

Monaurale und Binaurale Lautheitsskalierung bei Cochlea- Implantat-Trägern

F. Wippel, B. Laback, P. Majdak

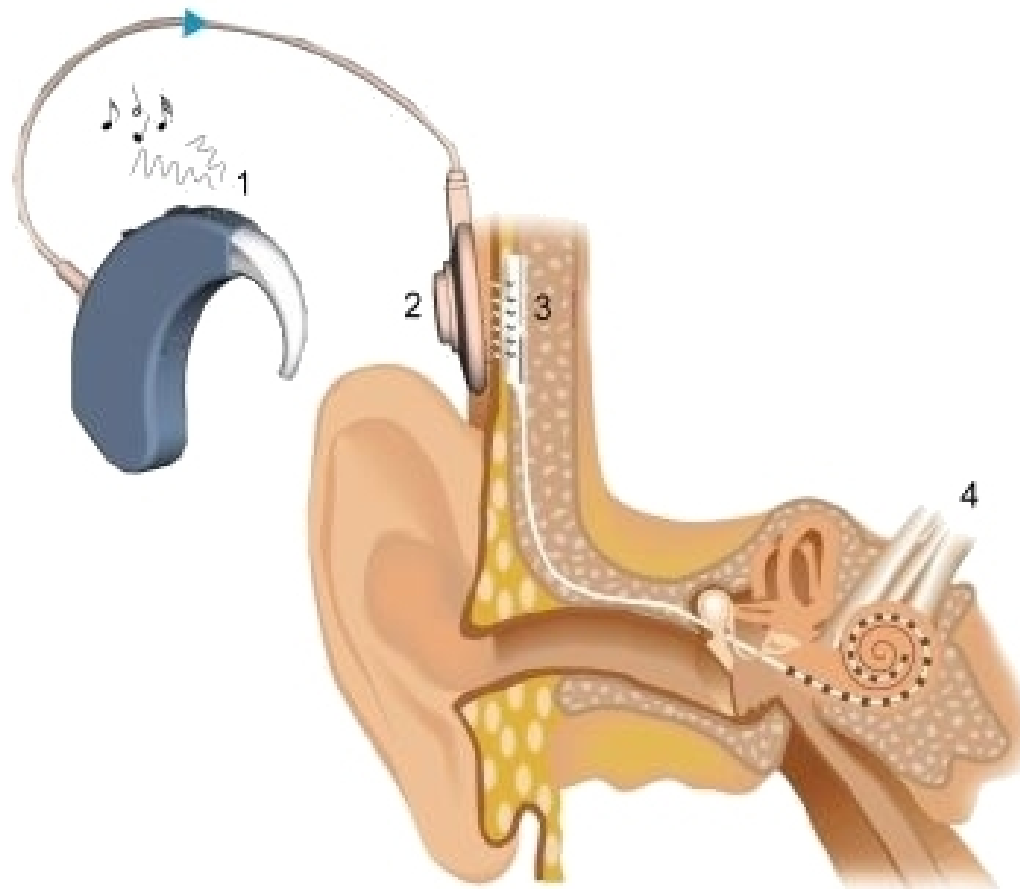
Institut für Schallforschung

Österreichische Akademie der Wissenschaften

Ziele

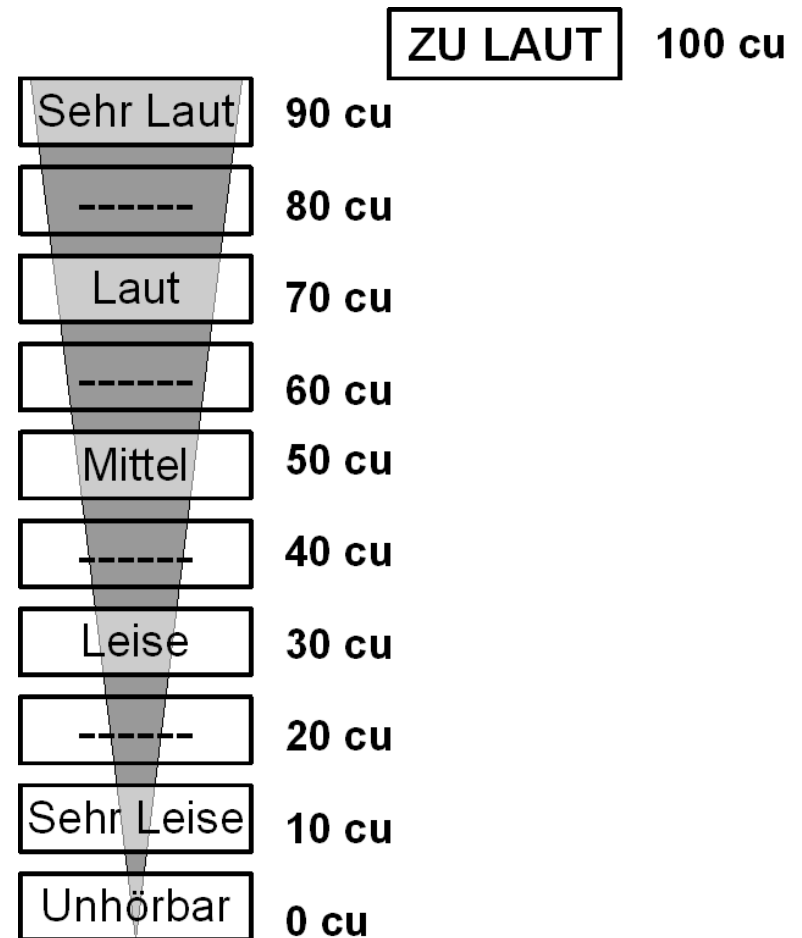
- Eine automatische Prozedur mit:
 - **Kurze Testdauer** bei möglichst hoher Genauigkeit
 - Möglichkeit von monauralen und binauralen Tests
 - Vergleichbarkeit der Lautheiten zwischen unterschiedlichen Elektroden einer Testperson
- Als Grundlage wurden zwei Prozeduren von Brand (2000) benutzt:
 - Oldenburger „Constant Stimuli“-Prozedur
 - Oldenburger adaptive Prozedur

