

# Aktuelle Forschung zum Cochlea-Implantat Bimodales Hören

**Max Engler**

Cochlear Implant Center CICERO, HNO-Klinik, Universitätsklinikum Erlangen



Hals-Nasen-Ohren-Klinik  
Kopf- und Halschirurgie

**CICERO**

Cochlear-Implant-Centrum Erlangen

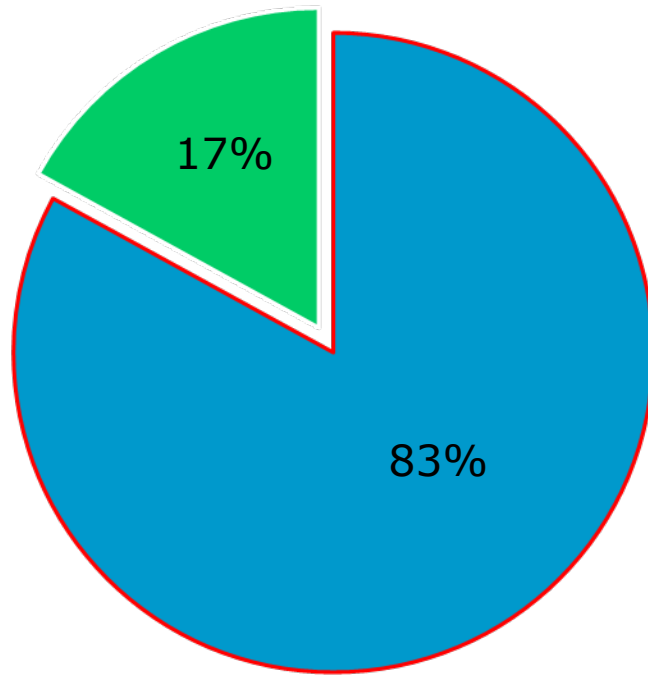
**Universitätsklinikum  
Erlangen**



# Einführung

- 2334 CI-Implantationen seit 2004
- 1777 Menschen mit 1 oder 2 CIs versorgt
- 1415 Erwachsene (80%)

- 362 Kinder (20%)

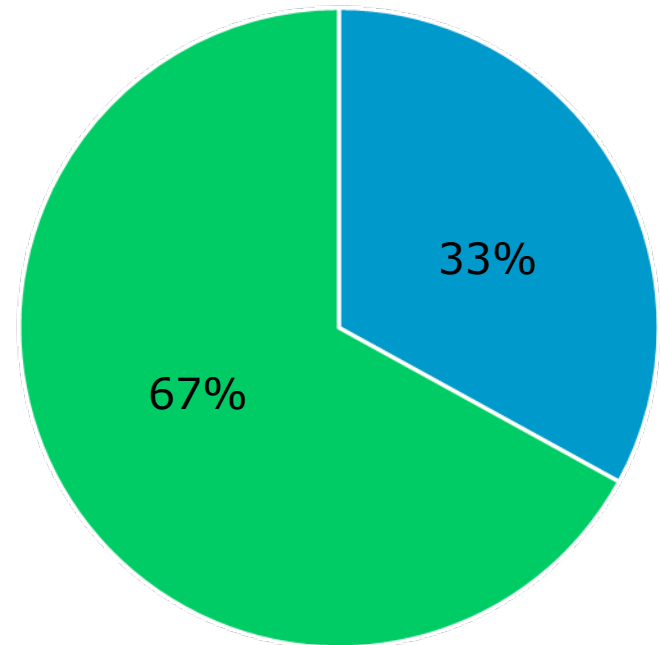


■ Unilateral ■ Bilatereal

10% einseitig taub  
(SSD, Single-Sided  
Deafness)

70% bimodal  
(CI + HG)

20% unversorgt mit  
Hörverlust  
(UV)



■ Unilateral ■ Bilatereal

# Bimodales Hören

## Bimodaler Gewinn

- Besseres Sprachverstehen für CI-Träger, wenn ein zusätzliches HG kontralateral getragen wird



Bimodaler CI-Träger:  
Hier: HG links, CI rechts

# Binaurale Effekte

- **Summationseffekt:**

Ergebnis der Lautstärkeerhöhung von einem auf zwei Ohren

- **Squelch-Effekt:**

Fähigkeit, Hintergrundgeräusche zu unterdrücken, um die Konzentration auf relevante Geräusche zu verbessern

- **Kopfschatteneffekt:**

Dämpfung des Schalldrucks durch den Kopf

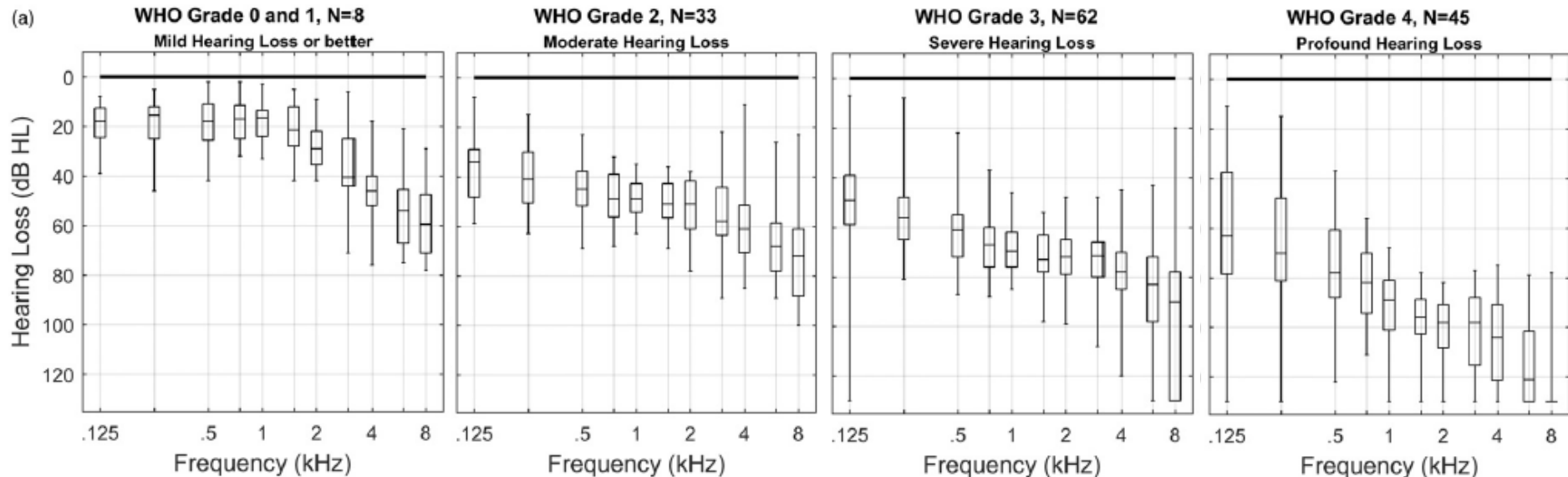
# Bimodaler Gewinn (Hoppe et al., 2018)

## ■ Ziel:

1. Bimodales Sprachverstehen in Ruhe und im Störgeräusch
2. Einfluss der Hörschwelle (HG-Ohr) auf bimodales Sprachverstehen

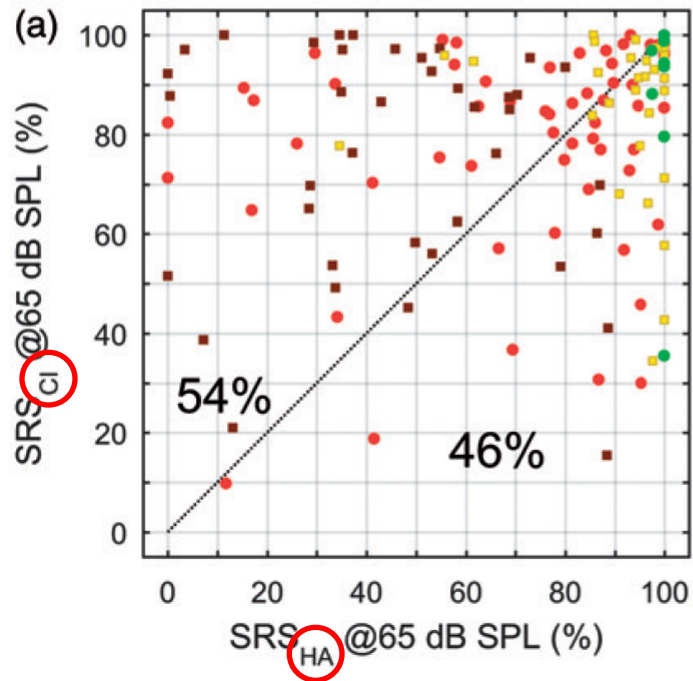
## ■ 148 erwachsene bimodal versorgte Patienten

- 8x WHO1, 33x WHO2, 62x WHO 3, 45x WHO 4 auf HG-Ohr
- Postlingual ertaubt

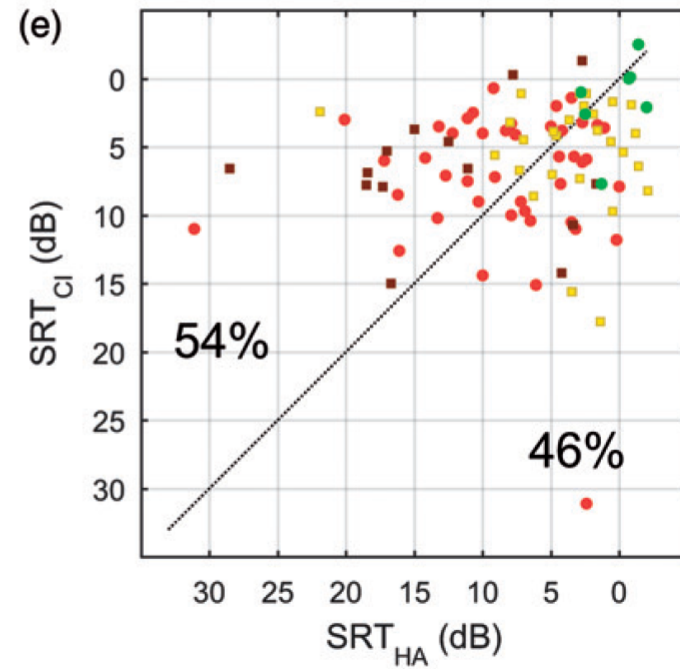


# CI vs. Hörgerät

## Sentences in Quiet

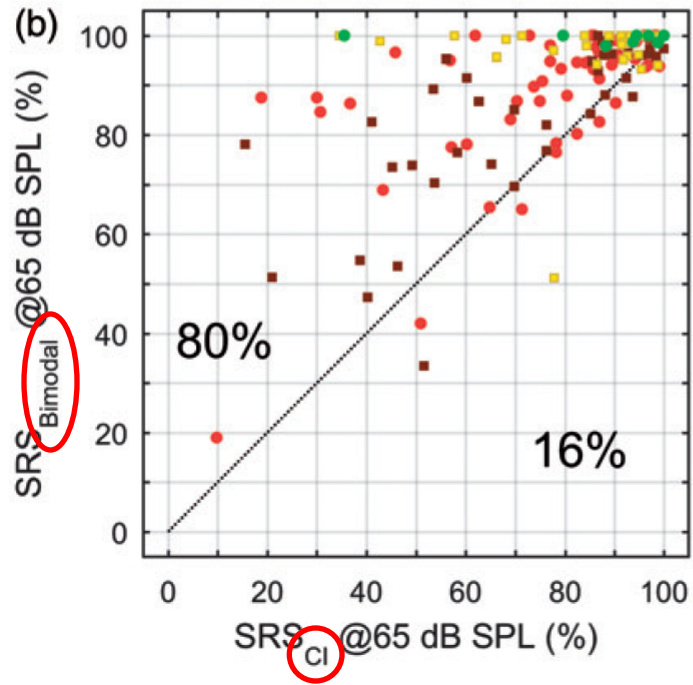


## Sentences in Noise

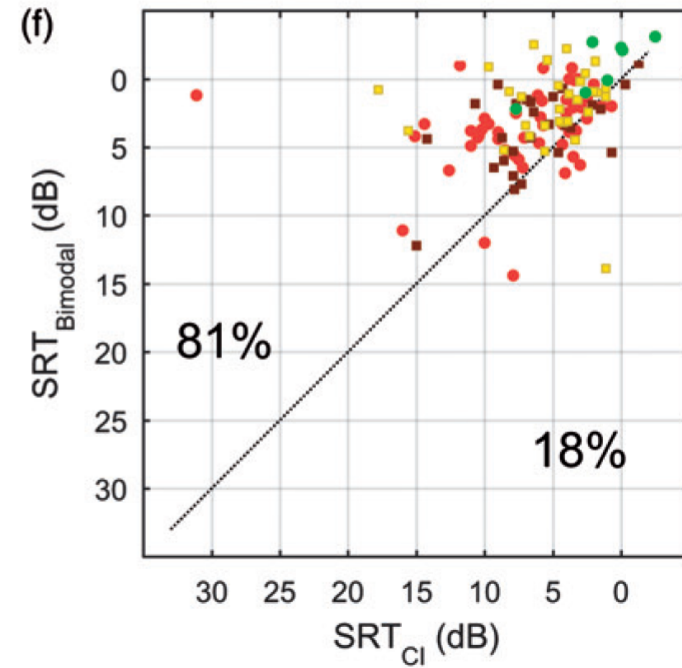


# Bimodal vs. CI

## Sentences in Quiet

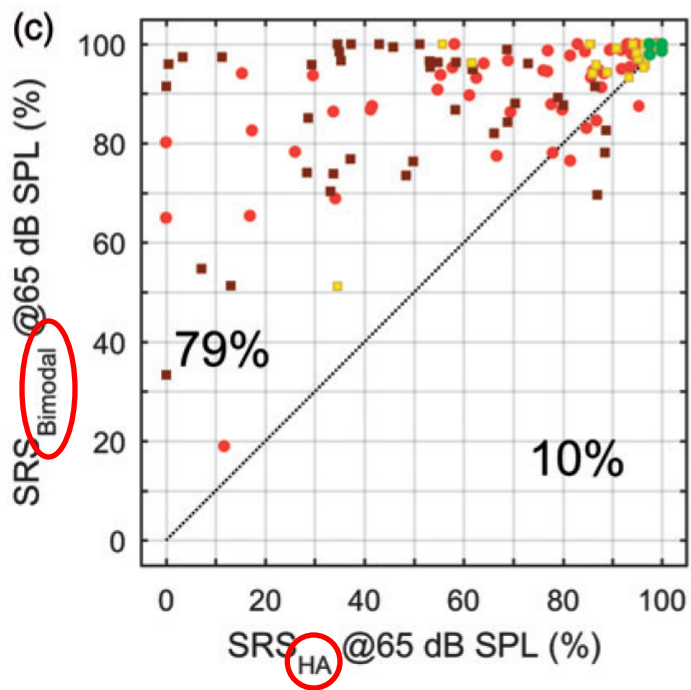


## Sentences in Noise

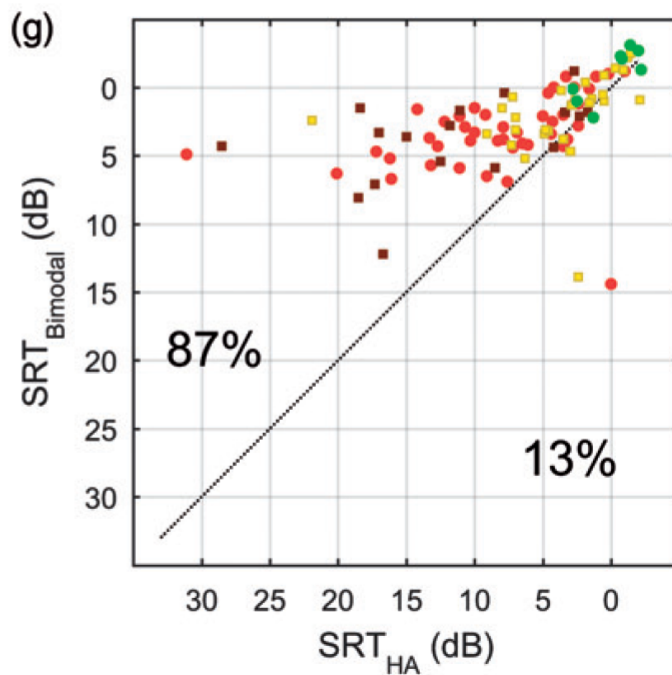


# Bimodal vs. HG

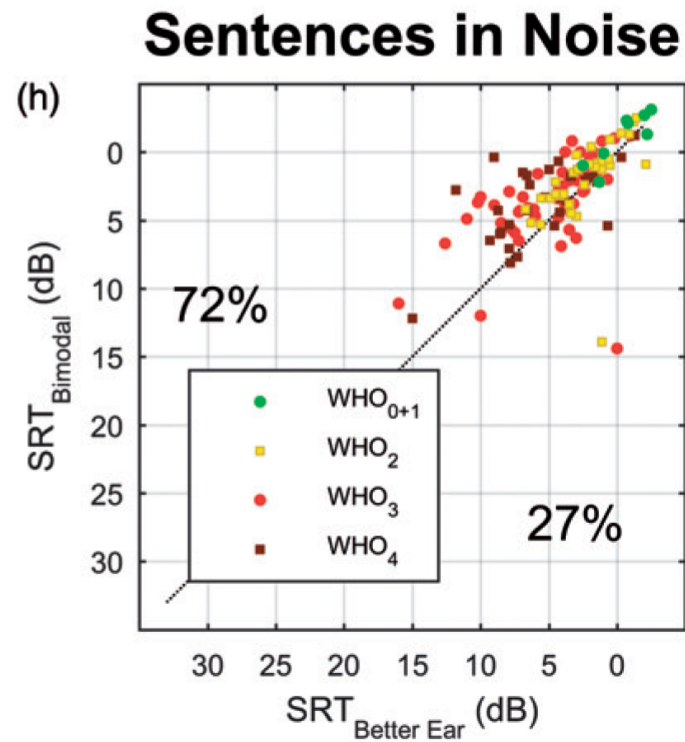
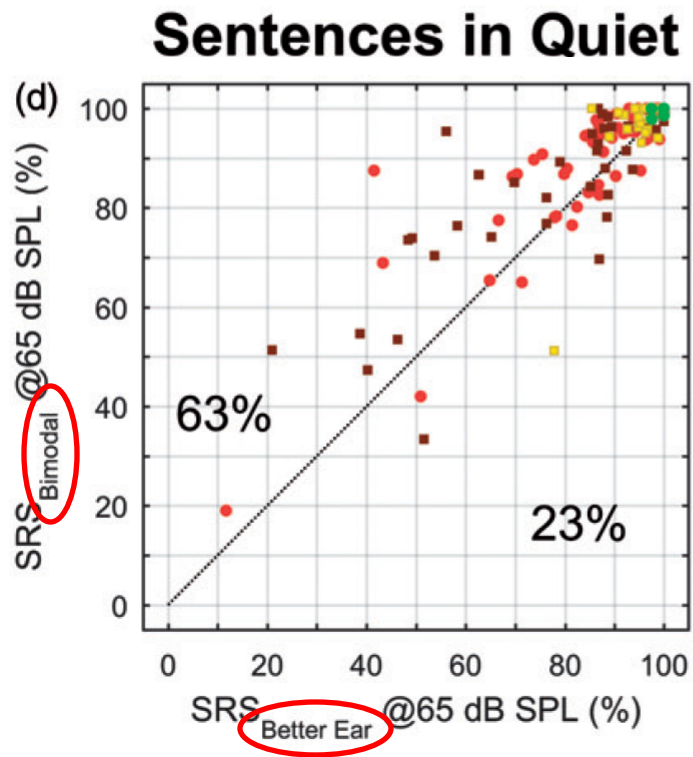
## Sentences in Quiet



