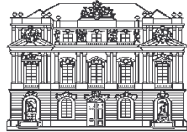


ARI



---

**Acoustics Research Institute  
Austrian Academy of Sciences**

---

## **Wahrnehmung interauraler Zeitdifferenzen bei Cochlea Implantat-Trägern: Einfluss von Signal-Feinstruktur und -Onset/Offset**

B. Laback, P. Majdak  
*Institut für Schallforschung*

W. D. Baumgartner  
*AKH Wien, HNO-Abtlg.*





# ITD-Sensitivität von Cochlea Implantat (CI) Trägern

## Ø ITD in elektrische Pulsketten

### Lateralisations-Diskrimination

≈ **1000 µs** (van Hoesel et al., 1997)

≈ **200-400 µs** (Lawson et al., 1998)

≈ **400 µs** (van Hoesel et al., 2002)

≈ **100-250 µs** (for low pulse rates) and

**nicht messbar bei** 800 Pulsen/Sekunde (pps) (van Hoesel and Tyler, 2003)

### Lateralisations-Position

konsistente Lateralisation für ITD von **300 µs** (Long, 2003)

## Ø ITD in akustischen Pulsketten (via *Auxiliary Inputs* der CI Prozessoren)

### Lateralisations-Diskrimination

- Minimum: **50 µs** (Lawson et al., 2001)

- **200-1000 µs** (Laback et al., 2002, Ear & Hearing 2004)





# Zusammenschau

## Ergebnisse bisheriger Studien

Ø meist deutlich höhere JNDs als bei Normalhörenden (NH)

Ø ... und deutlich höhere inter-individuelle Variabilität

Ø starker Anstieg der JNDs bei Pulsraten  $> 200$  pps (van Hoesel et al., 2003)

## ITD-Übertragung bei klinischen Prozessoren

Ø durch zufällige Phasenlage der Pulse an beiden Ohren entsteht unkontrollierte ITD in der Signal-Feinstruktur

## Offene Frage

Ø Sind CI Träger in der Lage, ITD in der Feinstruktur auszuwerten?

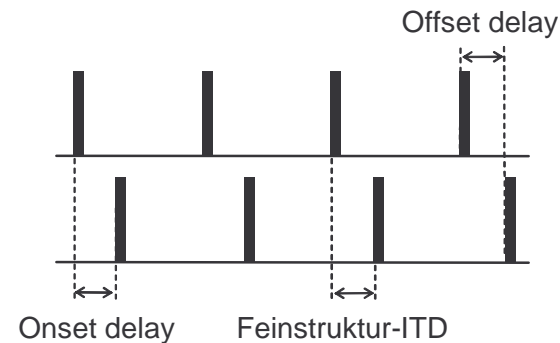
⊕ Bisher kein direkter experimenteller Beweis





# Problemstellung

## Potentielle ITD-Cues bei unmodulierten Pulsketten



### Ziele der Studie

- Ø Relative Gewichtung von ITD in Feinstruktur (*Fine Structure Delay, FSD*) und ITD in Onset+Offset (*Gating Delay, GD*)
- Ø ... in Abhängigkeit von der Pulsrate
- Ø Vergleich mit Simulation der CI-Stimulation bei Normalhörenden
- Ø Modellierung der Ergebnisse mittels psychoakustischem Modell
- Ø Optimierte ITD-Übertragung in zukünftigen CI-Prozessoren





# Experimentelles Design I

## Stimulus:

- Folge von 4 Pulsen
- Motivation: relative Gewichtung von FSD und GD abhängig von Pulsanzahl  $\approx$  gleiche Anzahl von FSD und GD Pulsen

## elektrisch

an einem Elektrodenpaar (interaural tonhöhen- und lautheitsausgeglichen)