Das Cochlea-Implantat



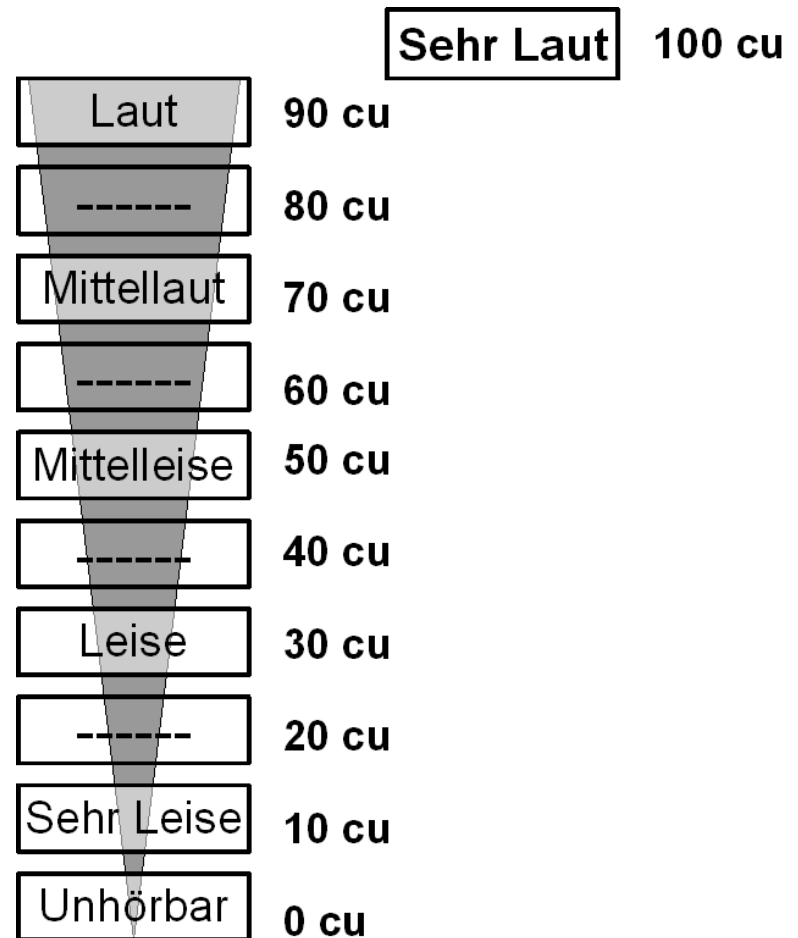
Die kategorische Skala

- Unmodifizierte Skala
- Projektion auf eine metrische Skala
- Kategorialeinheiten: cu (categorical units)



Die kategorische Skala

- Eine modifizierte Skala
- Projektion auf eine metrische Skala
- Kategorialeinheiten: cu (categorical units)



Die „Constant Stimuli“-Prozedur

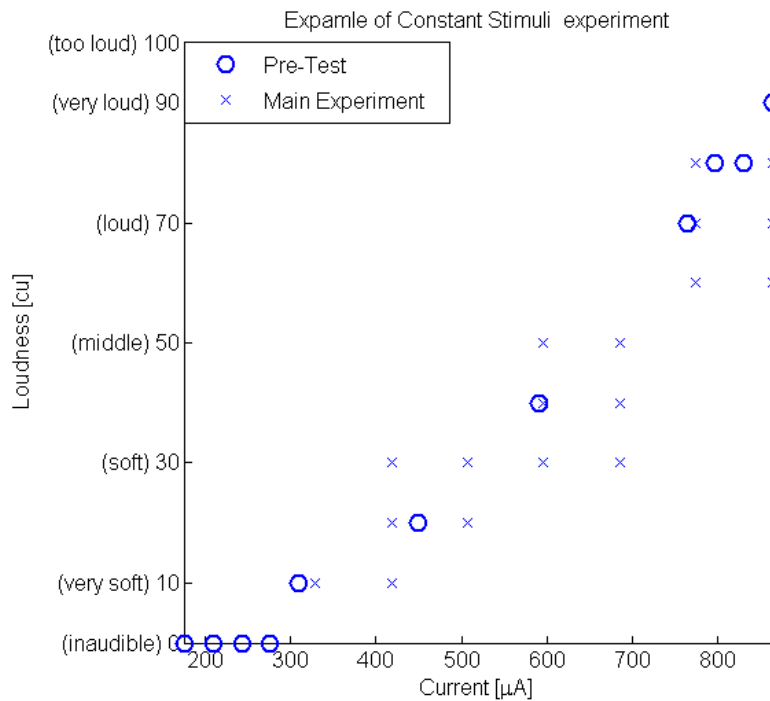
- Vortest:
 - Start: Eine nicht hörbare Stromstärke
 - Pegel wird erhöht bis zur ersten > 0 cu Bewertung
 - Pegel wird in großen Schritten erhöht bis 80 % des Dynamikbereichs
 - Pegel wird in kleinen Schritten erhöht bis zu einer ≥ 90 cu Kategorie („Sehr Laut“ / „Laut“)
 - Berechnung von 7 Pegel gleichverteilt im Intervall $[10, 90]$ durch lineare Interpolation zwischen dem ersten Punkt mit 10 cu und dem letzten Punkt $\Rightarrow 90$ cu
- Haupttest:
 - 7 Pegel in zufälliger Reihenfolge einige Male präsentiert
- Zum Schluss:
 - Anpassung einer Modellfunktion an die Daten von Vortest und Haupttest

Die Adaptive Prozedur

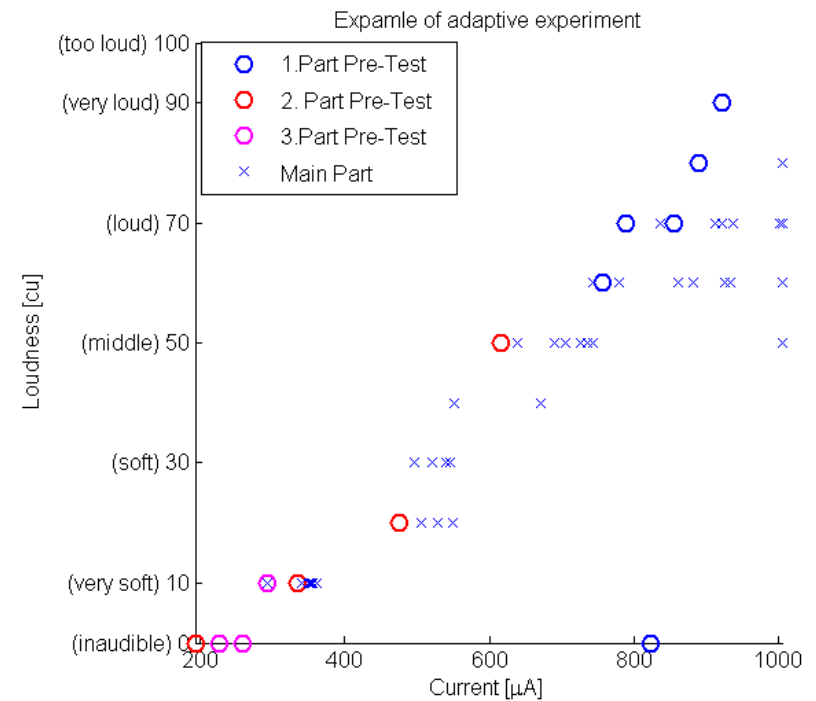
- Vortest:
 - Start: Stromstärke 80 % von dem Dynamikbereich
 - Pegel wird langsam erhöht bis zu einer Bewertung ≥ 90 cu
 - Pegel wird in großen Schritten erniedrigt bis zur Bewertung „Unhörbar“ (0 cu)
 - Pegel wird in kleinen Schritten erhöht bis zur Bewertung ≥ 10 cu
 - Lineare Interpolation zwischen den Punkten 10 cu und ≥ 90 cu
 - 4 Stromstärken werden berechnet.
- Haupttest 1. Block:
 - Präsentation von diesen 4 Pegel
 - Anpassung einer Modellfunktion an alle Daten (Vortest und 1. Block)
 - 5 Pegel werden berechnet (10 cu, 30 cu, 50 cu, 70 cu and 90 cu)
- Haupttest 2. Block:
 - Präsentation von diesen 4 Pegel
 - Anpassung einer Modellfunktion an alle Daten
 - 5 Pegel werden berechnet
- Haupttest n. Blocks:
 - Der 2. Block wird wiederholt für höhere Genauigkeit

Illustration der Vortests

Constant Stimuli:



Adaptiv:



