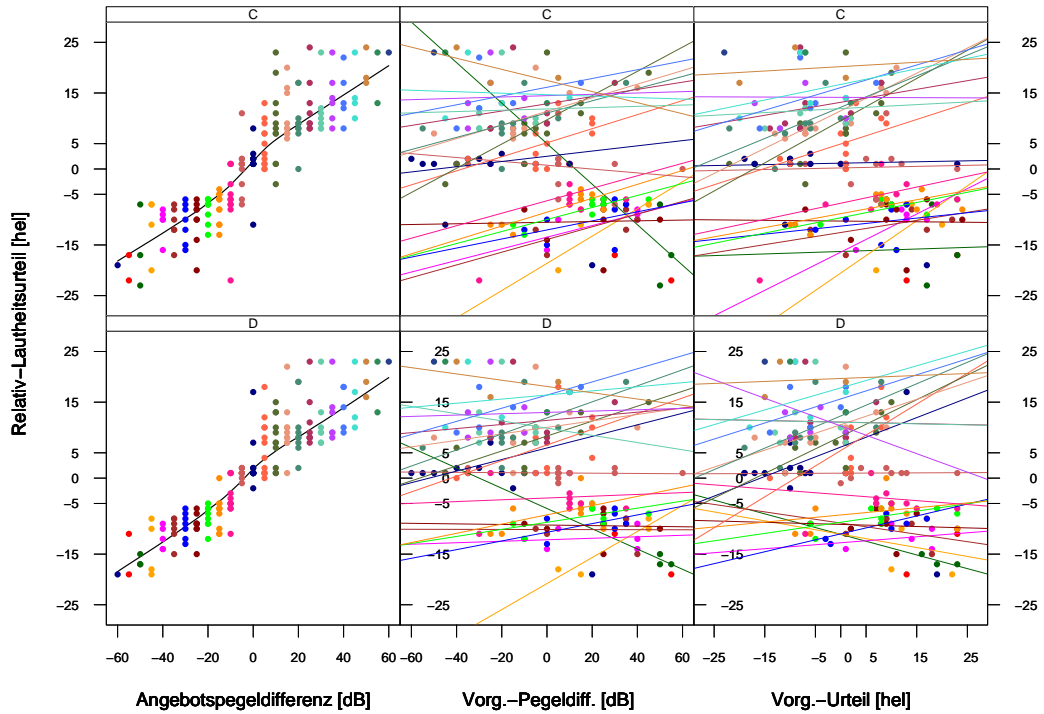
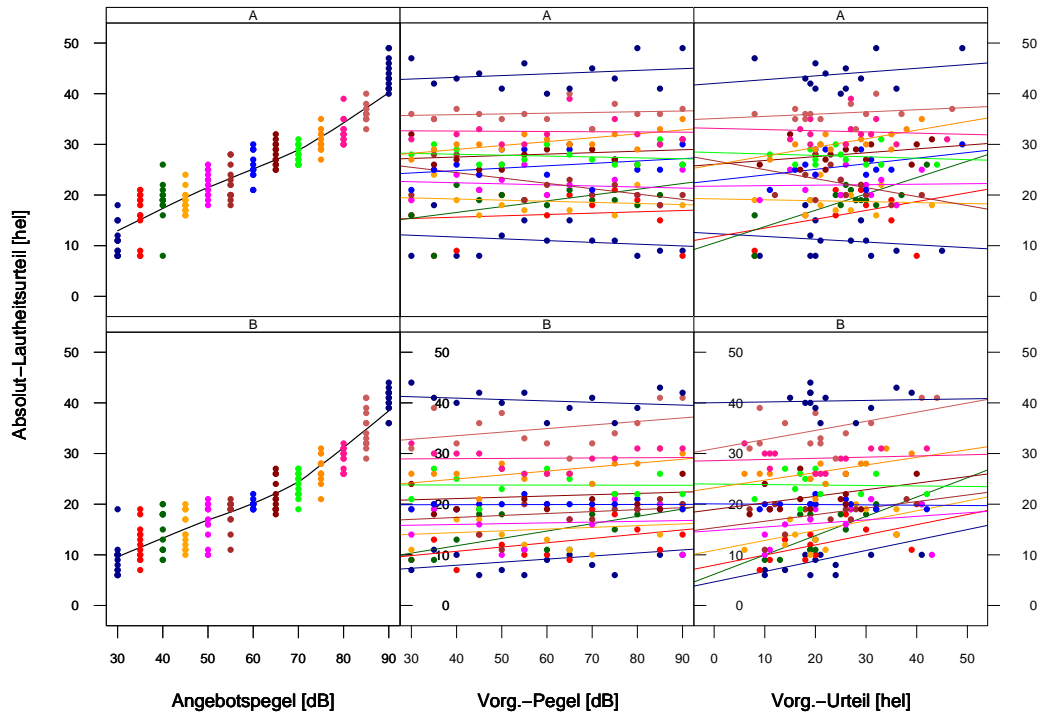
Proband 076



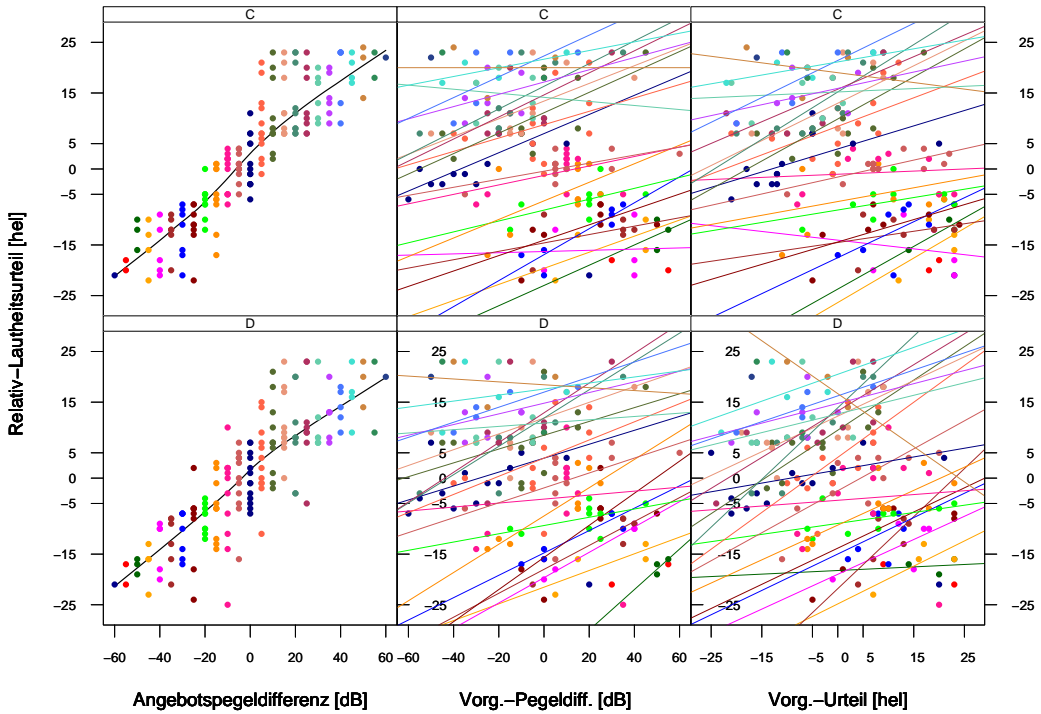
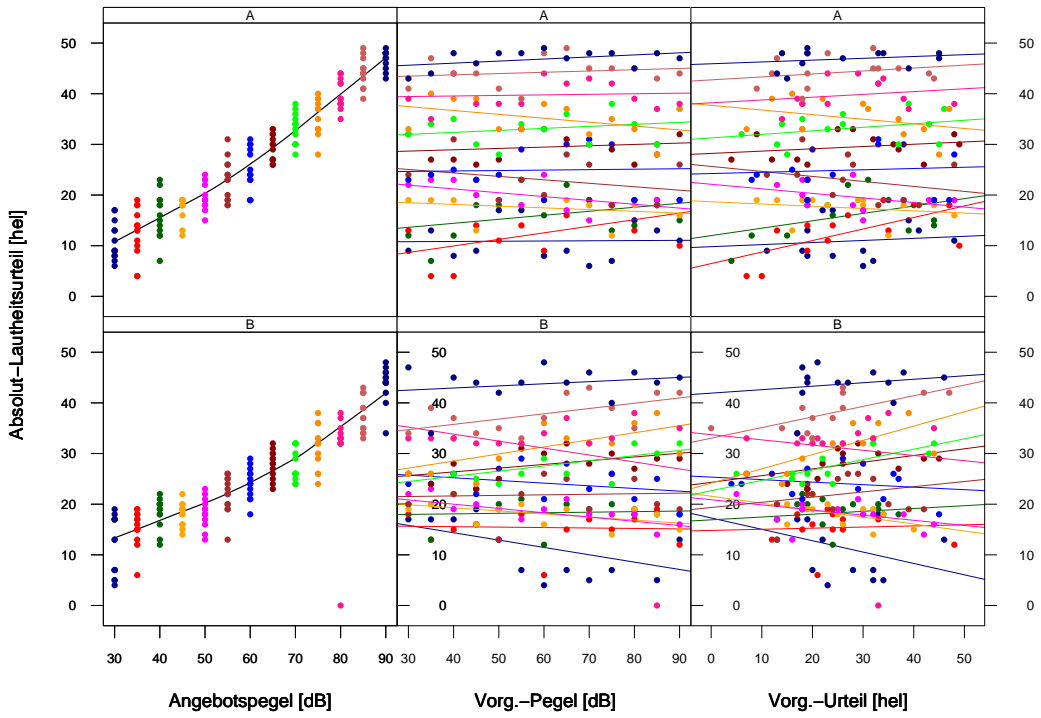
Proband 077



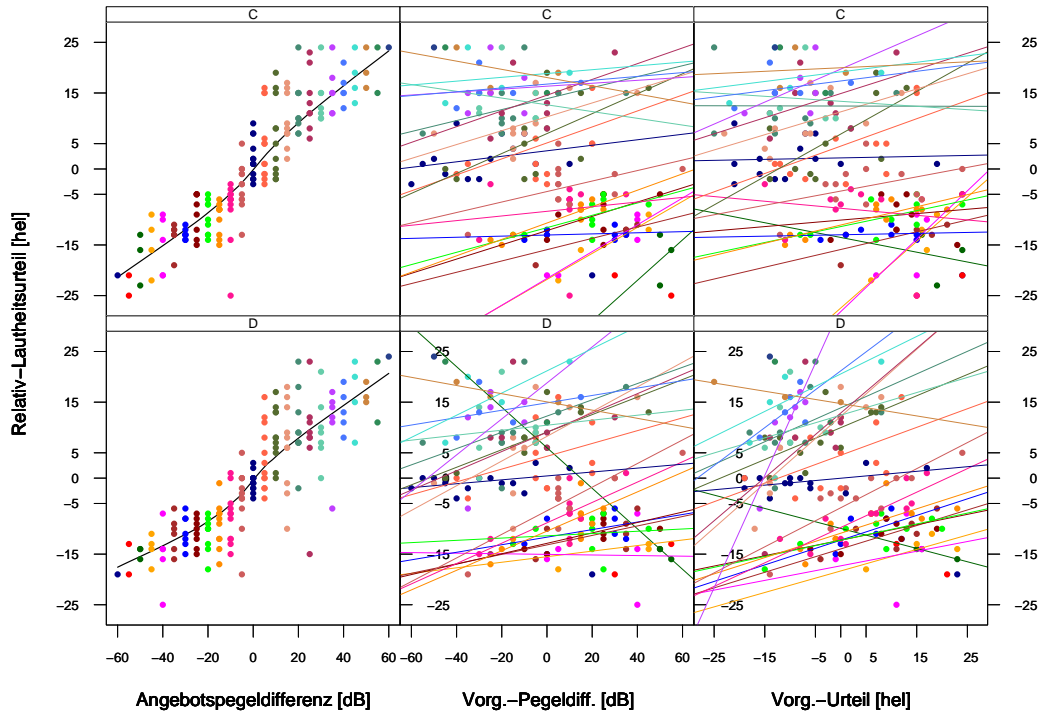
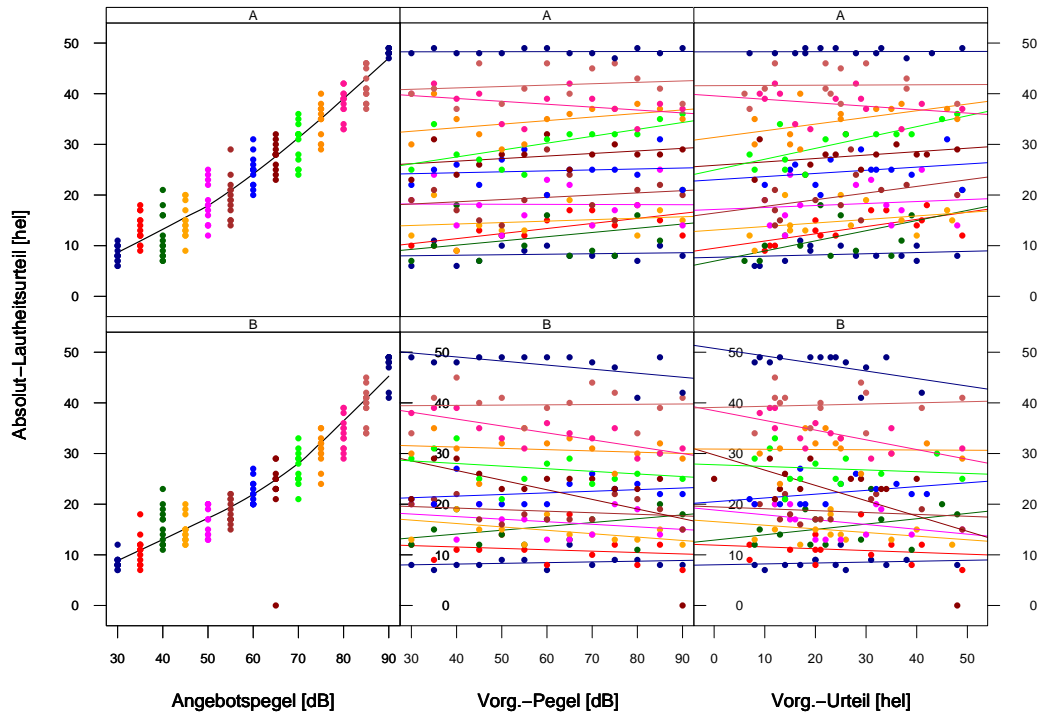
Proband 078