## akustisch

Ø Pulse gefiltert im Frequenzbereich 3900-5400 Hz

Ø Hintergrundrauschen (-3 dB/Okt) im Frequenzbereich 50-10050 Hz

Ø Vermeidung von *Off-frequency-listening*

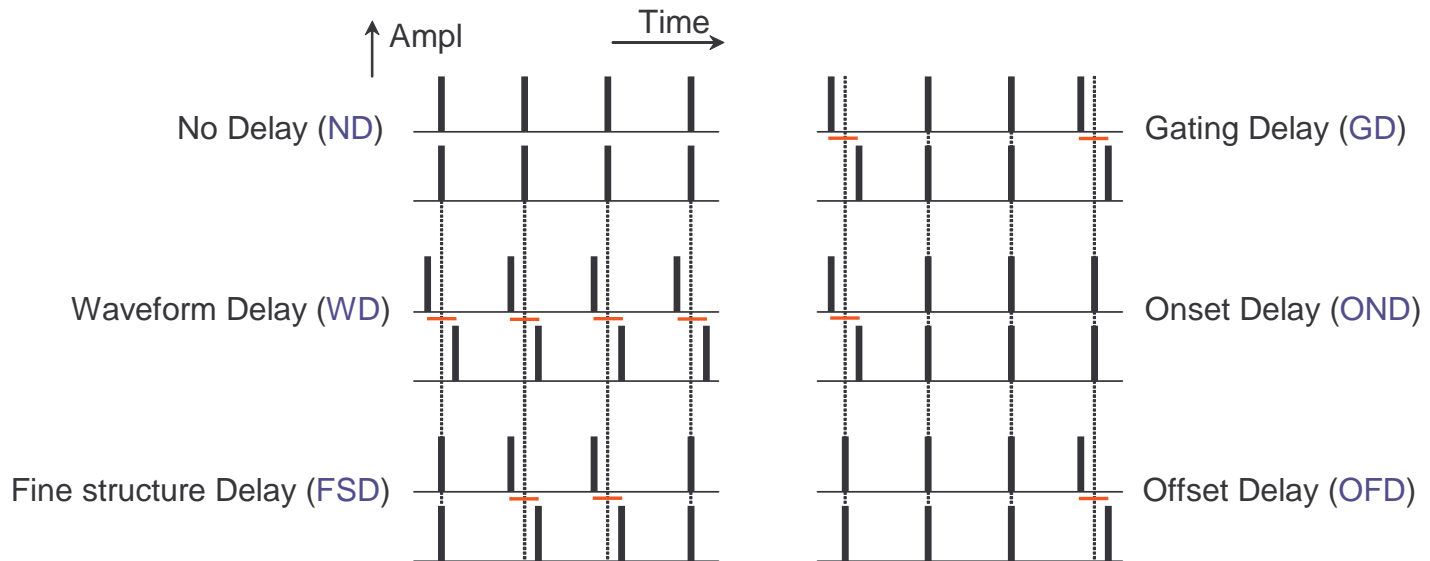
Ø interindividuell konstanter Hörpegel





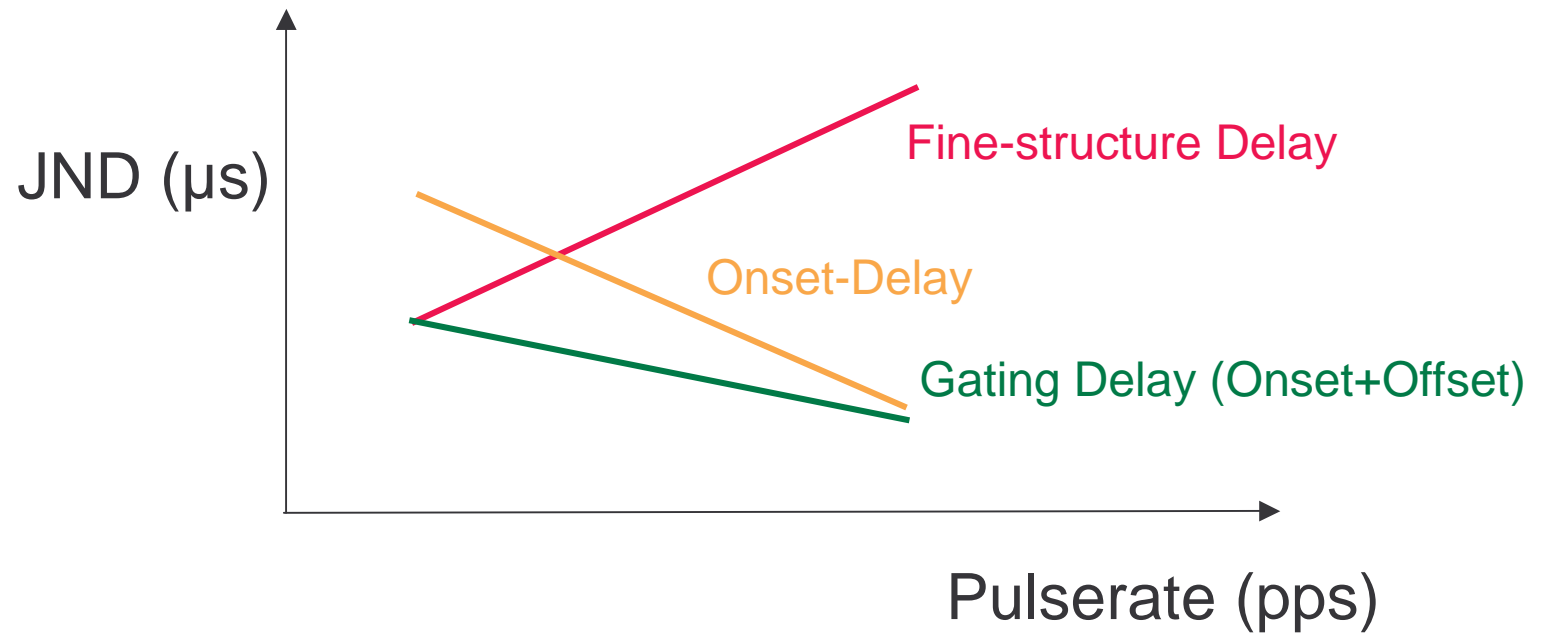
# Experimentelles Design II

## ITD-Bedingungen





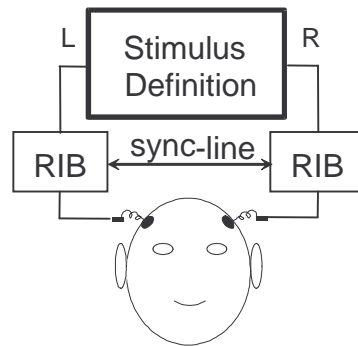
# Erwartung





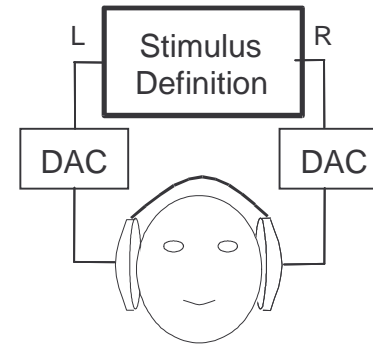
# Experimentelles Design III

Direkte elektrische  
Stimulation



CI Träger

akustische Simulation der  
elektrischen Stimulation



Normalhörender







# Experimentelles Design IV

## Lateralisationsdiskrimination

Ø *Method of Constant Stimuli*

Ø 2AFC

Ø mit Antwort-Feedback

## monaurales Experiment

Verifikation, dass keine monauralen Cues zur Diskrimination verwendet werden (z.B. Periodizitäts-Tonhöhe od. Klangfarbe)