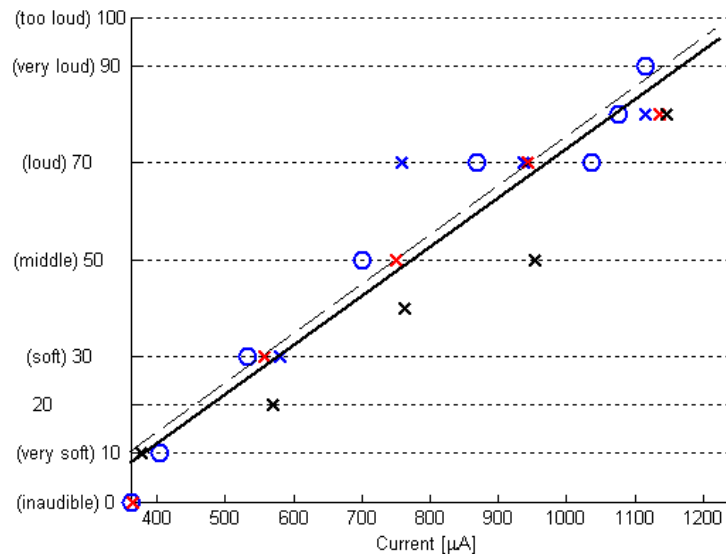
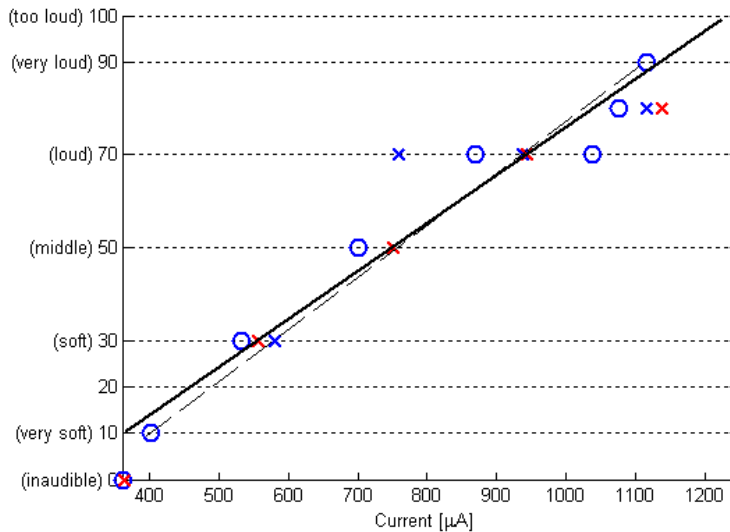
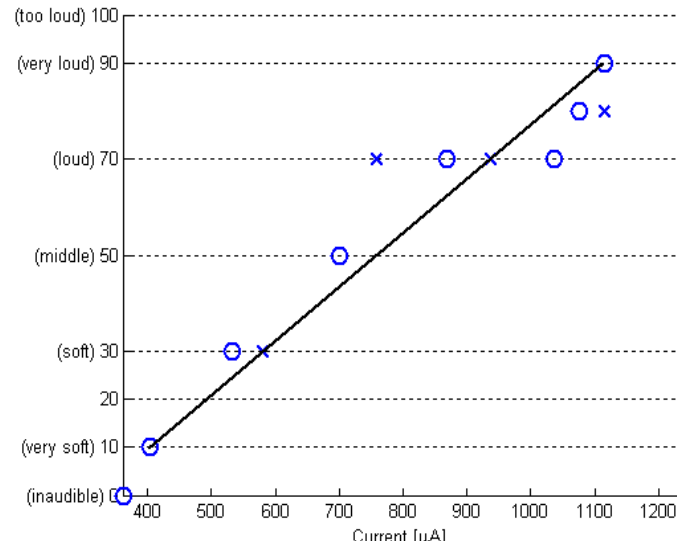
Die adaptive Prozedur

Constant Stimuli:

- 7 Stimuli werden berechnet
- Jeder Stimulus 8-mal präsentiert

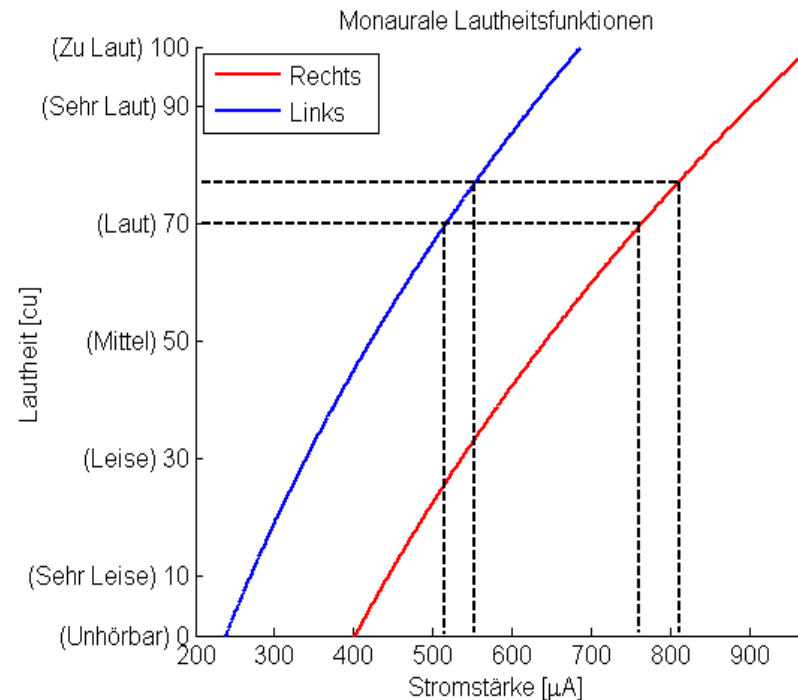
Adaptiv:

- 5 Stimuli werden berechnet
- Einmal präsentiert
- 5 neue Stimuli werden berechnet
- Und so weiter...



Die binaurale adaptive Prozedur (Vortest)

- Vortest (monaurale Lautheitsfunktionen müssen vorhanden sein):
 - Start: Die 2 Pegel der 70 cu Stromstärken von den monaurale Daten
 - Pegel wird in 5 cu Schritten erhöht bis zu einer ≥ 90 cu Beurteilung
 - Pegel wird in großen 15 cu Schritten reduziert bis zu einer 0 cu Bewertung
 - Pegel wird wieder in kleinen 5 cu Schritten erhöht bis zu einer > 0 cu Bewertung
 - 2 x 4 Pegel werden durch lineare Interpolation zwischen den Punkten 10 cu und 90 cu (30 cu, 50 cu, 70 cu, 90 cu) berechnet