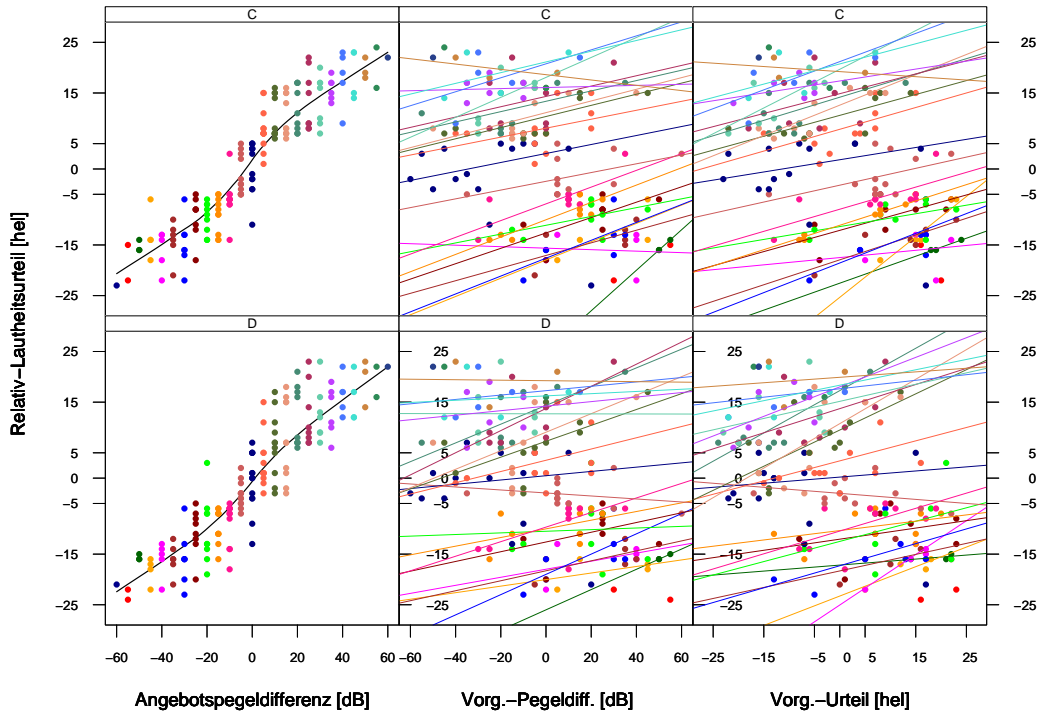
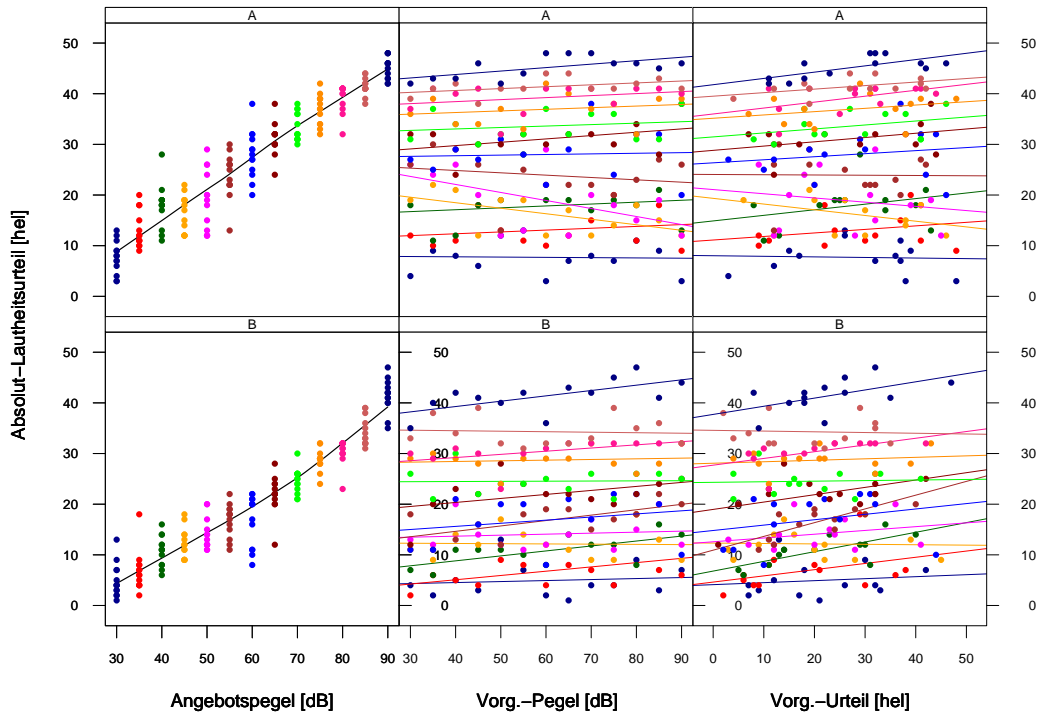
Proband 079



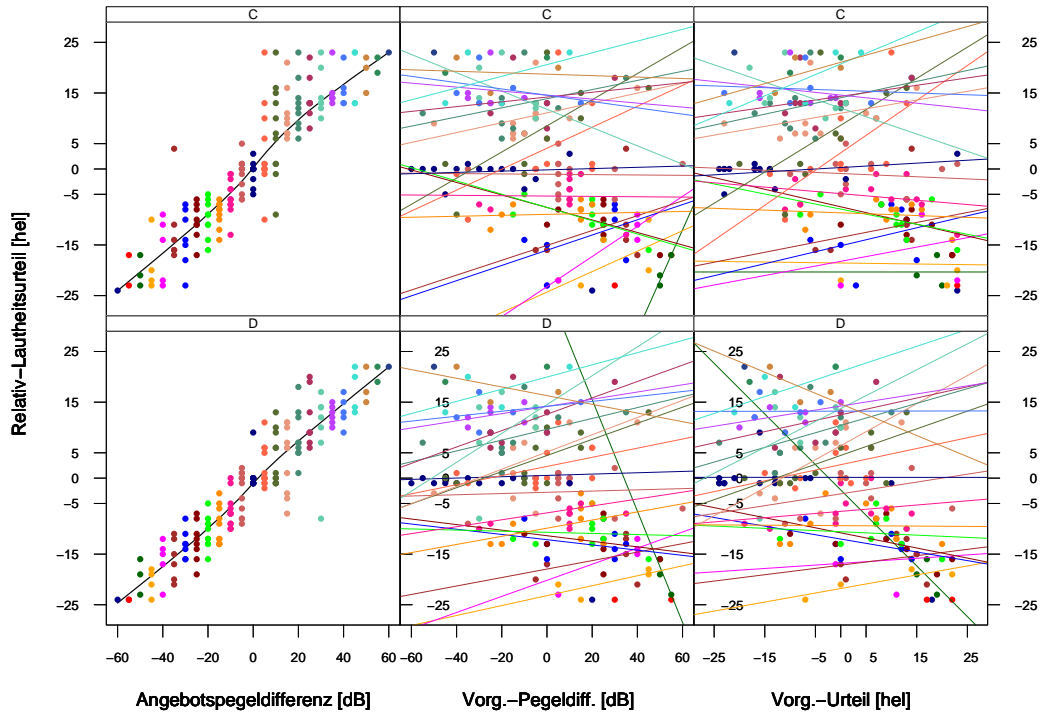
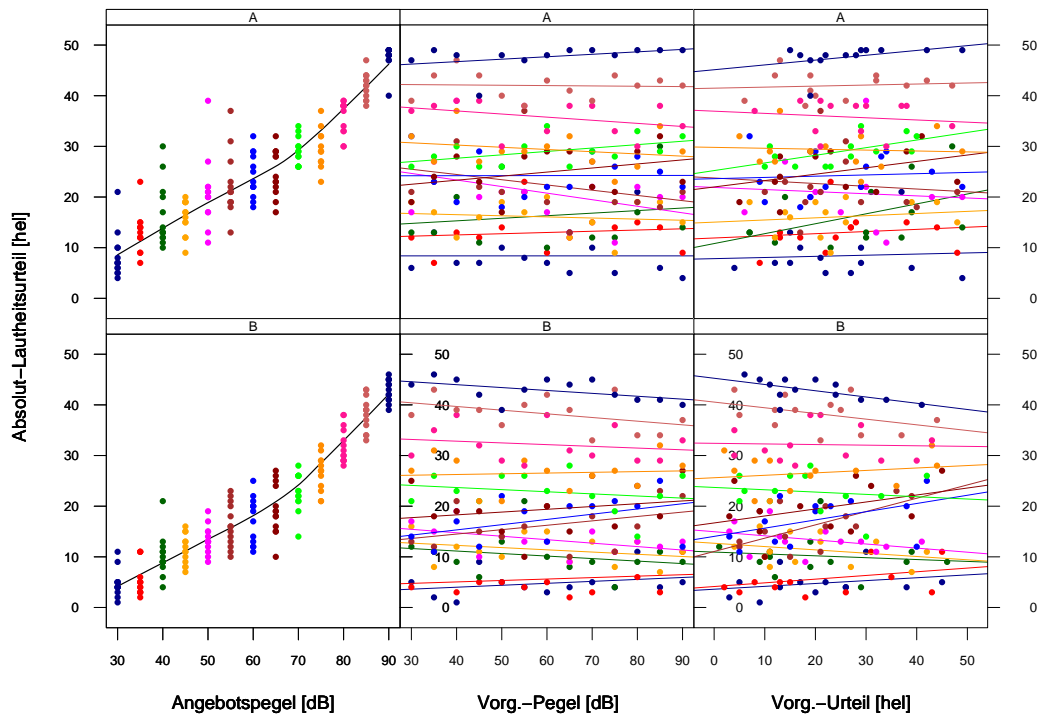
Proband 080



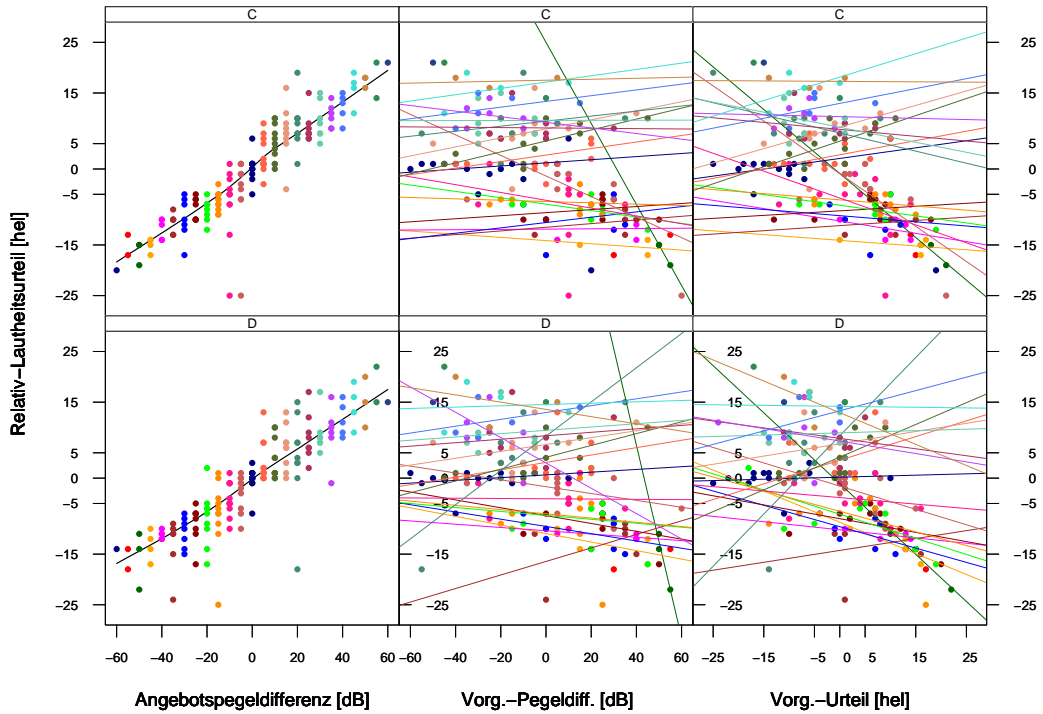
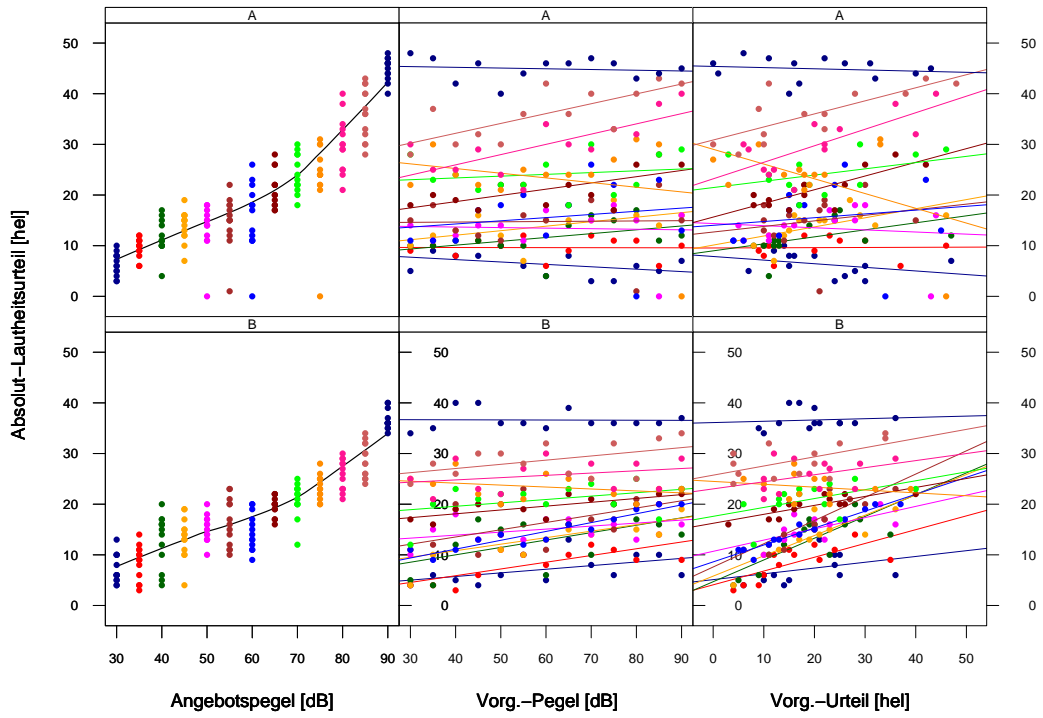
Proband 081