Ø *Detection Task* (3AFC, “oddity task”)

Ø alle ITD Bedingungen ausser Waveform Delay (WD)

Ø mit Antwort-Feedback





## Versuchspersonen (Stand: September 2004)

---

### 5 Cochlea Implantat Träger

Ø *Med-El Combi40/40+* implant systems

Ø postlingual ertaubt

### 4 normalhörende Versuchspersonen

Ø keine Hinweise auf Hörstörungen





## *Ergebnisse: Monaurales Experiment*

CI-Träger und Normalhörende:

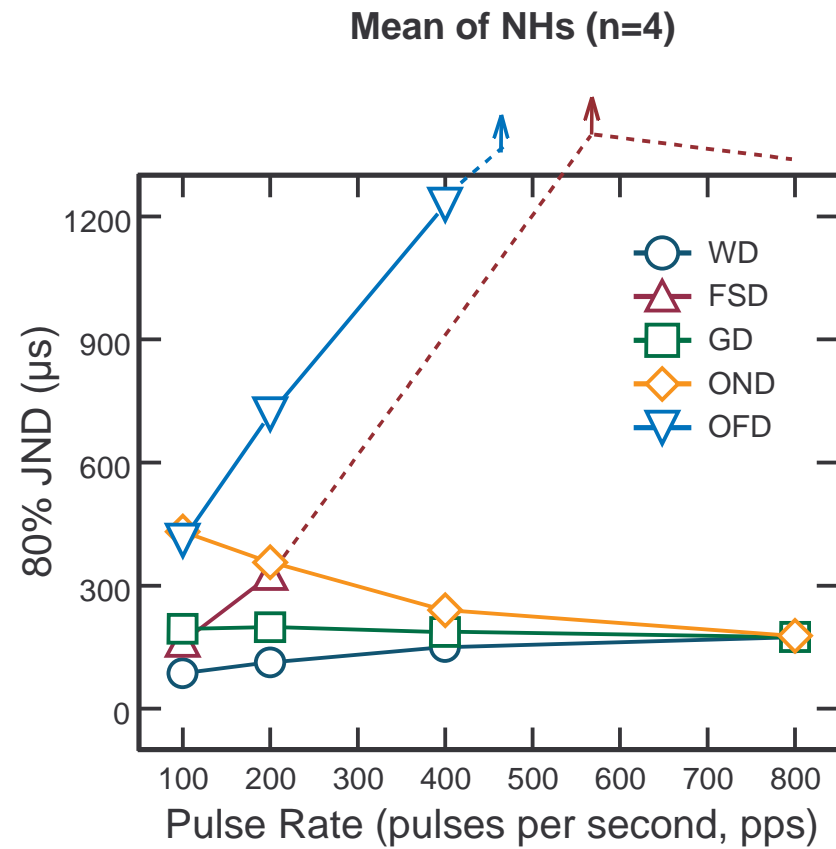
Diskriminationsrate im Bereich der Ratewahrscheinlichkeit

- ⊕ **monaurale Information (Periodizitätstonhöhe oder Klangfarbe) wird NICHT ausgewertet !!!**