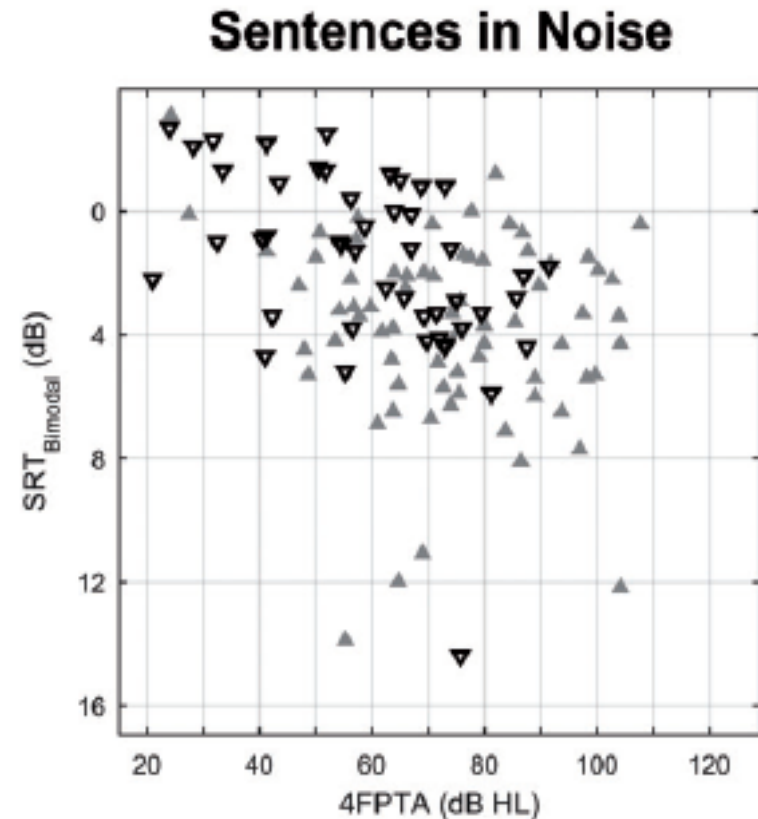
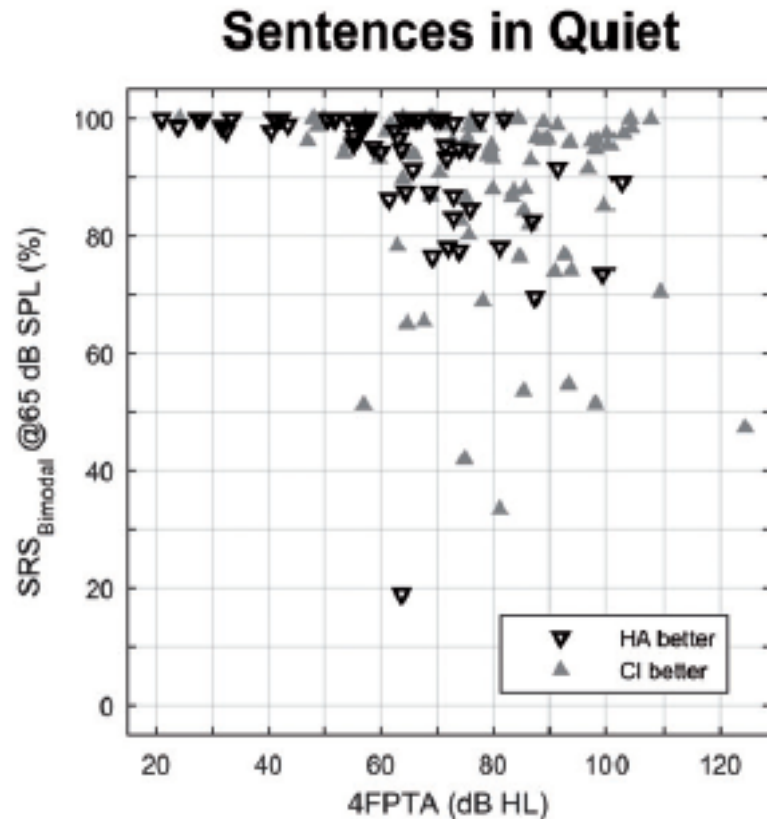
## Sentences in Noise



# Bimodal vs. besseres Ohr



# Bimodales Sprachverstehen in Abhängigkeit vom Hörverlust



- Bimodales Sprachverstehen besser bei niedrigen Hörschwellen auf HG-Seite
- Bimodales Sprachverstehen besser, wenn  $SV(HG) \gg SV(CI)$

# Zusammenfassung

- Bimodales Hören in Ruhe und im Störgeräusch besser als unilaterales Hören
  - Bimodaler Gewinn bei 79-80% (HG oder CI)
  - Ruhe: 10-20%-Punkte Verbesserung
  - Störgeräusch: 2-3dB Verbesserung
  
- Der „wahre“ bimodale Gewinn sollte unter Berücksichtigung des besseren Ohres bestimmt werden
  - Bimodaler Gewinn bei 63-72% (besseres Ohr)
  - Ruhe: 5-10%-Punkte Verbesserung
  - Störgeräusch: 1-2dB Verbesserung
  
- Große Variabilität des Bimodalen Gewinns
  - Stark von Hörschwelle auf dem HG-Ohr abhängig

# Bedeutung der HörgeräteEinstellung bei bimodaler Versorgung

- **Klinische Praxis:** (USA, Siburt & Holmes, 2015):

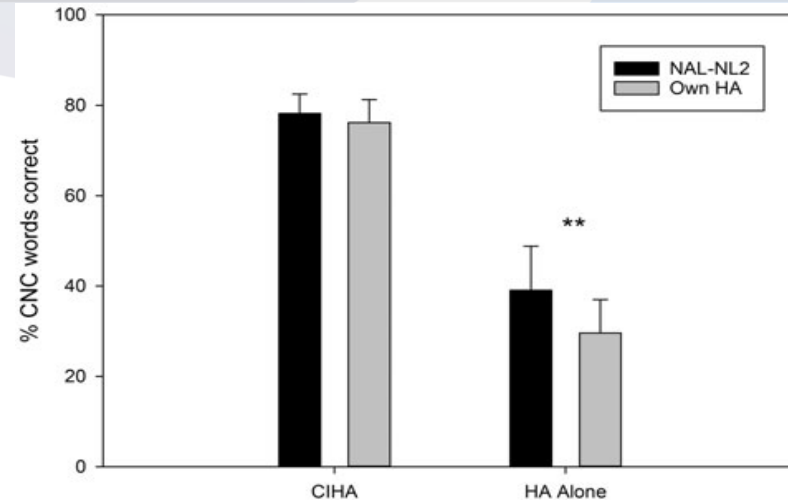
- 10% kein HG Refitting nach CI
- 24% NAL, 14% DSL, 16% Hersteller, 46% anderes

- **Bisher:**

- Bimodaler Gewinn im Vergleich zum CI/HG und besseren Ohr
- Keine signifikante Verbesserung des bimodalen Gewinns durch HG-Refitting (NAL-NL2)

- **Ziel dieser Studie (Digeser et al., 2019):**

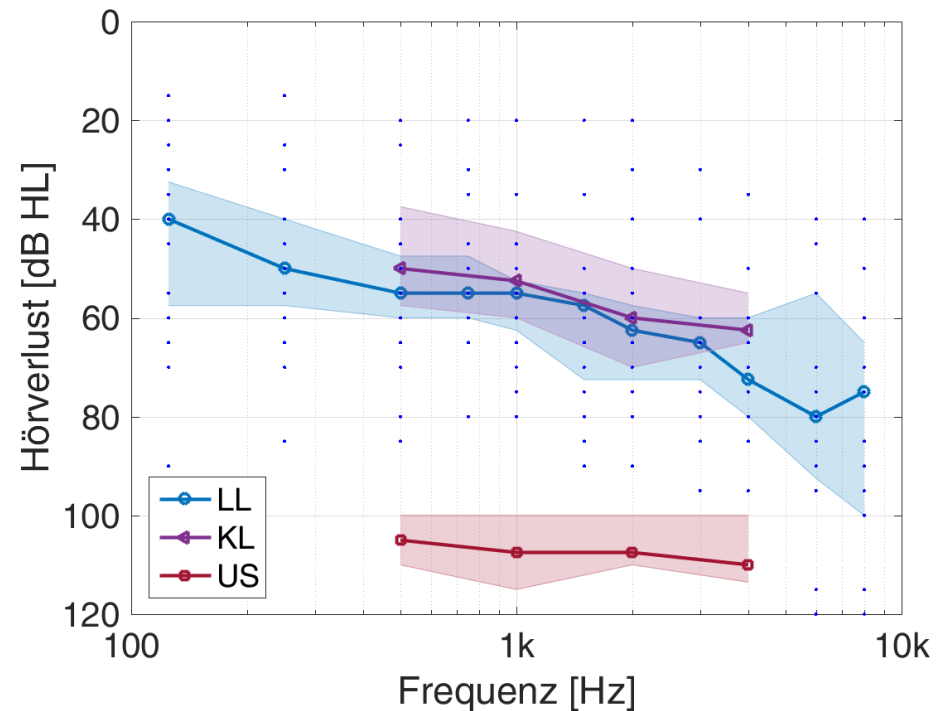
- Bimodaler Gewinn für 3 Fittings: eigene HG-Einstellung (OWN), NAL-NL2 und DSL v5.0



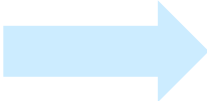
(English et al., 2016)

# Methoden

- 20 erwachsene bimodal versorgte Patienten (9♀, 11♂, 55 – 81 Jahre)
- Resthörigkeit Hörgeräteseite 4PTA: 60,4 dB (41,5 – 80,0), 9x WHO 2, 11x WHO 3
- CI Erfahrung: 2 - 7 Jahre
- HG Erfahrung: 3 - 66 Jahre
- Postlingual ertaubt

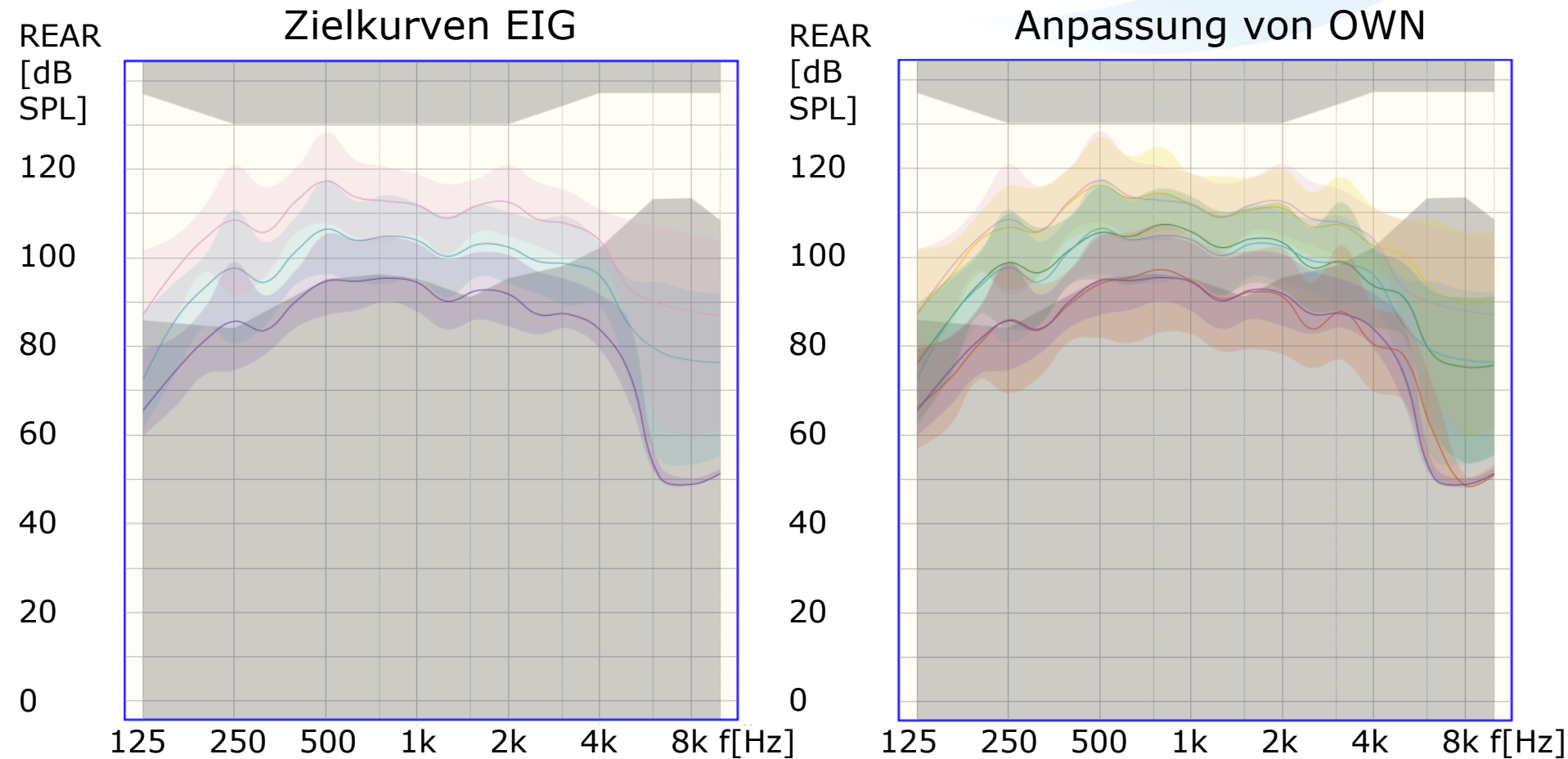


# Methoden

- Studien-Hörgeräte (GN Resound: Linx<sup>2</sup> 9, Enzo<sup>2</sup> 9) mit drei Verstärkungseinstellungen:
    - OWN (In-situ "transfer")
    - NAL-NL2 (In-situ fitting)
    - DSL v5.0 (In-situ fitting)
  - Eingewöhnungszeit mind. 1 Woche
  - Sprachverständlichkeit in Ruhe & in Störgeräusch (SON0) für CI, HG, CI+HG für alle 3 Einstellungen
  - Data Logging für alle drei Programme (Tragedauer)
- 
- Bestimmung des bimodalen Gewinns in Abhängigkeit vom HG-Fitting

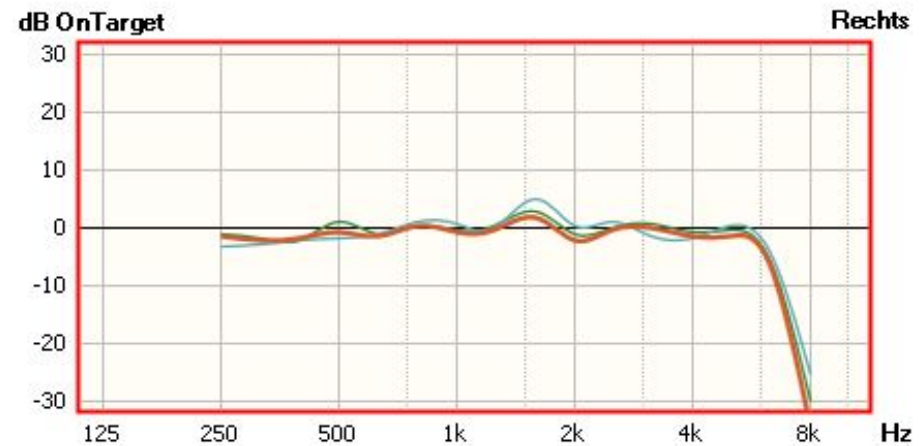
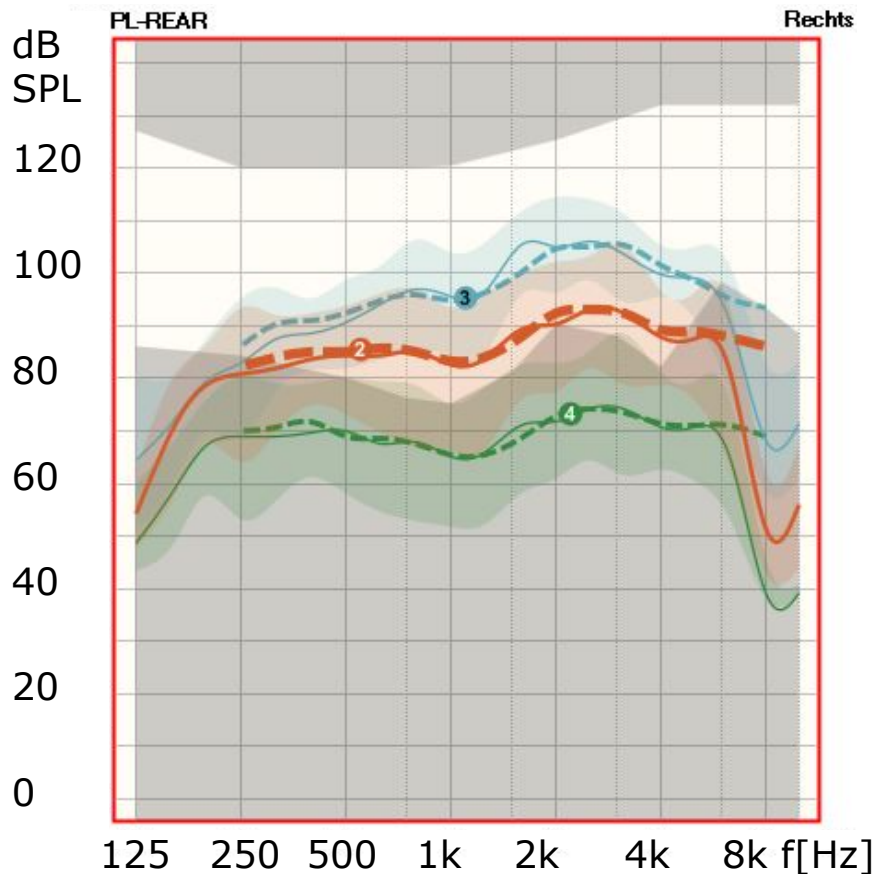
# Beispiel: In-Situ Verstärkungstransfer