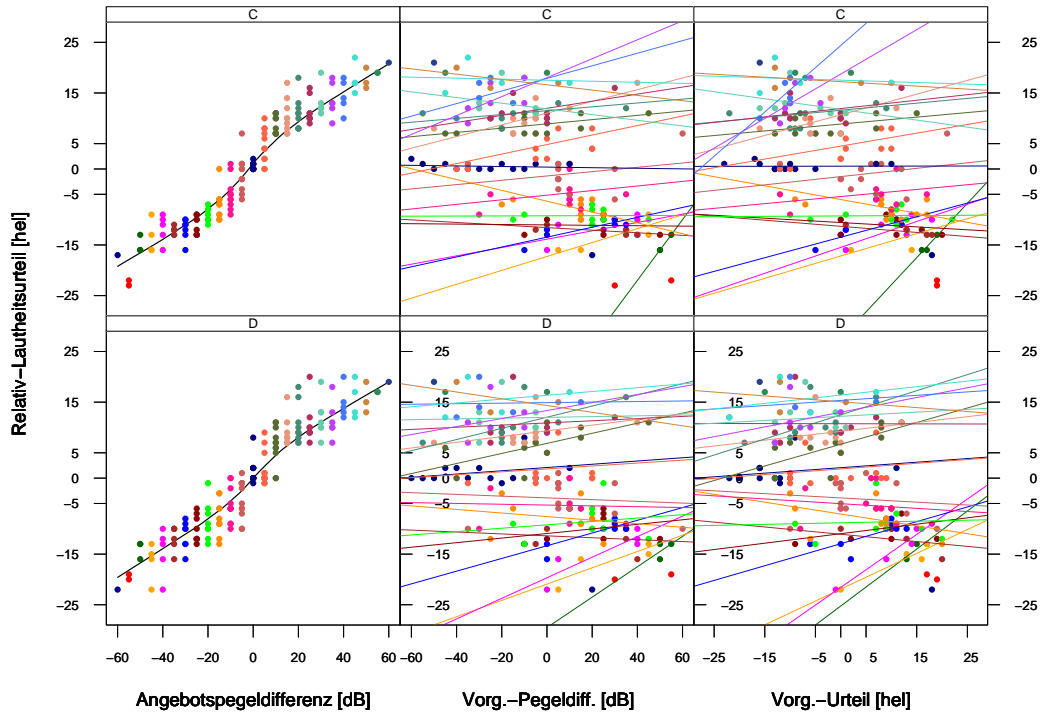
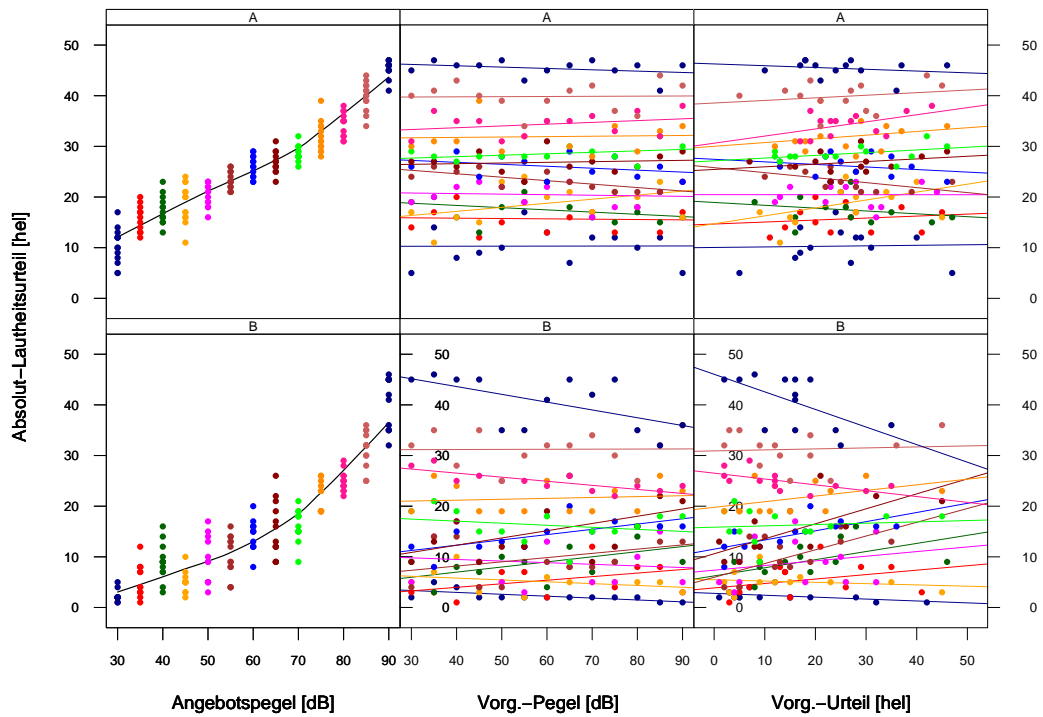
Proband 084



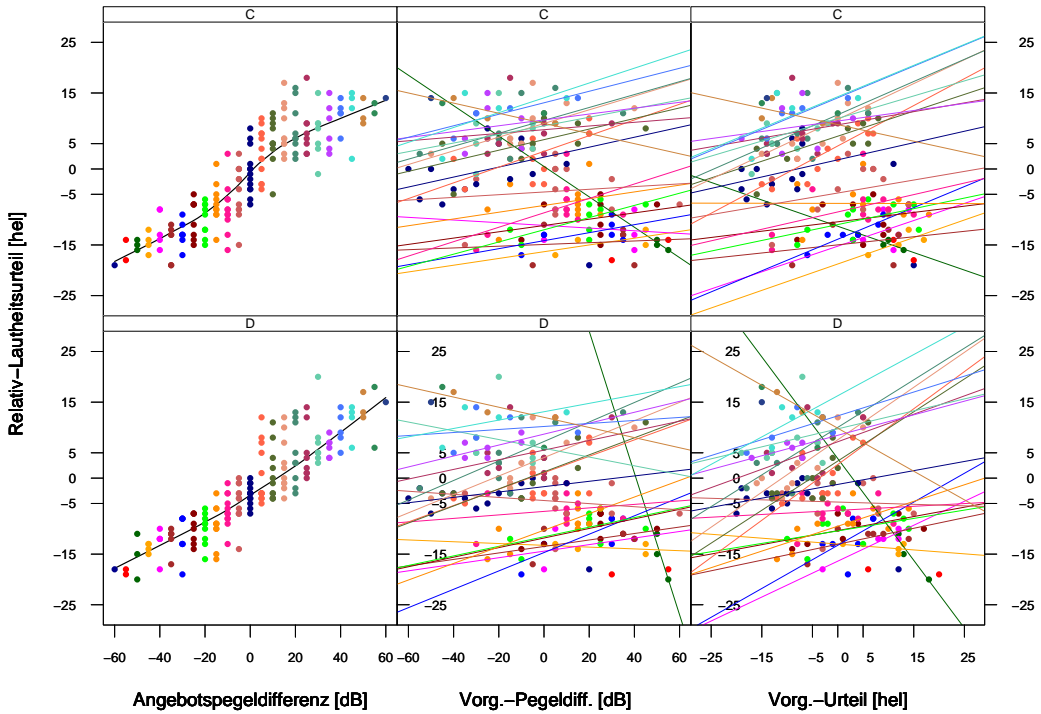
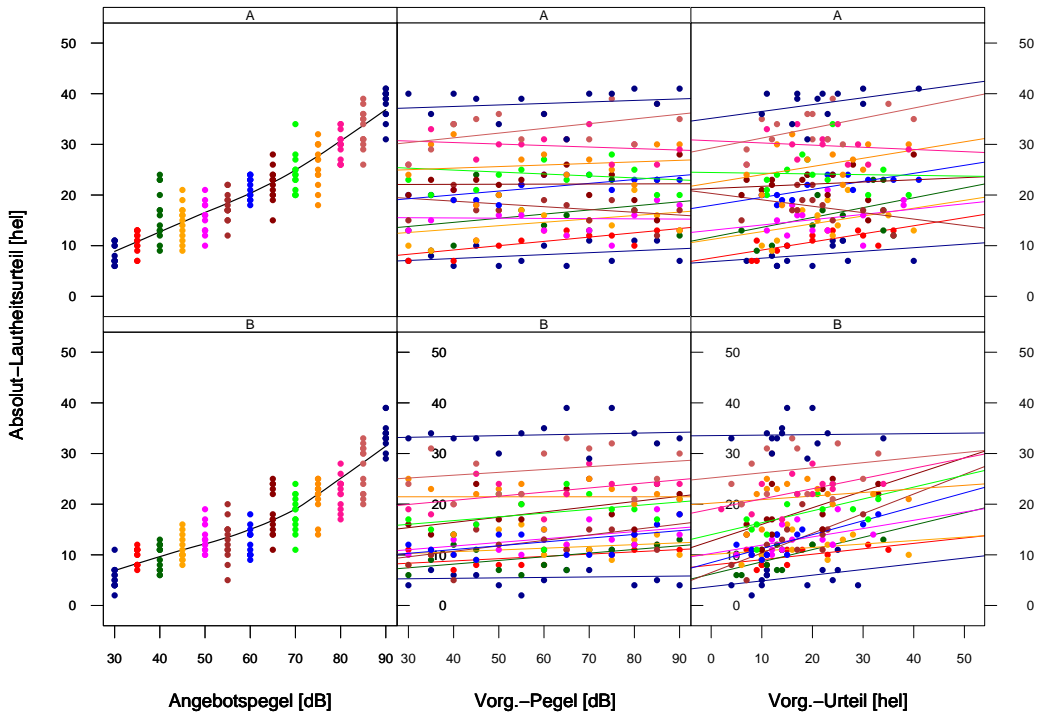
Proband 085



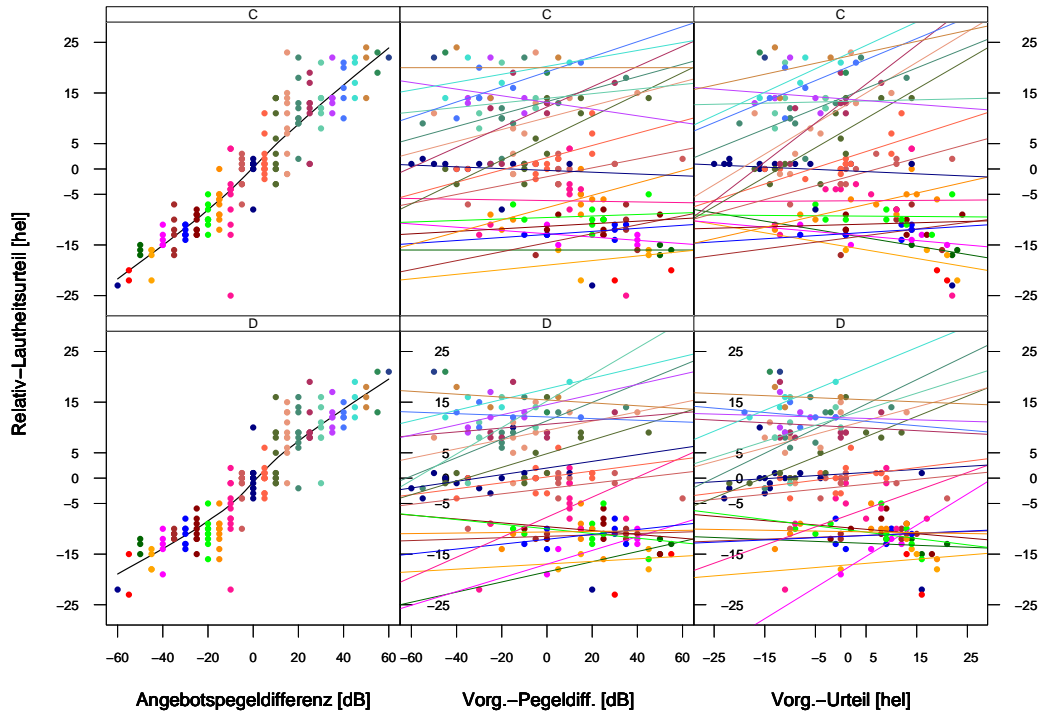
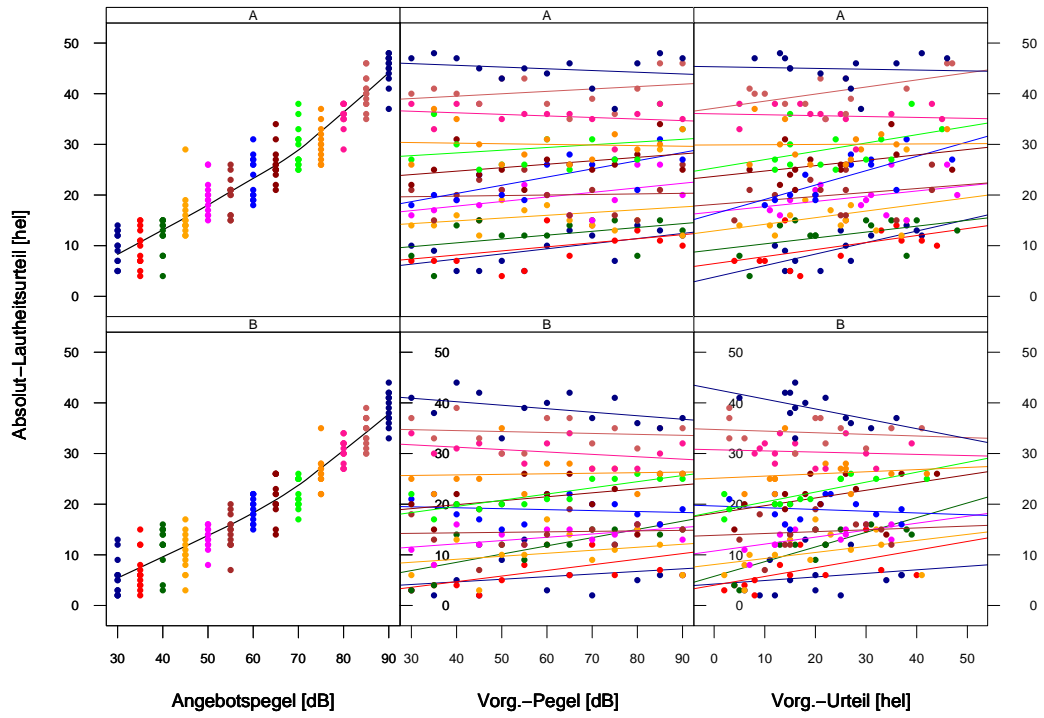
Proband 086