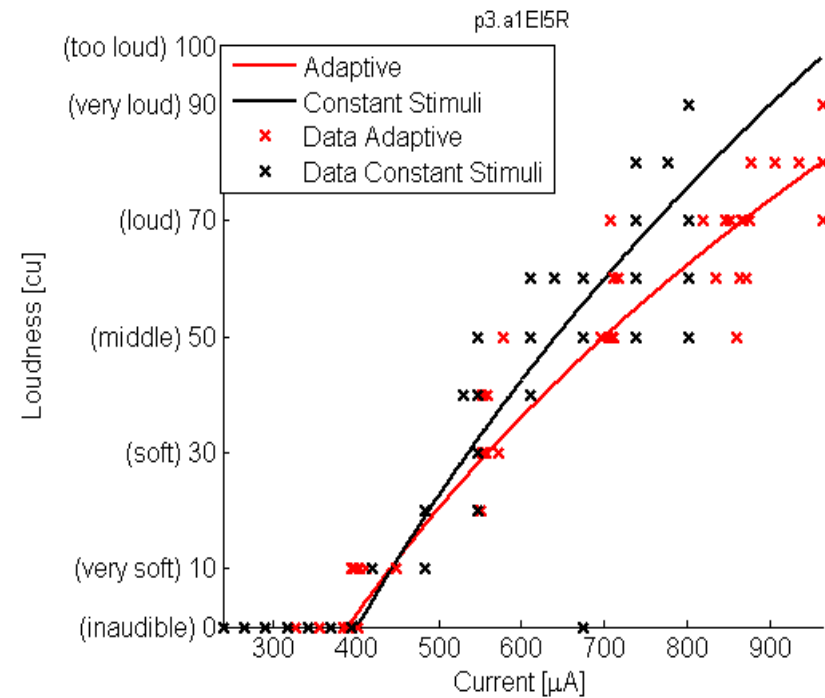
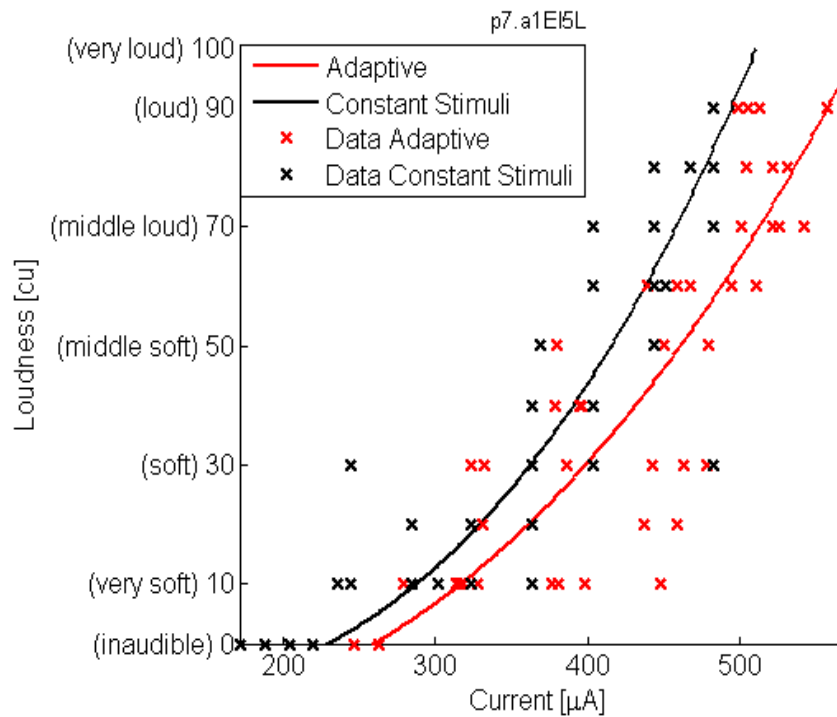
Die binaurale adaptive Prozedur (Haupttest)

- Haupttest, 1. Block:
 - 8 Pegel werden präsentiert
 - Anpassung einer Modellfunktion an alle Daten
 - 2 x 5 Pegel werden berechnet (10 cu, 30 cu, 50 cu, 70 cu, 90 cu)
- Haupttest, 2. Block
 - 8 Pegel werden präsentiert
 - Anpassung einer Modellfunktion an alle Daten
 - 2 x 5 Pegel werden berechnet (10 cu, 30 cu, 50 cu, 70 cu, 90 cu)
- Haupttest, n-ter Block
 - Der 2. Block wird wiederholt für höhere Genauigkeit

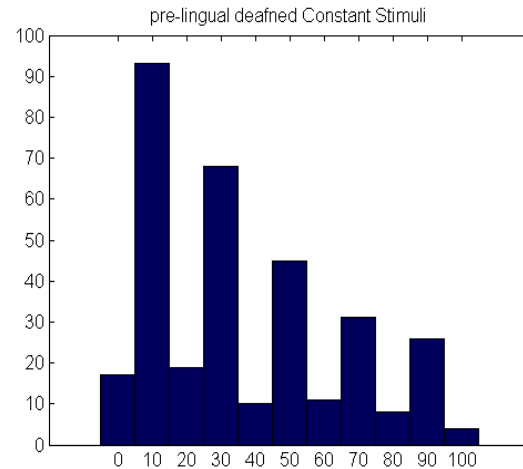
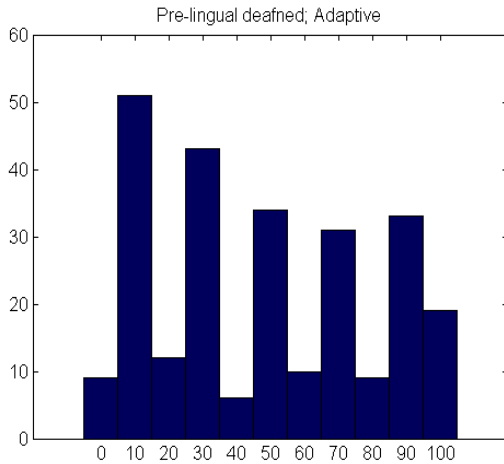
Experimente

- Testpersonen: 7 binaurale Cochlea-Implantat-Träger
 - 5 postlingual Ertaubte:
 - 3 mit Skala („Nicht Hörbar“ – „Zu Laut“)
 - 2 mit Skala („Nicht Hörbar“ – „Sehr Laut“)
 - 2 prelingual Ertaubte (Skala: „Nicht Hörbar“ – „Sehr Laut“)
 - Zwischen 1 und 4 Elektroden pro Testperson
 - Insgesamt 20 bzw. 16 Elektroden wurden getestet (monaural bzw. binaural)
- Tests:
 - Monaurale „Constant-Stimuli“-Prozedur (8 Präsentationen pro Pegel)
 - Monaurale adaptive Prozedur (8 Blocks)
 - Binaurale adaptive Prozedur (8 Blocks, mit Tonhöhe-angepassten Elektrodenpaaren)
 - Binauraler Lautheitsabgleich (noch keine Resultate)
- Modellfunktion:
 - Lineare Funktion mit einem „Robust Least-Square Fit“ während der adaptiven Prozedur
 - Eine modifizierte Funktion, angepasst an die Daten im Zuge der Analyse