- In-Situ Transfer der Verstärkungseinstellungen vom eigenen Hörgerät zum Studien-Hörgerät (REAR-Darstellung)



# Beispiel: In-Situ Fitting

- In-Situ Fitting für präskriptive Formel DSL v5.0

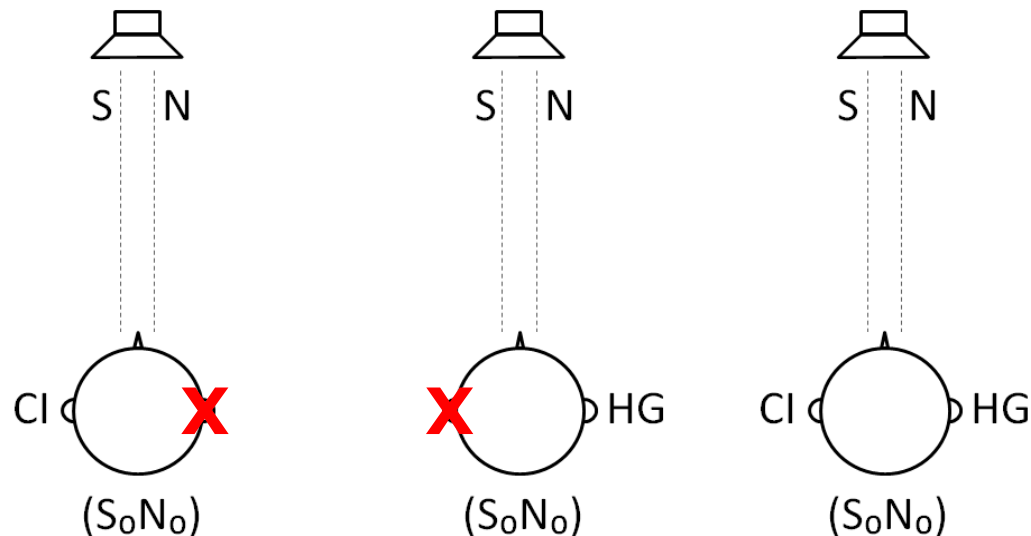


Legende Überblendungen Sondenschlauchkalibrierung

1	<input type="checkbox"/>	SII: -	DSL V5.0 - 90 (125) dB - EUHA-MP...		
2	<input checked="" type="checkbox"/>	SII: 36%	DSL V5.0 - 65 (100) dB - ISTS		
3	<input checked="" type="checkbox"/>	SII: 60%	DSL V5.0 - 80 (112) dB - ISTS		
4	<input checked="" type="checkbox"/>	SII: 1%	<b>DSL V5.0 - 50 (82) dB - ISTS</b>		

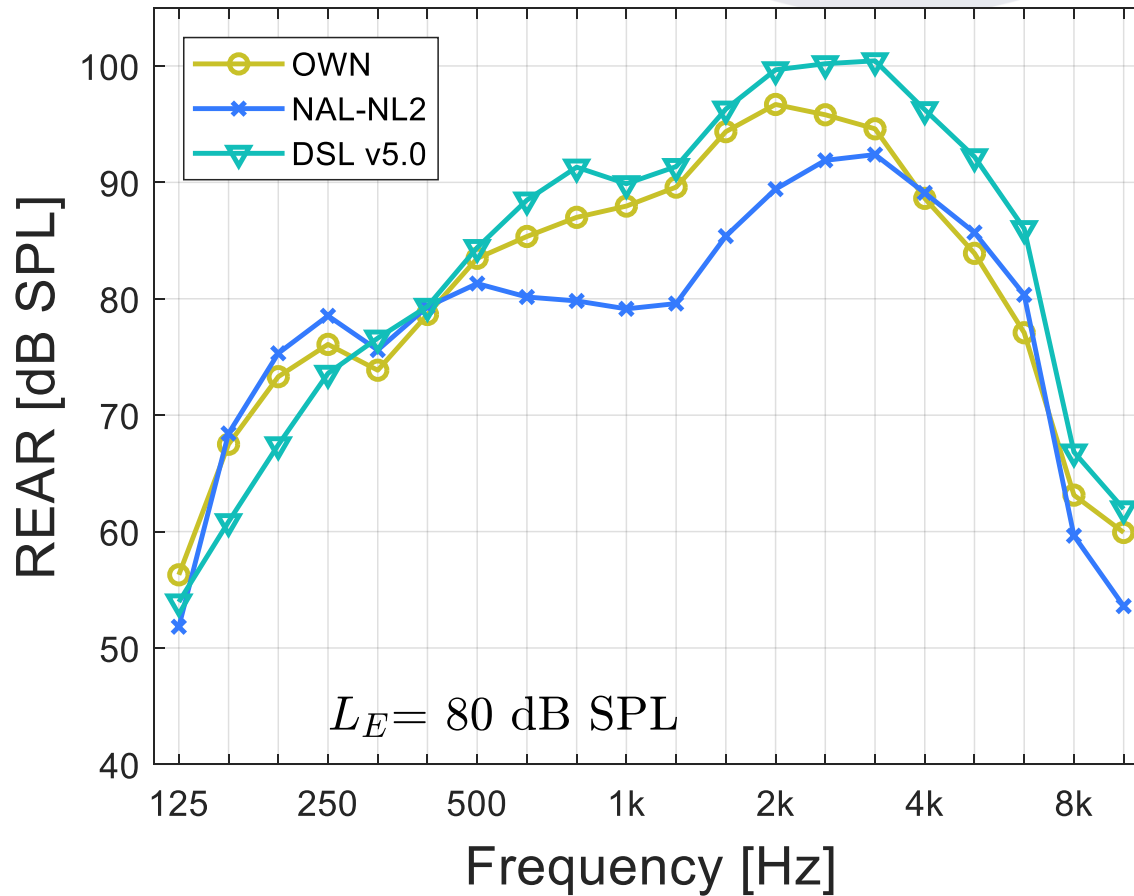
# Audiometrie

- Freiburger Einsilber, 2 Listen, 65 dB S0
- Göttinger Satztest im Störgeräusch, 65 dB/60 dB S0N0
- Beide Tests für CI, HG und CI+HG jeweils für alle 3 Einstellungen:



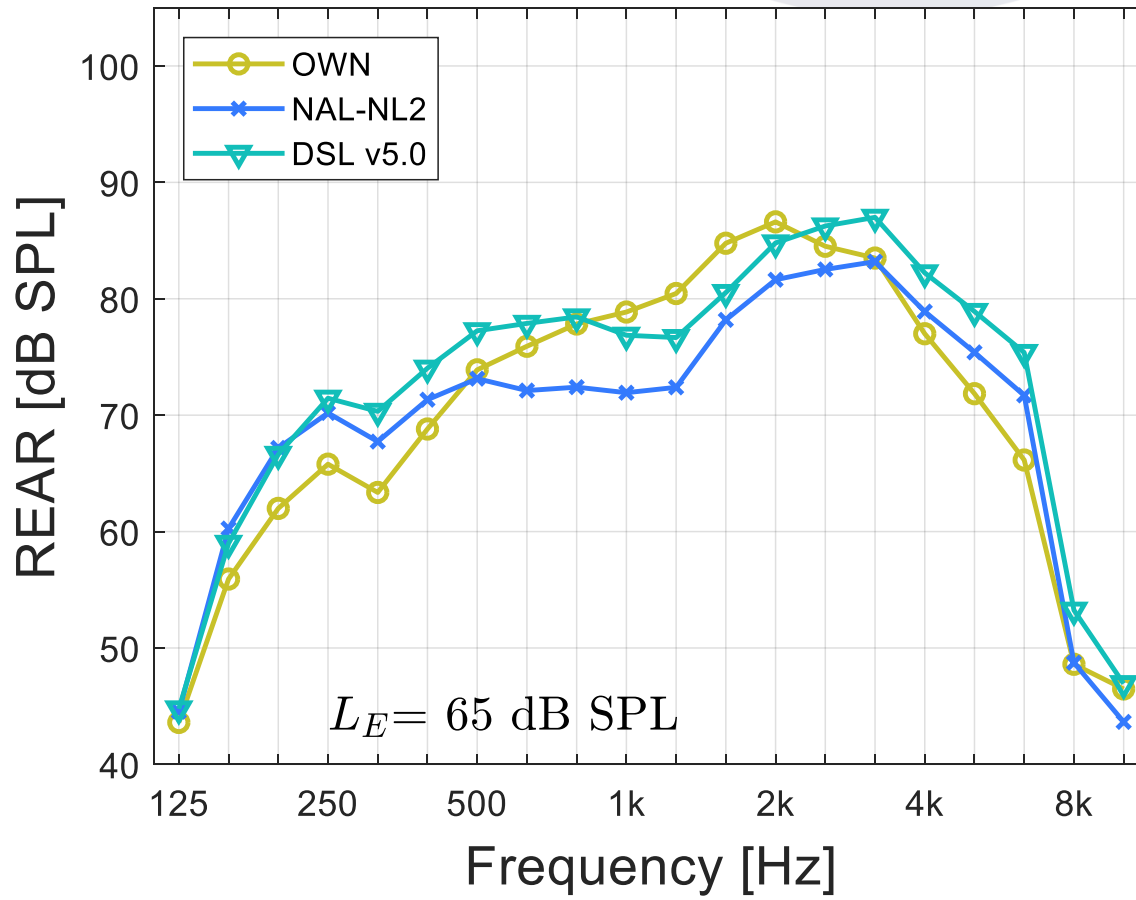
# Vergleich: OWN, NAL-NL2 und DSL v5.0

## L=80 dB



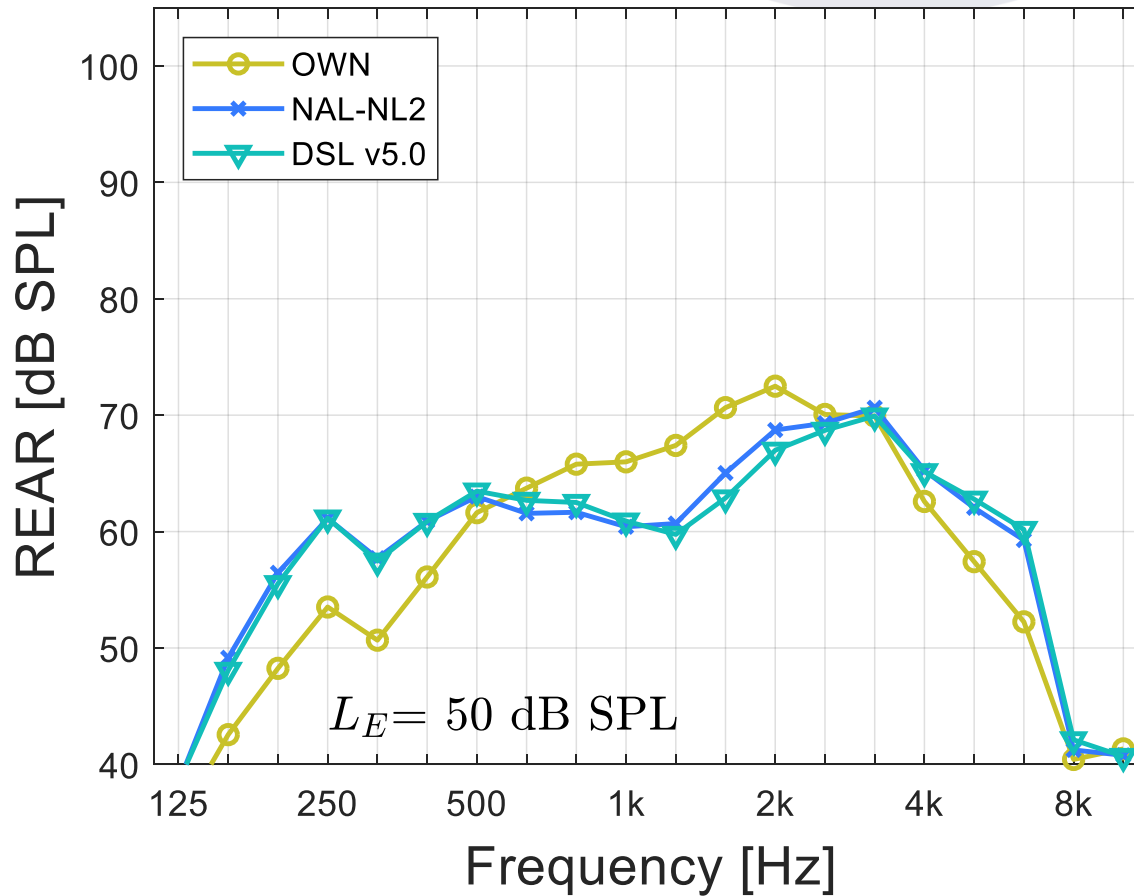
# Vergleich: OWN, NAL-NL2 und DSL v5.0

## L=65 dB

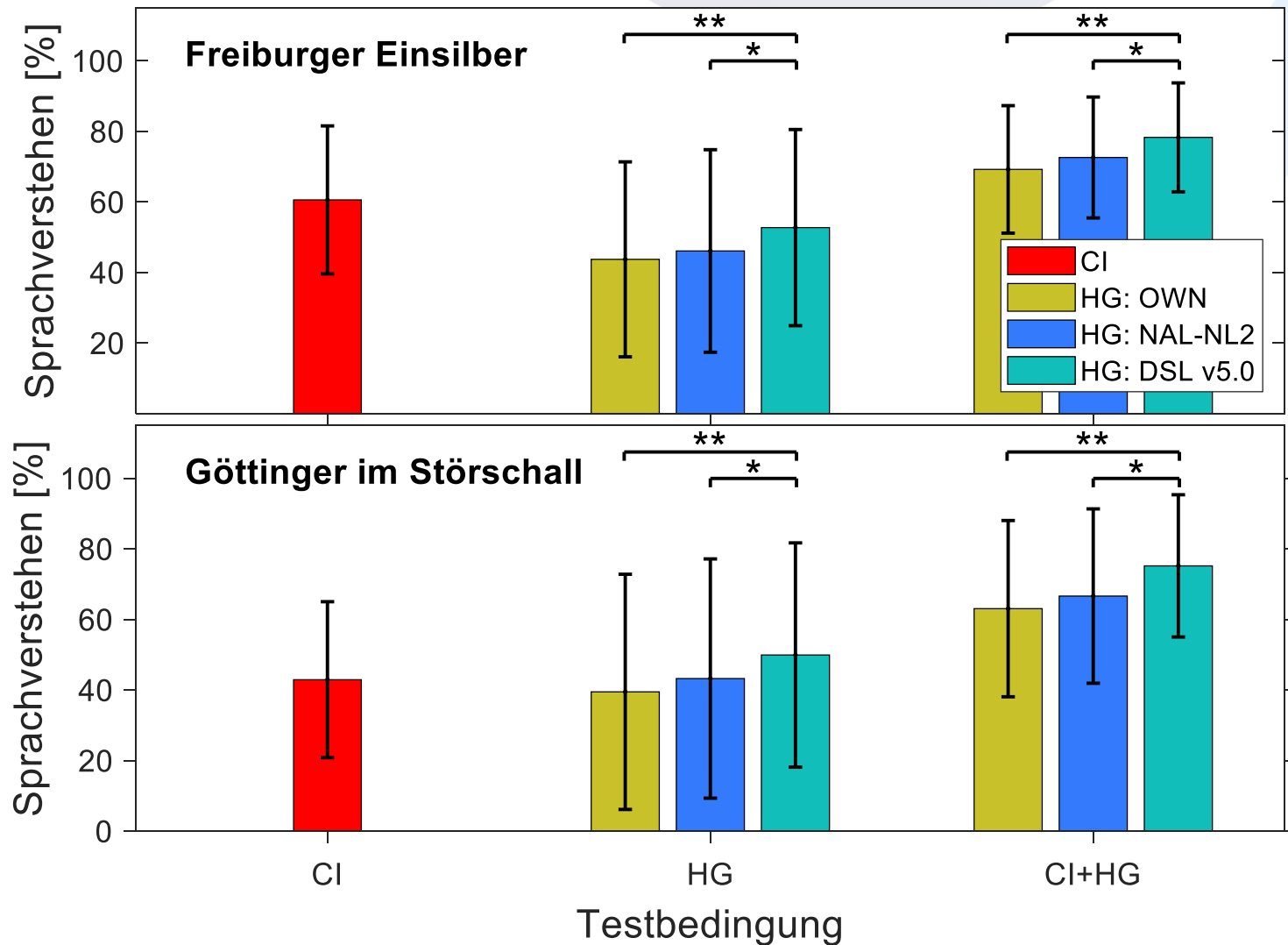


# Vergleich: OWN, NAL-NL2 und DSL v5.0

## L=50 dB

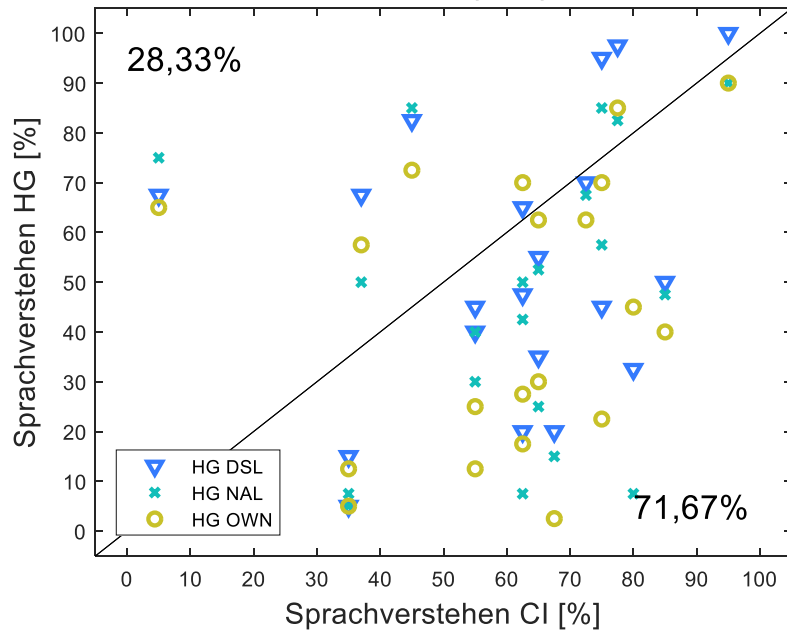


# Ergebnisse: Sprachtests

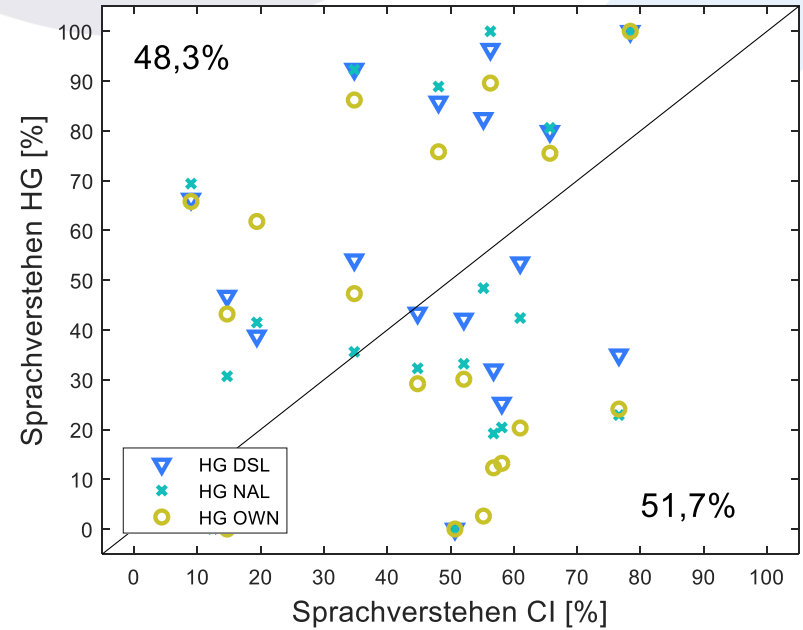


# Besseres Ohr

HG zu CI (FBE)