## Mittlere JNDs von NHs (n=4)





# Varianzanalyse (ANOVA) für JNDs der NHs

## 2-faktorielle ANOVA

n=4; abhängige Variable = JND

### Faktoren

ITD-Typ:  $p < 0.0001$

Pulsrate:  $p < 0.0001$

### Interaktion zw. Faktoren

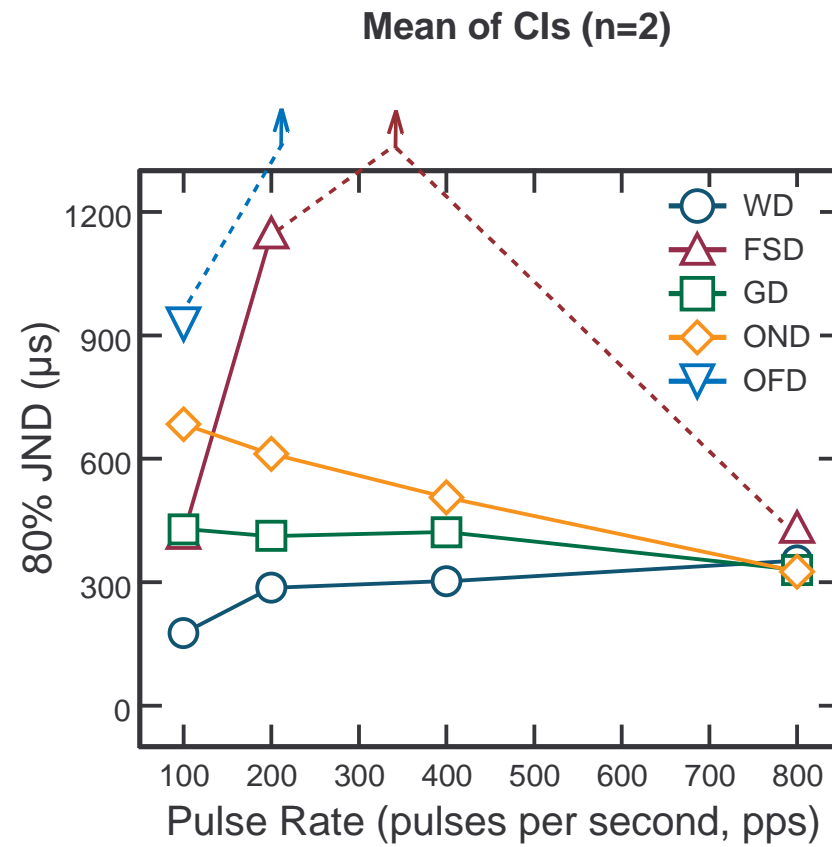
ITD-Typ / Pulsrate:  $p < 0.0001$

⊘ verursacht durch Anstieg von FSD und Abfall von GD mit steigender Pulsrate



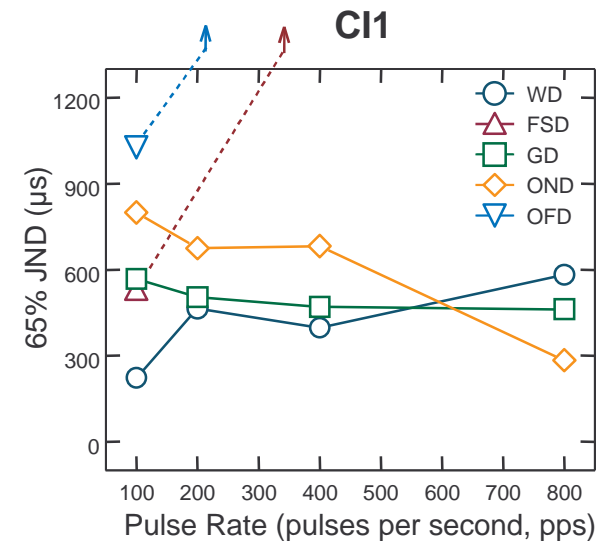
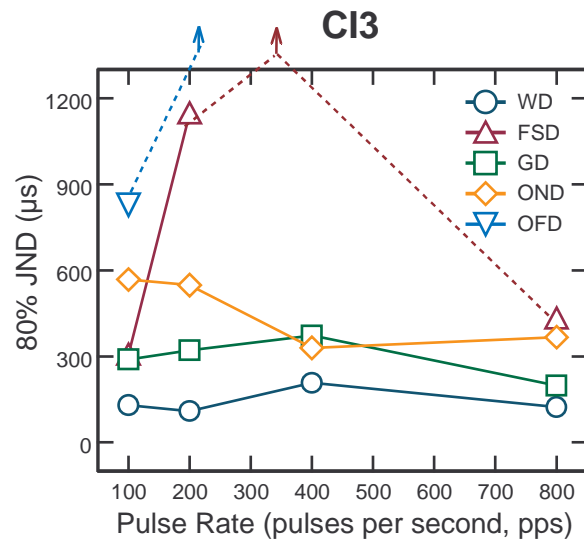


## Mittlere JNDs von CIs (n=2)





# Individuelle JNDs der CI-Träger



Statist. signifikante Unterschiede zw. individuellen psychometr. Funktionen (Bootstrapping-Methode)

$$FSD_{100} < FSD_{200} \quad (CI3) \quad p < 0.01$$

$$OND_{100} > OND_{400/800} \quad (CI3 \text{ und } CI1) \quad p < 0.05$$





## *Interindividuelle Unterschiede bei CI-Trägern*

### **3 von 5 bisher getesteten CI-Trägern**

∅ teilweise gute Performance bei isolierter Darbietung von Waveform-ITD

∅ aber: niedrige und instabile Performance bei Randomisierung mit anderen ITD-Typen

⊆ statistisch signifikante Unterschiede zwischen Testbedingungen nur aufwendig messbar

∅ Performance bei randomisierter Darbietung = Entscheidungskriterium für weitere Tests

∅ möglicher Grund (spekulativ): mangelnde Erfahrung mit Feinstruktur-ITD, da diese von klinischen Prozessoren unkontrolliert übertragen wird







## Modellierung der Daten

### Ziele

∅ Vorhersage der Lateralisationdiskrimination für beliebige Signalbedingungen

- ⊕ Erleichterung der Entwicklung von Strategien zur verbesserten Übertragung von ITD

∅ besseres Verständnis der ITD-basierenden Lateralisation bei elektrischer Stimulation