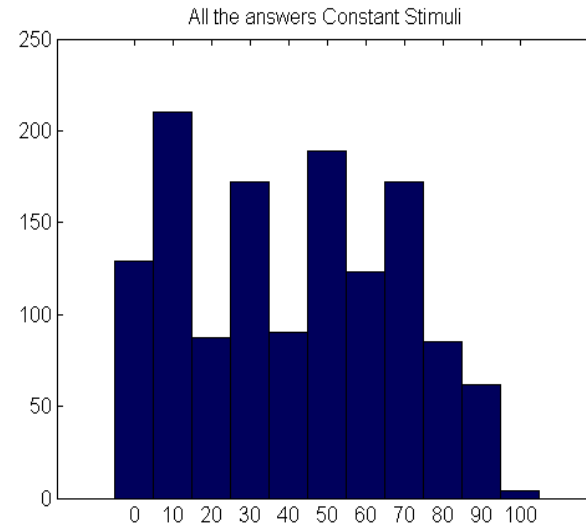
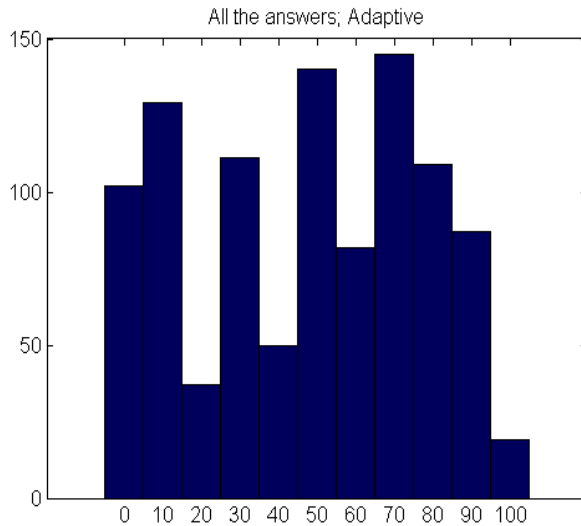
Monaurale Lautheitsfunktionen



Datenanalyse: Antwortverhalten

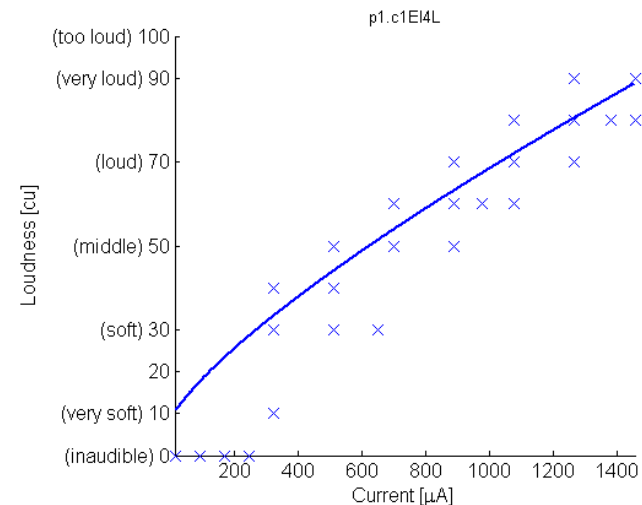
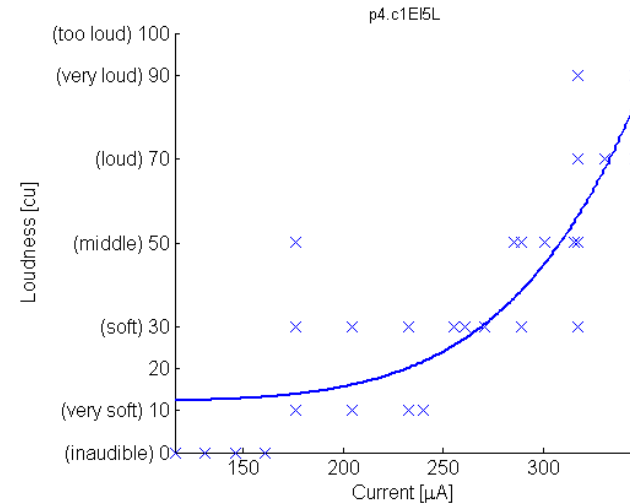


Die adaptive Prozedur hat eine „bessere“ Verteilung der Stimuli, dadurch ein glatteres Histogramm und somit mehr Bewertungen „Laut“ bis „Zu laut“.

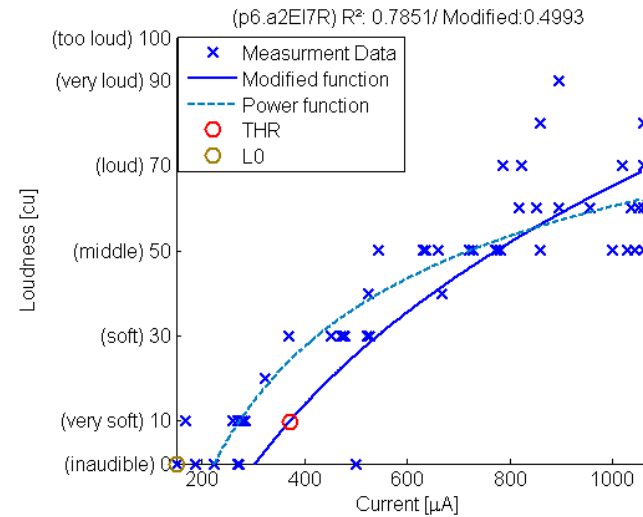
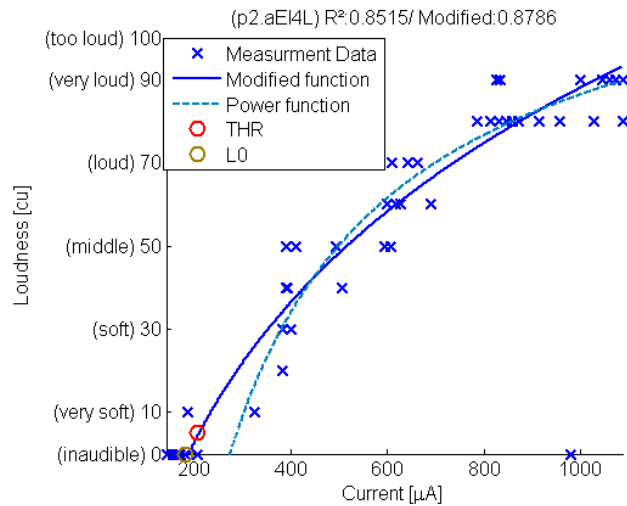
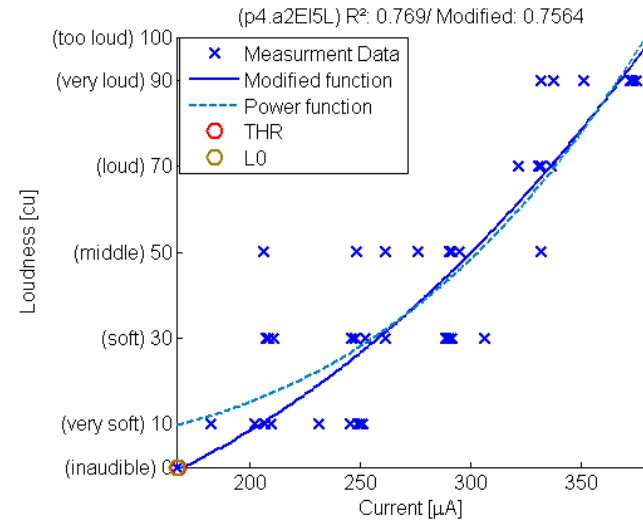
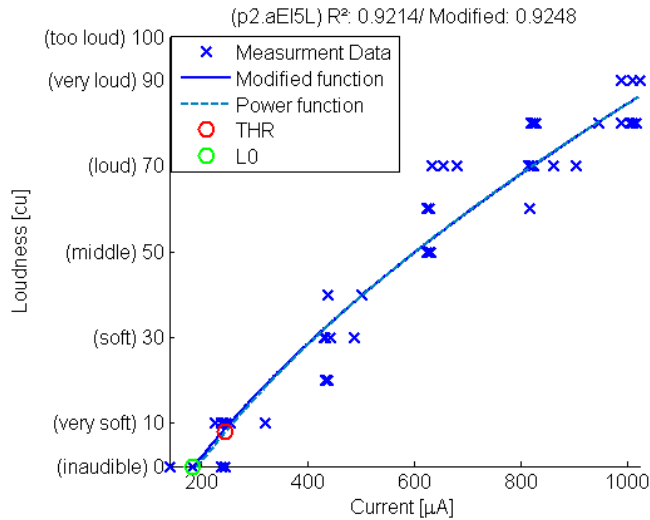