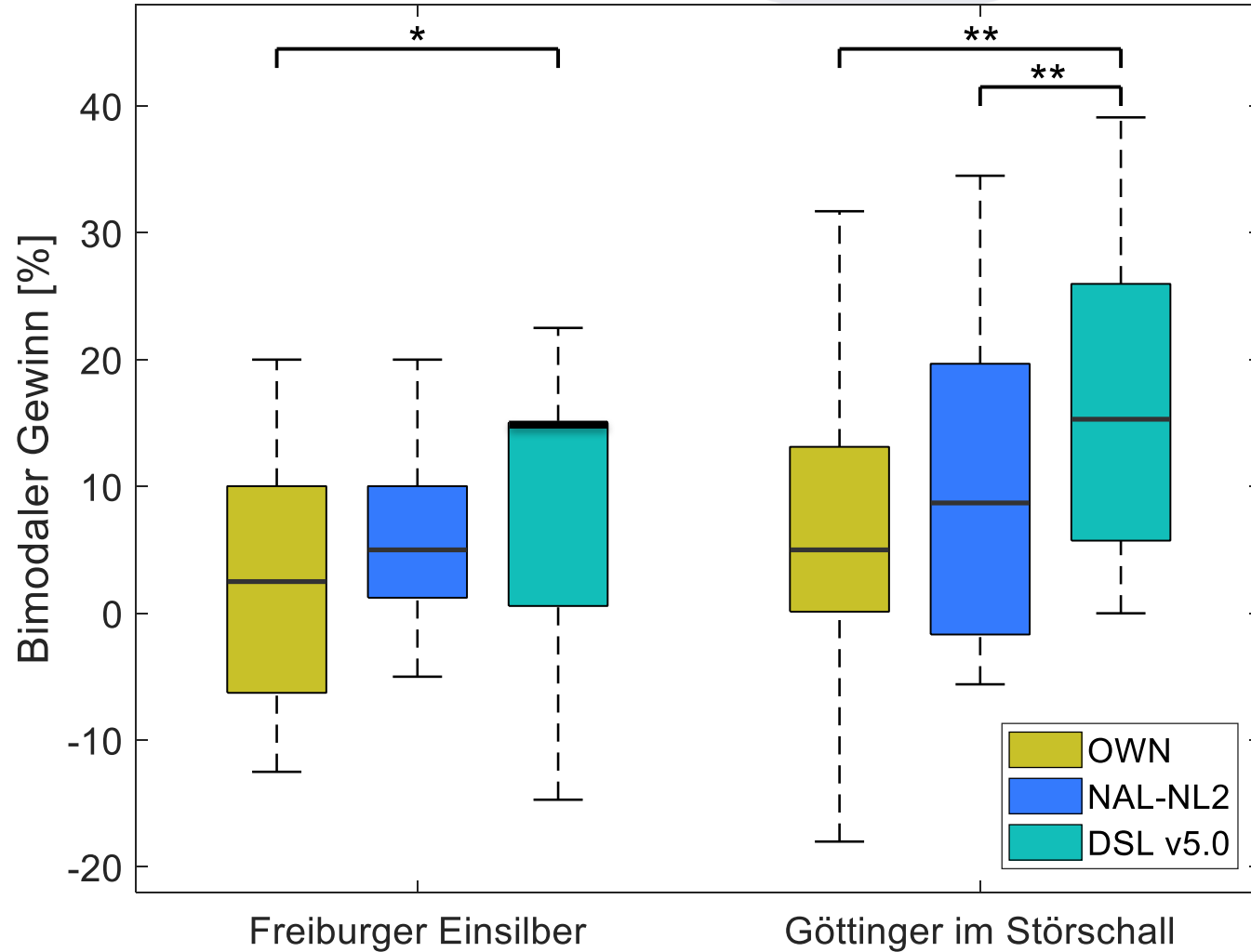


HG zu CI (GOESA)



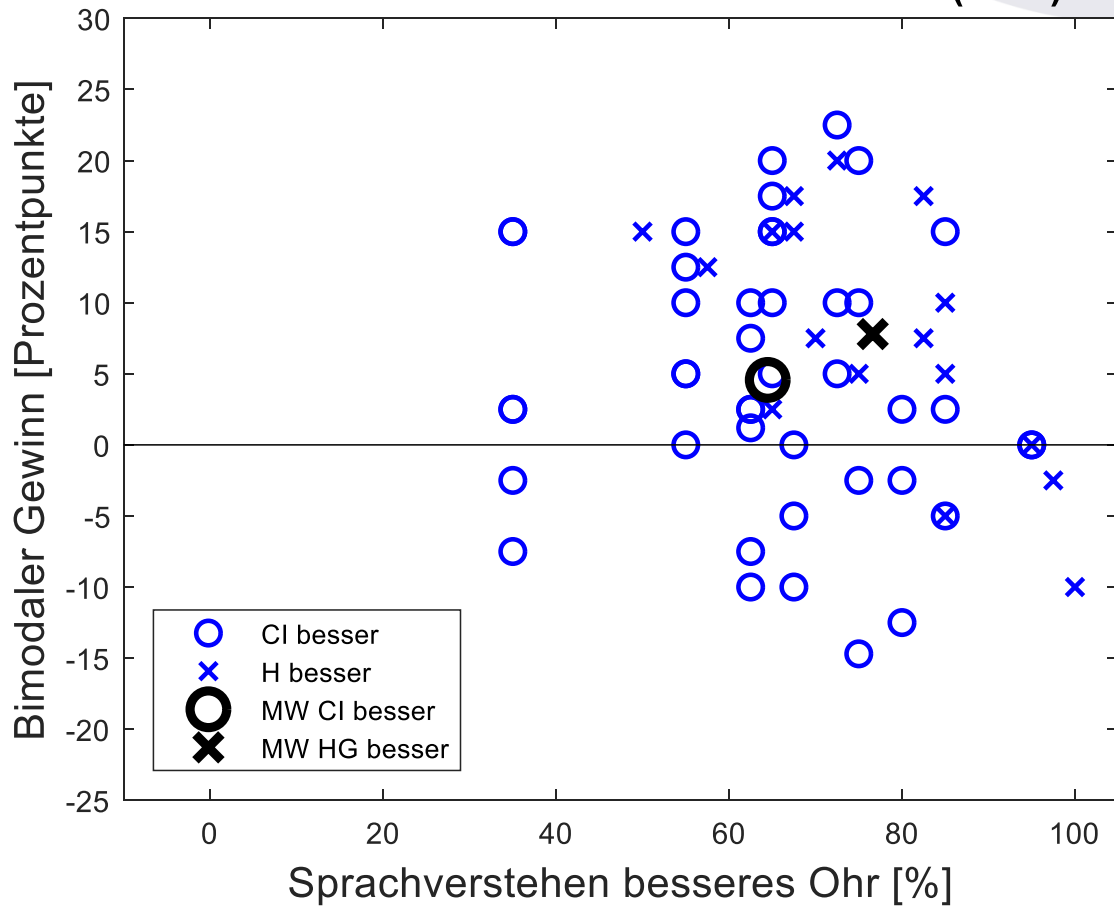
- In Ruhe: CI besser bei 72%, 14 Individuen mit DSL v5.0 am besten
- Im Störgeräusch: CI besser bei 51,7%, 15 Individuen mit DSL v5.0 am besten

# Ergebnisse: Bimodaler Gewinn zum besseren Ohr



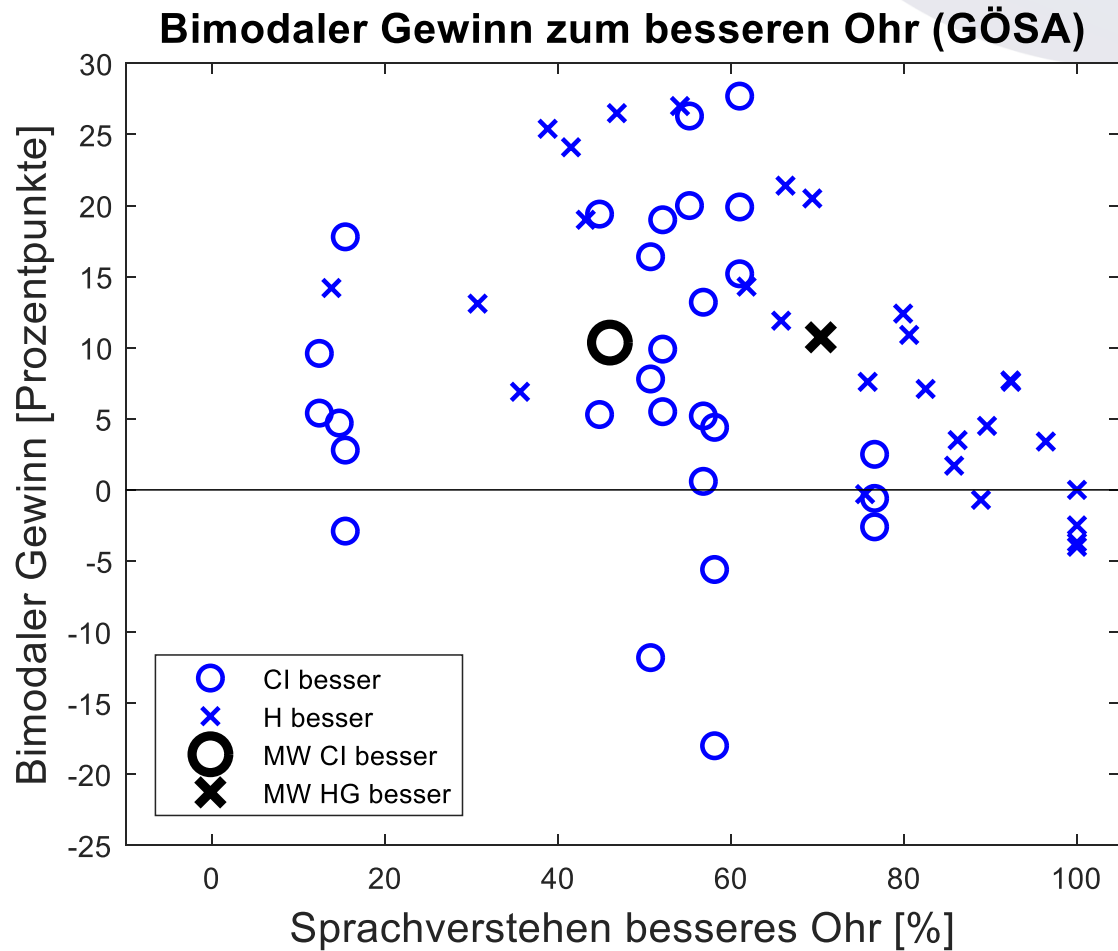
# Bimodaler Gewinn zum besseren Ohr in Ruhe

Bimodaler Gewinn zum besseren Ohr (FBE)



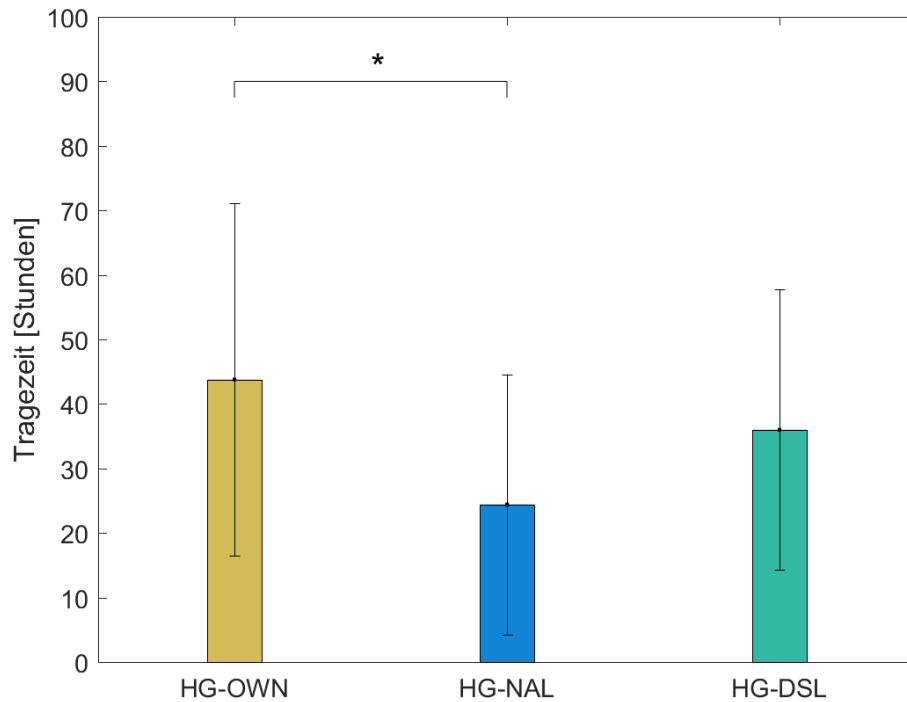
- Bimodaler Gewinn tendenziell höher wenn HG besseres Ohr
- Bimodale Interferenz:
  - Meist wenn HG schlechteres Ohr
- MW (CI besser) = 4,6 %P
- MW (HG besser) = 7,8 %P

# Bimodaler Gewinn zum besseren Ohr im Störgeräusch



- Bimodaler Gewinn unabhängig v. besserem Ohr
- Bimodale Interferenz:
  - Meist wenn HG schlechteres Ohr
- Elektroakustische Integration schwieriger, wenn natürliches Hören auf der schlechteren Seite ist
- MW (CI besser) = 10,4 %P
- MW (HG besser) = 10,7 %P

# Trageverhalten



OWN: 43.8 Stunden ( $\pm 27,31$  Stunden)

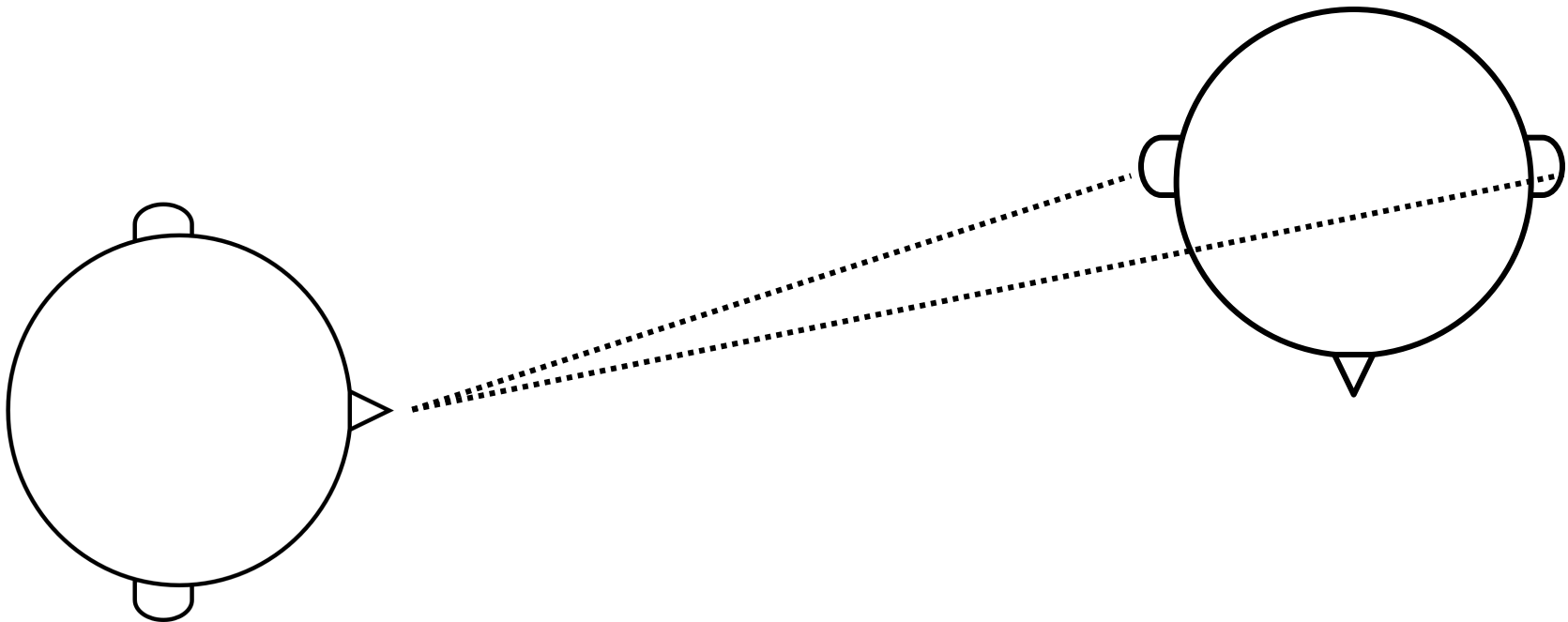
NAL: 24,5 Stunden ( $\pm 20,2$  Stunden)