### Anforderungen an das Modell

∅ Parameteroptimierung mittels experimenteller Daten

∅ JND-Vorhersage für beliebiges Eingangssignal

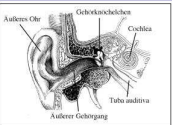
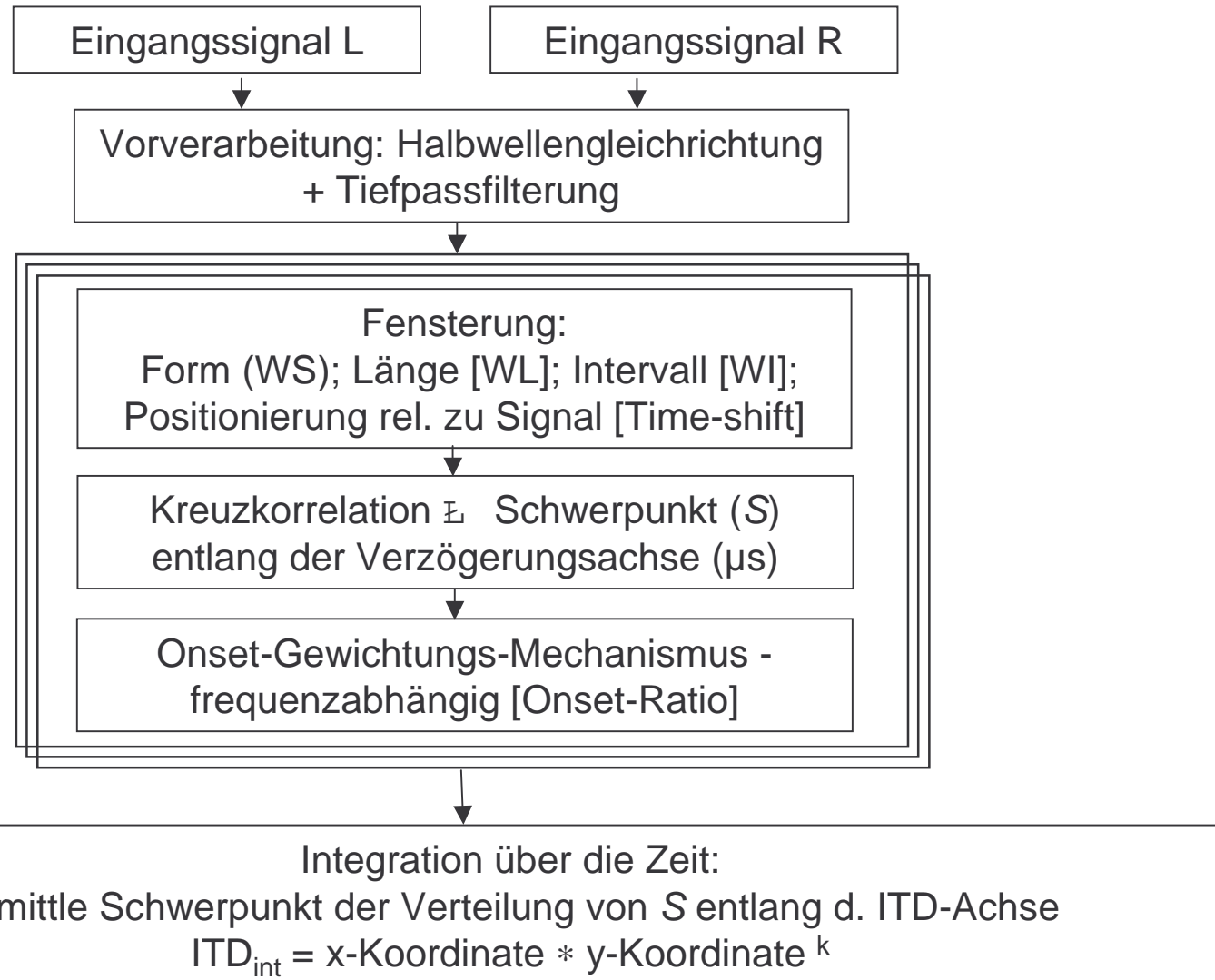
∅ zeitlich variable ITDs (dichotische + diotische Pulse)

∅ zeitliche Integration von ITD-Information





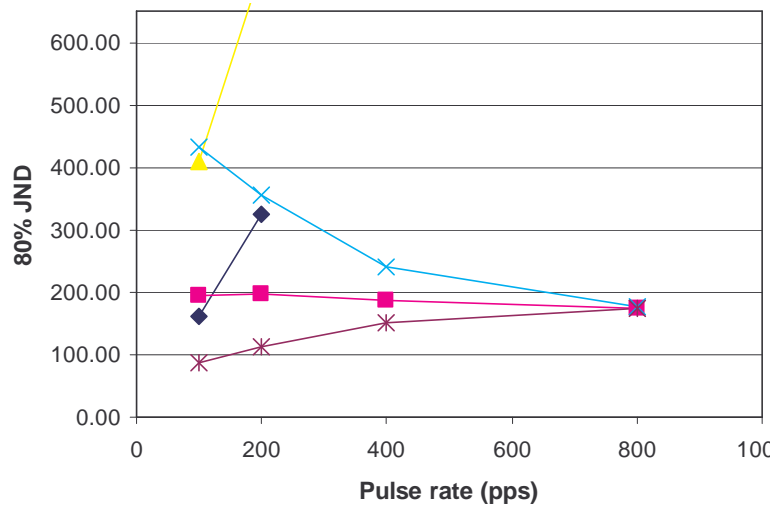
# Modellstruktur



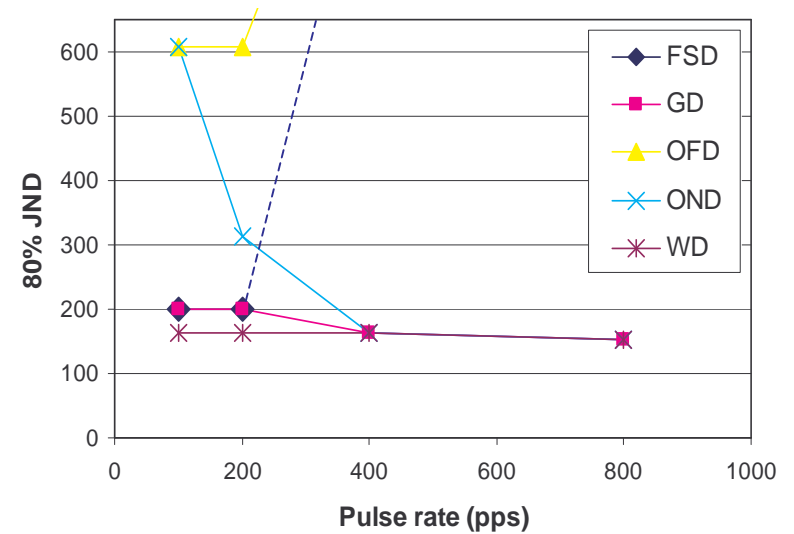


# Vergleich experim. und simulierte Daten

Observed data for NHs; (n=4)



