



UniversitätsKlinikum Heidelberg

Otoakustische Emissionen ... Aktive Antworten und Verzerrungen

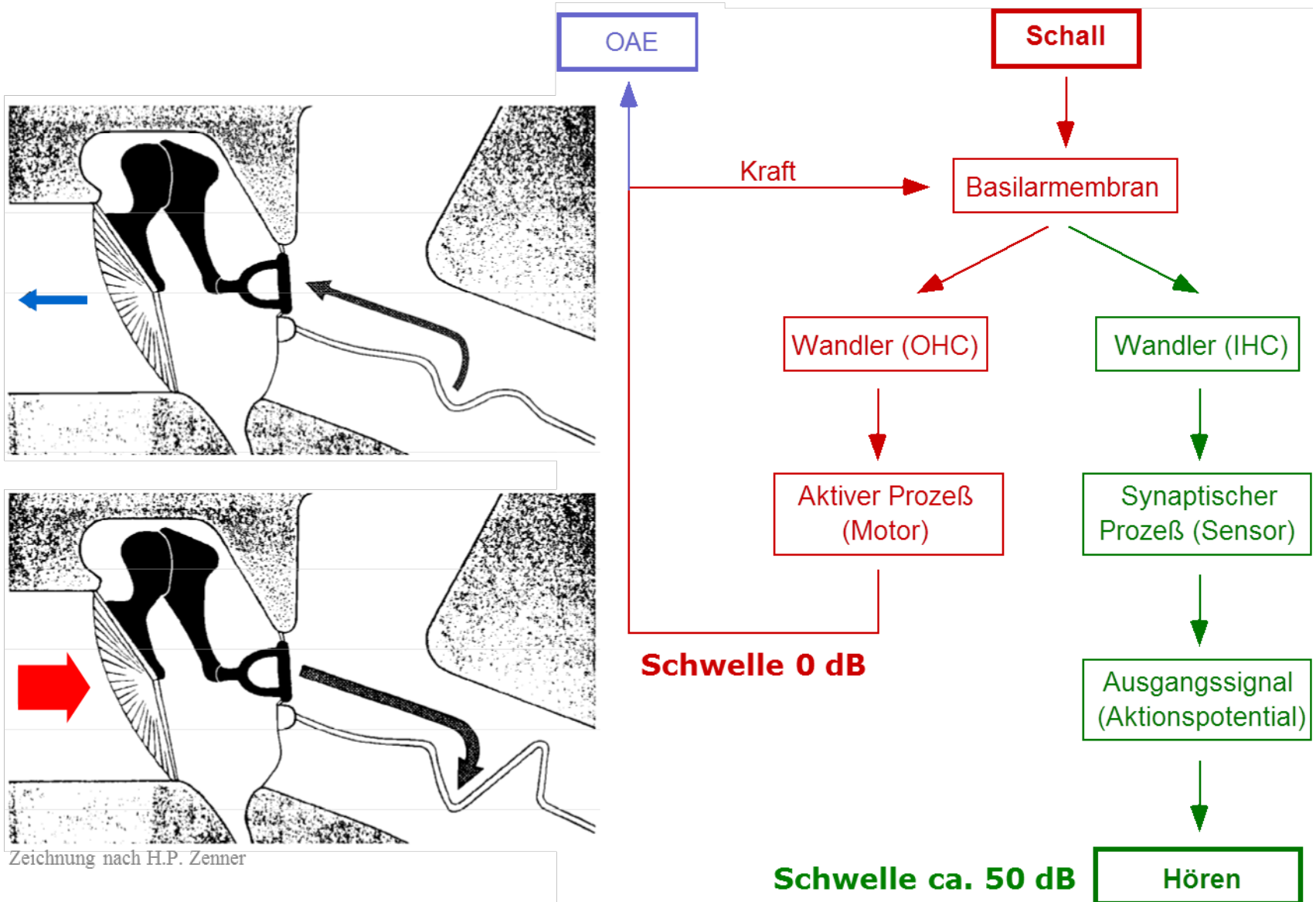
3. Fortbildung Audiologie und Funktionsdiagnostik
BAA und DVTA

Sebastian Hoth

Univ.-HNO-Klinik Heidelberg

sebastian.hoth@med.uni-heidelberg.de

Cochleäre Schallverarbeitung und Entstehung von OAE

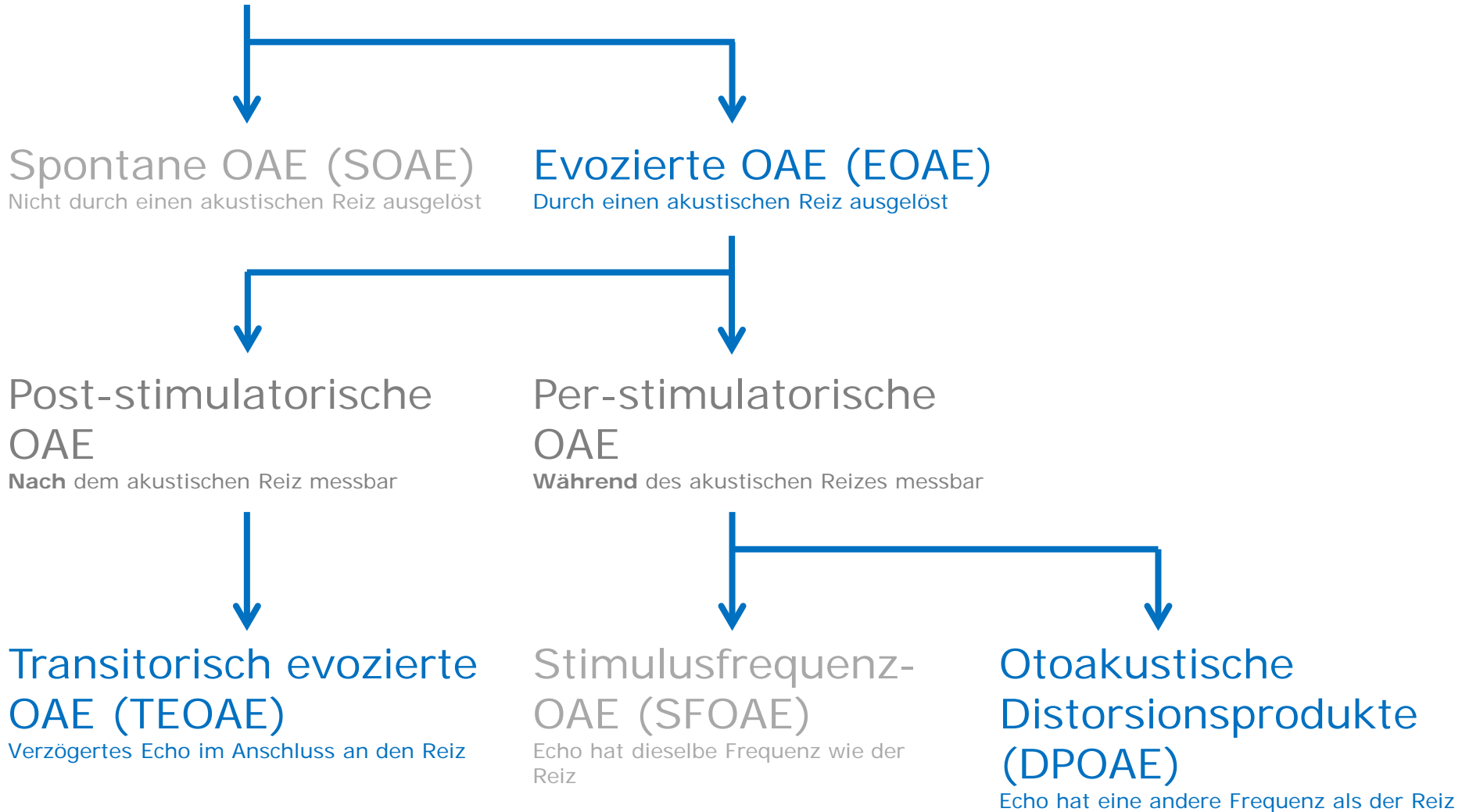


Zeichnung nach H.P. Zenner



Benennung der verschiedenen Arten von OAE

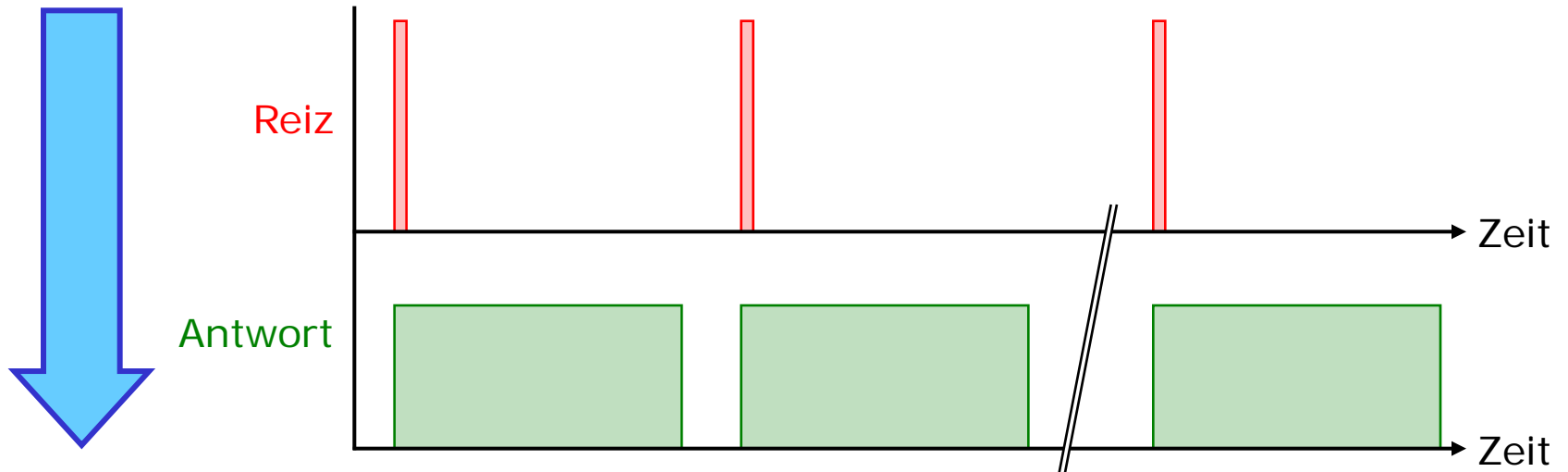
Otoakustische Emissionen (OAE)