Modellfunktion: Das Problem

- Die erste Idee:
Potenzfunktion der Form $y = a \cdot x^p + b$
- Hochzahlen:
 - $p > 1$
 - $p < 1$
- Probleme:
 - Lautheitsfunktion schneidet nicht immer den Wert 0 cu.
 - Dadurch große Ungenauigkeiten in der Repräsentation der Daten im leisen Lautheitsbereich
 - Falsche Vorhersage für nicht gehörte Stimuli

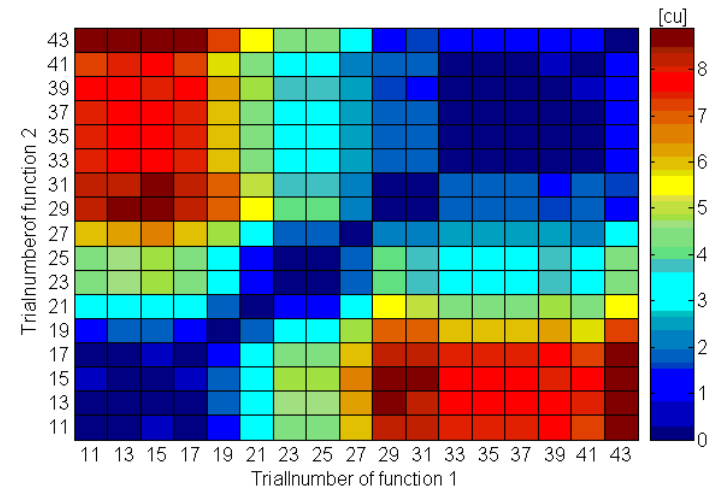
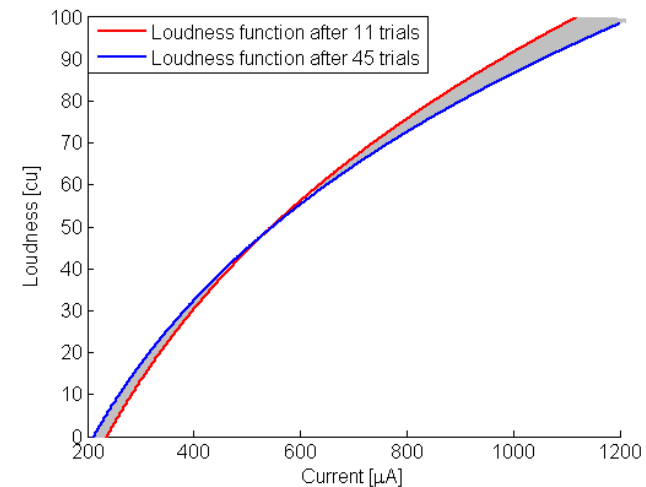


Die modifizierten Modellfunktionen: Beispiele

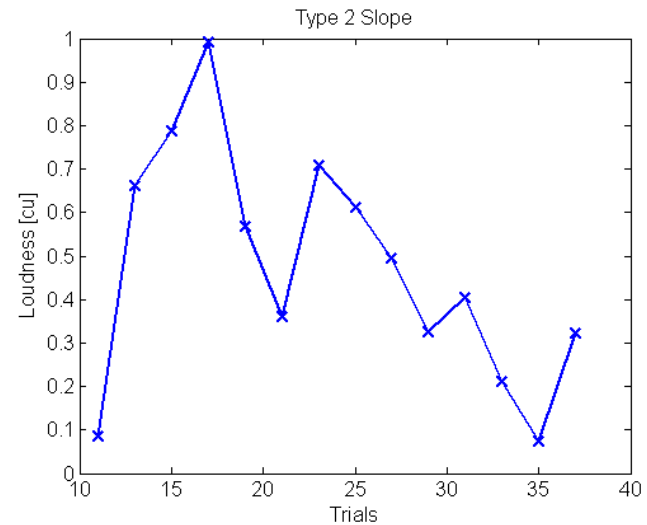
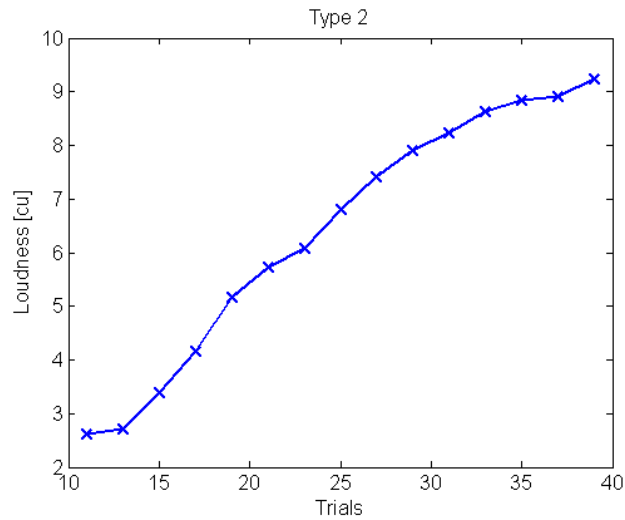
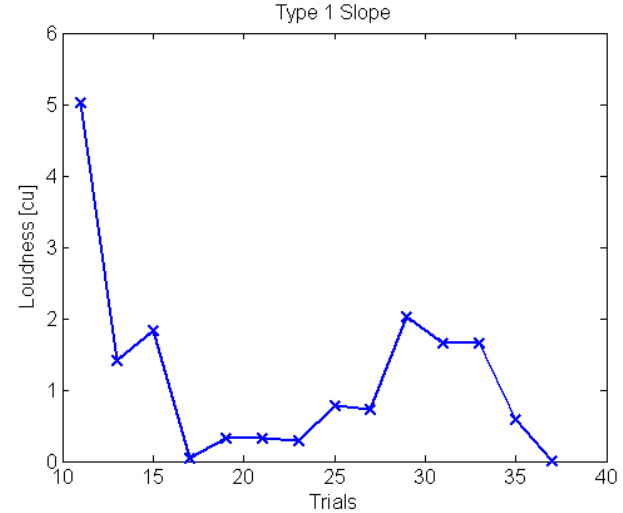
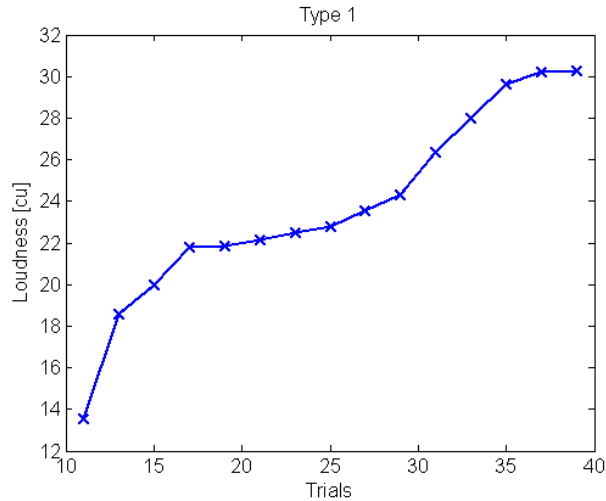