Model prediction



## Parameters

WL=0.00125 ms;

Shift=0.4 ms

Onset-Ratio=4.6

k=0.5





## Ergebnisse

- Ø Sehr gute Übereinstimmung der JNDs von CI-Trägern und normalhörenden Versuchspersonen (akustische CI-Simulationen)
- Ø CI Träger lateralisieren mittels Feinstruktur-ITD
- Ø Bei niedriger Pulsrate (100 pps) ca. gleiche relative Gewichtung von Feinstruktur ITD und Gating ITD;
- Ø mit steigender Pulsrate Abnahme der Sensitivität für Feinstruktur-ITD
- Ø ... und Zunahme der Sensitivität für Onset-ITD
- Ø Offset-ITD weit weniger wichtig als Onset-ITD (bei Pulsraten > 100 pps)





# Abhängigkeit der JNDs von der Stimulusdauer (zeitliche Integration)

## Motivation

4 Puls-Stimuli sind kurz im Vergleich zu realistischen Signalen

⊠ erfordert experimentelle Überprüfung der Anwendbarkeit der Ergebnisse bei längeren Signaldauern





# Experimentelles Design

## Stimulus

Sequenz von 4, 8, 16, 24, 32 oder 40 Pulsen.  
Signalbedingungen wie in Experiment 1

## ITD-Bedingungen

- Fine-Struktur-ITD (FSD)
- Onset+Offset-ITD (GD)
- Onset-ITD (OND)

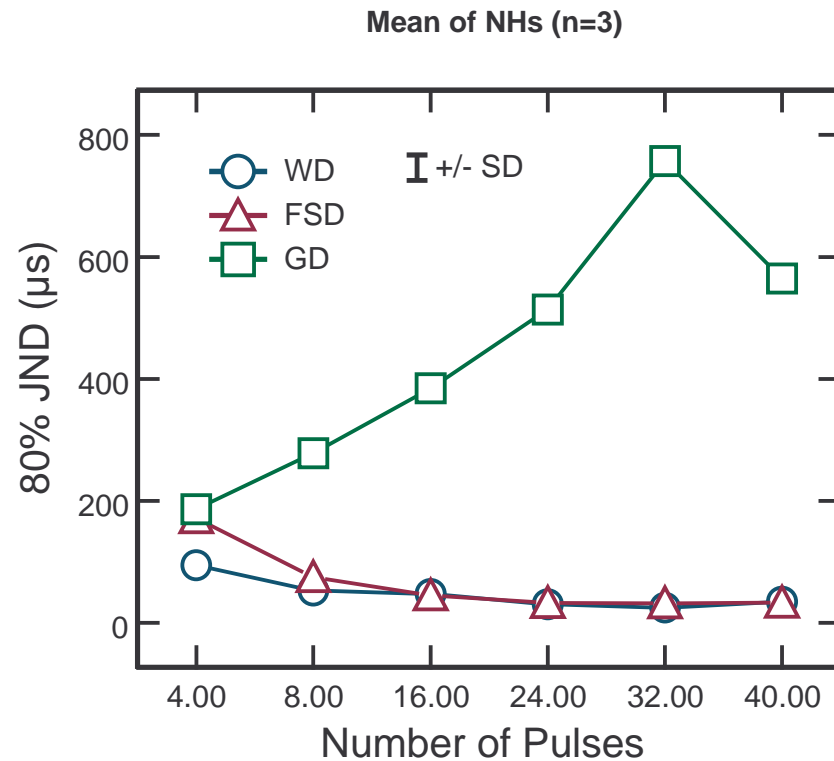
## Design

Gleiche Methode und Versuchspersonen wie in Experiment 1





## Ergebnisse: JNDs von Normalhörenden (n=3)



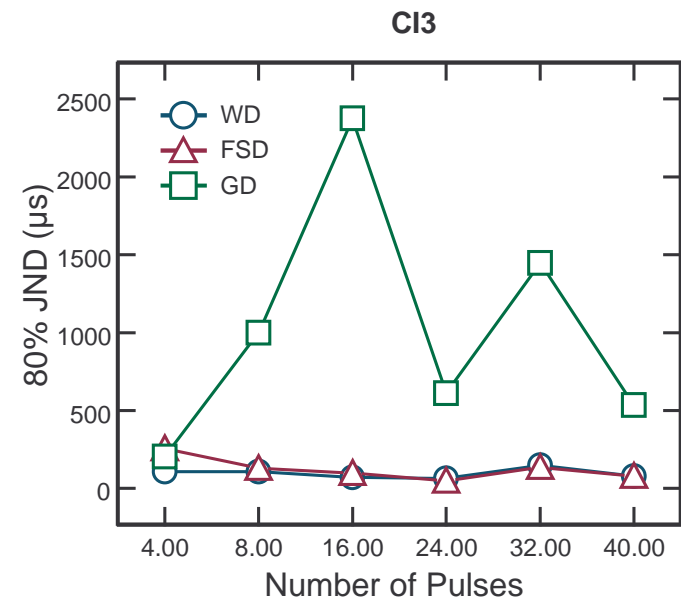
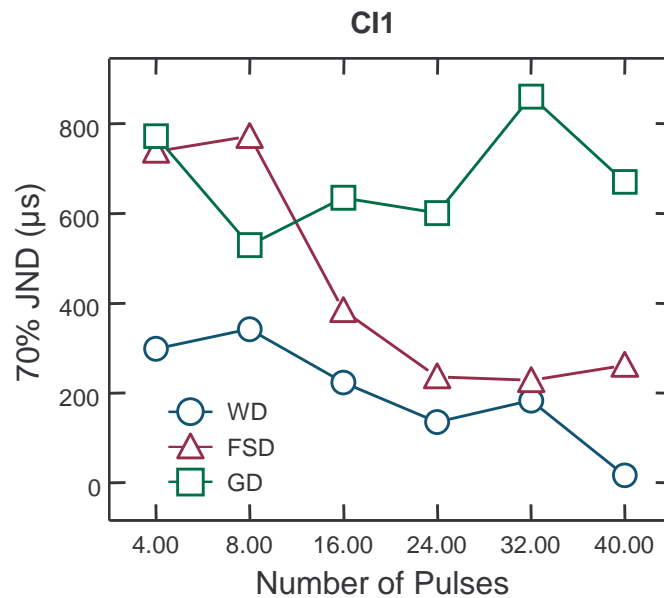
zeitl. Integration für Feinstruktur-ITD