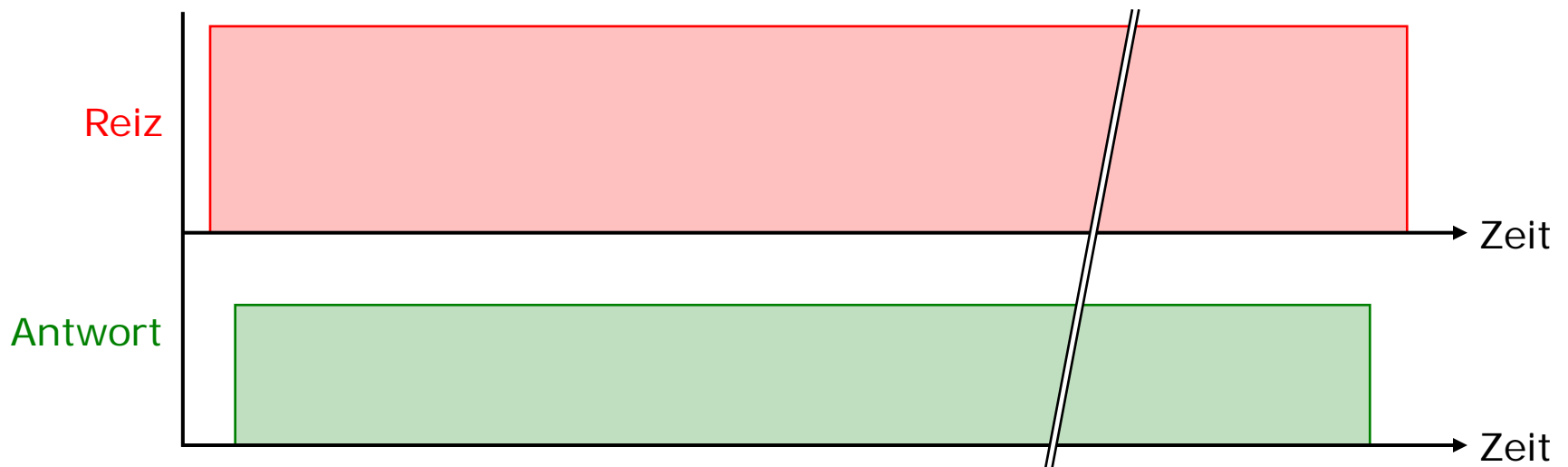


Paradigmen bei der Messung von evozierten Signalen

Transiente Reizantworten (TEOAE sowie FAEP und SAEP)



Stationäre Reizantworten (DPOAE und ASSR)



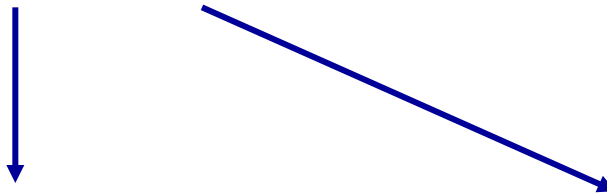


Prinzipien aller objektiven Hörprüfungen (auch ERA)

- **Problem: Kleines und verrauschtes Signal**

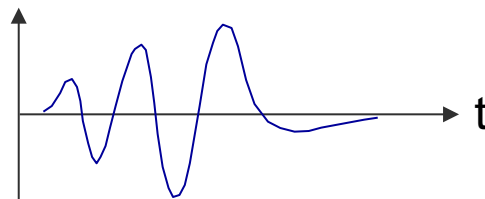
Lösung:

- Signalerfassung mit OAE-Sonde oder Elektroden
- Verwerfung von Artefakten
- Signalmittelung (averaging)