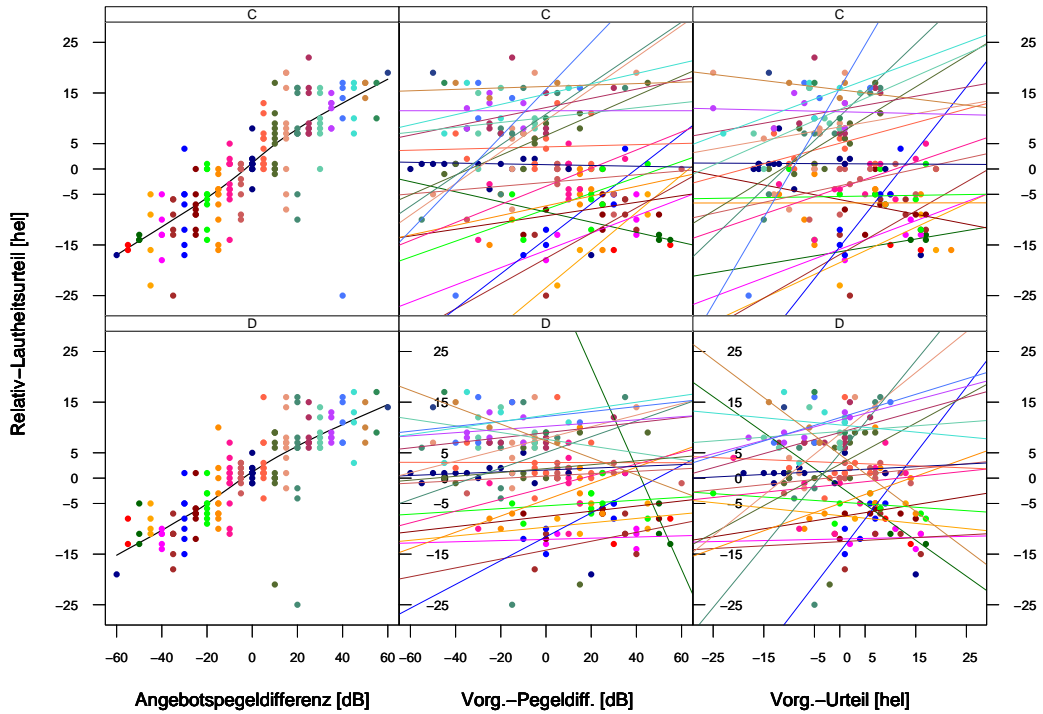
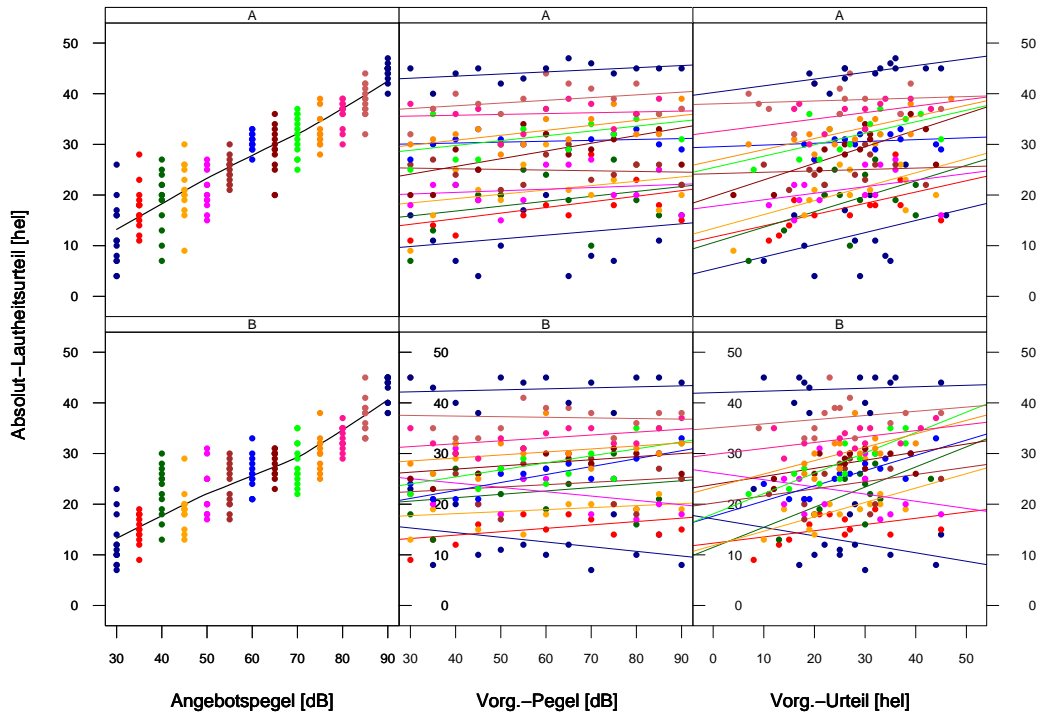
Proband 087



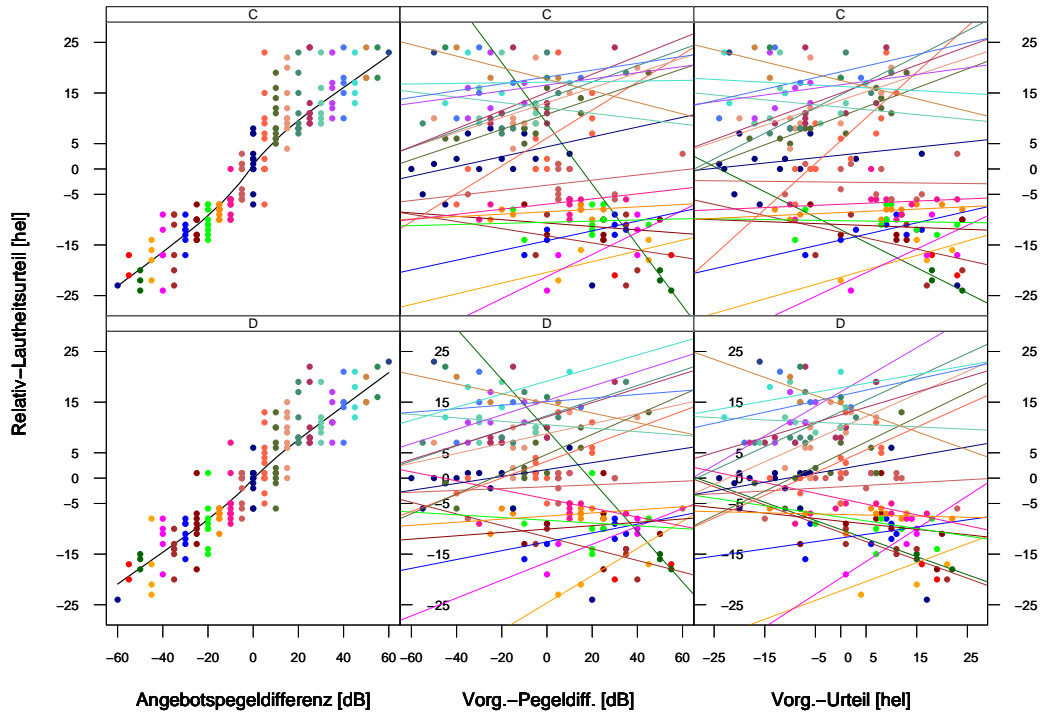
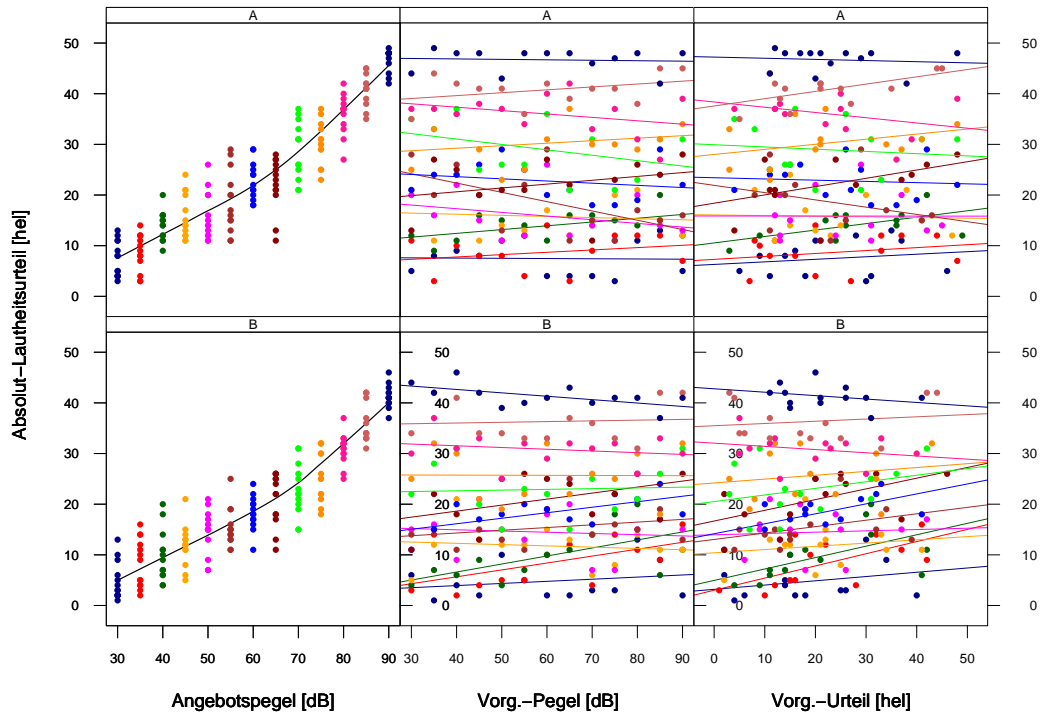
Proband 088



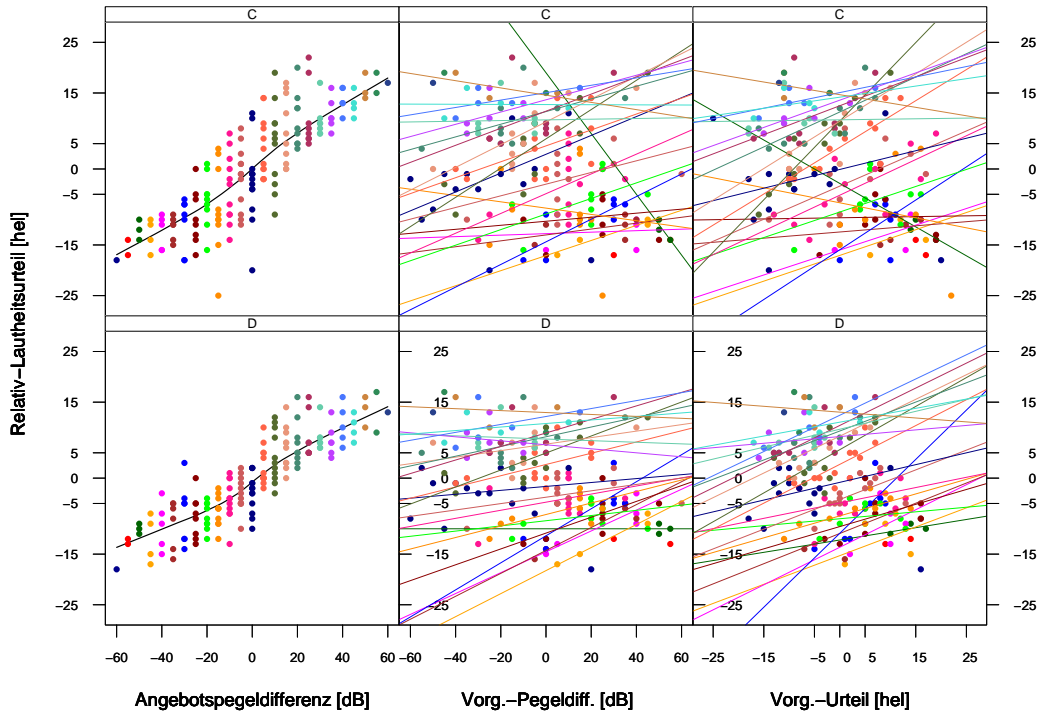
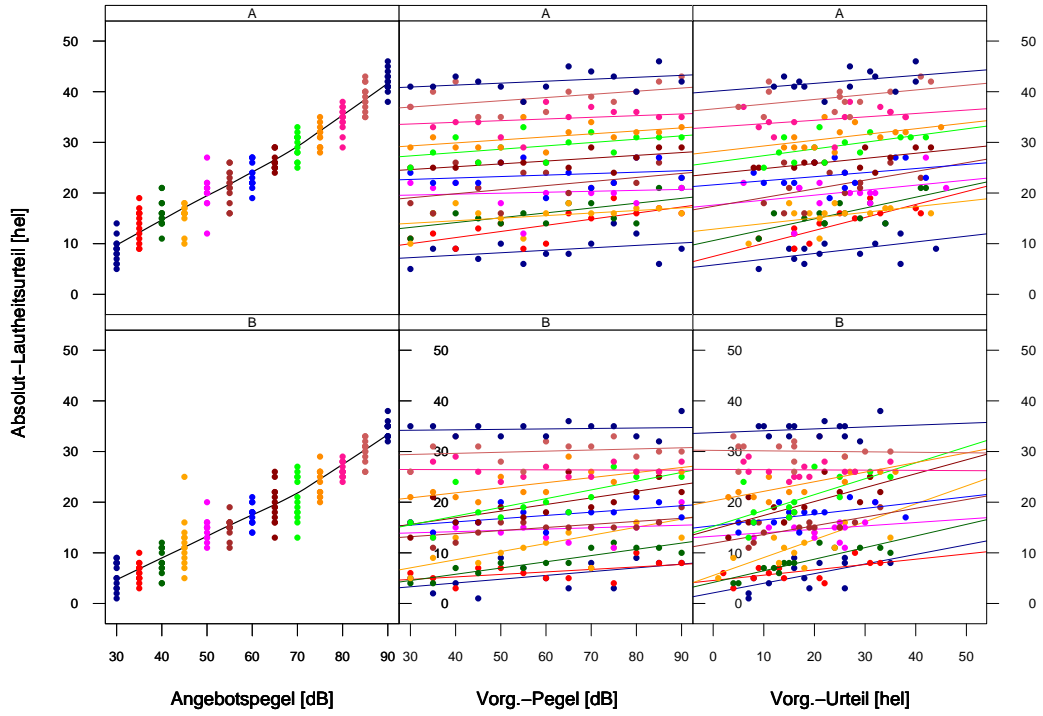
Proband 089