| VP             | Faktor | p-Wert (ANOVA) |
|----------------|--------|----------------|
| NHs mean (n=3) | 5.2    | 0.00001        |





# Ergebnisse: JNDs von CI-Trägern



## zeitl. Integration für Feinstruktur-ITD

| VP  | Faktor | p-Wert (Bootstrapping) |
|-----|--------|------------------------|
| CI1 | 3.1    | 0.01                   |
| CI3 | 2.6    | 0.03                   |







## Folgerungen

Ø Feinstruktur wichtig für ITD-Lateralisation und sollte von Stimulationsstrategien kodiert werden

Ø bei niedriger Pulsrate (100 pps) stärkster Einfluss der Feinstruktur  
⊕ Übertragung bei apikalen Elektroden mit niedrigen Pulsraten (wesentlich niedrigere Rate als bei gängigen Stimulationsstrategien)

Ø Bei Signaldauern > 80-160 ms (100 pps):  
Fine Structure Delay  $\cong$  Waveform Delay

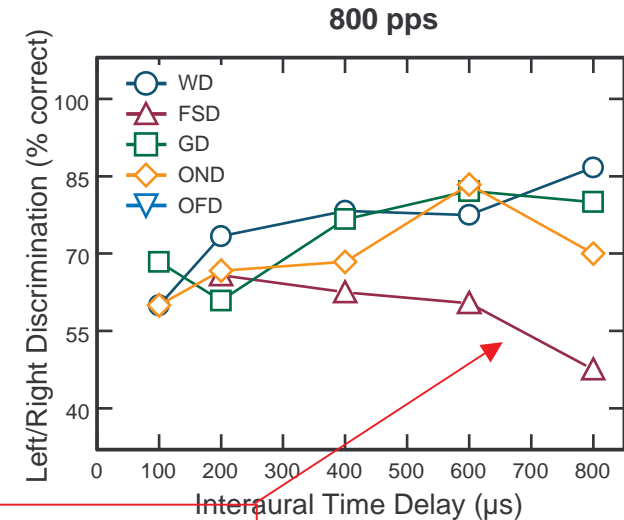
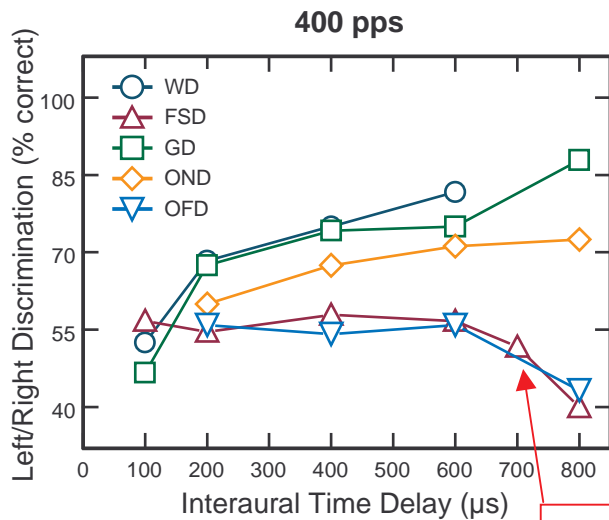
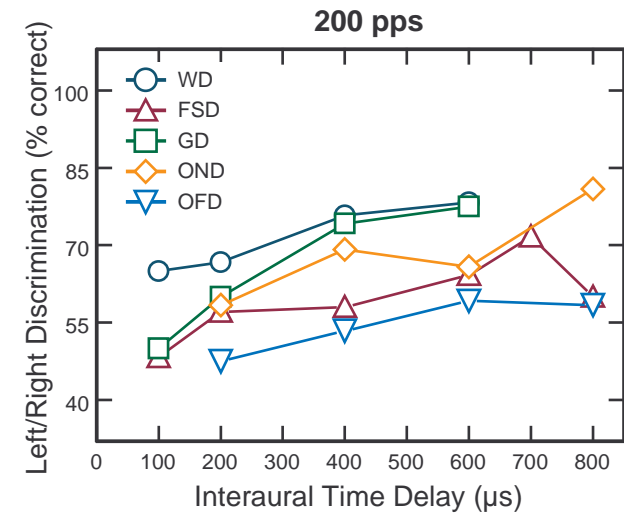
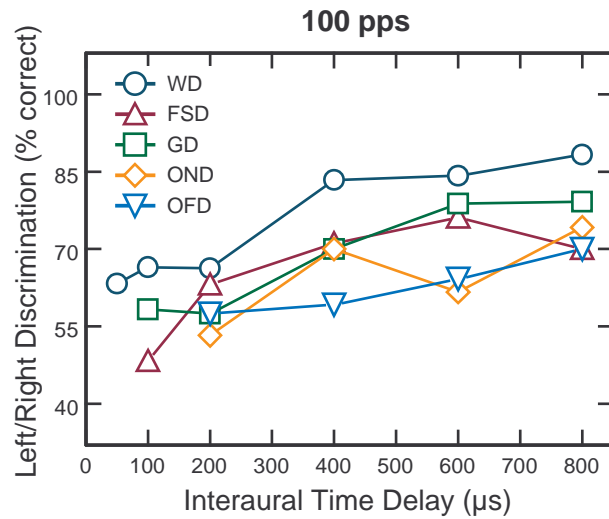
Ø Gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse für CIs und NHs  
⊕ akustische Simulationen bei NHs Tests können Tests mit CI-Trägern ersetzen