Konvergenzverhalten der Lautheitsfunktion: Methode

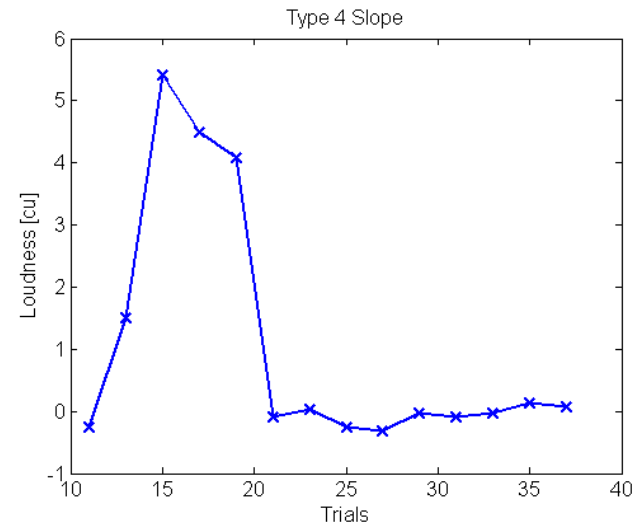
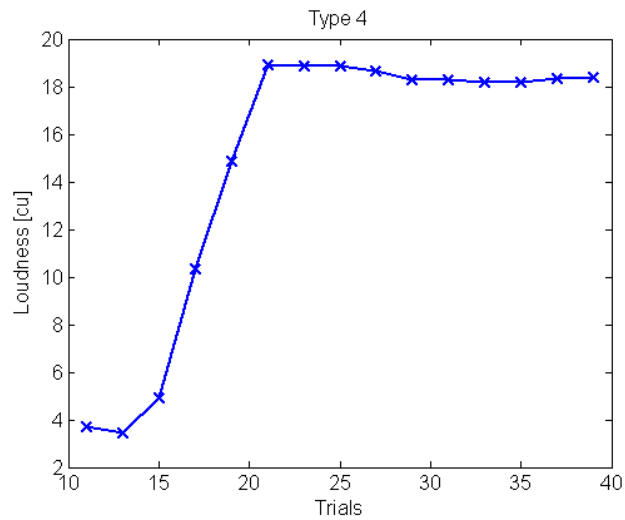
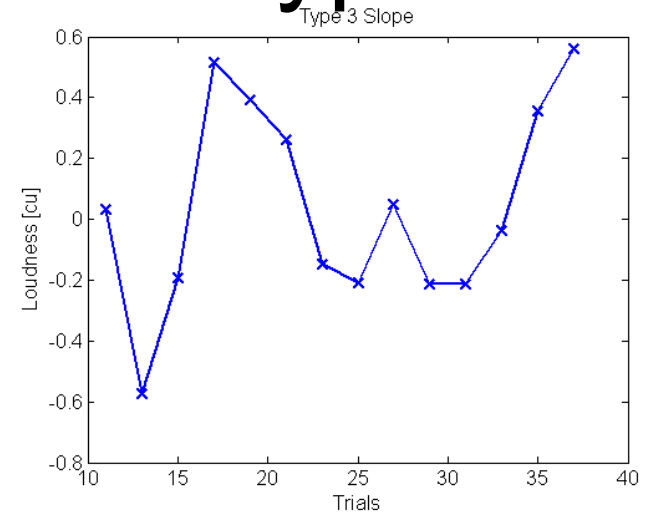
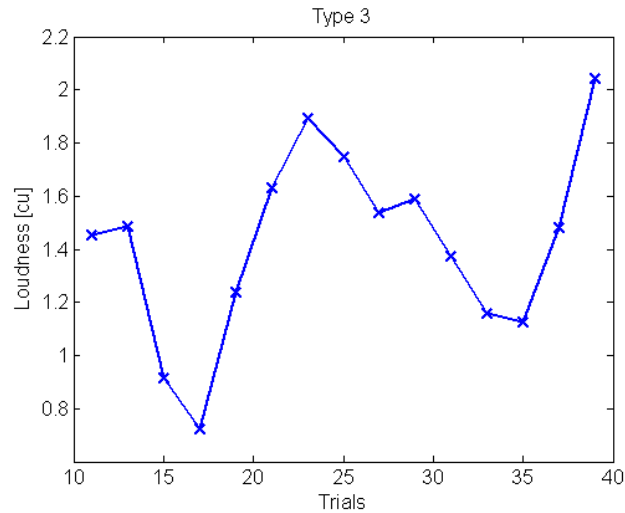
- Konvergenz: die Funktion verändert sich nicht mehr von einer Probe bis zur Nächsten.
- Kriterium: Die absolute Fläche zwischen zwei Funktionen bezogen auf den Dynamikbereich.
- Resultat: Durchschnittliche Änderung der Lautheit



Konvergenz: Zwei nicht konvergente Typen



Konvergenz: Zwei konvergente Typen



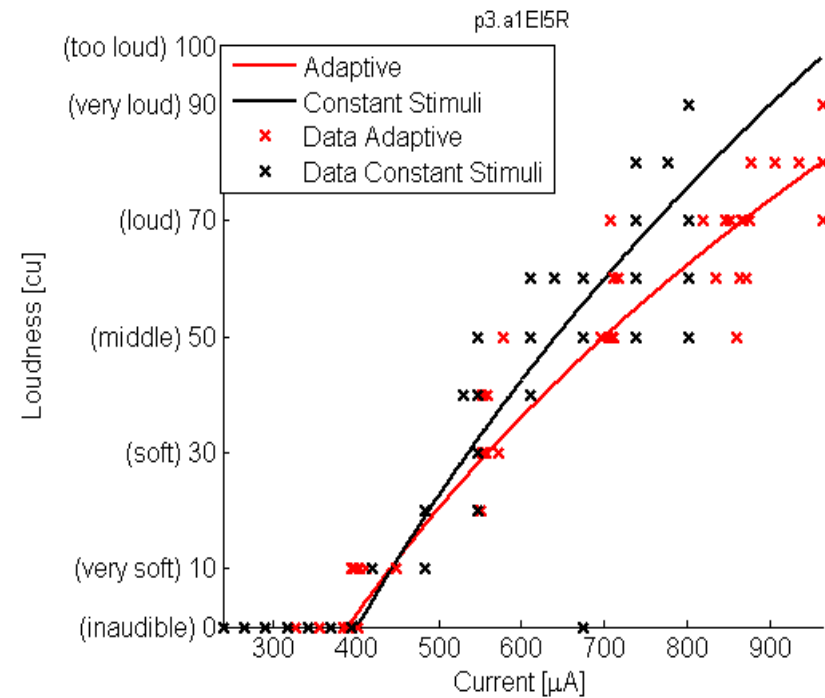
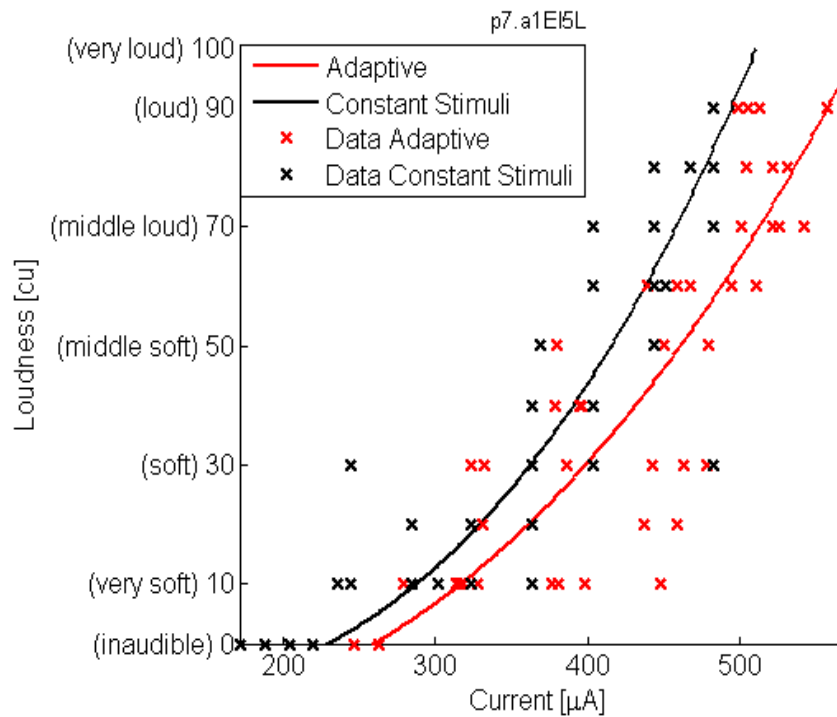
Konvergenz: Resultate