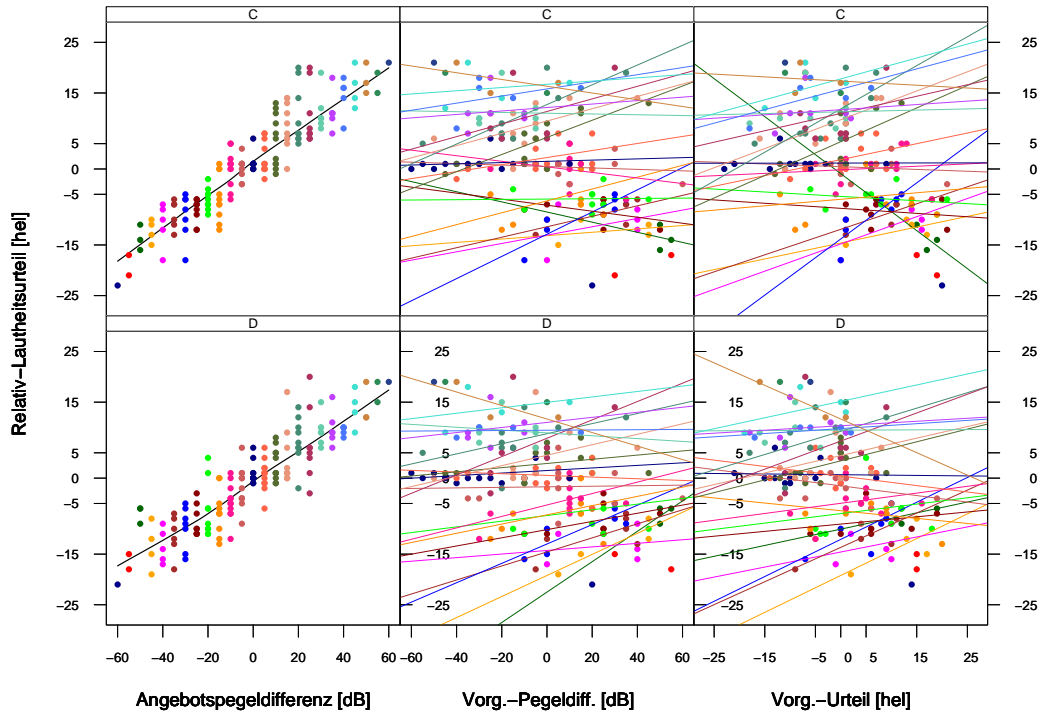
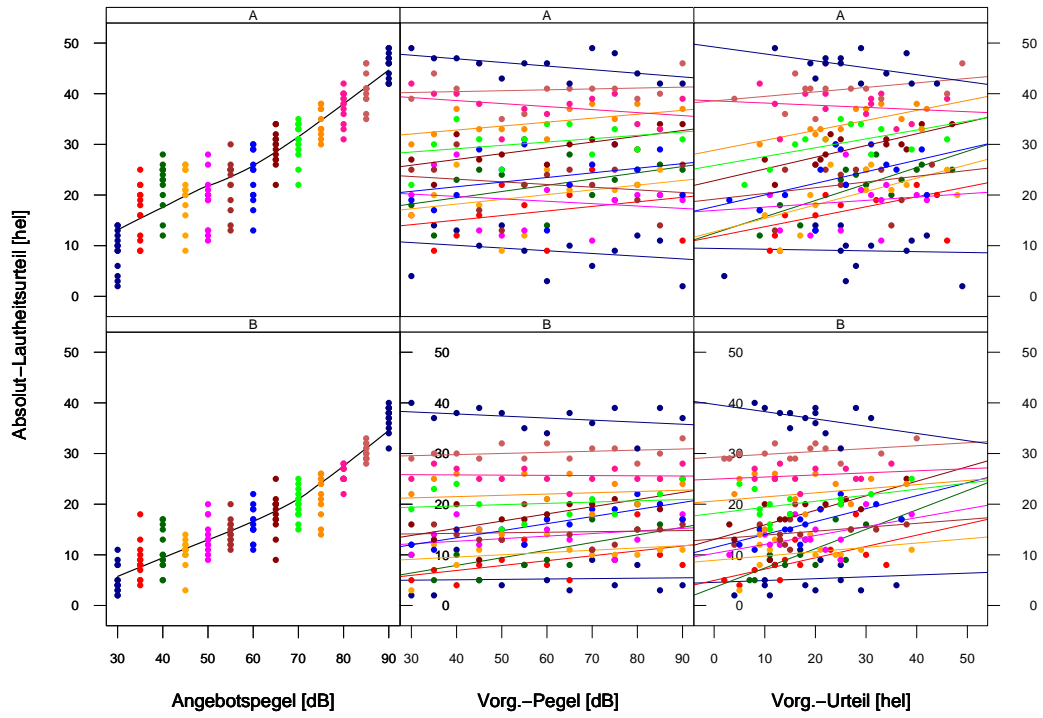
Proband 090



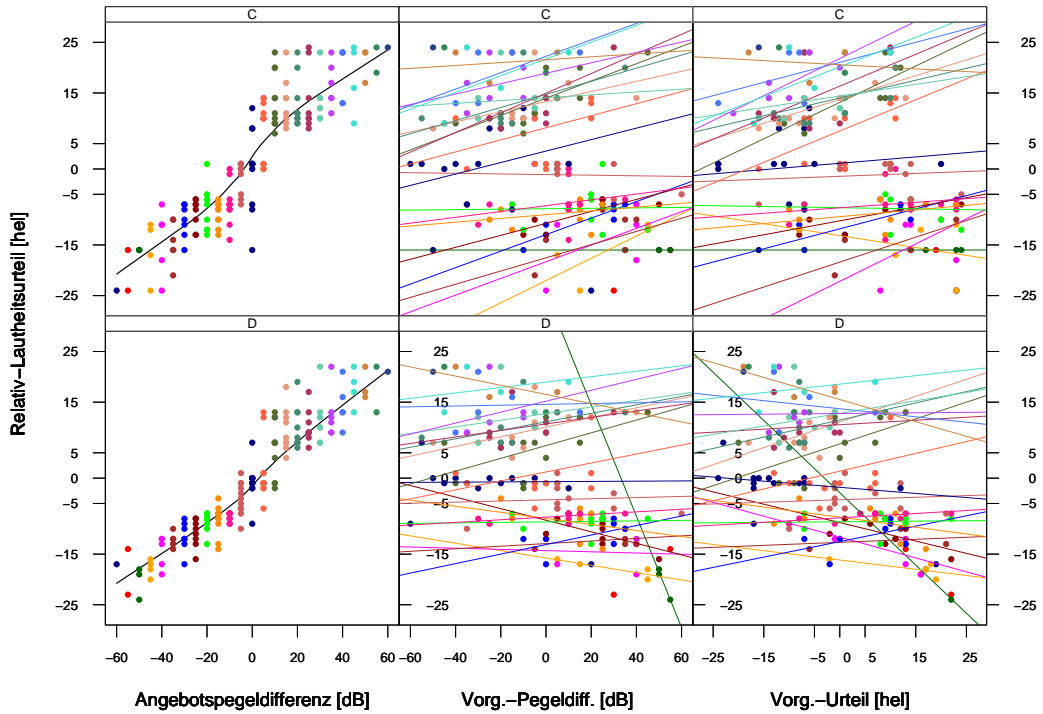
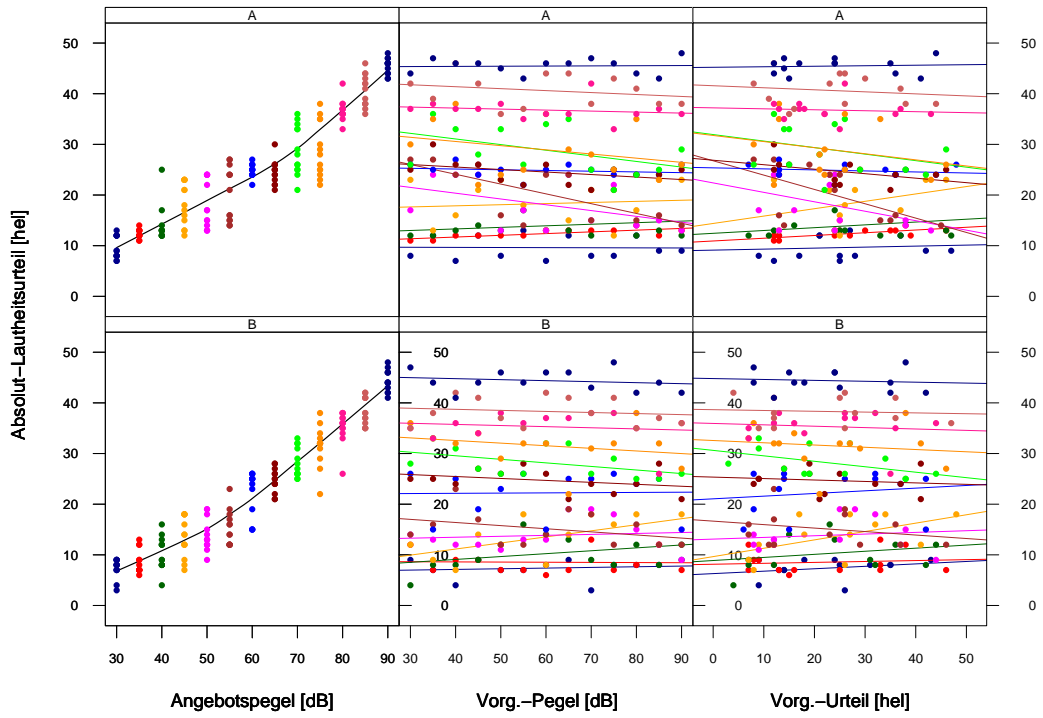
Proband 092



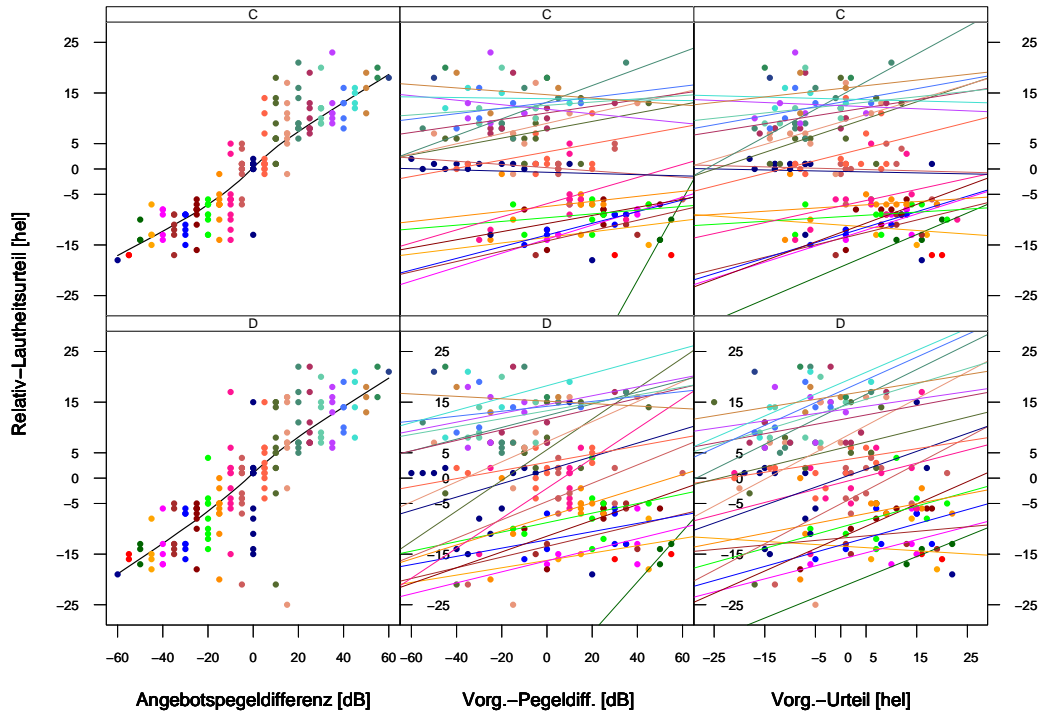
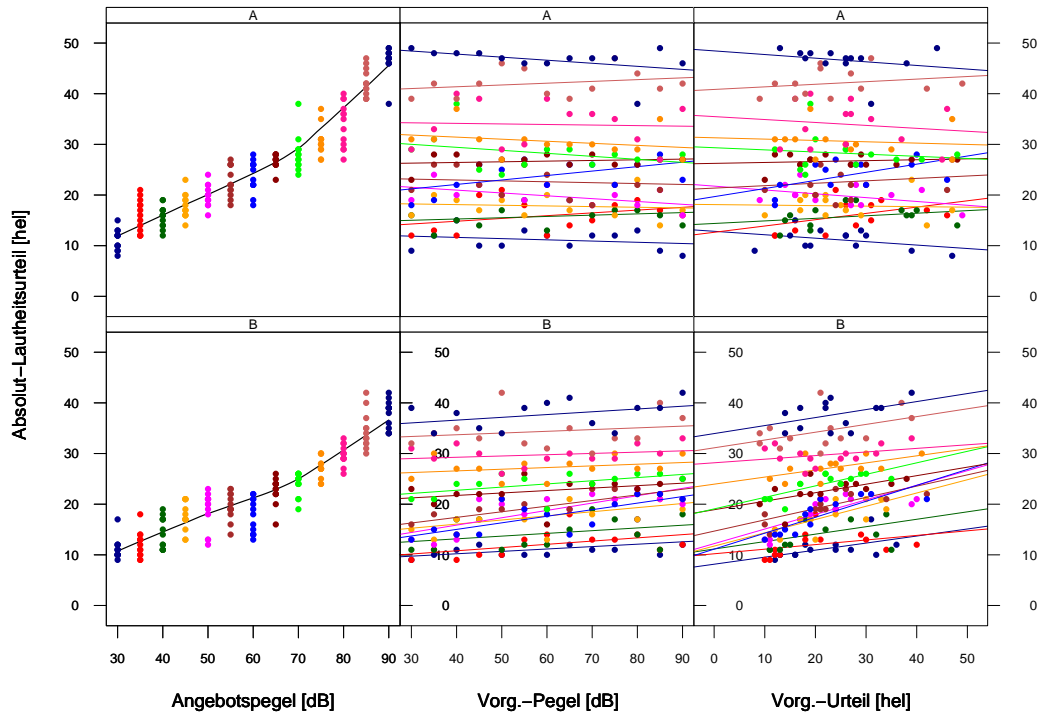
Proband 093