DSL: 36 Stunden ( $\pm 21,7$  Stunden)

# Zusammenfassung

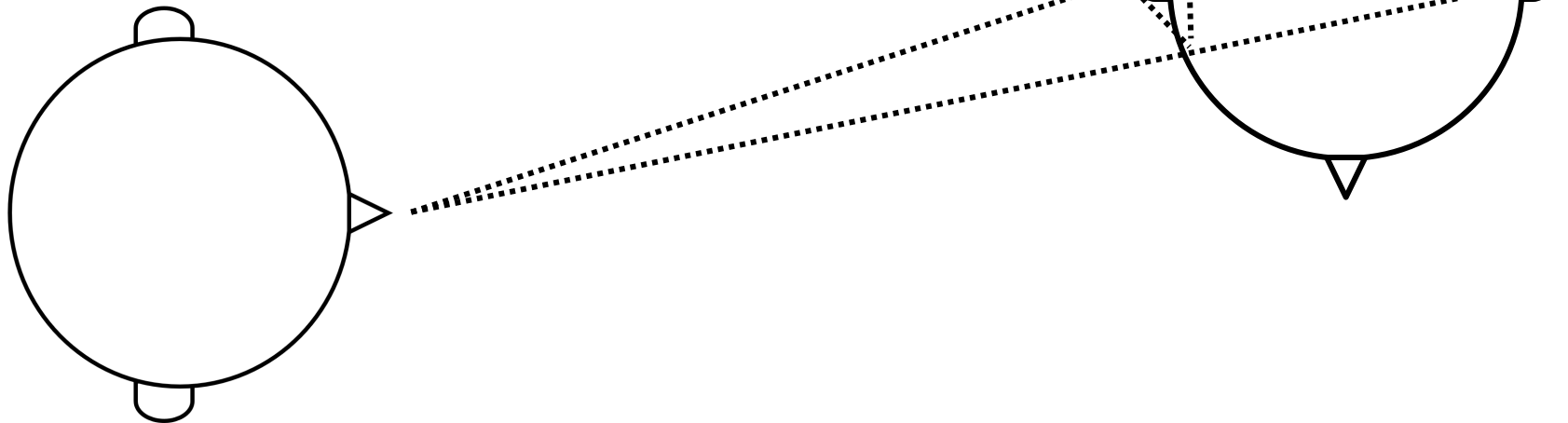
- Eignung der präskriptiven Anpassformeln NAL-NL2 und DSL v5.0 für die bimodale Anpassung bei mittel- bis hochgradigem Hörverlust
- Signifikant besseres SV und bimodaler Gewinn mit DSL v5.0 gegenüber OWN und NAL-NL2
- Bimodale Interferenz häufiger in Ruhe als im Störgeräusch
  - Präskriptive Anpassformel als Startwert: Individuelle Feinanpassung!
- Bimodale Interferenz häufiger, wenn natürliches Hören auf der schlechteren Seite

# Bedeutung der Interauralen Zeitdifferenzen bei bimodaler Versorgung



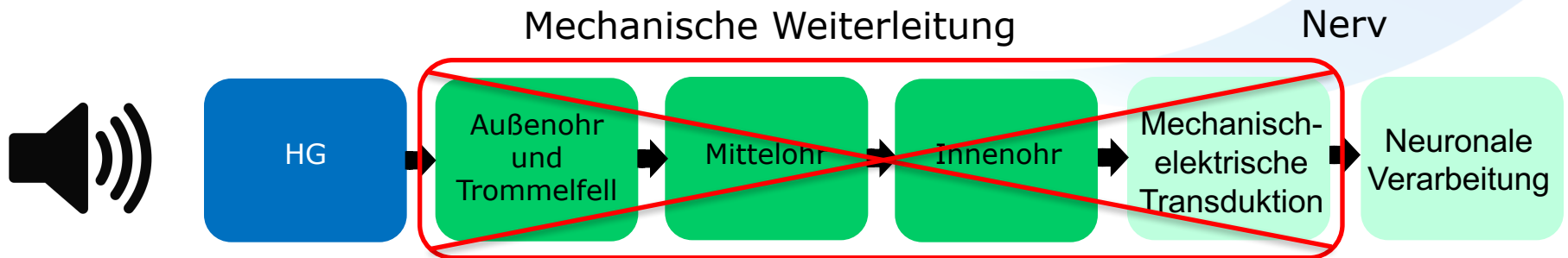
# Bedeutung der Interauralen Zeitdifferenzen bei bimodaler Versorgung

Ergebnis: Interaurale Zeitdifferenzen  
(interaural time differences, ITD)  
Bis zu  $\approx 700 \mu s$

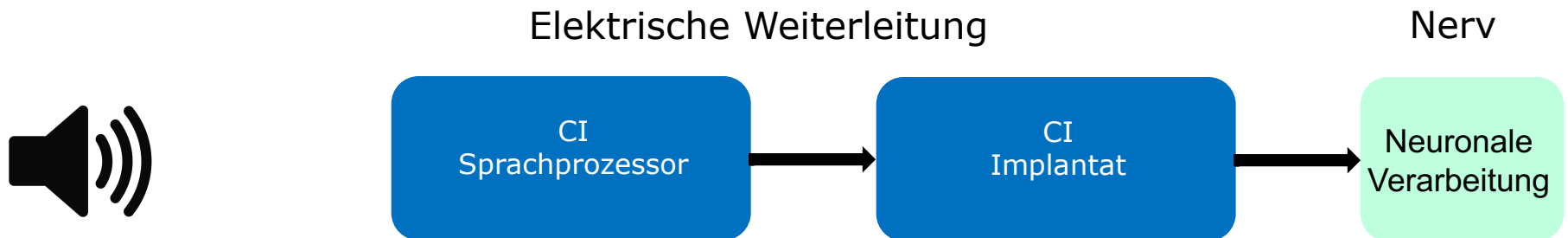


# Hörprozess

## ■ Der HG-induzierte Hörprozess



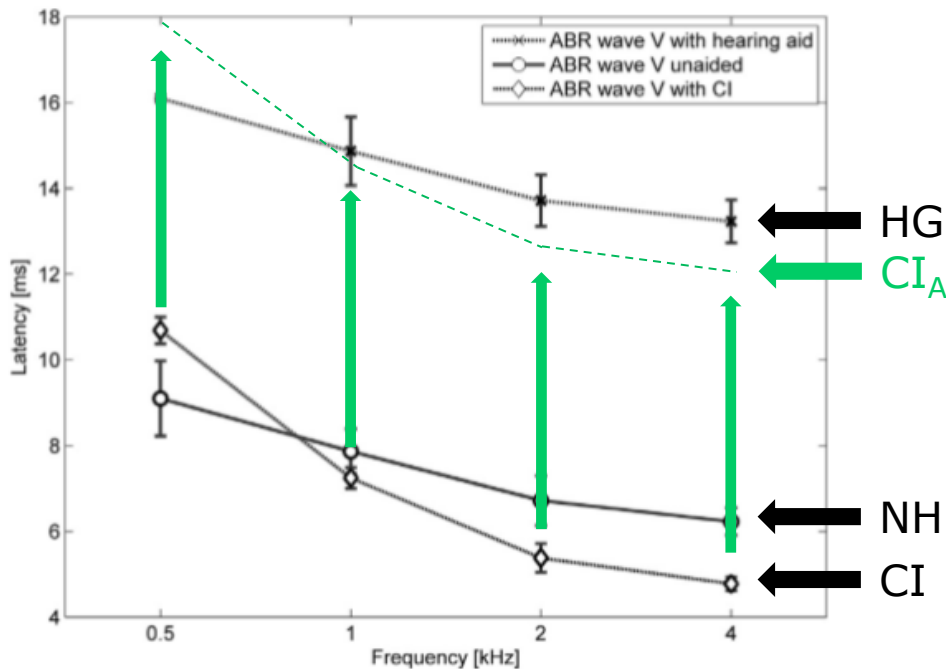
## ■ Der CI-induzierte Hörprozess



# Probleme bei der bimodalen Versorgung

## ■ Probleme bei der bimodalen Versorgung

- Unterschiedliche Höreindrücke
- Unterschiedliche Stimulationszeiten im auditorischen Cortex



■ BERA<sup>1</sup>-Messungen  
[Zirn et al., 2015]

■ MED-EL OPUS2 CI-Prozessor,  
CONCERTO oder SONATA  
Implantat

■ **Frequenzabhängige** Latenz auf  
dem CI-Ohr

➔ „einfacher“ Ausgleich nur  
**frequenzunabhängig** möglich

<sup>1</sup> brainstem evoked response audiometry

# Bisherige Studien

- Angleichung gerätespezifischer interauraler Zeitdifferenzen (ITDs<sup>1</sup>):
  - Signifikant verbesserte Lokalisationsfähigkeit [1, 2]
- Offene Fragen:
  - Einfluss der ITDs auf das Sprachverstehen?
  - Einfluss der ITDs auf die Wahrnehmbarkeitsschwellen (JNDs<sup>2</sup>)?

<sup>1</sup> interaural time difference

<sup>2</sup> just noticeable differences

[1] Seebacher et al. 2018

[2] Zirn et al. 2019

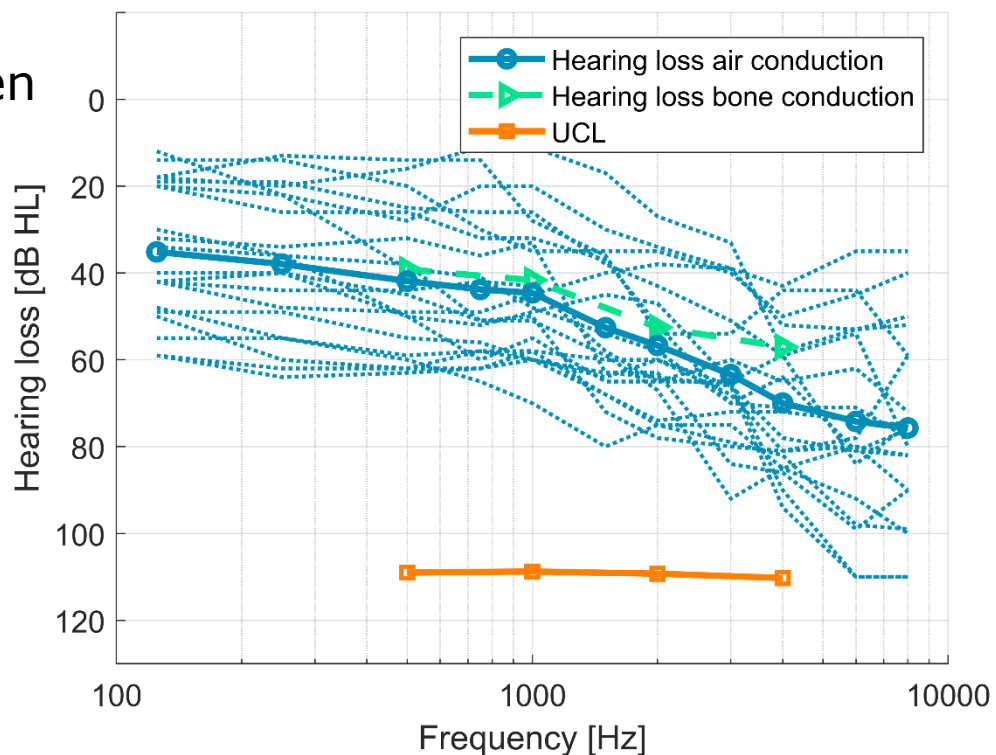
# Patienten

## Bimodale Gruppe (BIM):

- 20 erwachsene bimodale Patienten  
10 ♀, 10 ♂, 48 – 83 Jahre,  
13x CI512, 7x CI24RE(CA)
- CI Erfahrung: 1 – 12 Jahre
- HA Erfahrung: 5 – 53 Jahre
- Postlingual ertaubt

## Kontrollgruppe (NH):

- 10 normalhörige Probanden  
(6 ♀, 4 ♂, 21 – 32 Jahre)



# Methoden

- Studien HG:  
ReSound<sup>GN</sup> Linx 3D 9



- Übertragung der eigenen  
HG-Einstellung (Digeser et al. 2019)

- Studien CI Sprachprozessor:  
Cochlear CP910



- Übertragung der eigenen Map

➔ Deaktivierung sämtlicher Features sowie Mikrofone

➔ Signale elektrisch eingespeist über Audioeingang

# Methoden: Experiment 1: ITD-JND

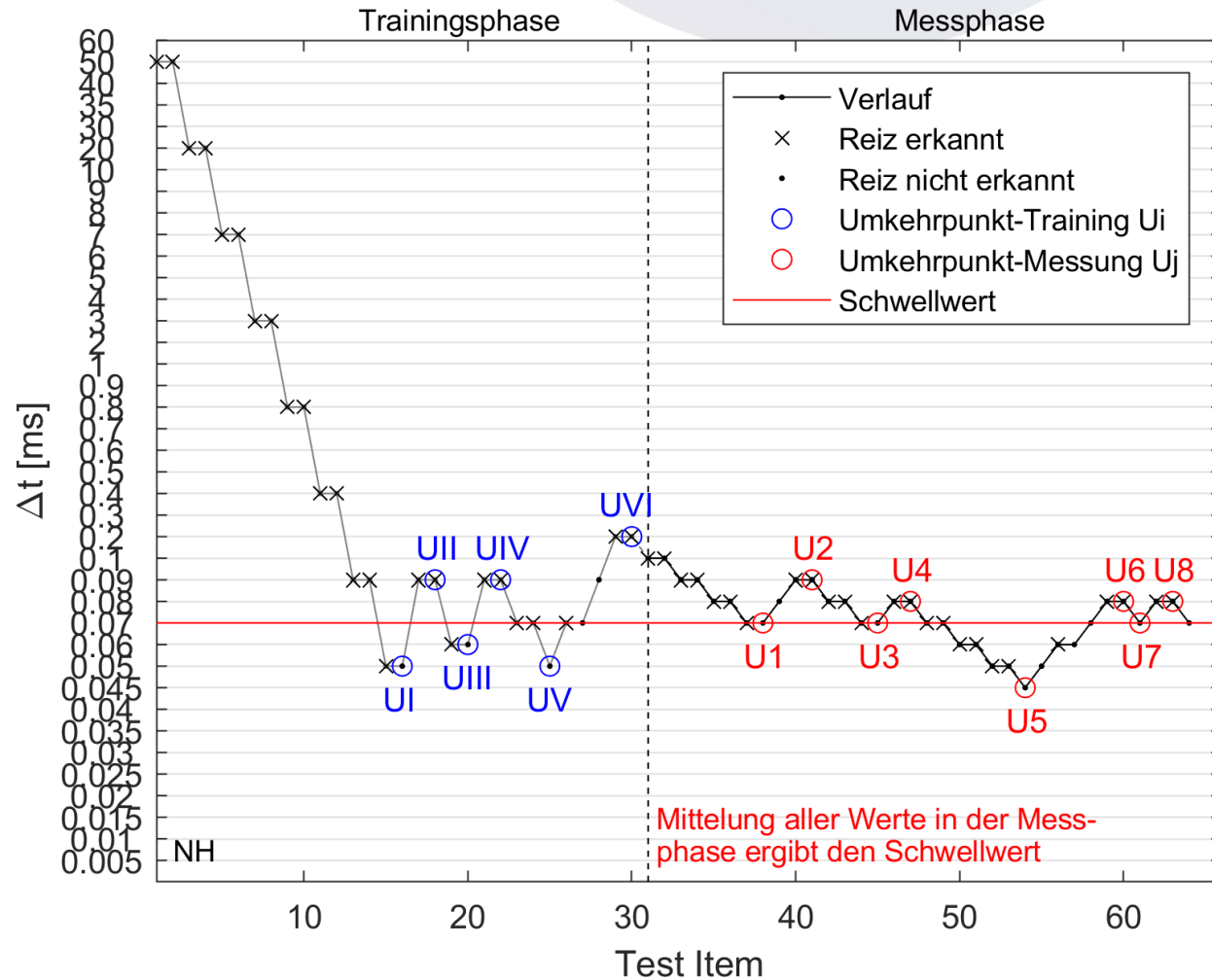
- 3-AFC: Zwei Referenzsignale, ein Testsignal
- Adaptive Veränderung in  $\Delta t$  (1-up-2-down)
- Stimuli: Freiburger Zahlen
- 2 Messbedingungen: HG verzögert, CI verzögert
- Training vorab



Sie werden drei Signale hören, wovon eines anders klingt als die anderen. Bitte klicken Sie das Signal an, welches anders klingt.