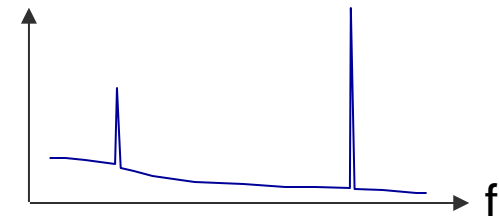
Auswertung im
Zeitbereich

TEOAE
(S)FAEP
(S)SAEP



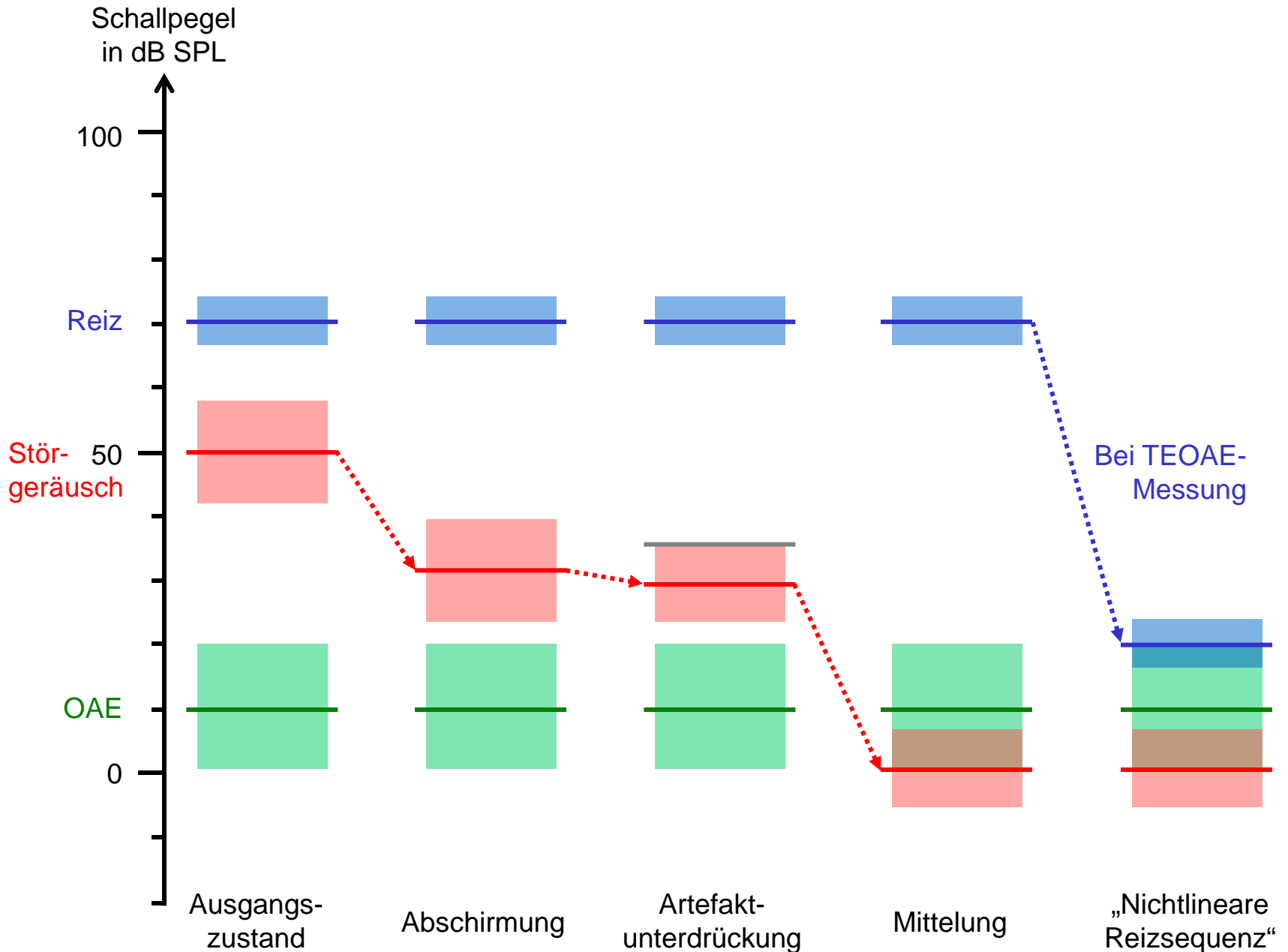
Auswertung im
Frequenzbereich

DPOAE
AMFR
ASSR



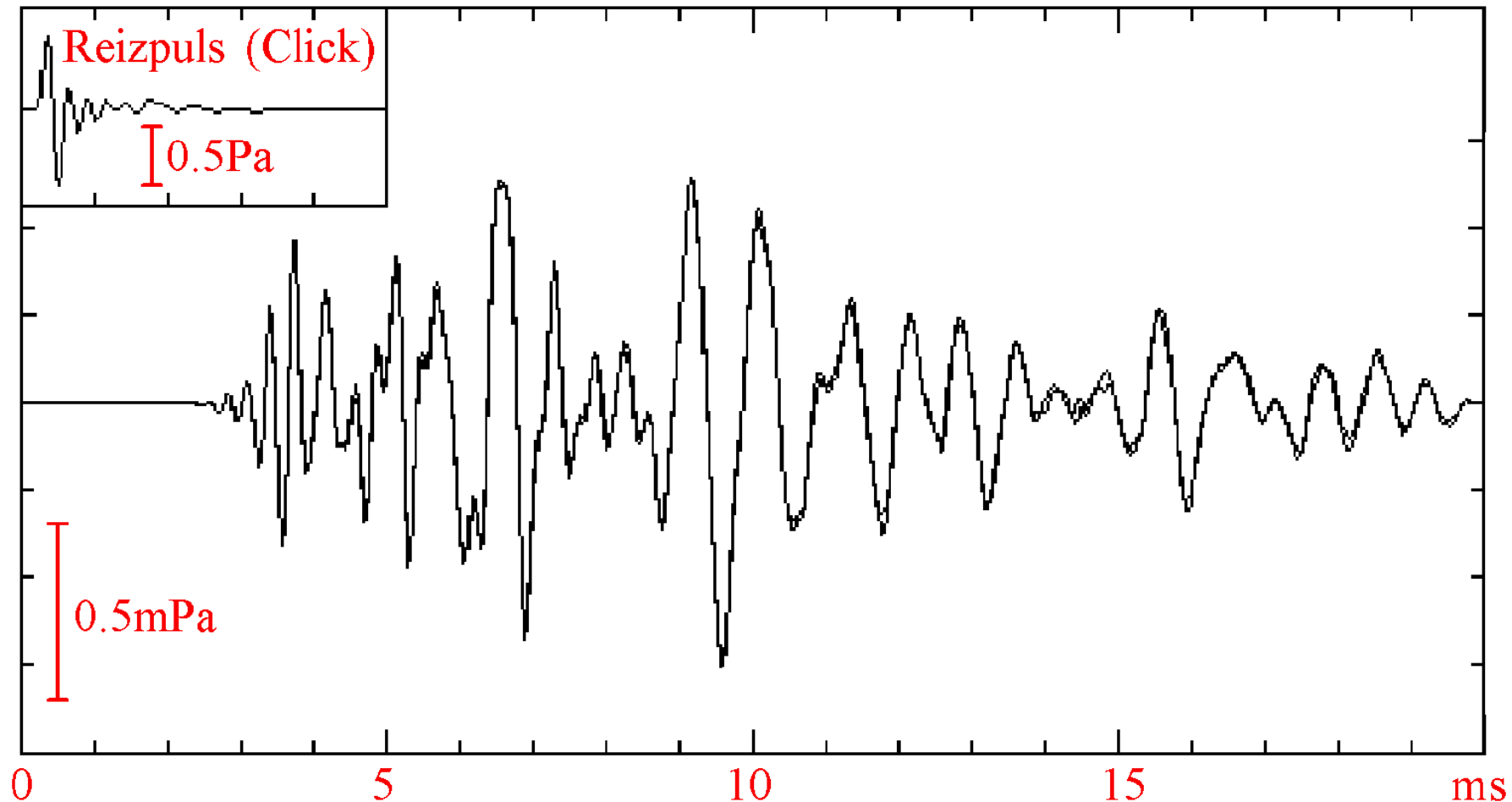


OAE-Messung: Prinzipien der Störsignalbefreiung





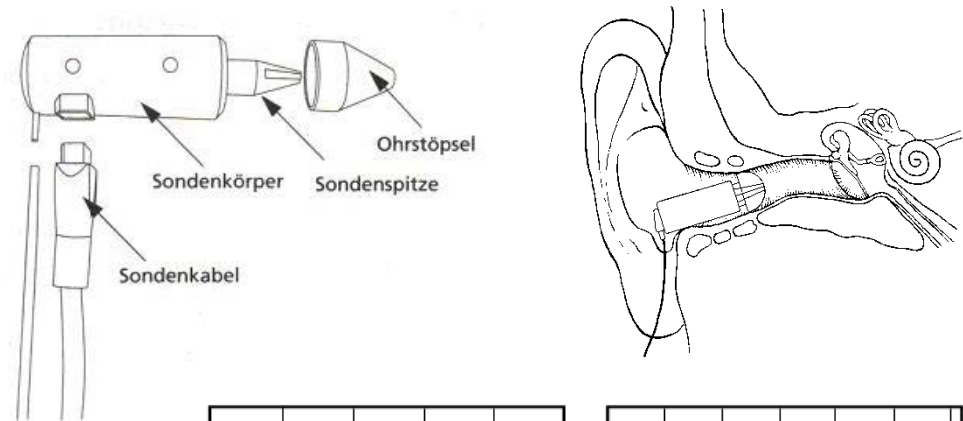
TEOAE: Transitorisch (durch einen kurzen Reiz, z.B. Click) Evozierte OtoAkustische Emissionen



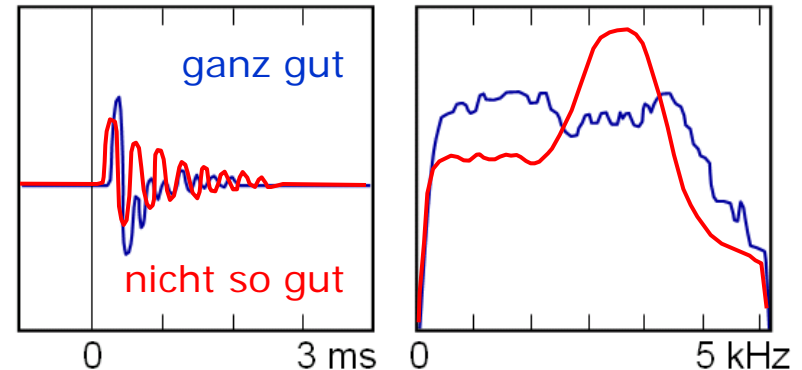
Verzögertes „Echo“ aus dem Innenohr (äußere Haarzellen)

Kontrolle und Optimierung der Reiz- und Messbedingungen

1. **Sondenlage**
Eichmessung
Verschmutzung?
Ausrichtung
Abdichtung
Stabilität



2. **Reizgebung**
Reizpegel
Gehörgangsantwort
Stabilität



Das gibt es bei keinem anderen Hörtest! ← Im Gehörgang gemessen

3. **Umgebung**
Ruhe
Abschirmung
Nebenräume
ggf. Ohr abdecken

4. **Patient**
Lagerung
Atmung
Bewegungen
Kabel

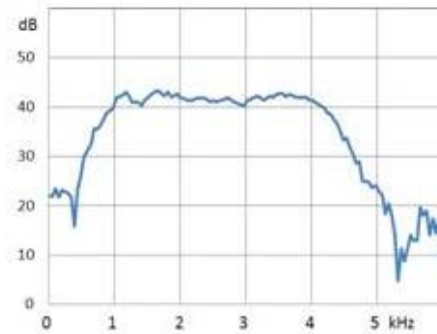
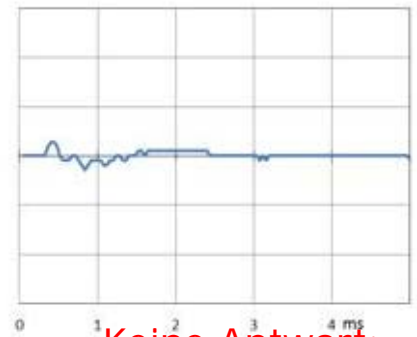
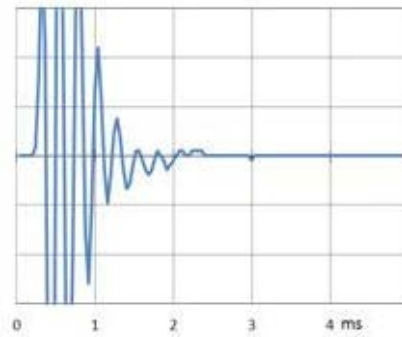


Fertig zur OAE-Messung: die Sonde im Gehörgang



Das Sondenmikrophon ermöglicht uns einen „Blick“ in den Gehörgang.

Am besten ist es, wenn der Click nur kurze Zeit dauert und sein Spektrum alle Frequenzen mit gleicher Intensität enthält.

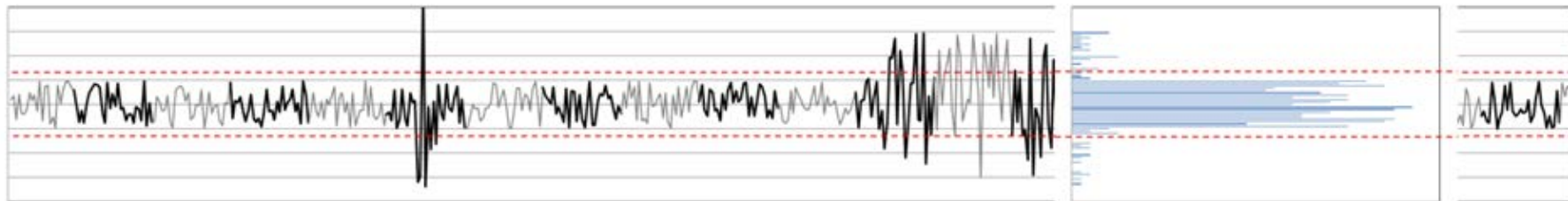




Artefakte bei der OAE-Messung

Wenn man nicht richtig aufpasst, geht alles wieder kaputt.

Wir verhindern das mit Hilfe einer Amplitudenkontrolle:



Dabei hilft uns ein Amplitudenhistogramm.

Immer wenn der Signalabschnitt mit mindestens einem Wert die **Grenze** überschreitet, wird er verworfen.

Das dauert länger, das Ergebnis wird aber besser.

Wenn man aber zu viel verwirft, kommt man nicht zum Ziel!

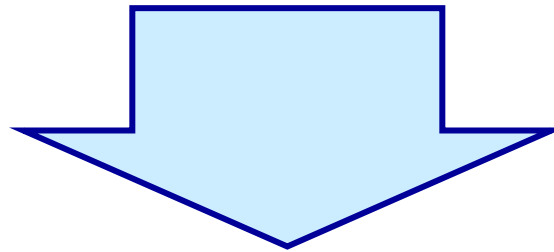


Auswirkung von Artefakten auf die Qualität

Ist eine Messung schlecht, weil viele Artefakte aufgetreten sind?

Nein, die verwerteten Signalabschnitte wurden nur kritisch ausgewählt!

Eine hohe Zahl von **Artefakten** zeigt an, dass die *Ausgangsbedingungen* ungünstig sind (in Relation zur eingestellten **Amplitudengrenze**).



Das einzige relevante Maß für die Qualität des Ergebnisses ist die (terminale) Reststörung.

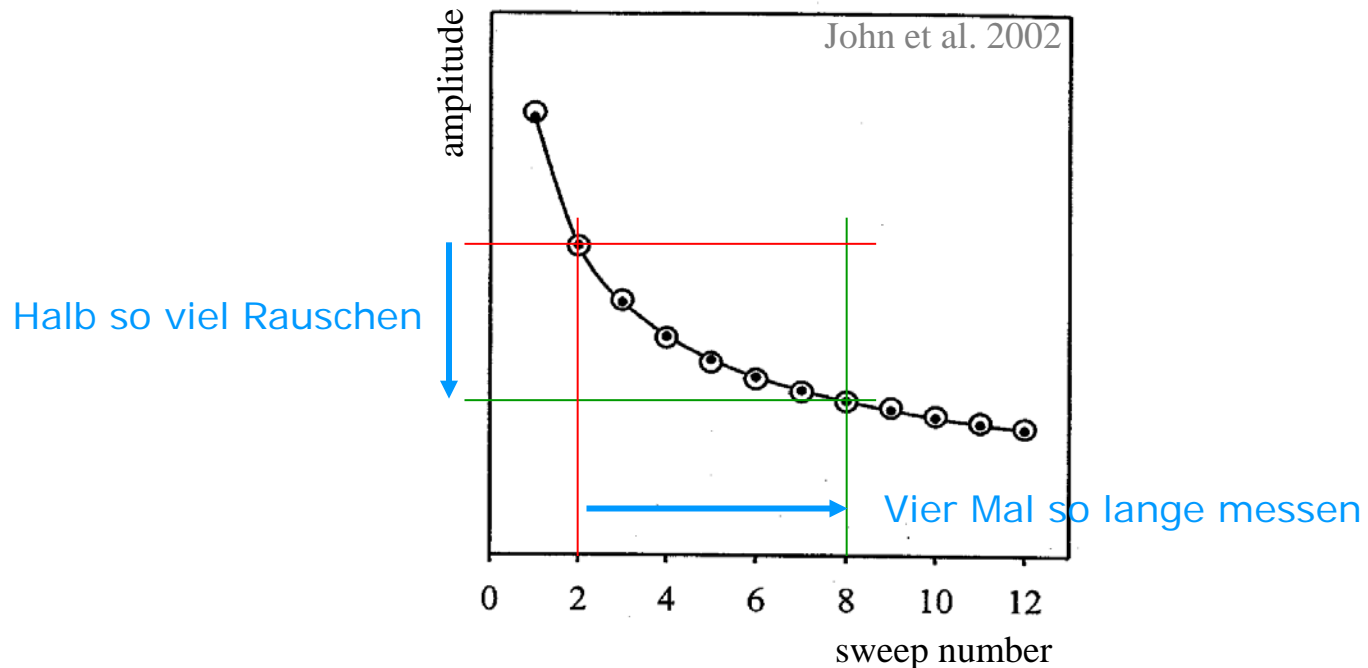


Summation bedeutet:

Das Signal nimmt schneller an Amplitude zu als die Störung.

Mittelung bedeutet:

Die Signalamplitude bleibt konstant, die Amplitude der Störung nimmt ab.