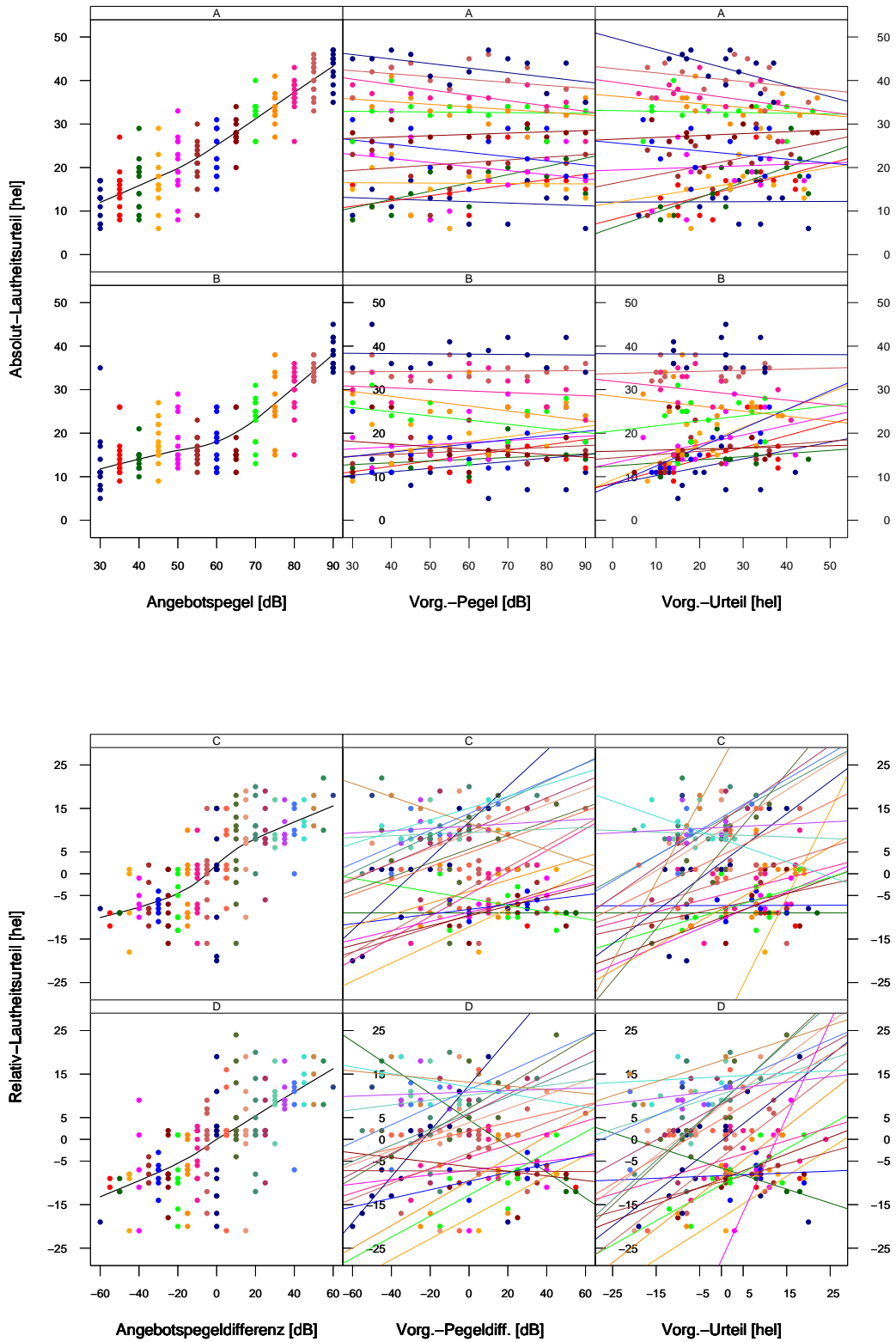
Proband 094



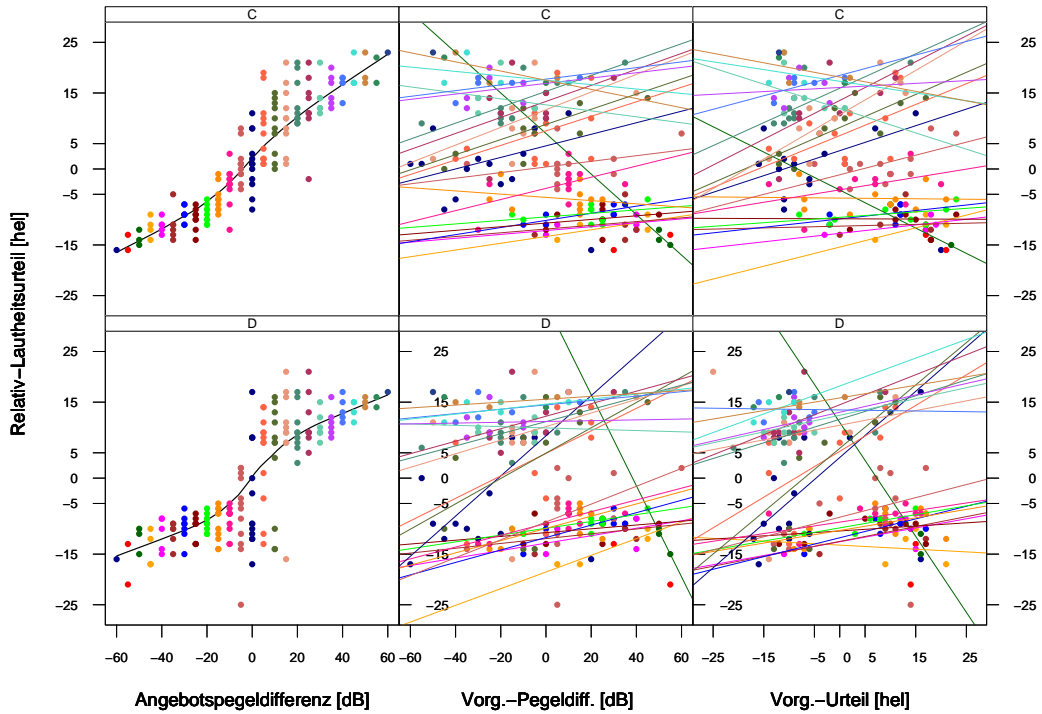
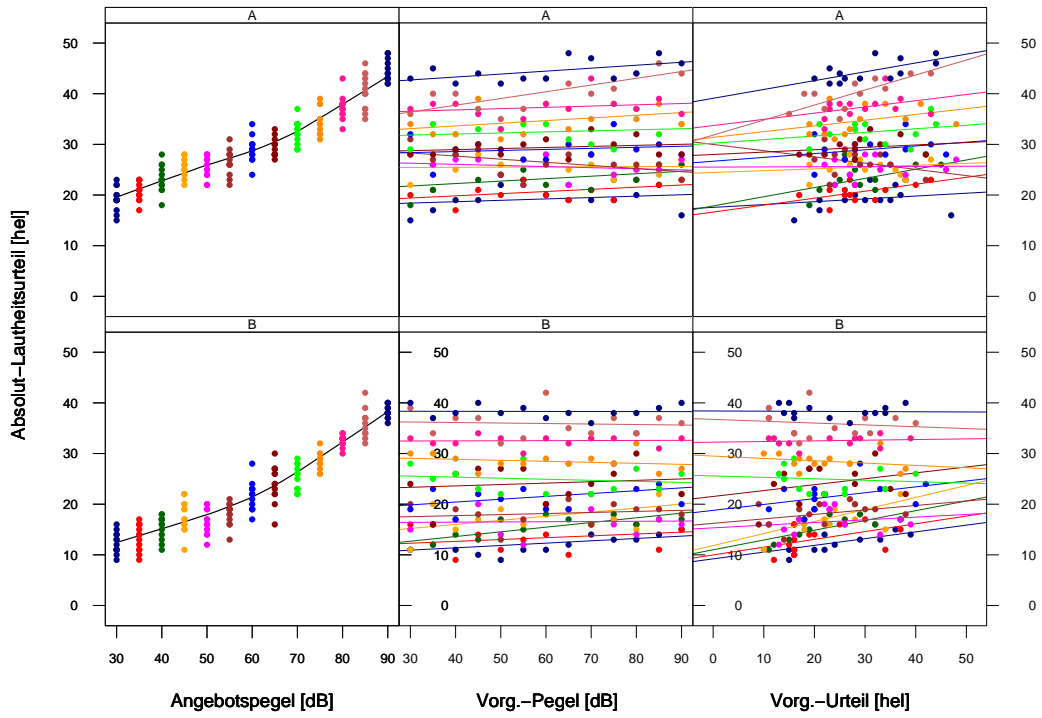
Proband 095



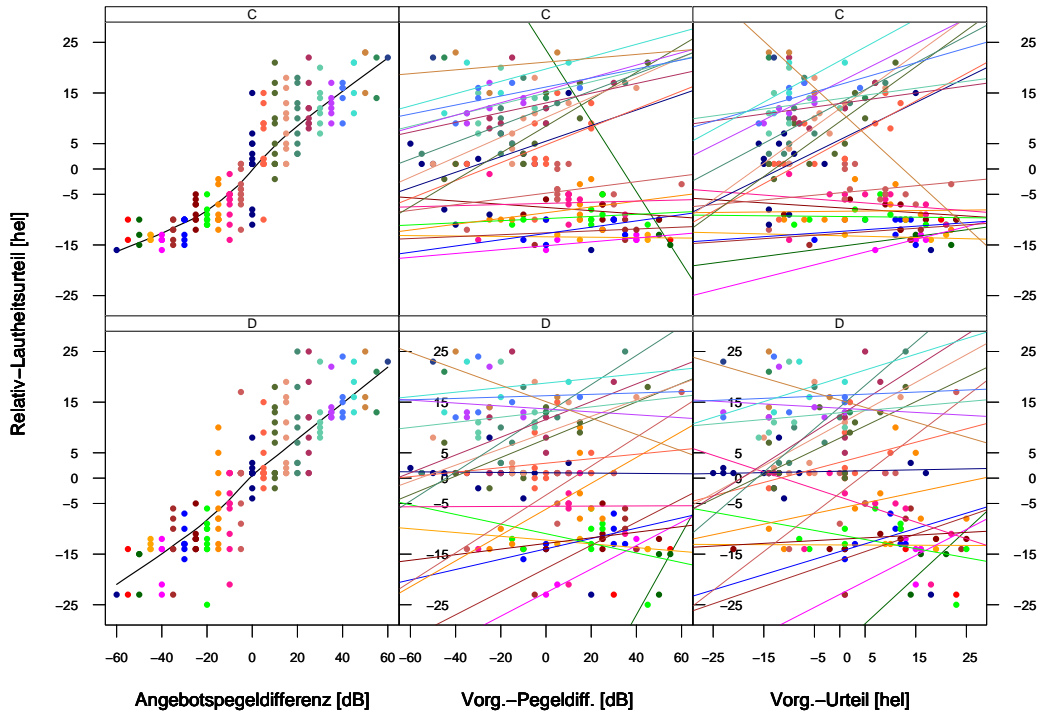
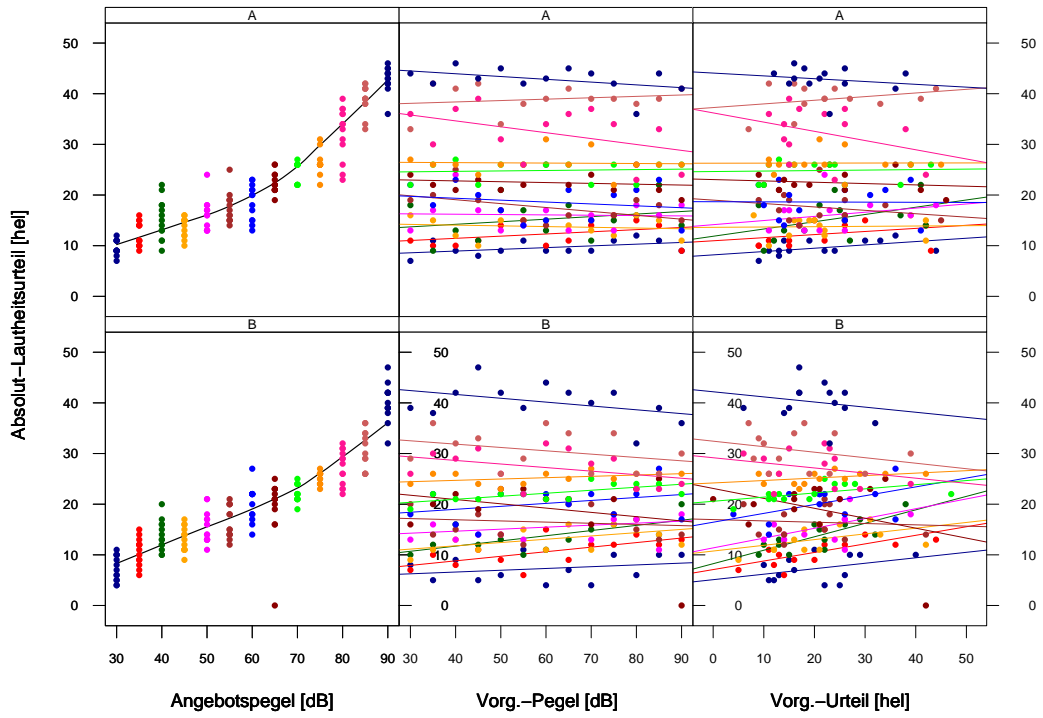
Proband 096