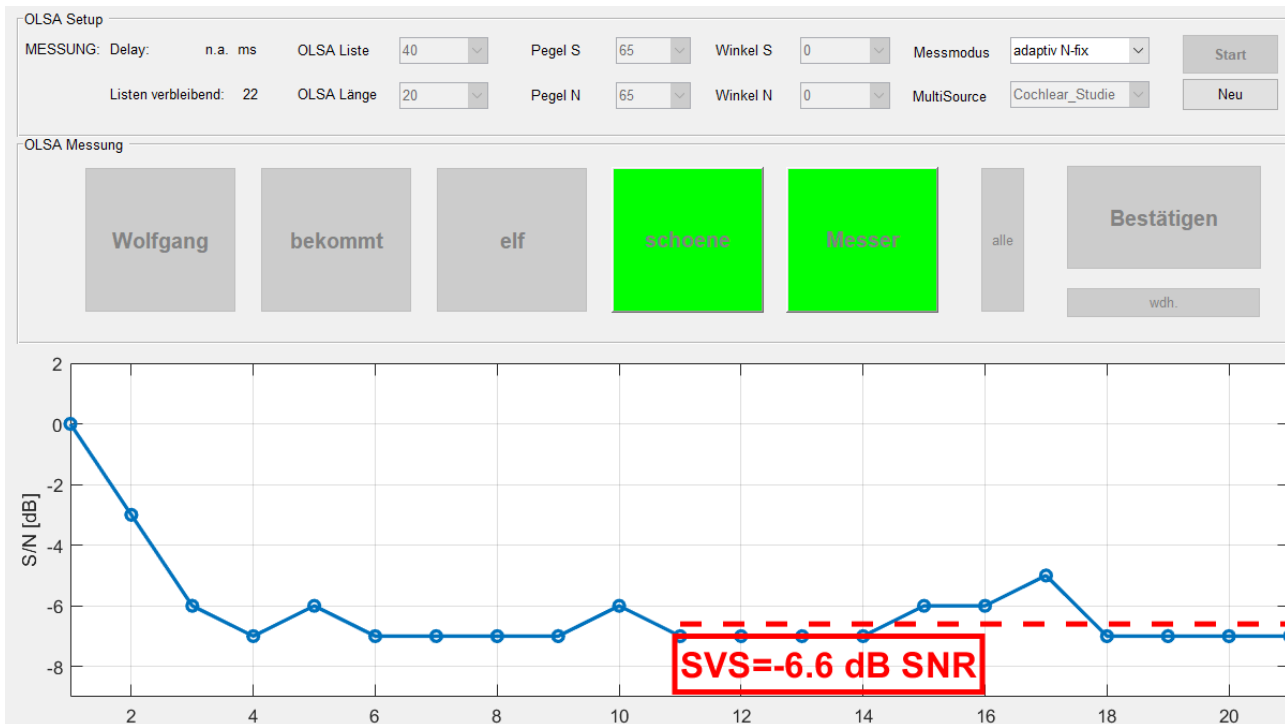
Zum Starten auf 1, 2 oder 3 klicken

# Methoden: Experiment 1: Beispielmessung ITD-JND 3-AFC



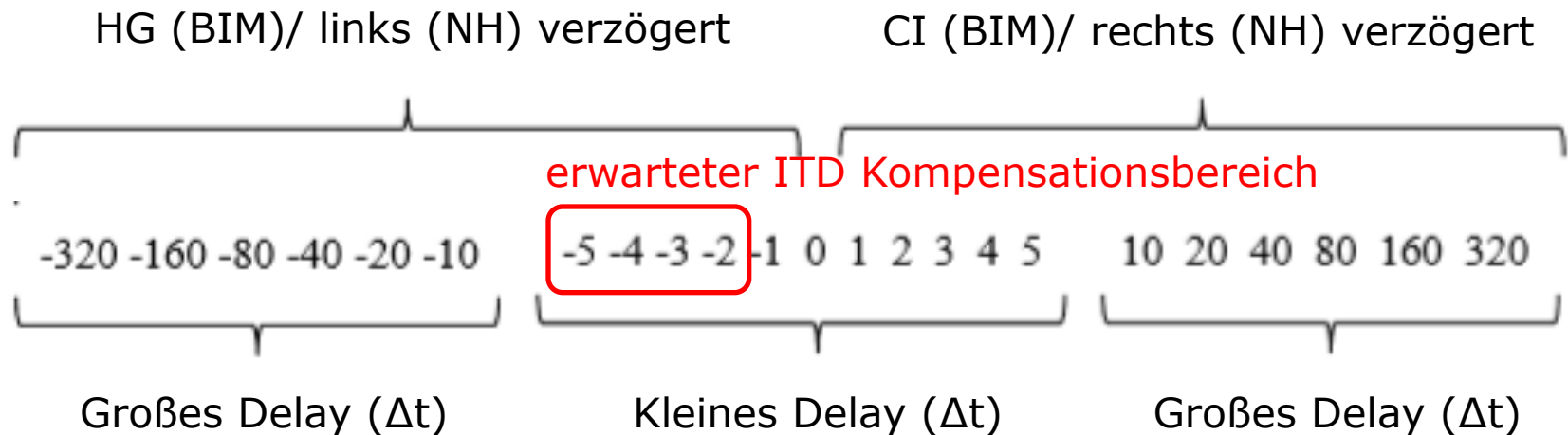
# Methoden: Experiment 2: Sprachverständlichkeitsschwelle (SVS)

- Sprachmaterial: Oldenburger Satztest (OLSA)
- SVS Messungen mit konstantem Delay zwischen beiden Kanälen
- Zusätzlich: Bewertung von Störimpfinden und subjektiver Klangwahrnehmung für jedes Delay

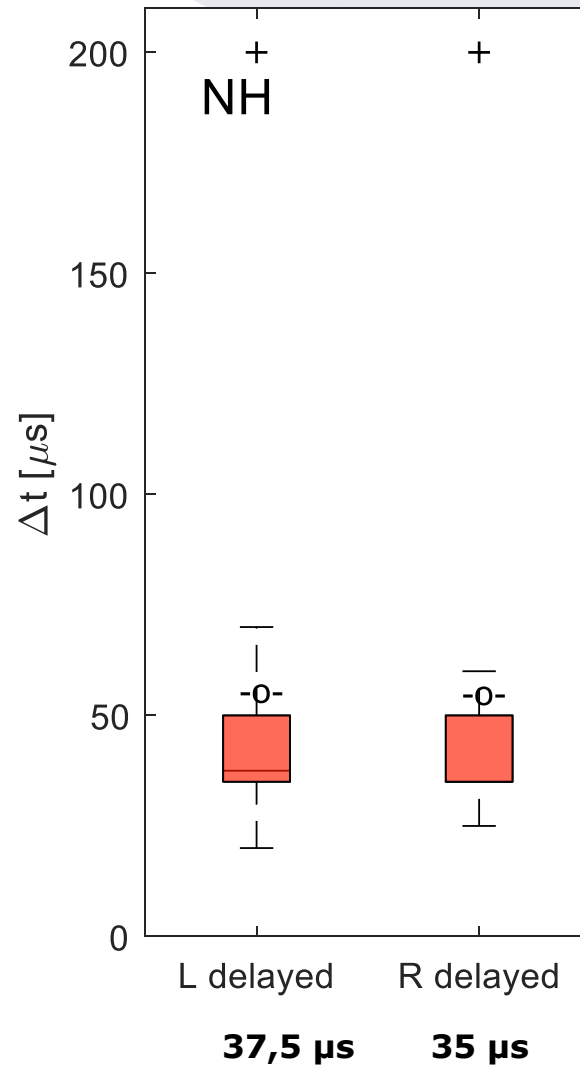
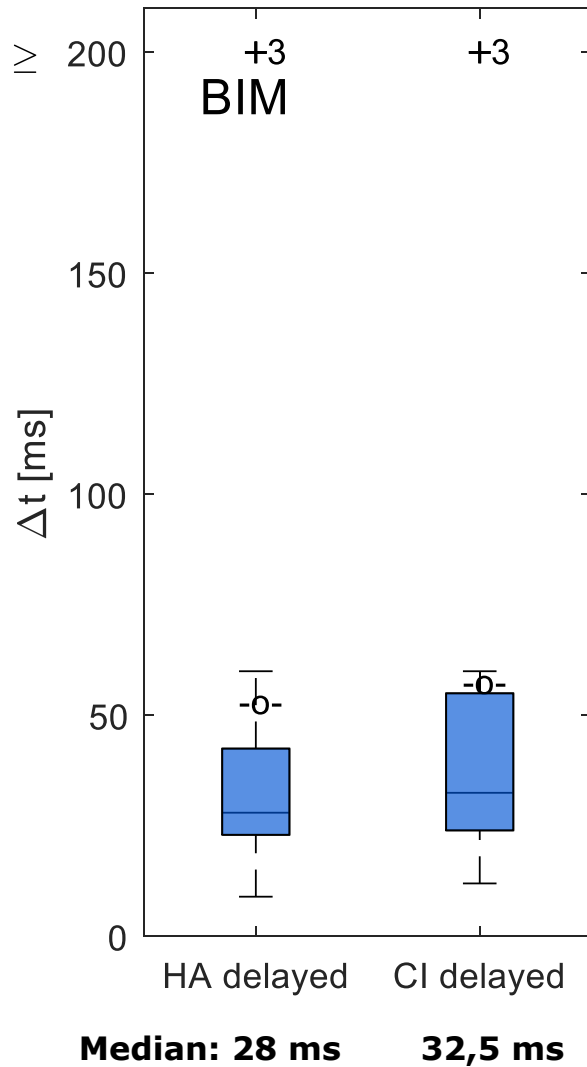


# Methoden: Experiment 2: Sprachverständlichkeitsschwelle (SVS)

- 3 Trainingslisten ( $\Delta t = 0$  ms)
- 23 randomisierte Messkonditionen:

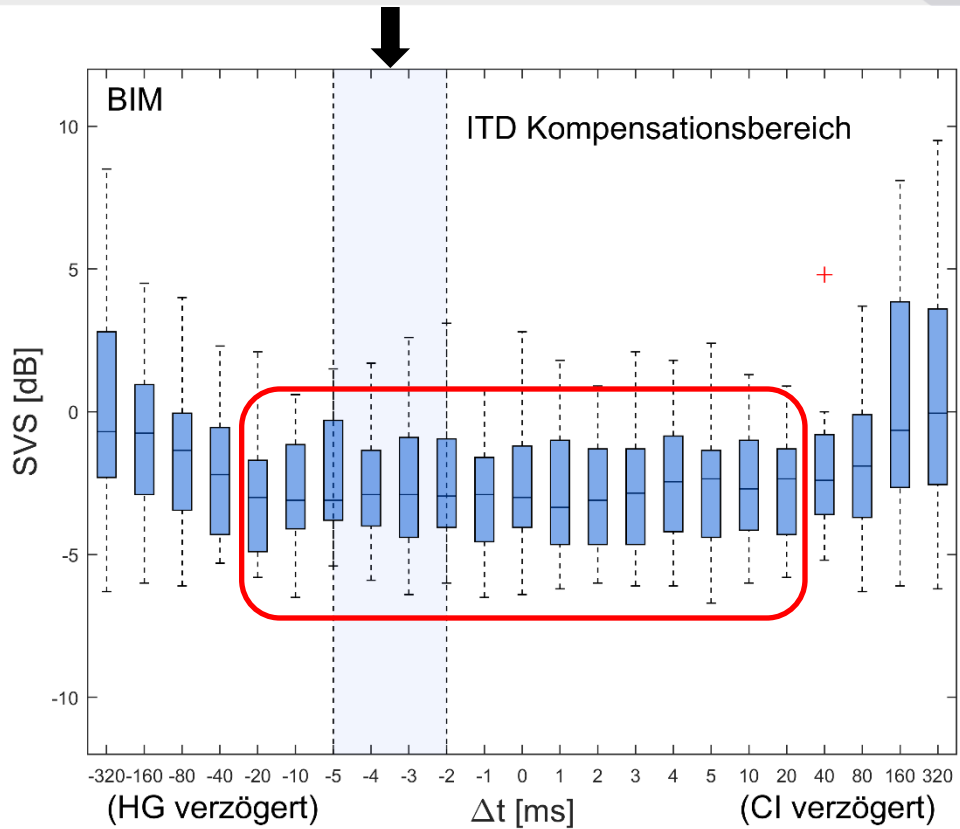


# Ergebnisse ITD-JND Sprache

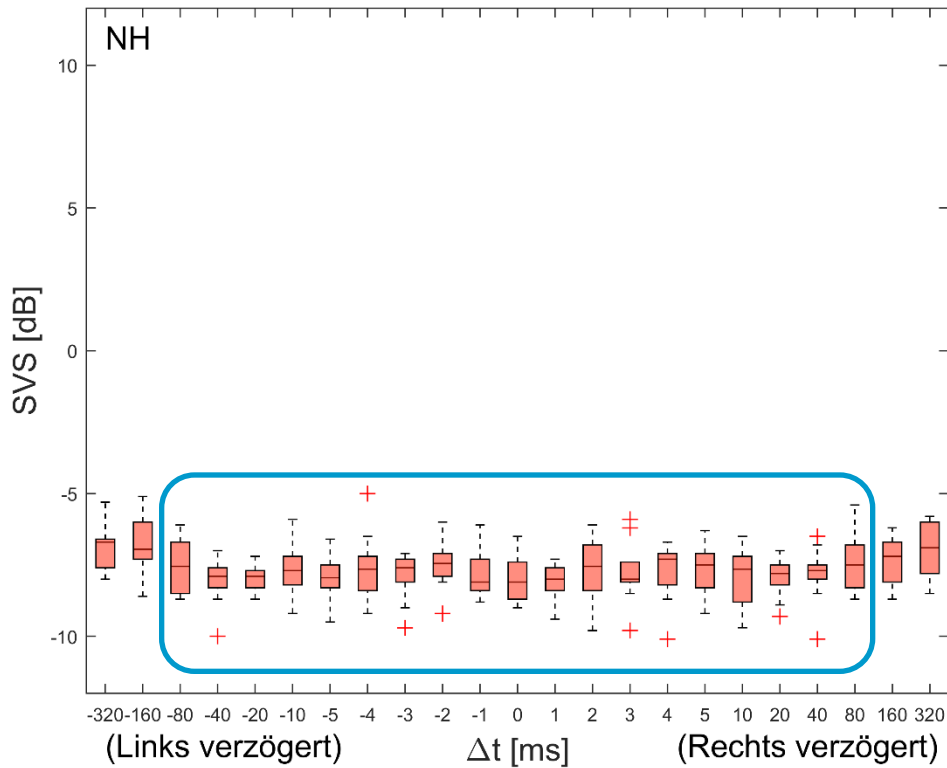


■ Keine signifikanten Unterschiede bezüglich des verzögerten Geräts bzw. Seite

# Ergebnisse Sprachverständlichkeitsschwellen

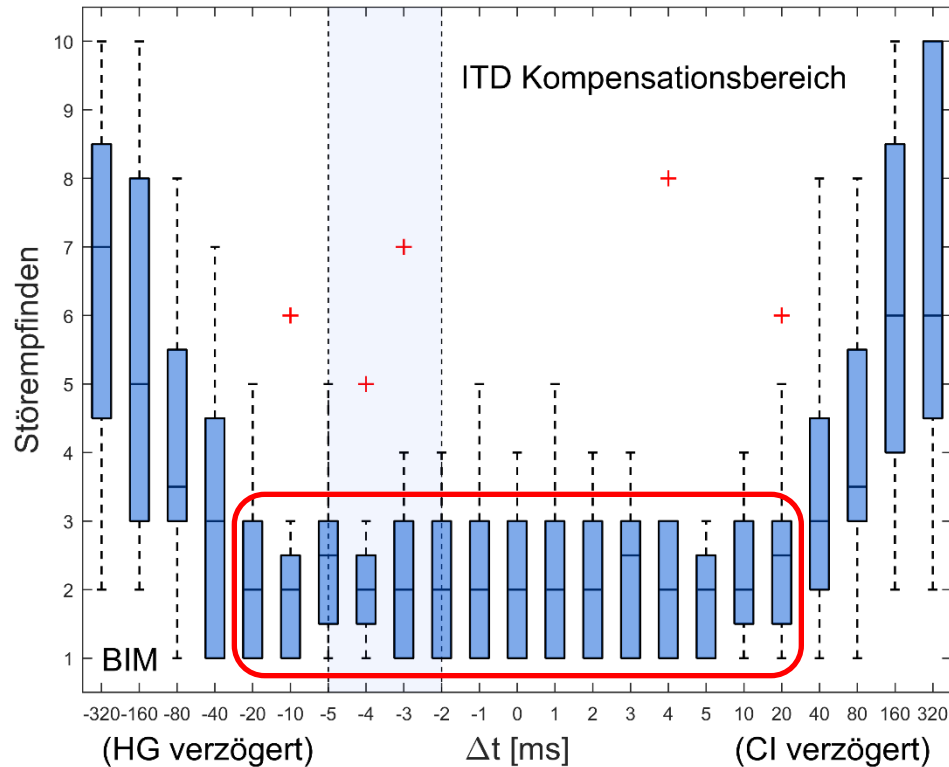


- Sign.:  $p < 0.001$  (-320 bis 320 ms)
- **Nicht sign.:**  $p = 0.391$  (-20 bis 20 ms)

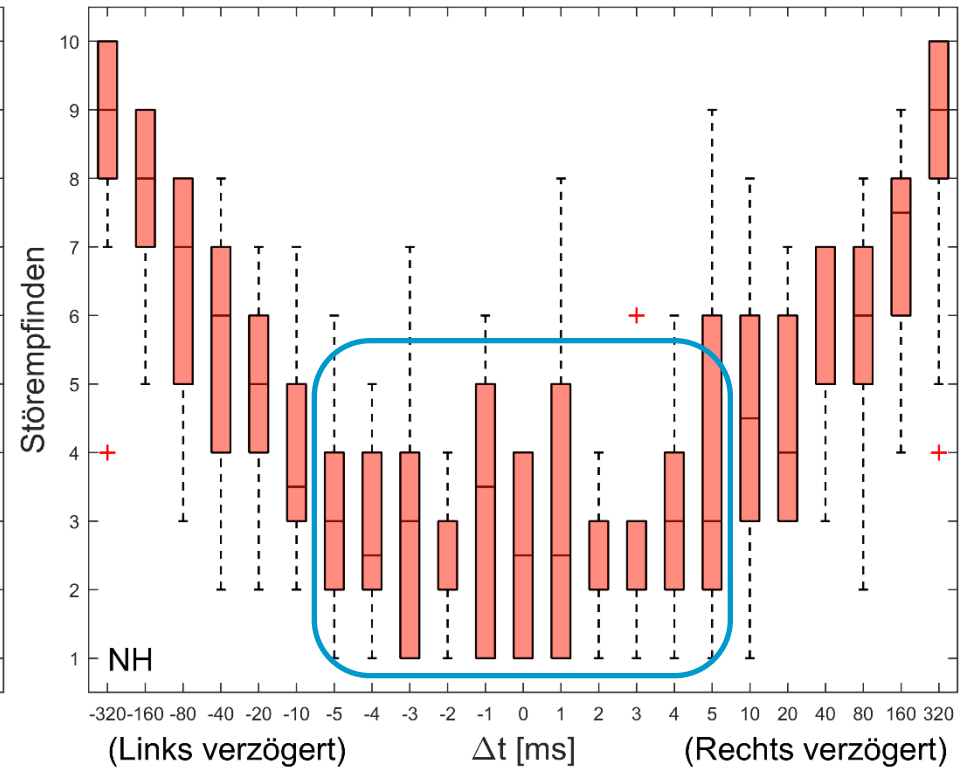


- Sign.:  $p < 0,001$  ( $\pm 320$  ms)
- **Nicht sign.:**  $p = 0.599$  ( $\pm 80$  ms)

# Ergebnisse Störempfinden



- Sign.:  $p < 0,05$  (-320 bis 320 ms)
- **Nicht sign.:**  $p = 0,329$  (-20 bis 20 ms)



- Sign.:  $\pm 320$  ms  
 $p < 0,001$
- **Nicht sign.:**  $\pm 5$  ms  
 $p = 0.548$

# Zusammenfassung

- NH
  - SVS: **Robust bis 80 ms >> JND**
- BIM
  - Keine Verbesserung SV bei ITD-Kompensation (ITD-JNDs > ITDs)
  - SVS: **Verschlechterung ab  $\approx$  JND, Keine Robustheit wie bei NH**

	NH	BIM
ITDs	0 ... $\approx 700 \mu\text{s}$	$\sim 2,6 \dots 4,9 \text{ ms}$
ITD-JNDs (Sprache)	$\sim 35 \mu\text{s}$	$\sim 30 \text{ ms}$
Störempfinden	$> 5 \text{ ms}$ ( $>>$ JND!)	$> 20 \text{ ms}$ ( $\approx$ JND!)
Einfluss auf SVS	<b><math>&gt; 80 \text{ ms}</math></b>	<b><math>&gt; 20 \text{ ms}</math></b> ( $\approx$ JND!)