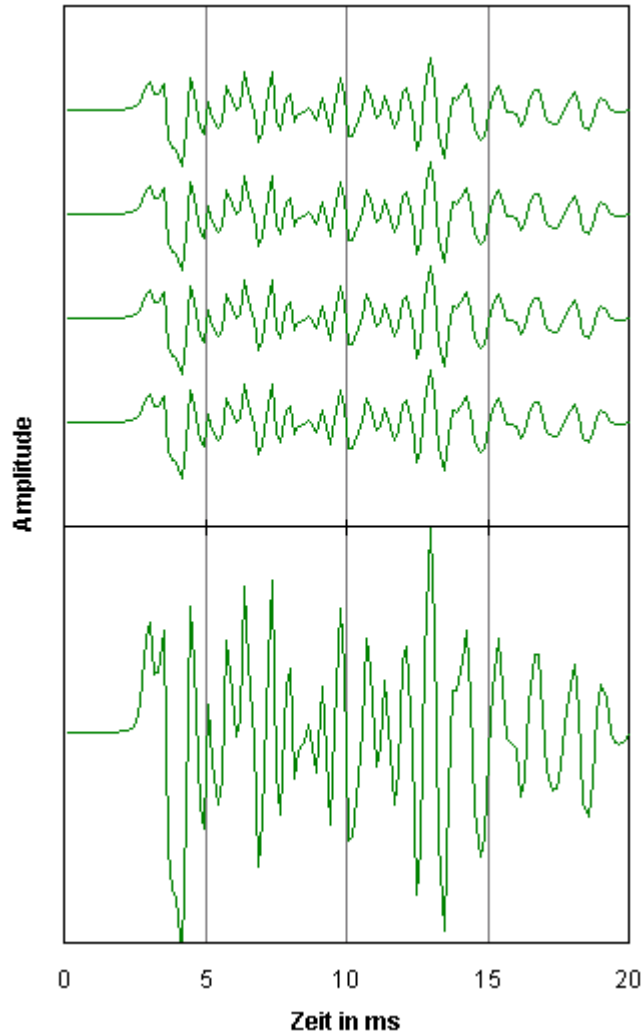
Unabhängig davon, ob Summation oder Mittelung betrachtet werden:

Die Störung verschwindet niemals ganz → „Reststörung“



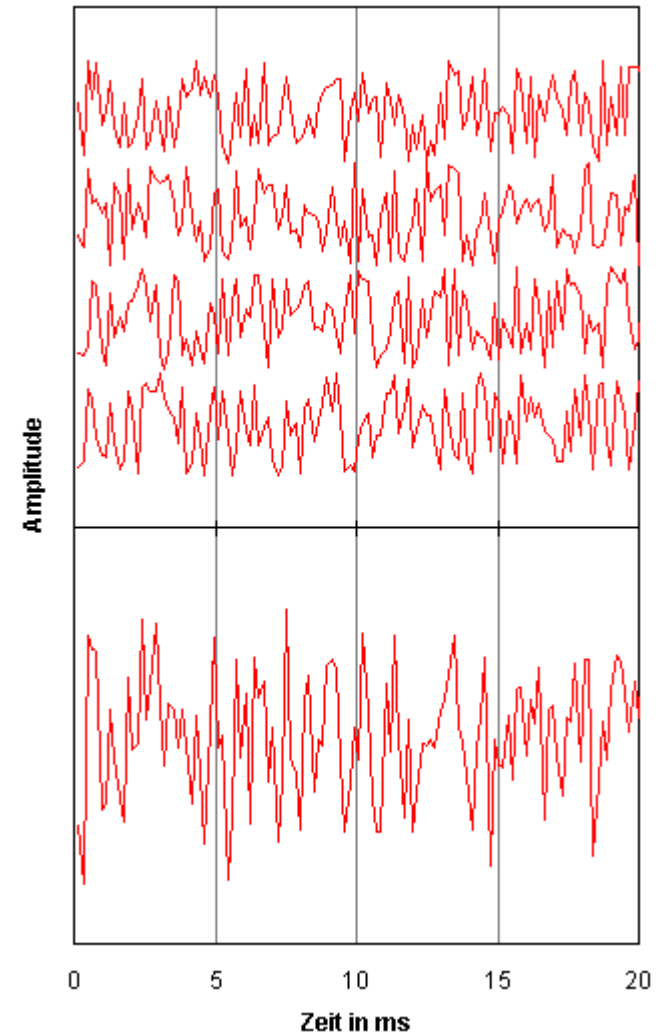
Verhalten von Signal und Rauschen bei Addition

OAE 4 Male gemessen...



... vierfache Amplitude

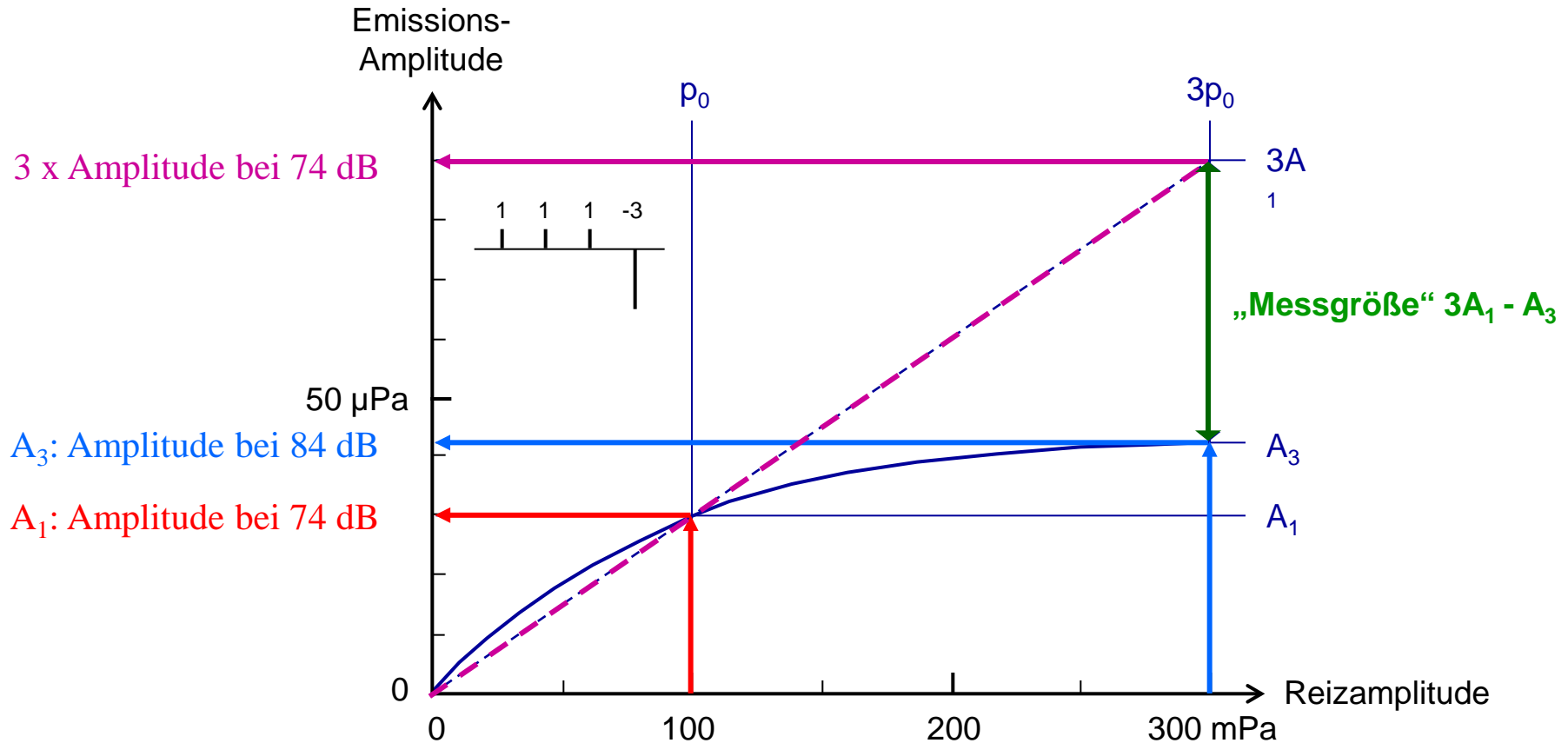
Rauschen 4 Male gemessen...



... doppelte Amplitude



Derived nonlinear response (DNL) = $3f(x) - f(3x)$



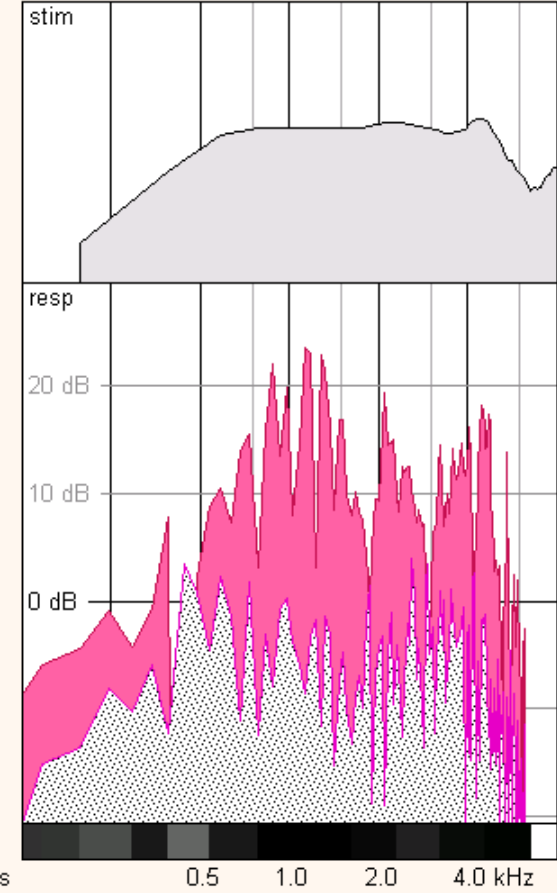
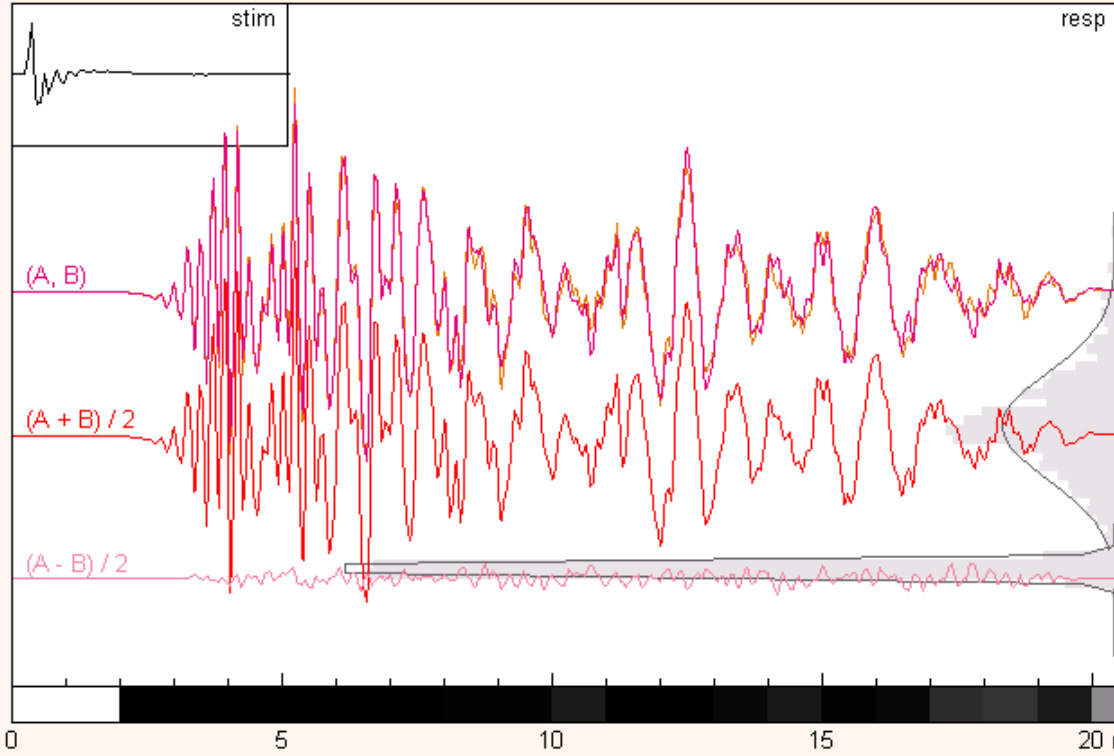