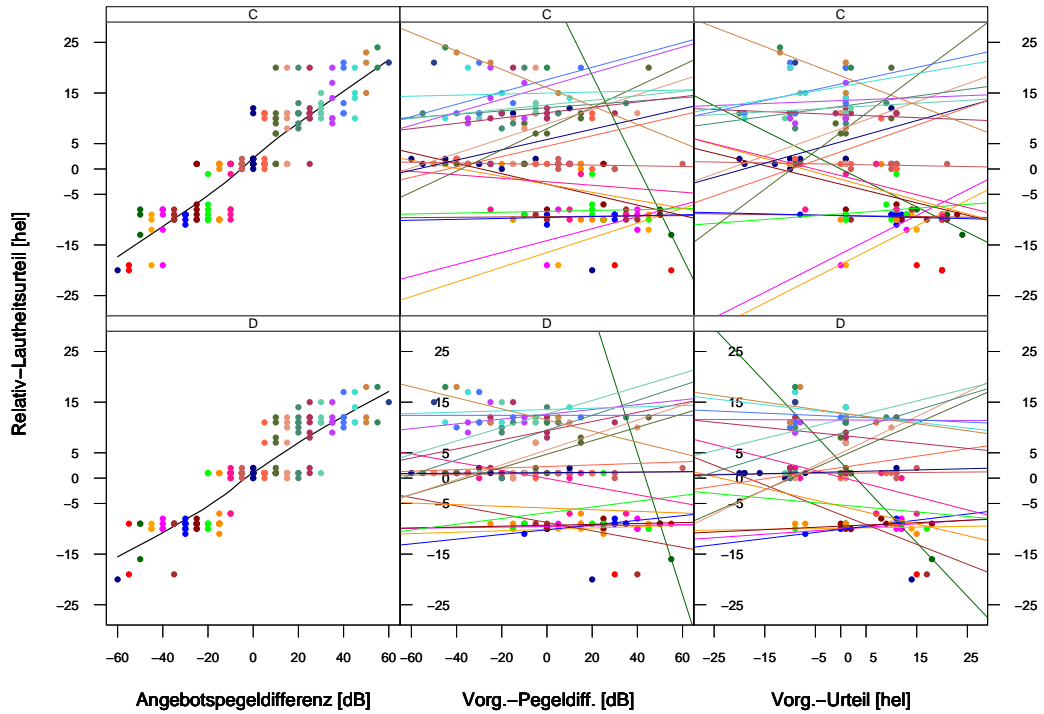
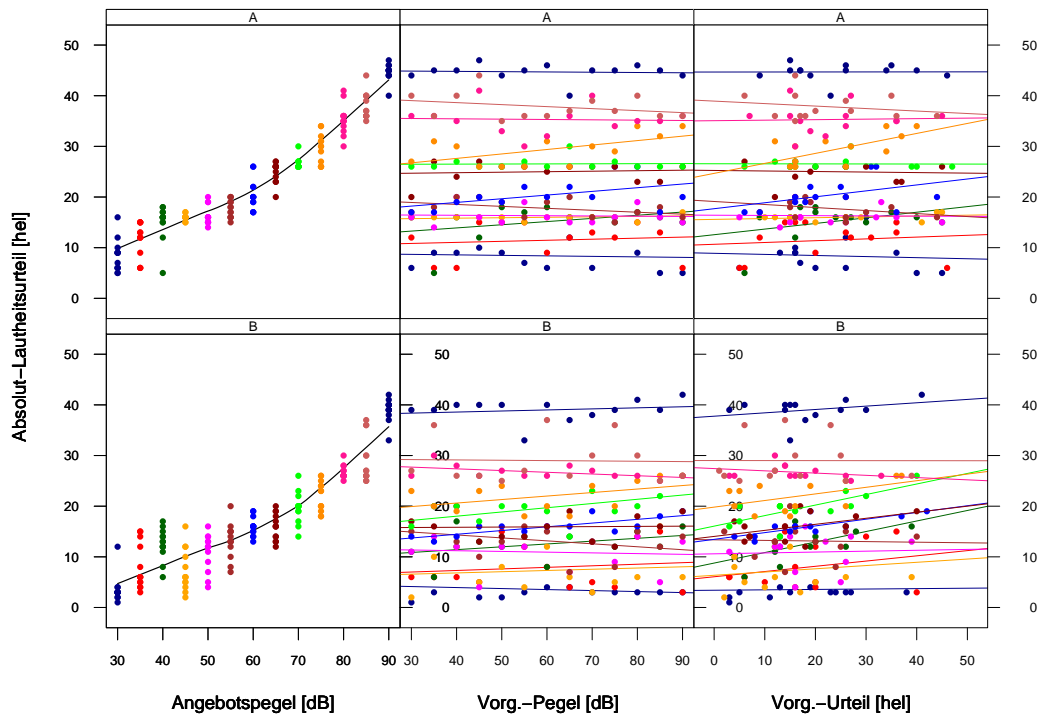
Proband 097



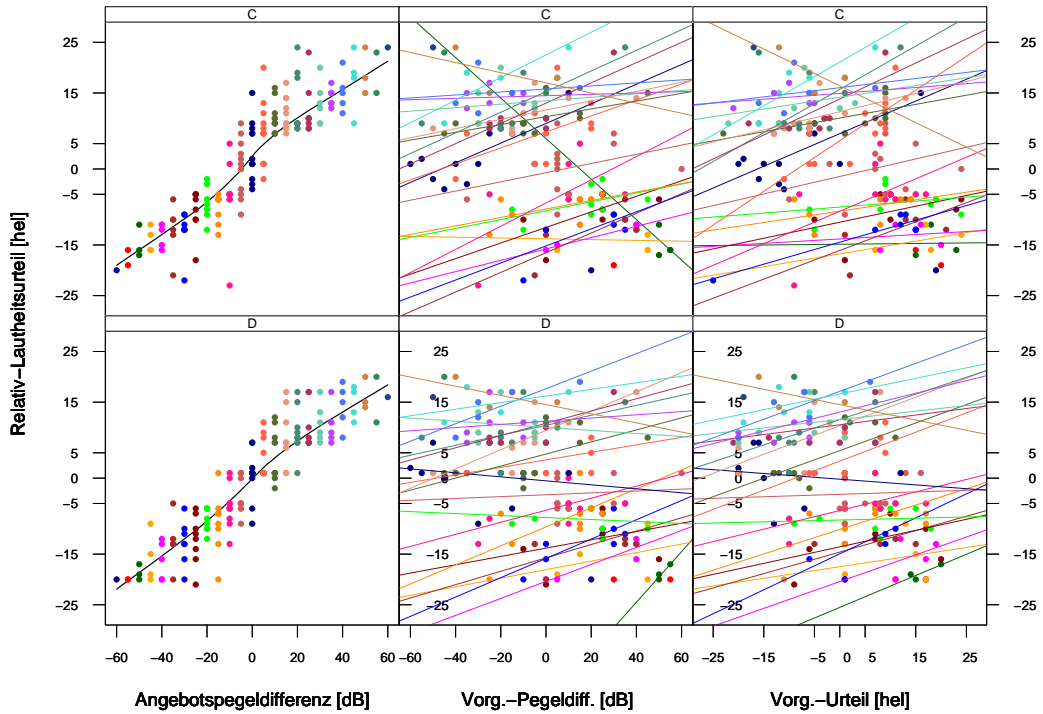
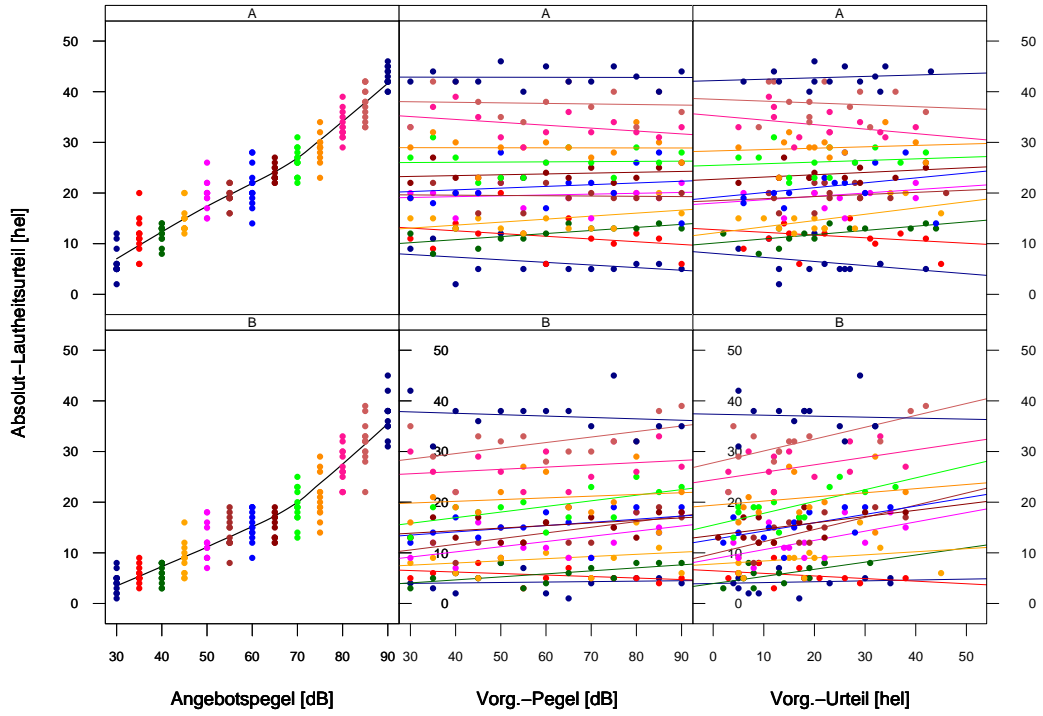
Proband 098



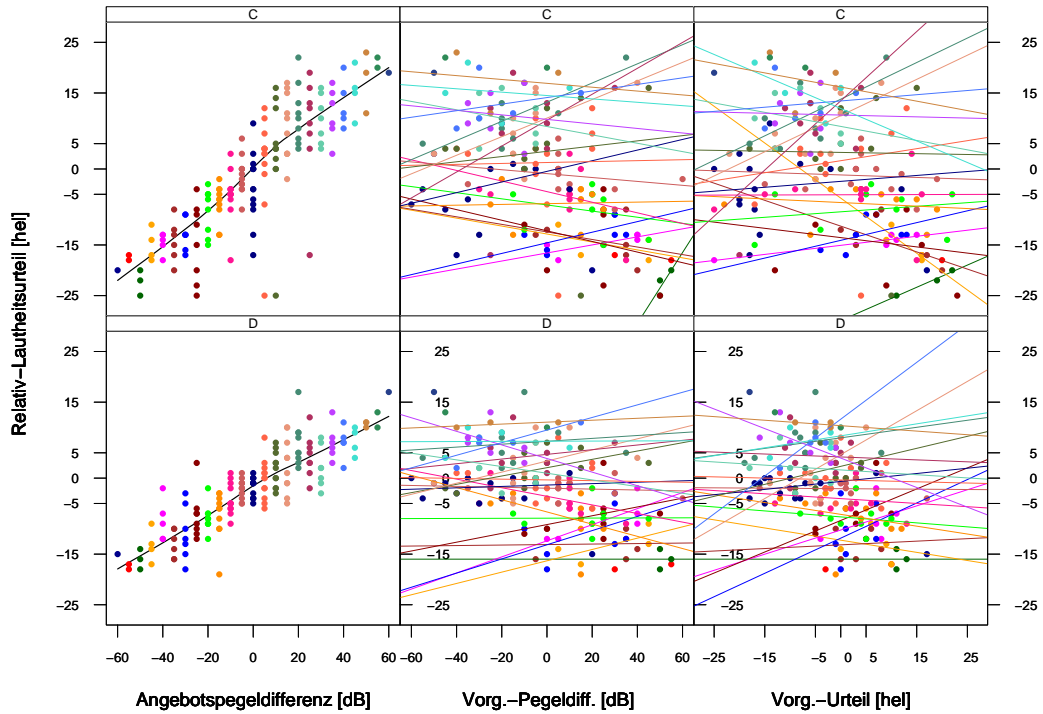
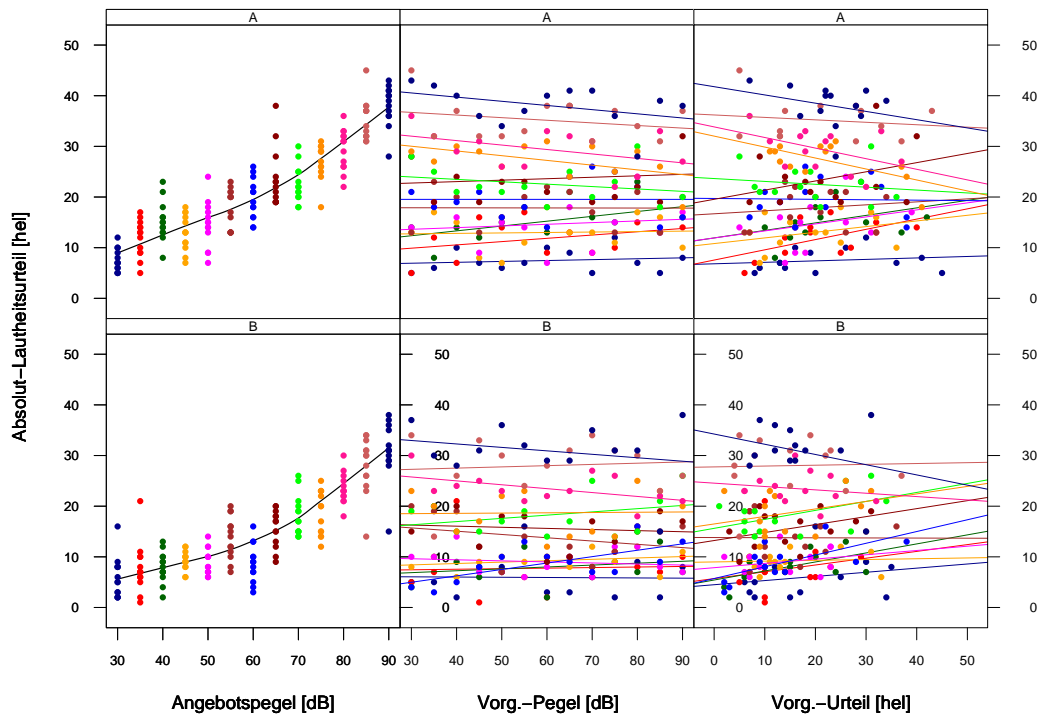
Proband 099