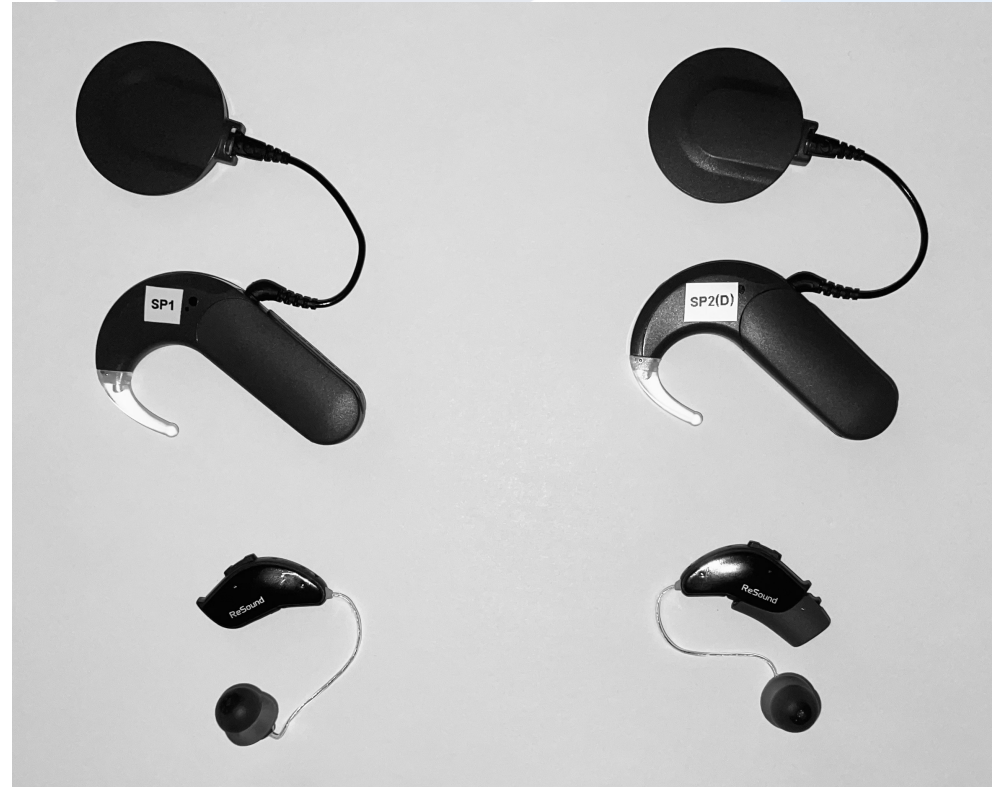
# Ähnliche Studie mit MED-EL CI Sprachprozessoren

## ■ Sprachprozessoren:

- Hersteller: MED-EL
- SP1 mit eigener MAP
- SP2 mit eigener MAP und zusätzlicher ITD-Kompensation

## ■ Hörgerät:

- Hersteller: ReSound
- Übertragung der eigenen HG-Einstellung

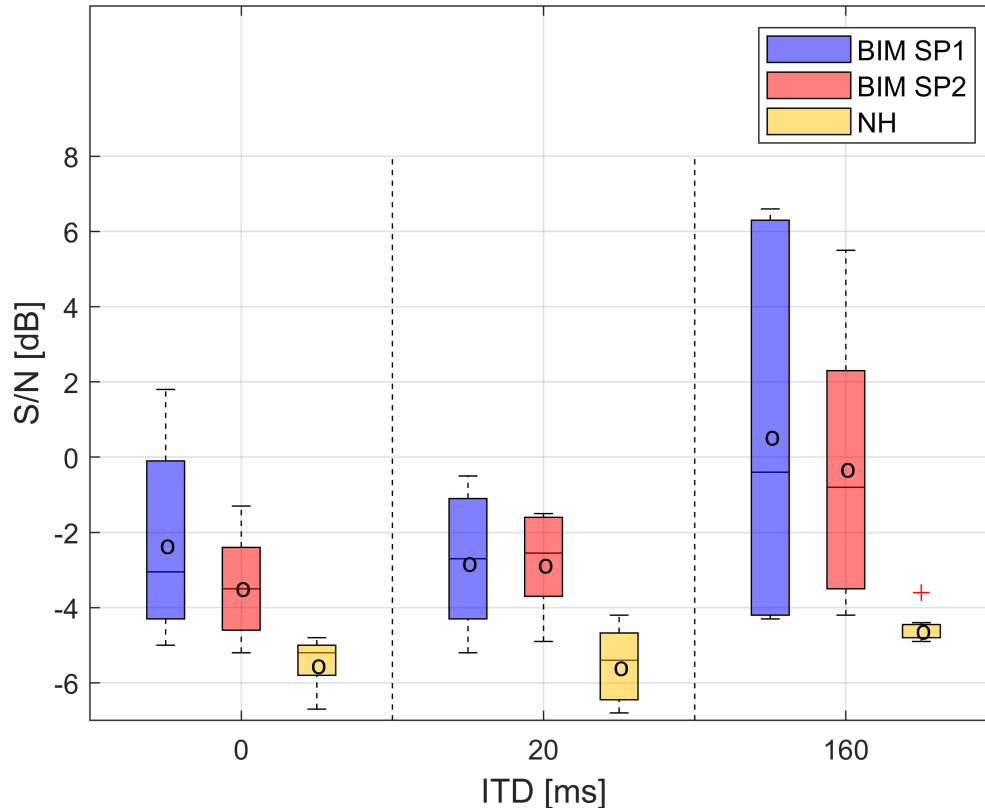


## ■ Frage:

- Einfluss auf das Sprachverstehen?
- Verbesserung der Wahrnehmungsschwellen der ITDs (ITD-JNDs<sup>2</sup>)?

# Ergebnisse

## Sprachverständlichkeitsschwellen



### Median SRTs:

#### ■ ITD0:

BIM, SP1: - 3.1 dB

BIM, SP2 : - 3.5 dB

NH: - 5.2 dB

#### ■ ITD20:

BIM, SP1: - 2.7 dB

BIM, SP2 : - 2.6 dB

NH: - 5.4 dB

#### ■ ITD160:

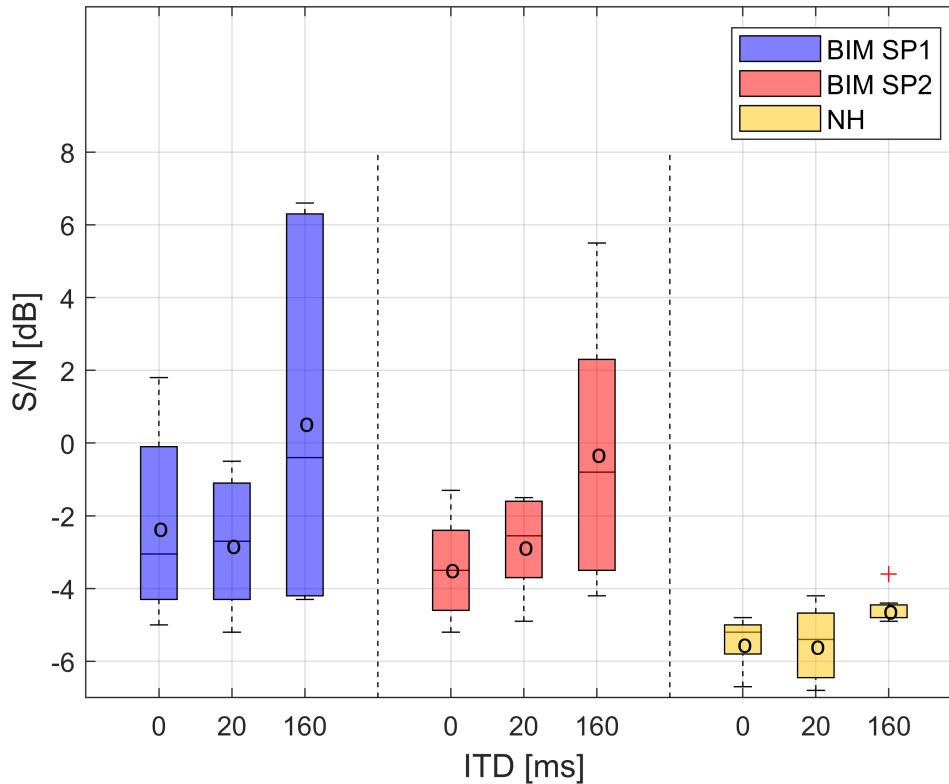
BIM, SP1: - 0.4 dB

BIM, SP2 : - 0.8 dB

NH: - 4.6 dB

# Ergebnisse

## Sprachverständlichkeitsschwellen



### Median SRTs:

#### ■ BIM, SP1:

- ITD0: - 3.1 *dB*
- ITD20: - 2.7 *dB*
- ITD160: - 0.4 *dB*

#### ■ BIM, SP2:

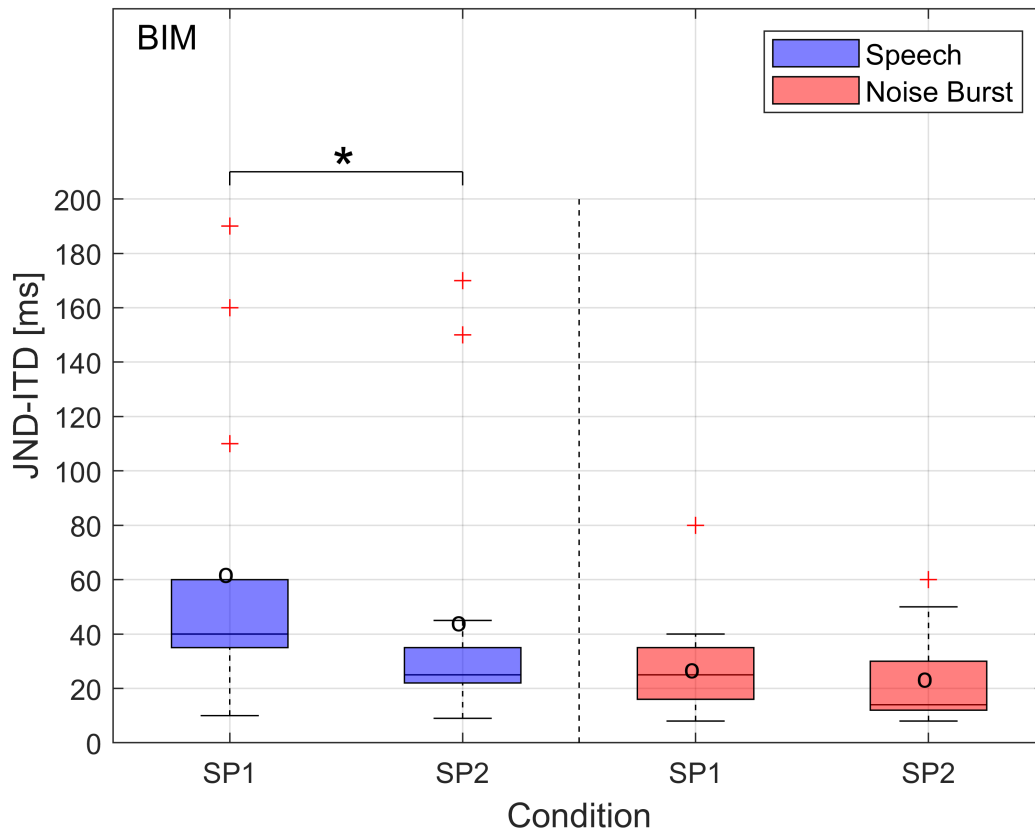
- ITD0: - 3.5 *dB*
- ITD20: - 2.6 *dB*
- ITD160: - 0.8 *dB*

#### ■ NH:

- ITD0: - 5.2 *dB*
- ITD20: - 5.4 *dB*
- ITD160: - 4.6 *dB*

# Ergebnisse

## ITD-JND bimodal



- Keine signifikanten Unterschiede bezüglich verzögerten Geräts

### Median JND-ITDs:

- Stimulus SP.:  
SP1: 40 ms  
SP2: 25 ms
- Stimulus NB.:  
SP1: 25 ms  
SP2: 14 ms

# Zusammenfassung

- Bimodale JND-ITDs erwartungsgemäß bei  $\sim 10\text{-}50\text{ms}$ 
  - NH:  $\sim 30\text{-}40\mu\text{s}$
- Effekte der frequenzunabhängigen Laufzeitkorrektur des CIs:
  - Signifikante Verbesserung der JND-ITDs
  - Keine signifikante Verbesserung des Sprachverstehens
- Offene Fragen:
  - Weitere Verbesserung der Lokalisationsfähigkeit und JND-ITDs durch eine frequenzabhängige Laufzeitkorrektur?
  - Signifikante Verbesserung des Sprachverstehens möglich?

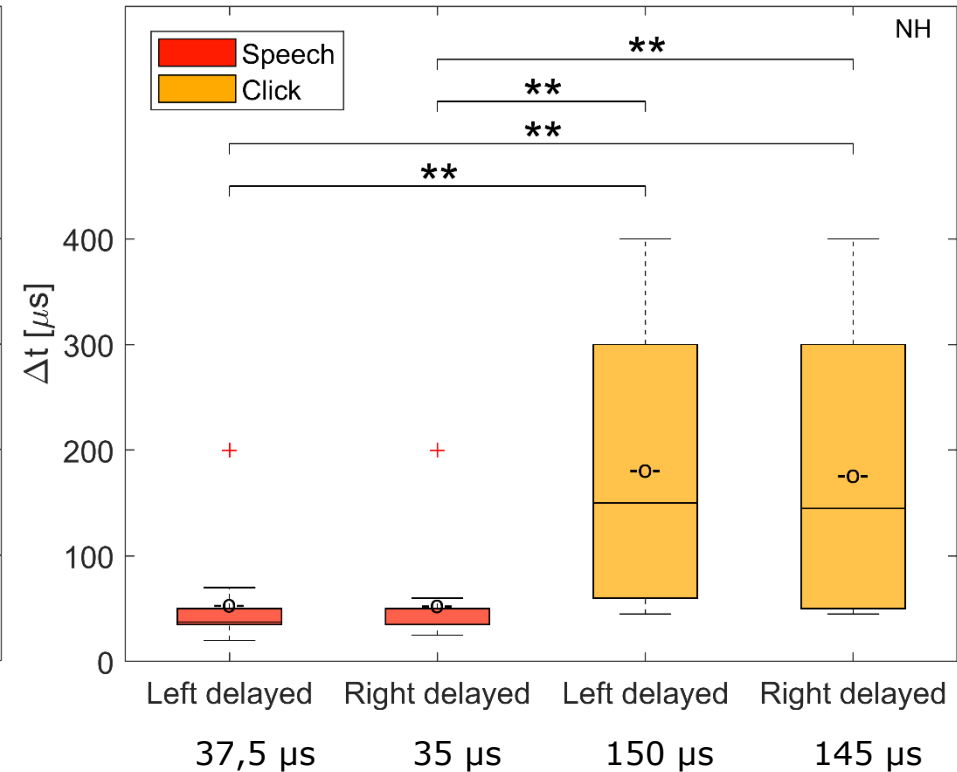
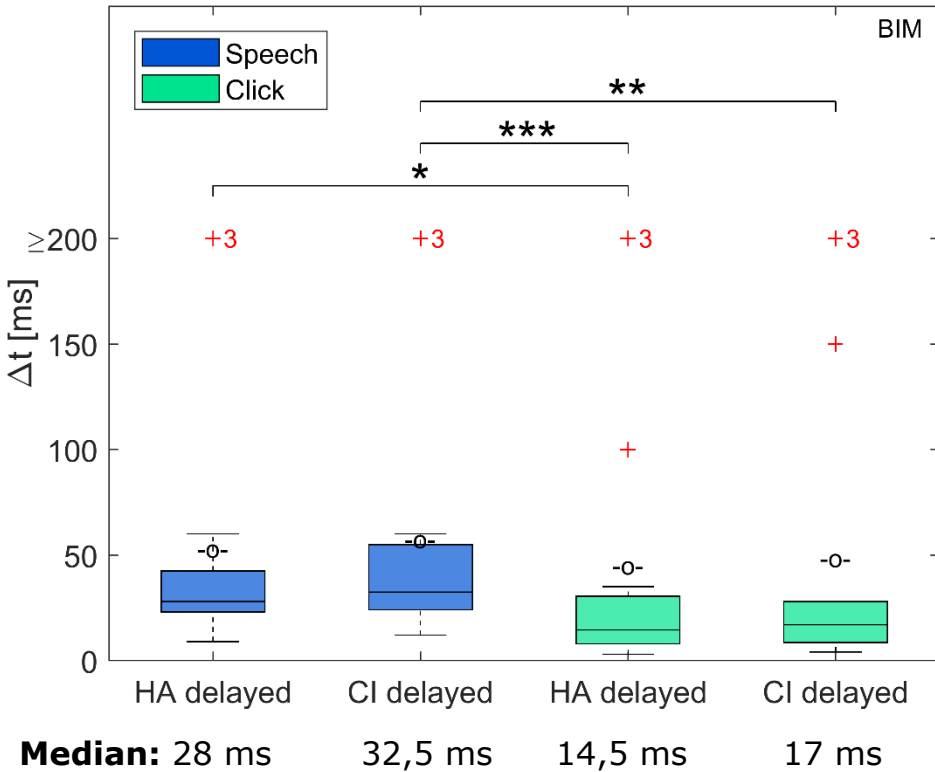
# Take-Home Message

- Bimodale Hörsituation kommt bei Erwachsenen am häufigsten vor
- Bimodaler Gewinn am größten, wenn natürliches Hören (HG-Ohr) auf der besseren Seite
- Bimodaler Gewinn steigt, wenn HG-Seite optimiert wird
- Angleichung der Lautzeiten führt zu:
  - einer stat. signifikanten Verbesserung in der Lokalisationsfähigkeit
  - einer stat. signifikanten Verbesserung der Wahrnehmungsschwellen der ITDs
  - **keiner stat. signifikanten Verbesserung im Sprachverstehen**
- Jedes Ohr sollte optimal versorgt sein, um beidseitiges Hören zu optimieren



***Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!***

# 3. Ergebnisse ITD-JNDs



- Signifikanter Einfluss des Stimulus auf  $\Delta t$   
 $\chi^2(3) = 26.389, p < 0.001$
- Keine signifikanter Unterschied des verzögerten Geräts