Transitorisch evozierte OAE (TEOAE) am normalhörenden Ohr



Name: G. T. (w)
 Alter: 25.4 Jahre
 Datum: 17. 9.2003
 Diagn.: Tinnitus links

TEOAE



Reiz:

rechts
 CLIKN
 Abschwächung = 0 dB
 Reizpegel = 80.5 dB re Vss
 Stabilität = 97 %

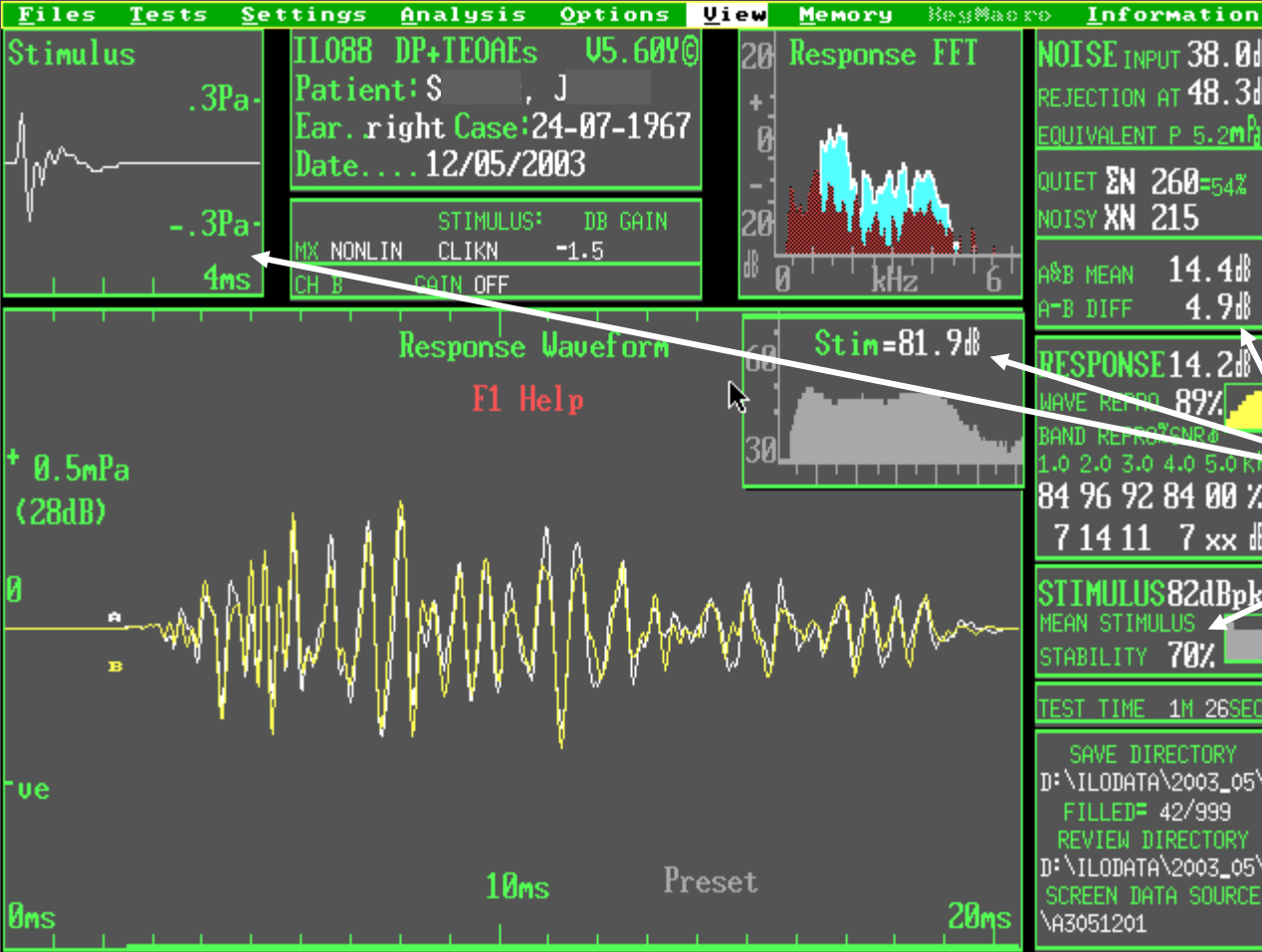
Messung:

Angenommen: 260 Sequenzen
 Verworfen: 54 Sequenzen
 Grenze: 4.3 mPa
 Messdauer = 0 min 56 sec
 Modus = 0

Ergebnis:

Signal + Restrauschen = 16.2 dB SPL
Signal (OAE) = 16.2 dB SPL
 Restrauschen = -3.9 dB SPL
Signal-Rausch-Diff. = 9.1 StdAbw
Reproduzierbarkeit = 98.0%
 Testgröße Chi-Quadrat S+N = 30.6 (m= 3)
 Testgröße Chi-Quadrat N = 14.7 (m= 3)

D:\ILODATA\2003_09\A3091705.DTA



Welches sind die Merkmale „echter“ OAE?

Gute Messbedingungen

- Stimulus
- Stabilität
- Restrauschen

Nachweisbare Reizantwort

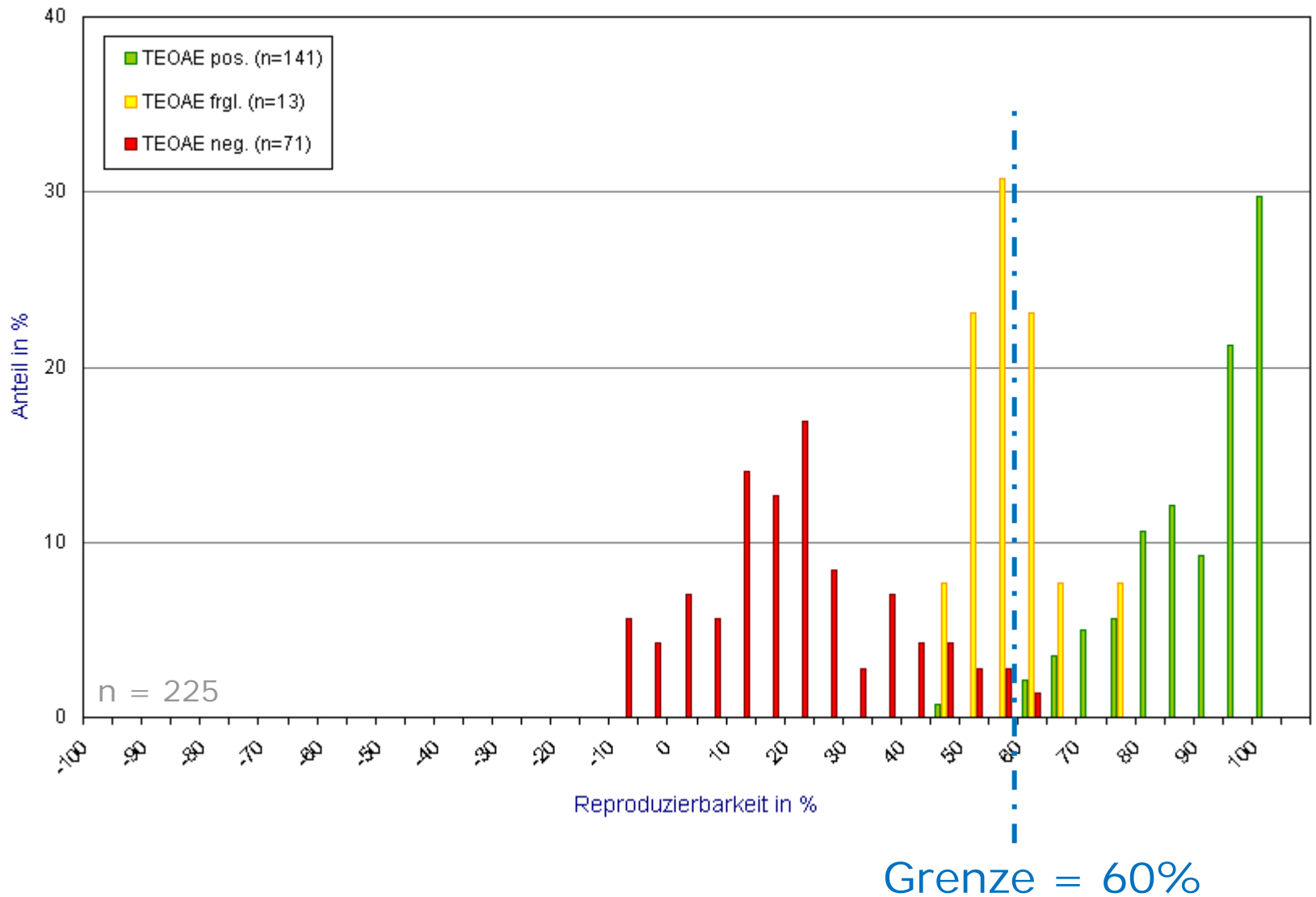
REPRO > 60%
SNR > 6 dB

Typische Kurvenmerkmale:

- Emissionsamplitude zwischen 0 und 25 dB SPL
- Emissionsdauer > 6 ms
- Zunächst schnelle, später langsame Oszillationen
- Amplitude nimmt zu späteren Zeiten ab
- Amplitude nimmt zu hohen Frequenzen ab



Trennschärfe Reproduzierbarkeit





TEOAE-Nachweis: Bedeutung von Reststörung und Repro

	Repro groß	Repro klein
Wenig Reststörung	OAE-positiv	OAE-negativ
Viel Reststörung	OAE-positiv	?