Ø Hypothese zur geringen Sensitivität eines Teils der CI-Träger:  
„CI Träger „verlernen“ die Sensitivität für Feinstruktur-ITD, da klinische Prozessoren nur Hüllkurven-ITD übertragen“





# Psychometrische Funktionen: Mittel über CI-Träger (n=2)

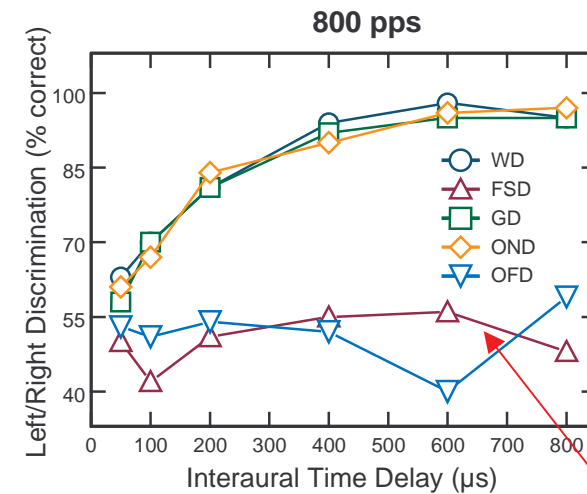
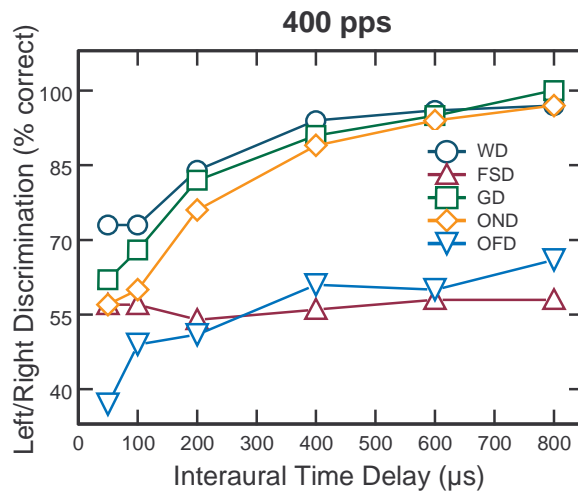
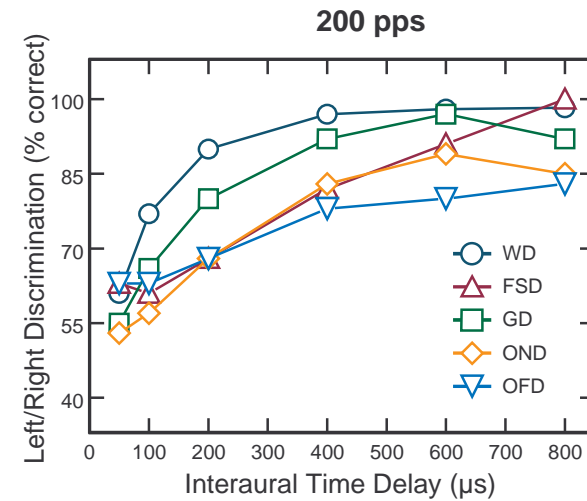
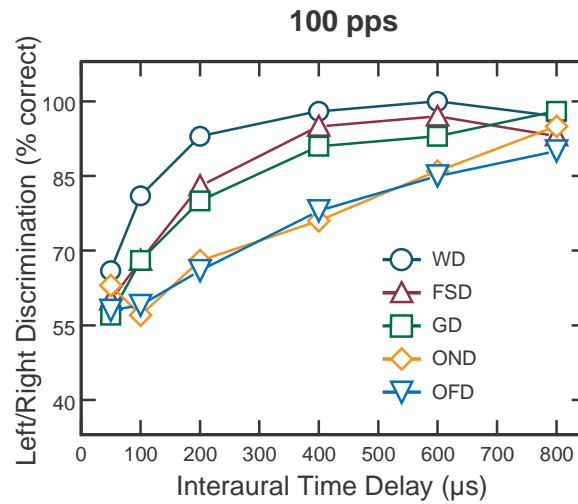


Ambiguität in Bezug auf das führende Signal, wenn ITD  $\geq$  Pulsabstand





# Psychometrische Funktionen: Mittel über Normalhörende ( $n=4$ )



Ambiguität in Bezug auf das führende Signal, wenn ITD  $\geq$  Pulsabstand