- **Monaurale „Constant Stimuli“-Prozedur:** **80 % konvergent**
 - 30% konvergent (Median: 18)
 - 40% unter der Schwelle von Anfang an
 - 15% monoton steigend (Testdauer zu kurz)
 - 5% zu grosse Steigung im Endbereich (Testdauer zu kurz)

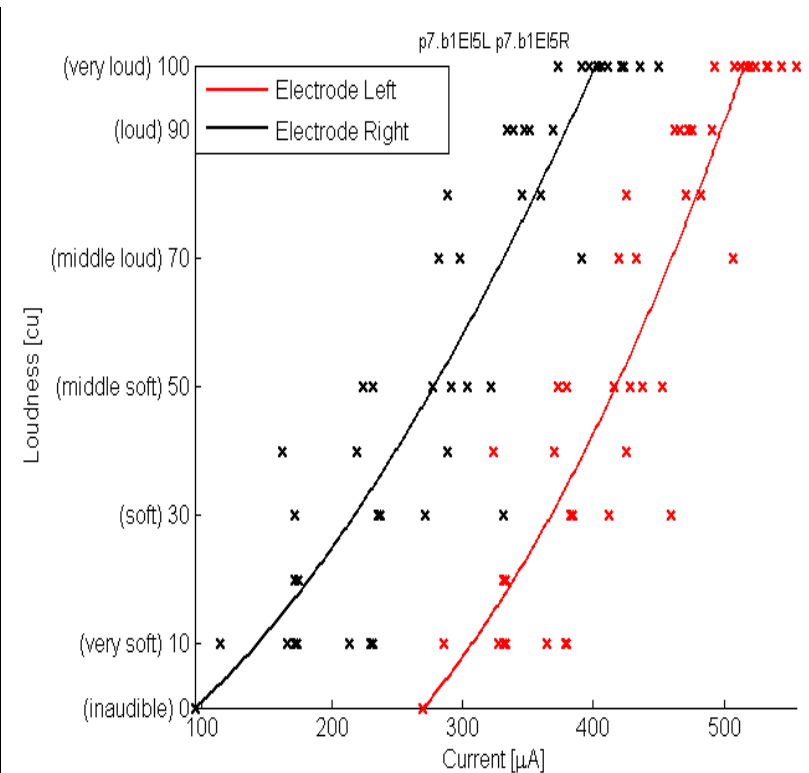
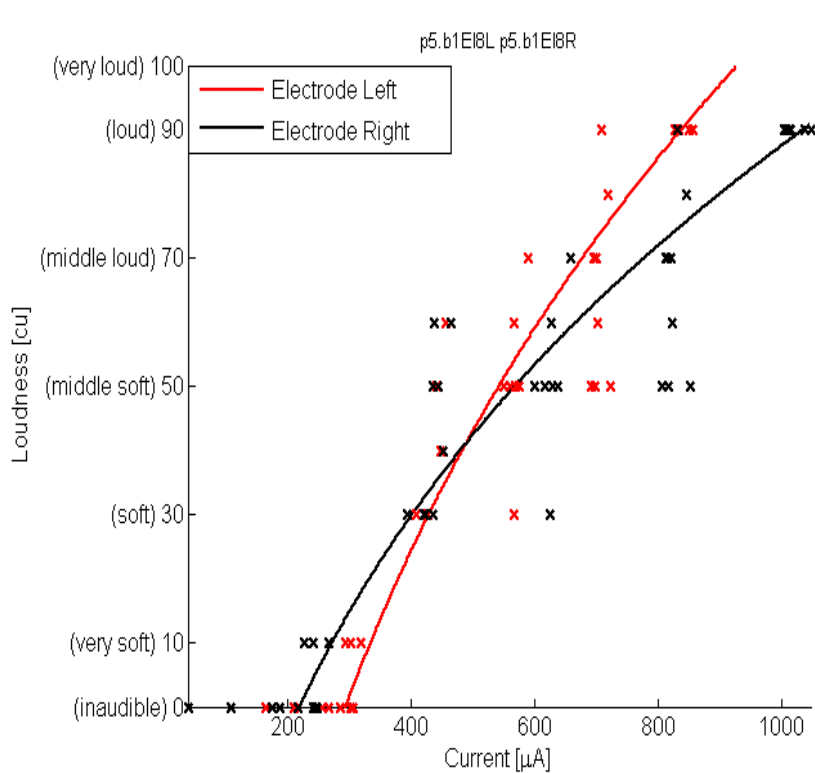
- **Monaurale adaptive Prozedur:** **90 % konvergent**
 - 50% konvergent (Median: 21)
 - 40% unter der Schwelle von Anfang an
 - 10% monoton Steigend (Testdauer zu kurz)

- **Binaurale adaptive Prozedur:** **90 % konvergent**
 - 75% konvergent (Median: 27)
 - 12.5% unter der Schwelle von Anfang an
 - 12.5% monoton Steigend (Testdauer zu kurz)

Monaurale Lautheitsfunktionen



Binaurale Lautheitsfunktionen



Schlussfolgerungen

- Die adaptive Prozedur hat eine bessere Verteilung der Stimuli aufgrund der ständigen Neuberechnung und Anpassung an die Daten
- Die adaptive und die „Constant Stimuli“-Prozedur haben ein sehr ähnliches Konvergenzverhalten
- Die modifizierte Modellfunktion hat folgende Vorteile:
 - Schnittpunkt mit dem Wert der Lautheit „Unhörbar“
 - Bessere Repräsentation der Daten im niedrigen Lautheitsbereich
 - Repräsentiert die hohen Lautheitsbereiche gleich gut wie die nicht modifizierte Potenzfunktion
- Die Konvergenzkriterien sind auf alle Datensätze der drei Prozeduren anwendbar und eindeutig
- Bis zu 90% der Lautheitsfunktionen sind nach 45 Trials konvergent