Wenn die Reststörung groß ist, können wir allenfalls sehr große OAE nachweisen; wenn das nicht gelingt, ist das Ergebnis völlig offen.

Und was bedeutet die Stabilität?

Sie betrifft nichts weiter als die Lage der Sonde. Berechnet wird sie als Korrelationskoeffizient aus zwei Gehörgangsantworten, die vor und nach der OAE-Messung aufgezeichnet werden.

Eine hohe Stabilität heißt nur, dass diese zwei Gehörgangsantworten sehr ähnlich waren.

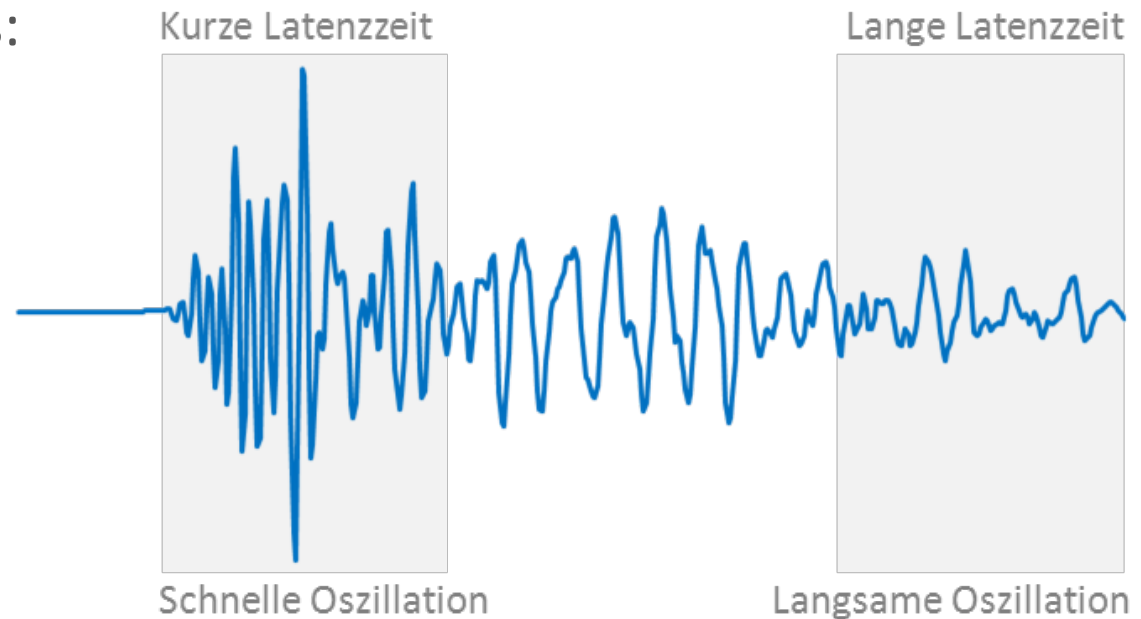
In der Zeit dazwischen kann sehr viel passiert sein...

„Beidseits OAE mit hoher Stabilität“ geht gar nicht!



Weitere Details, die wir aus den OAE ablesen können

Die Latenz der OAE sagt etwas über die Funktion einzelner Bereiche der Basilarmembran aus:

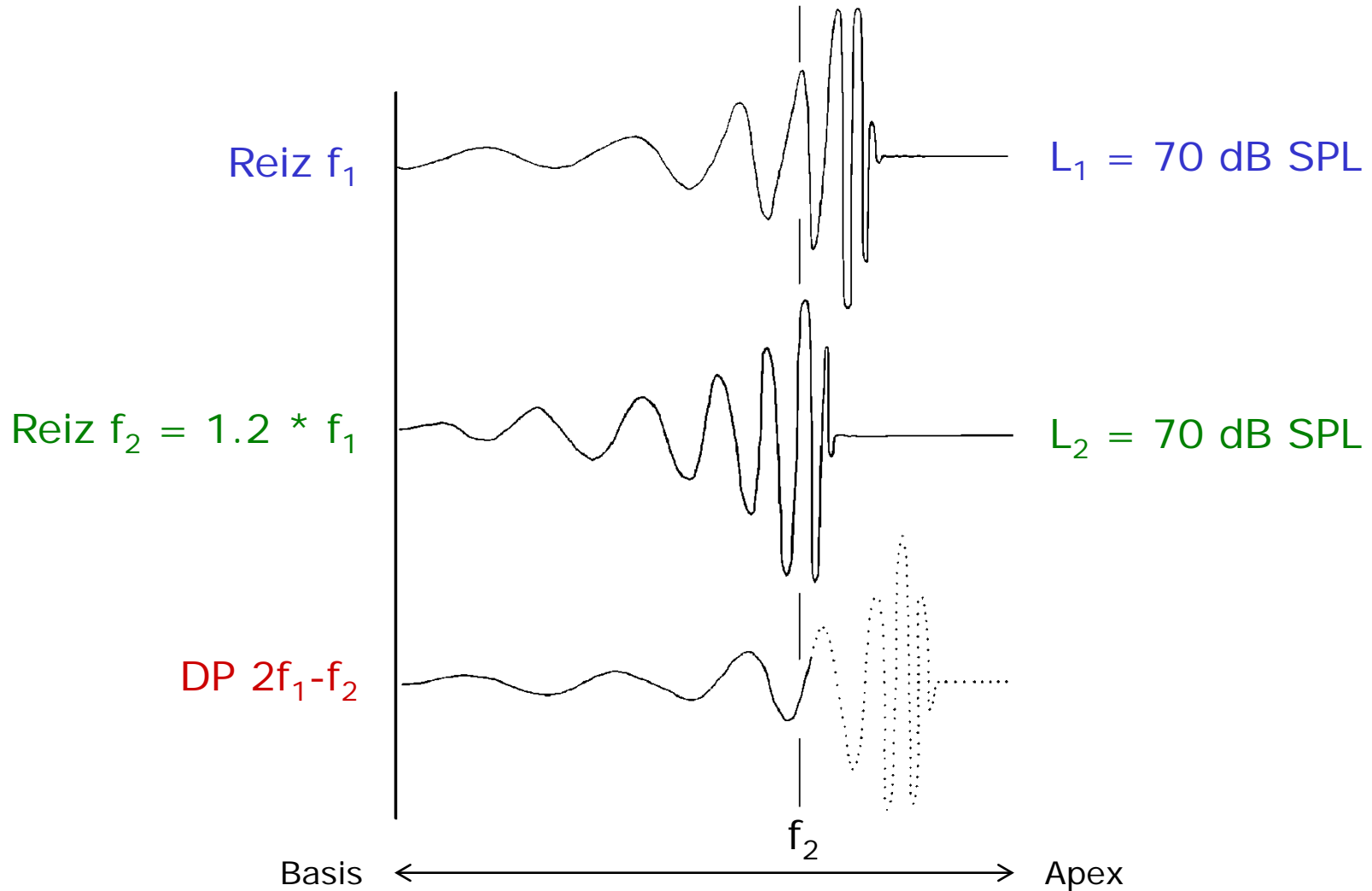


Der erste Teil des Zeitfensters enthält die Antworten aus dem Hochtonbereich, der letzte Teil die aus dem Tieftonbereich.

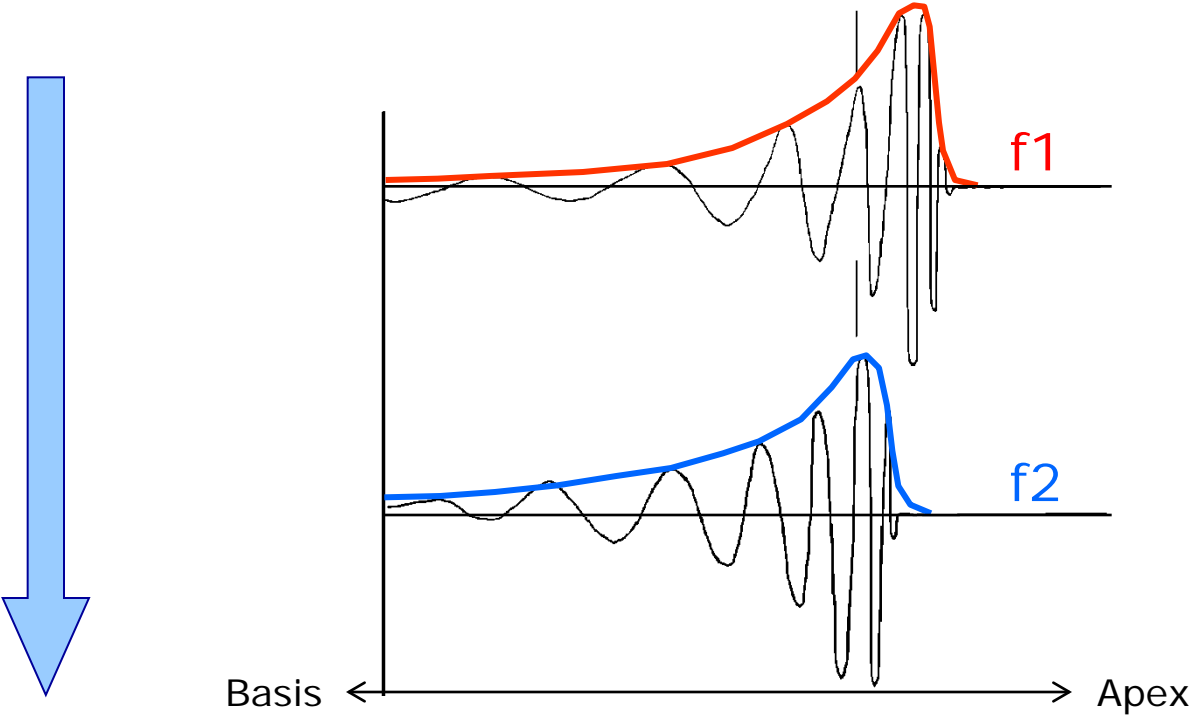


DPOAE: Reizung mit zwei Sinus-Dauertönen

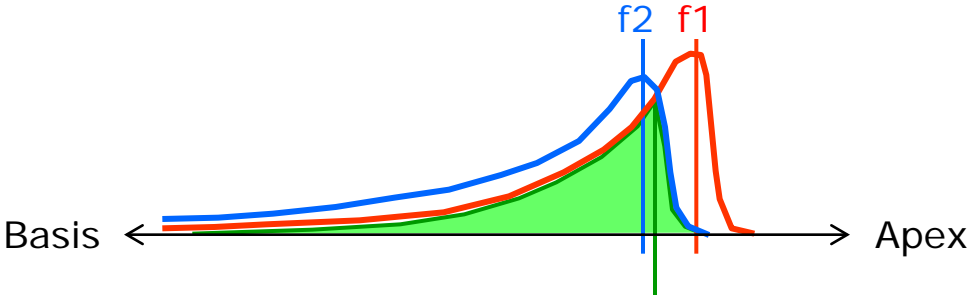
Überlagerung der primären Wanderwellen und Ursprung der Verzerrungsprodukte