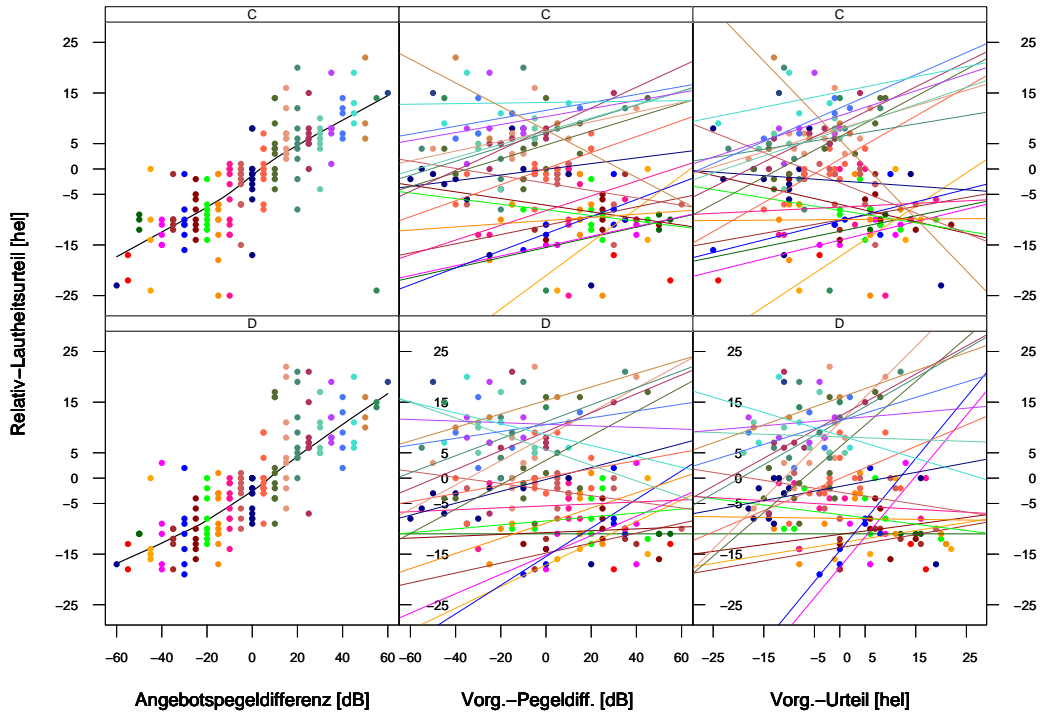
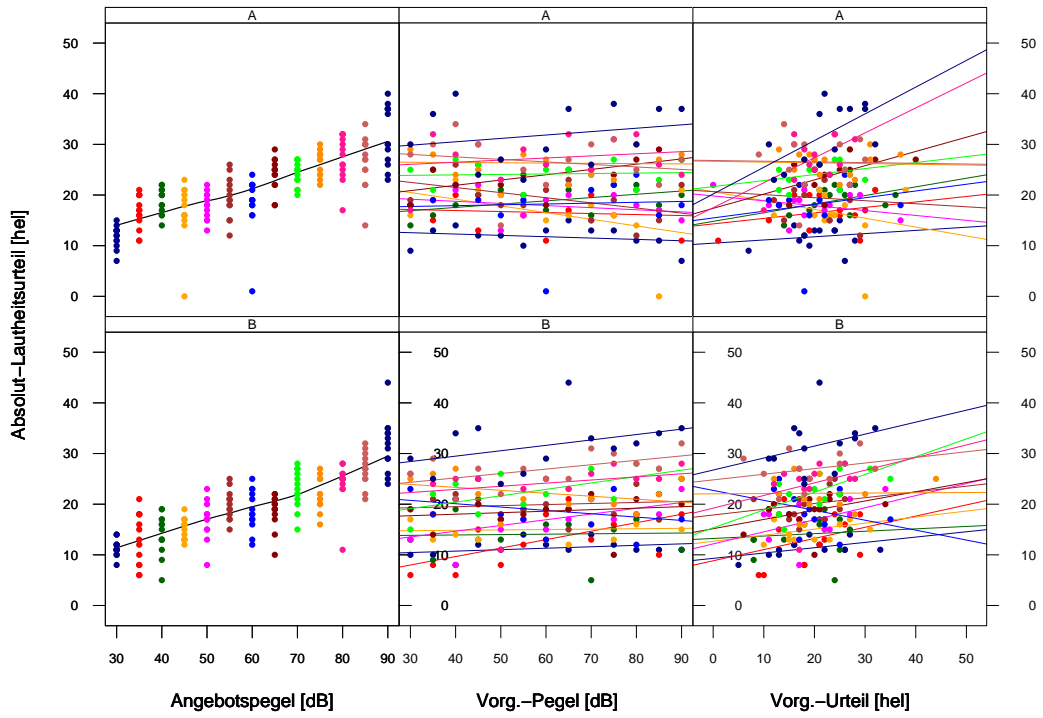
Proband 100



Proband 101



Proband 102



Literaturverzeichnis

Boretzki Michael, Heller Otto, Knoblach Wolfram, Fichtl E, Stock A und Opitz M. Untersuchungen zur Reliabilität und Sensitivität der Hörfeldaudiometrie. In *Fortschritte der Akustik. DAGA 94, Bad Honnef*, Seiten 1433–1436, Bad Honnef, 1994. DPG-Verlag.

Borg Ingwer und Staufenbiel Thomas. *Theorien und Methoden der Skalierung*, Band 11 von *Methoden der Psychologie*. Verlag Hans Huber, Göttingen, 1997.

Fechner Gustav Theodor. *Elemente der Psychophysik*. Breitkopf und Härtel, Leipzig, 1860.

Florin L. Psychische Symptome und Krankheitsanfälligkeit bei schwerhörigen Erwachsenen. *Hörakustik*, 9:16 – 21 und 64 – 73, 1990.

Fucci Donald, Petrosino Linda, McColl Doug, Wyatt Denise und Wilcox Corry. Magnitude Estimation Scaling of The Loudness of A Wide Range of Auditory Stimuli. *Perceptual and Motor Skills*, 85:1059–1066, 1997.

Haaga Roland. *Die Methode der Urteilsabgabe als Einflussfaktor auf Lautheitsurteil und Vorgängerabhängigkeit bei kategorialer Lautheitsskalierung*. Dissertation, Universität Würzburg, Am Hubland, 97074 Würzburg, 2009. URL <http://www.opus-bayern.de/uni-wuerzburg/volltexte/2010/4847/>.

Haubensak Gert. *Absolutes und vergleichendes Urteil*. Springer Verlag, Berlin, 1985.

- Haubensak Gert. Sequenzeffekte in absoluten Urteilen. Kritisches zur Methode. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, XXXIX(1): 101–113, 1992.
- Hellbrück Jürgen. Geschlechtsspezifische Unterschiede in der Lautstärkeempfindung — Realität oder Artefakt? *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, XXX(30):387–399, 1983.
- Hellbrück Jürgen. *Hören. Physiologie, Psychologie und Pathologie*. Hogrefe-Verlag, Göttingen, 1993.
- Hellbrück Jürgen und Moser Ludwig M. Hörgeräte-Audiometrie: Ein computerunterstütztes psychologisches Verfahren zur Hörgeräteanpassung. *Psychologische Beiträge*, 27:494–508, 1985.
- Hellbrück Jürgen, Oguey Marie-Christin und Seiler Christian. Sind geschlechtsspezifische Unterschiede in der Lautstärkenempfindung ein Artefakt der Gehörganggröße? *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, XXXI(3):439–446, 1984.
- Hellbrück Jürgen, Thomamüller Daniela und Zeitler Alfred. Hörfeldaudiometrie mit Gruppen normal hörender Personen in natürlichen Schallfeldern. *Audiologische Akustik*, 2:60–81, 1995.
- Heller Otto. *Orientierung innerhalb von phänomenalen Steigerungsreihen*, Seiten 107–136. Huber, 1980.
- Heller Otto. Hörfeldaudiometrie mit dem Verfahren der Kategorienunterteilung (KU). *Psychologische Beiträge*, 27:478–493, 1985.
- Heller Otto. Oriented category scaling of loudness and speech-audiometric validation. Seiten 135–159, Oldenburg, 1991.

- Heller Otto und Hellbrück J. Direkte Skalierung von Lautstärkedifferenzen. Forschungsbericht Lehrstuhl für Psychologie Würzburg, 1979.
- Kaulitz Stefan. *Lautheitsbeurteilung unilateraler Cochlea-Implantat-Träger in Abhängigkeit von der Stimulusart und vom vorangehenden Stimulus bei sequenzieller Darbietung der Reize*. Dissertation, Universität Würzburg, 2007. URL <http://www.opus-bayern.de/uni-wuerzburg/volltexte/2008/2625>.
- Kießling Jürgen, Steffens Thomas und Wagner Ina. Untersuchung zur praktischen Anwendbarkeit der Lautheitsskalierung. *Audiologische Akustik*, (4): 100–115, 1993.
- Kollmeier Birger, Hrsg. *Hörflächenskalierung — Grundlagen und Anwendung der kategorialen Lautheitsskalierung für Hördiagnostik und Hörgeräteversorgung*. Nr. 12 in Buchreihe Audiologische Akustik. median-verlag von Killisch-Horn GmbH, Heidelberg, 1997.
- Martin G. E. und Müller L. J. Archiv für Psychologie: Organ d. Deutschen Gesellschaft für Psychologie = Archives of psychologyl. *Philosophische Studien*, Bd. 122/1970 - 142/1990, 1899.
- Merkel Julius. Die Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindung Dritte Abtheilung. *Philosophische Studien*, 5:499 – 557, 1888.
- Moser L. Die prothetische Sprachaudiometrie. *Audiologische Akustik.*, 1987.
- Nowak Theo. Der Mensch als Schallmessinstrument. Forschungsbericht, Psychologisches Institut der Universität Würzburg, Lehrstuhl III, 1979.
- Nägler Julia Therese. *Lautheitsbeurteilung in Abhängigkeit von der Stimulusart und vom vorangehenden Stimulus bei sequenzieller Darbietung der Reize*.

- Dissertation, Universität Würzburg, jul 2004. URL <http://www.opus-bayern.de/uni-wuerzburg/volltexte/2004/1023>.
- R Development Core Team . *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2010a. URL <http://www.R-project.org>. ISBN 3-900051-07-0.
- R Development Core Team . *R: A Language and Environment for Statistical Computing, Reference Index*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2.11.1 Ausgabe, 2010b. URL <http://www.R-project.org>.
- Richardson L.F. und Ross J.S. Loudness and telephone current. *Journal of General Psychology*, 3:228 – 306, 1930.
- Ricketts Todd A und Bentler Ruth A. The effect of test signal type and bandwidth on the categorical scaling of loudness. *Journal of the Acoustical Society of America*, 99(4):2281–2287, April 1996.
- Rinne Horst. *Taschenbuch der Statistik*. Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 3 Ausgabe, 2003.
- Sarris V. Wahrnehmung und Urteil. *Göttingen: Hogrefe*, 1971.
- Sohn Wolfgang und Jörgenshaus Werner. Schwerhörigkeit in Deutschland. Repräsentative Hörscreening-Untersuchung bei 2000 Probanden in 11 Allgemeinpraxen. *ZFA - Zeitschrift für Allgemeinmedizin*, 77:143—147, 2001.
- Stevens S S. The measurement of loudness. *Journal of the Acoustical Society of America*, 27:815–829, 1955.
- Stevens S S. On the psychophysical law. *Psychol. Rev.*, 64(3):153–181, May 1957.

Stevens S. S. To Honor Fechner and Repeal His Law: A power function, not a log function, describes the operating characteristic of a sensory system. *Science*, 133(3446):80–86, Jan 1961. doi: 10.1126/science.133.3446.80. URL <http://dx.doi.org/10.1126/science.133.3446.80>.

Streppel Michael, Walger Martin, Wedel von Hasso und Gaber Elisabeth. Hörstörungen und Tinnitus; Gesundheitsberichterstattung des Bundes Heft 29. Robert Koch-Institut, Statistisches Bundesamt, Berlin, Jan 2006.

Westra GmbH . *Gerätebeschreibung für das Sprachaudiometer CAD 03/1*.

Wever E. G. und Zener K. E. The method of absolute judgement in psychophysics. *Psychology Review*, Seiten 35, 560–578, 1928.

Witte Wilhelm. Struktur, Dynamik und Genese von Bezugssystemen. *Psychologische Beiträge*, 4 a:218–252, 1960.

Zwicker E und Fastl H. *Psychoacoustics. Facts and Models*. Nr. 22 in Springer Series in Information Sciences. Springer Verlag, 2 Ausgabe, 1999.

Danksagung

Wichtiger Bestandteil einer aufwendigen Arbeit ist die Mitarbeit und die Zuverlässigkeit aller Probanden. Zunächst möchte ich mich bei allen Versuchsbeteiligten herzlich bedanken für die investierte Zeit, Geduld und die besondere Aufmerksamkeit bei der Versuchsdurchführung.

Herrn Prof. Dr. med. Joachim Müller, Oberarzt an der HNO-Klinik der Universität Würzburg bin ich für die Übernahme des Referates zu besonderem Dank verpflichtet.

Frau Prof. Dr. rer. nat. Kathleen Wermke, Leiterin des Zentrums für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen in Würzburg, danke ich für die Übernahme des Korreferats.

Herrn Prof. Dr. med. Rudolf Hagen, Direktor der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen und Ohrenkrankheiten, plastische und ästhetische Operationen der Universität Würzburg und Herrn Prof. Dr. med. Jan Helms, dem ehem. Direktor der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkranke der Universität Würzburg danke ich für die Überlassung des Themas dieser Arbeit.

Meinen besonderen Dank richte ich an Herrn Dipl.-Ing. Stefan Brill zunächst für die Vergabe des Dissertationsthemas und vor allem für die Begleitung und sehr nette und gute Betreuung in allen Belangen während aller Phasen der Arbeit. Seine Begeisterung und Freundlichkeit, die tolle Ideen und Kompetenz haben häufig das Unmögliche möglich gemacht und alle Probleme, die entstanden sind wurden schnell aus dem Weg geräumt. Ich möchte mich auch sehr für die

investierte Zeit bedanken, besonders beim Auswerten der Ergebnisse, das ohne seine Improvisation und Kreativität nicht realisierbar wäre.

Des weiteren möchte ich allen Mitarbeitern der Audiometrieabteilung und den Mitarbeitern der Abteilung für Cochlea-Implantate und v. a. Dipl.-Ing. (FH) Alexander Möltner danken für die gute Ratschläge und die Hilfsbereitschaft.

Nicht zuletzt danke ich Frau Ingrid Schiefele für die kompetente und aufrichtige Hilfe bei der Korrektur.

Lebenslauf

Name: Ivan Krastev Ivanov
Geboren am: 13. Mai 1978
In: Varna
Familienstand: ledig

Schulausbildung:

1984 - 1992 Grundschule: Ivan Vasov Varna
1993 - 1997 Kolege für Tourismus Varna

Studium der Zahnmedizin

2001 Studienkolleg München
2002 - 2003 Semester der Naturwissenschaften und
vorklinische Kurse in der Zahnmedizin
03/2003 Vorphysikum (Univ. Würzburg)
2003 - 2004 Semester der Naturwissenschaften und
vorklinische Kurse in der Zahnmedizin
09/2004 Zahnärztliche Vorprüfung (Univ. Würzburg)
2004 - 2007 Klinisches Studium
02/2007 - 06/2007 Staatsexamen (Univ. Würzburg)
09/2007 - 01/2010 Assistenzzahnarzt
seit 01/2010 Partner in Gemeinschaftspraxis