- Signifikanter Einfluss des Stimulus auf  $\Delta t$   
 $\chi^2(3) = 24.032, p < 0.001$
- Keine signifikanter Unterschied der verzögerten Seite

# 1. Einführung

- ITD<sup>1</sup> Kompensation verbessert Lokalisation bei SSD<sup>2</sup> [1] und bei bimodalen Patienten [2]
- Studien mit EAS<sup>3</sup>- und SSD Patienten:
  - ITD Kompensation: Keine Verbesserung von Sprachverstehen im Störschall (OLSA) bei EAS [3] und SSD [1]
  - Typische EAS Delay Werte (~6ms) sind kleiner als die JNDs<sup>4</sup> (10ms to ≥100ms) [3]
  - Vergrößerte ITDs beeinflussen auch ILDs<sup>5</sup> bei bimodalen Patienten. ITD Kompensation könnte ILD Wahrnehmung verbessern und damit auch das Sprachverstehen im Störschall [1]
- **Verbessert ITD Kompensation in bimodalen Patienten das Sprachverstehen im Störschall?**

<sup>1</sup> interaural time difference

<sup>2</sup> single sided deafness

<sup>3</sup> electro-acoustic stimulation

<sup>4</sup> just noticeable difference

<sup>5</sup> interaural level differences

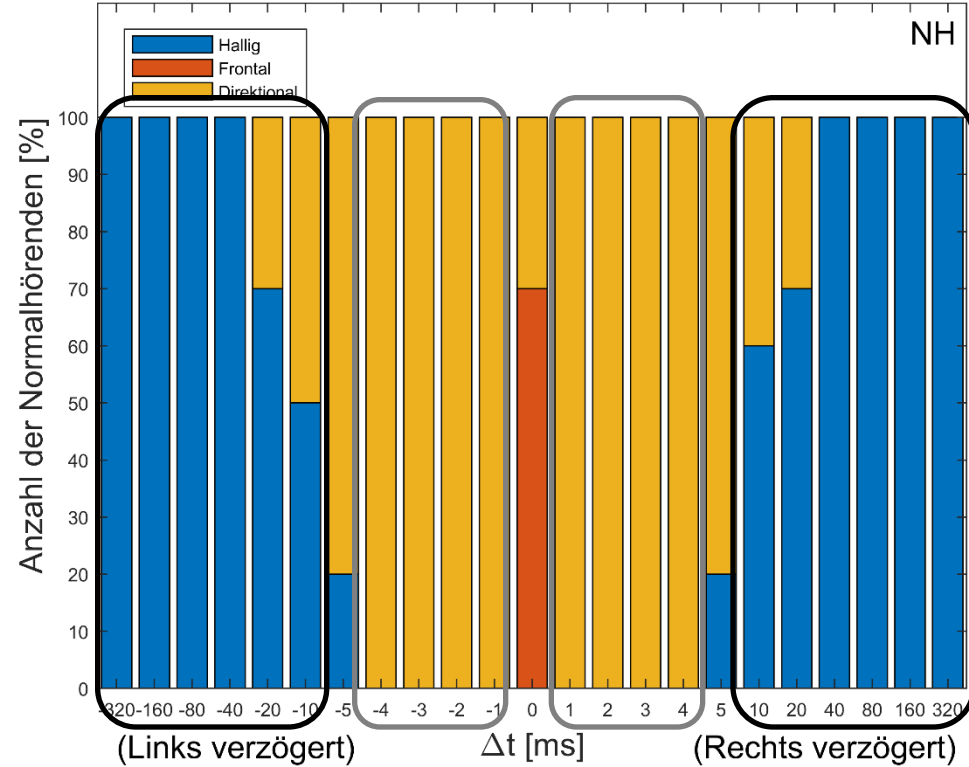
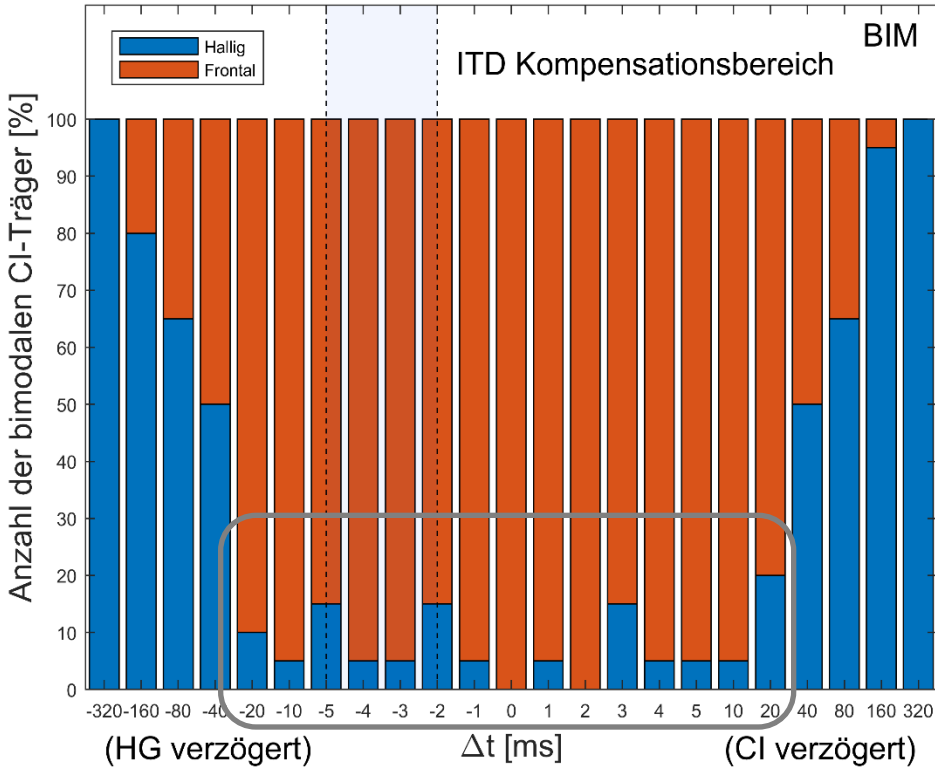
[1] Seebacher et al. 2018

[2] Zirn et al. 2019

[3] Chalupper et al. 2014

# 3. Ergebnisse

## Subjektive Wahrnehmung



- *Hallig* für  $|\Delta t| \geq 40$  ms ( $\geq 50\%$ )

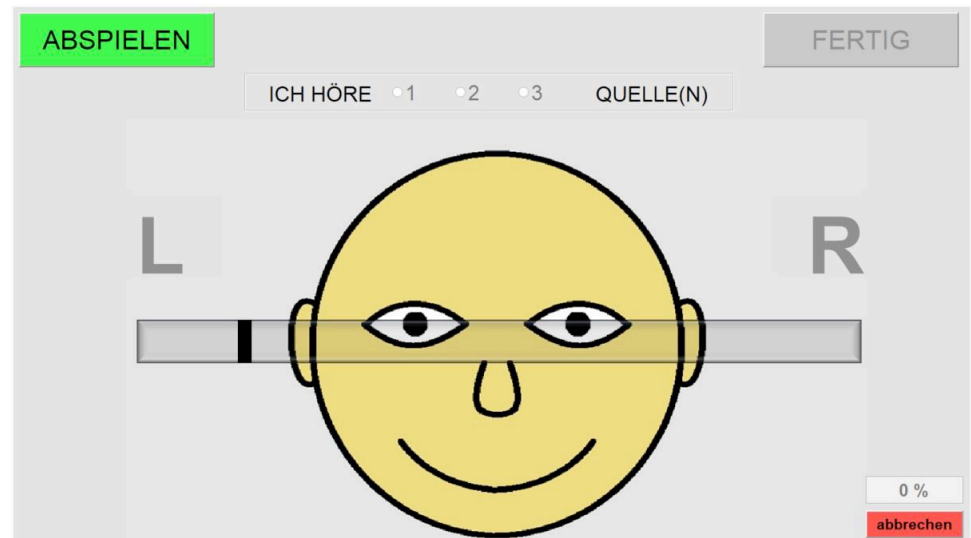
- *Frontal* für  $|\Delta t| < 20$  ms ( $\geq 80\%$ )

- *Hallig*  $|\Delta t| \geq 10$  ms  $\geq 50\%$  NH

- *Richtung*  $|\Delta t| < 4$ ms 100% NH

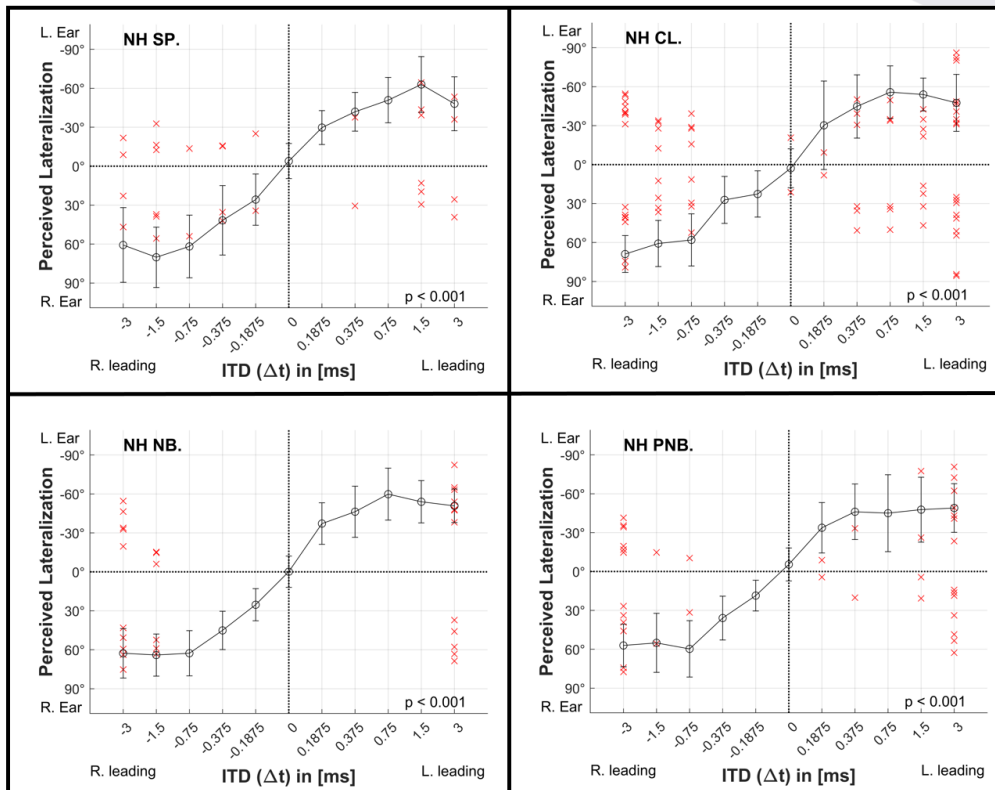
# 3. Methoden: Lateralisation

- Visual Pointer Lateralisierung
  - Williges et al. 2018, Dietz et al., 2013
- ITD<sup>1</sup>-range: 17 ITDs from 0.0 to  $\pm 48$  ms
  - BIM: 0 /  $\pm 0,375$  /  $\pm 0,75$  /  $\pm 1,5$  /  $\pm 3$  /  $\pm 6$  /  $\pm 12$  /  $\pm 24$  /  $\pm 48$
  - NH: 0 /  $\pm 0,1875$  /  $\pm 0,375$  /  $\pm 0,75$  /  $\pm 1,5$  /  $\pm 3$
- Stimuli: Freiburger Zahlen, Noise Burst (Zirn et al. 2019)
- Training vorab



<sup>1</sup> interaural time difference

# 3. Ergebnisse Lateralisation NH

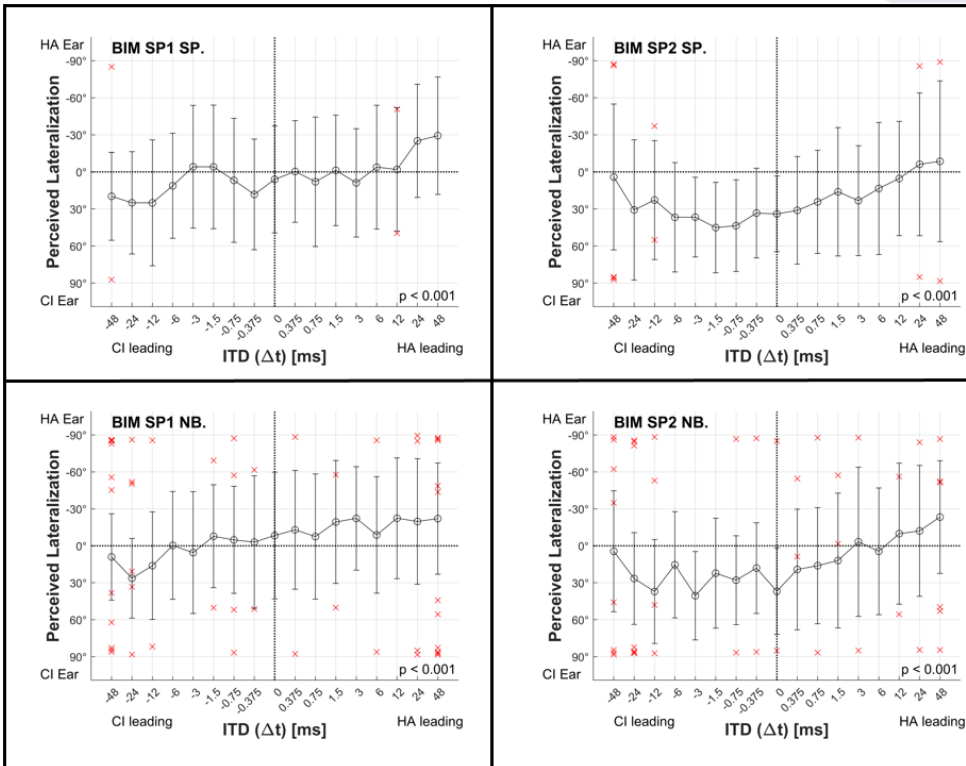


Condition group	$P_{HA} / P_L$ in degrees	$P_{CI} / P_R$ in degrees
SP.	-62,9	70,2
CL.	-55,8	68,9
NB.	-59,8	64,1
PNB.	-49,0	59,7
Condition group	$ITD_{PHA/PL}$ in ms	$ITD_{PCI/PR}$ in ms
SP.	1,5	-1,5
CL.	0,75	-3
NB.	0,75	-1,5
PNB.	3	-0,75
Condition group	$R_{HA} / R_L$ in %	$R_{CI} / R_R$ in %
SP.	54,5	45,5
CL.	45,5	54,5
NB.	54,5	45,5
PNB.	54,5	45,5

■ Sign.

■ Sign.

# 3. Ergebnisse Lateralisation



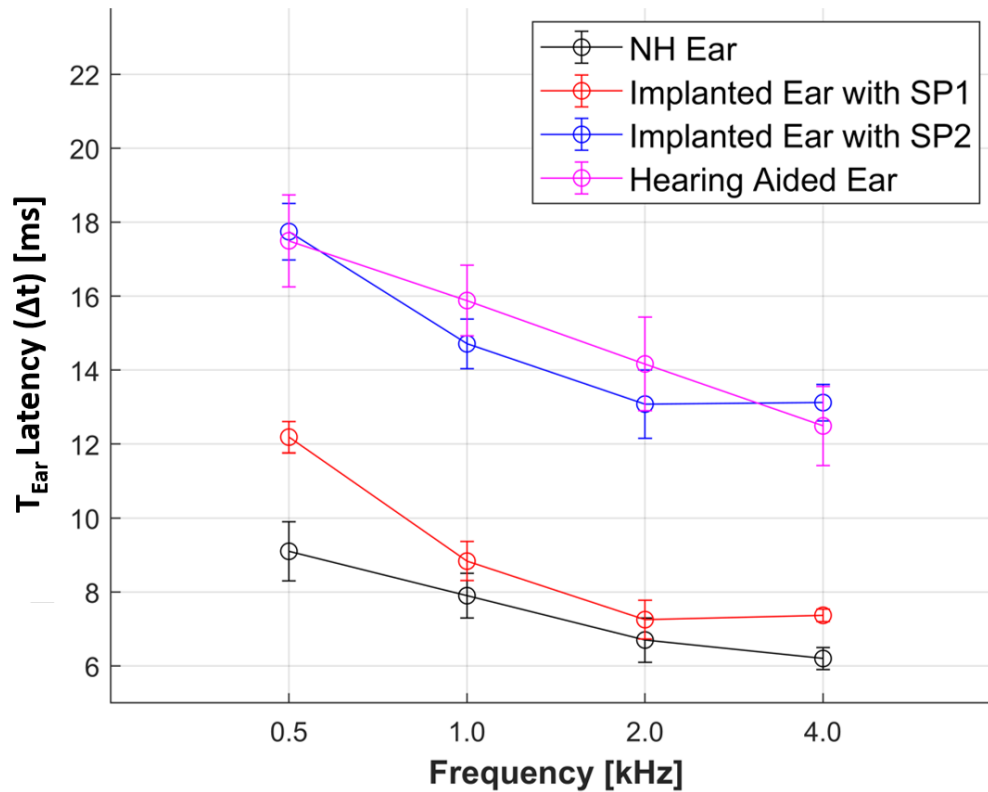
Condition group	$P_{HA} / P_L$ in degrees	$P_{CI} / P_R$ in degrees
BIM SP1 SP.	-29,3	25,0
BIM SP1 NB.	-22,4	26,3
BIM SP2 SP.	-8,6	45,1
BIM SP2 NB.	-23,3	40,5
Condition group	ITD <sub>PHA/PR</sub> in ms	ITD <sub>PCI/PL</sub> in ms
BIM SP1 SP.	48	-12
BIM SP1 NB.	12	-48
BIM SP2 SP.	48	-1,5
BIM SP2 NB.	48	-3
Condition group	$R_{HA} / R_L$ in %	$R_{CI} / R_R$ in %
BIM SP1 SP.	47,1	52,9
BIM SP1 NB.	76,5	23,5
BIM SP2 SP.	11,8	88,2
BIM SP2 NB.	23,5	76,5

■ Sign.

■ Sign

# 3. Ergebnisse

## Laufzeitenmessungen (IDDM)



$$T_{\text{NH Ear}} = 7.5 \text{ ms}$$

$$T_{\text{HA Ear}} = 15.1 \text{ ms}$$

$$T_{\text{CI1 Ear}} = 8.9 \text{ ms}$$

$$T_{\text{CI2 Ear}} = 14.7 \text{ ms}$$

---

$$\text{IDDM}_{\text{SP1}} = -6.2 \text{ ms}$$

$$\text{IDDM}_{\text{SP2}} = -0.4 \text{ ms}$$