Stimulation mit 2 Sinustönen: Überlagerung der Wanderwellen



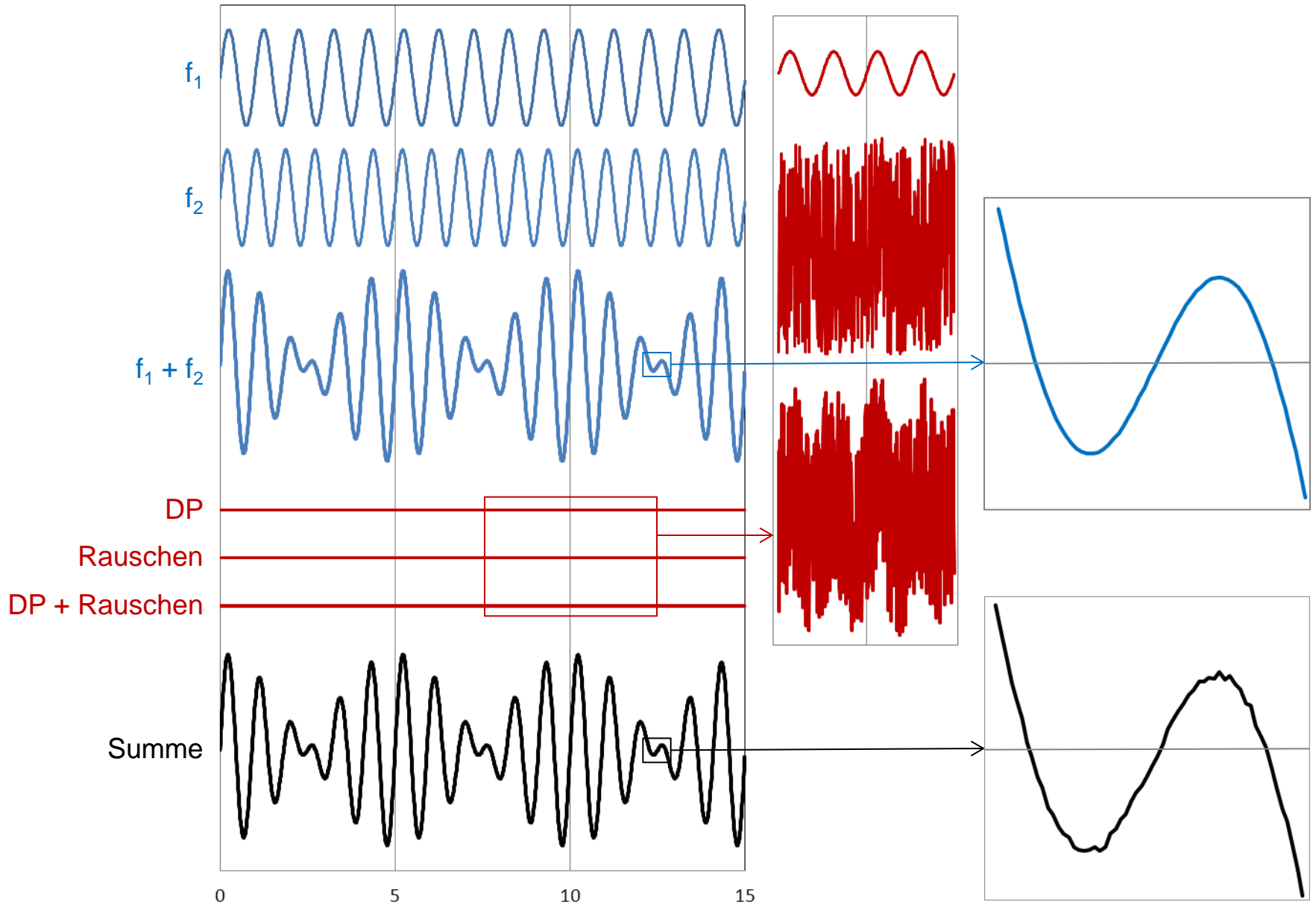
Otoakustische Distorsionsprodukte (DPOAE)



Überlapp: Maximum sehr nahe bei f_2

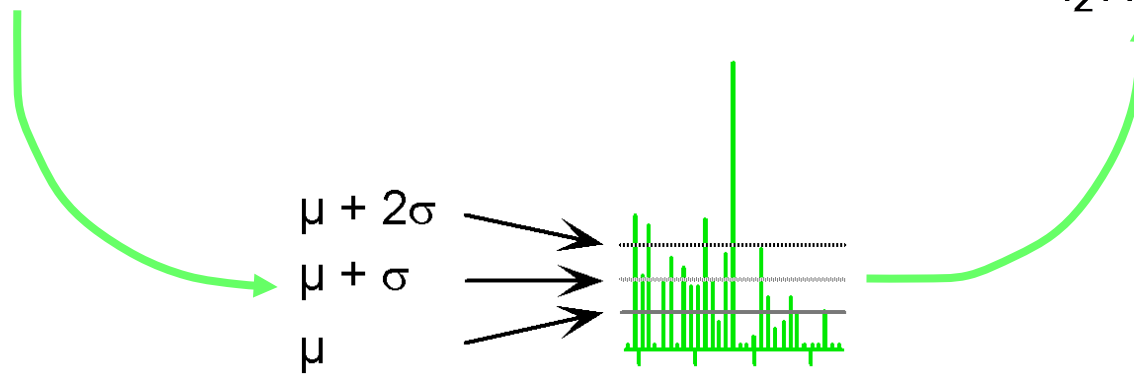
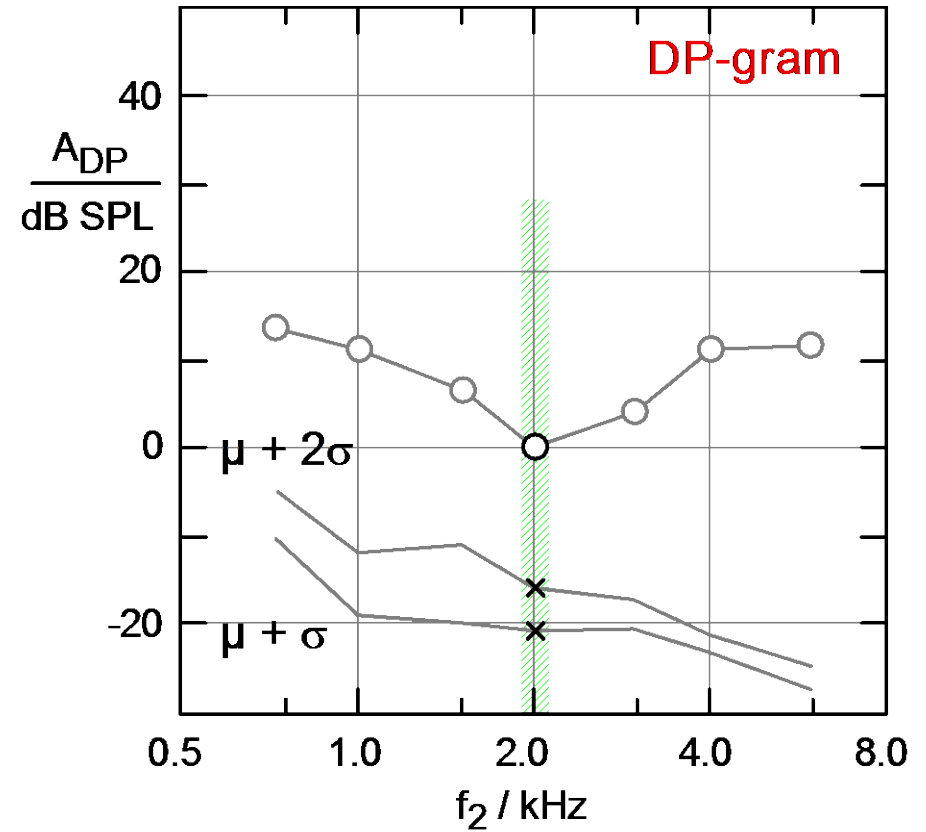
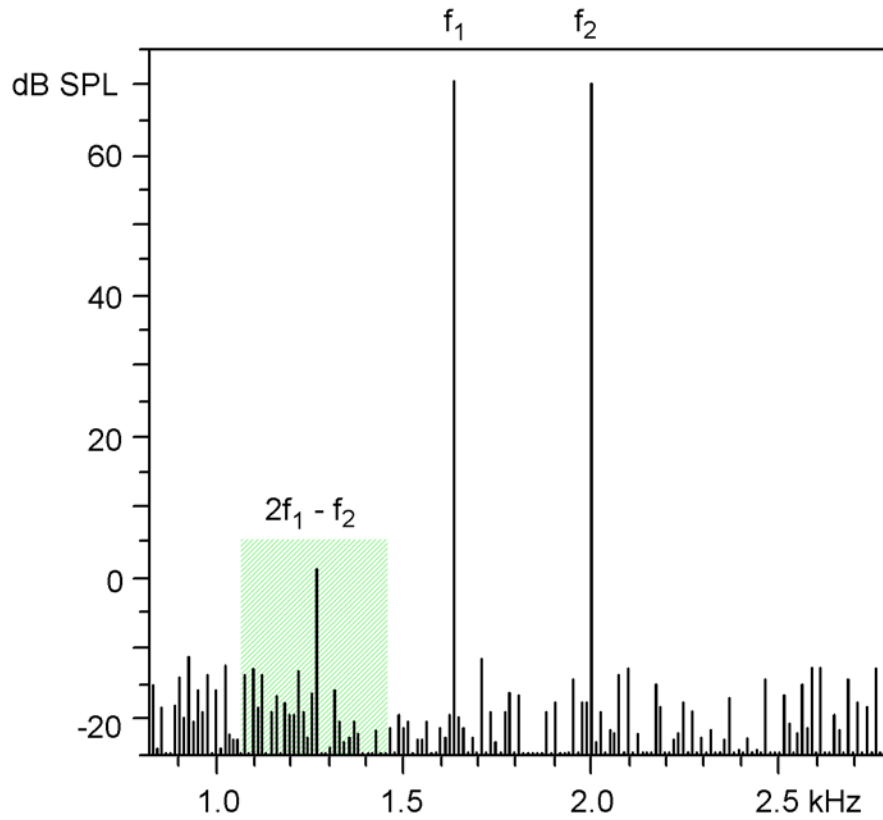


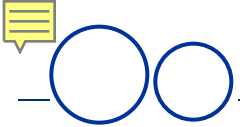
Signalkomponenten bei der Messung von DPOAE





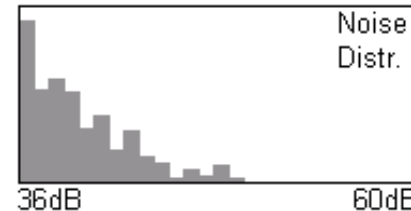
Messung der DP-Amplitude in Abhängigkeit von der Frequenz





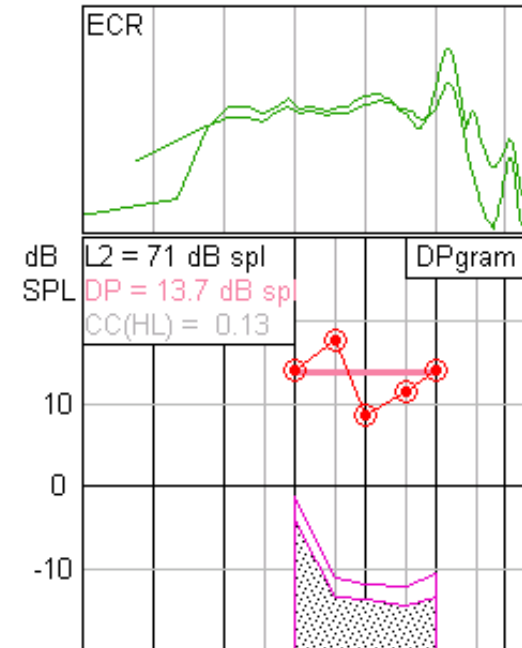
Otoakustische Distorsionsprodukte am normalhörenden Ohr

Name: G. T. (w)
 Alter: 25.4 Jahre
 Diagnose: Tinnitus links
 Ohr: rechts
 Messung: 17. 9.2003
 Auswertung: 31.10.2006



DPOAE

DPOAE D:\ILODATA\2003_09\DPDATA\TORKE003.DPG					
f1 in kHz:	0.8	1.2	1.6	2.5	3.3
f2 in kHz:	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
L1 in dB SPL:	70.3	69.6	70.3	70.5	70.2
L2 in dB SPL:	70.7	69.4	70.7	71.0	70.9
L(2f1-f2) in dB SPL:	14.1	17.7	8.7	11.4	14.0
Noise + 2 SD in dB SPL:	-1.1	-11.0	-11.7	-12.0	-10.6
S/N (97%) in dB:	15.5	28.9	20.6	23.6	24.8
Noise ampl. in µPa:	7.3	2.9	3.1	2.7	2.6
Noise stddev. in µPa:	5.2	1.4	1.1	1.1	1.6
DP error in µPa:	1.6	0.4	0.3	0.4	0.5
True DP amplitude in µPa:	101.1	153.4	54.4	74.3	100.2
True DP level in dB:	14.1	17.7	8.7	11.4	14.0
Noise level in dB SPL:	-8.8	-16.8	-16.2	-17.2	-17.6
Sign.-Noise-Diff. / SD:	18.2	108.0	48.8	63.1	59.3
No. of averages:	47	48	48	48	48



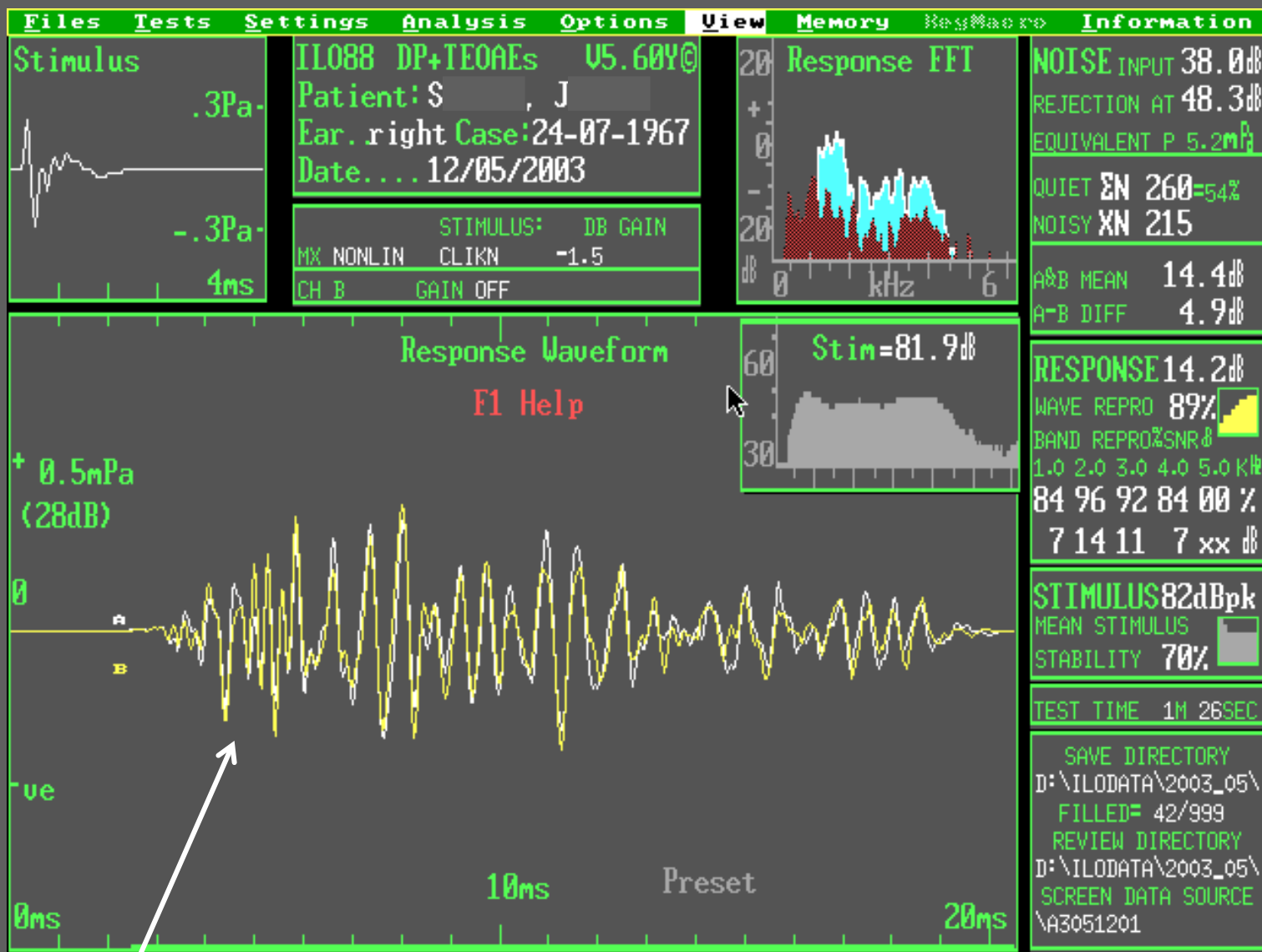


Übersicht der beiden Emissionstypen

TEOAE und DPOAE sind nur zwei auf unterschiedliche Weise durchgeführte Beobachtungen desselben cochleären Verstärkers.

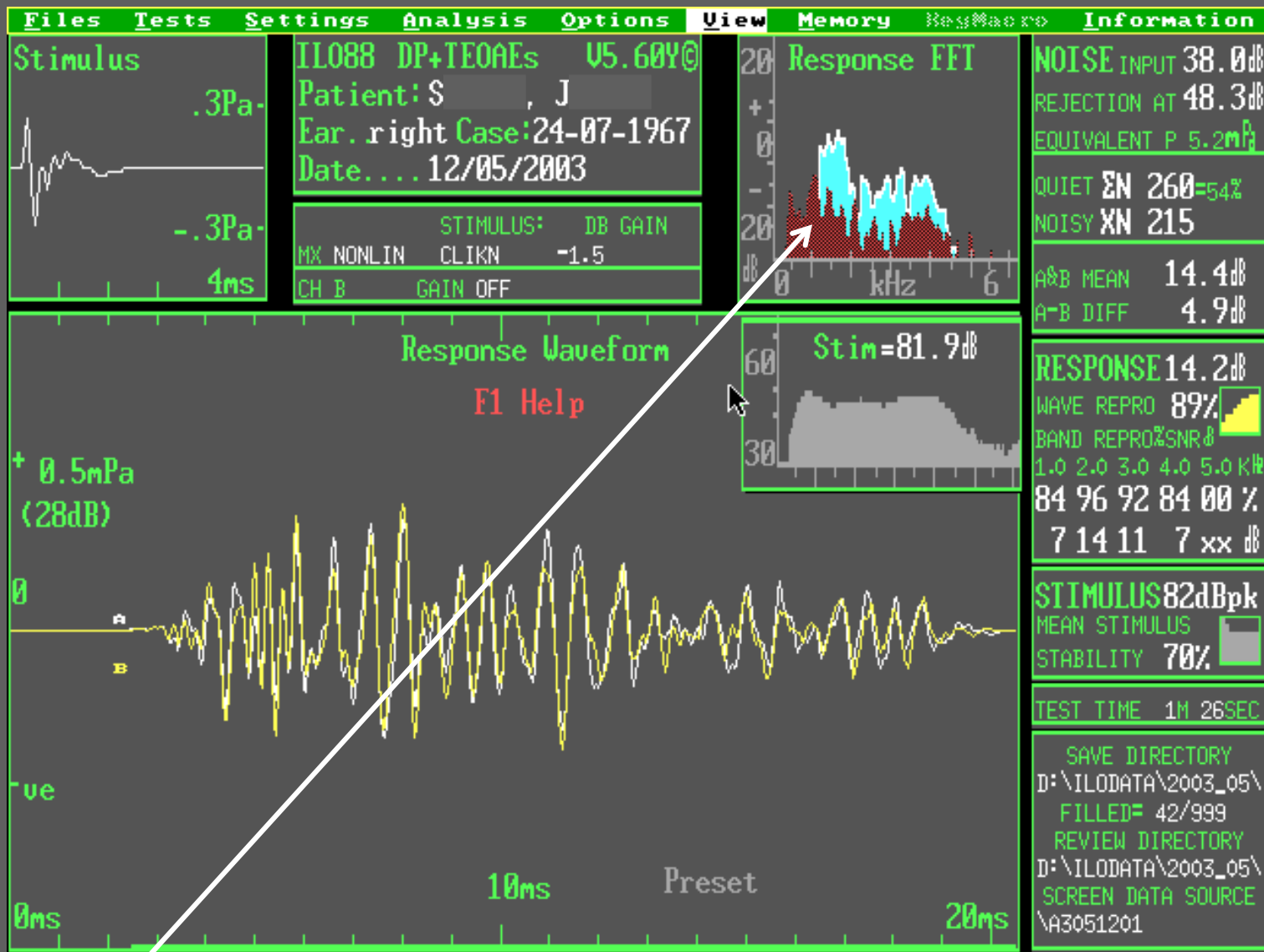
	TEOAE	DPOAE
Reiz:	Click	Töne
Antwort:	verzögert	simultan
Signalnachweis:	Oszillation	Spektrallinie

Welche Information enthalten die TEOAE?



Zeitfunktion: Mit welcher Verzögerung treten Reizantworten auf und wie reproduzierbar sind sie

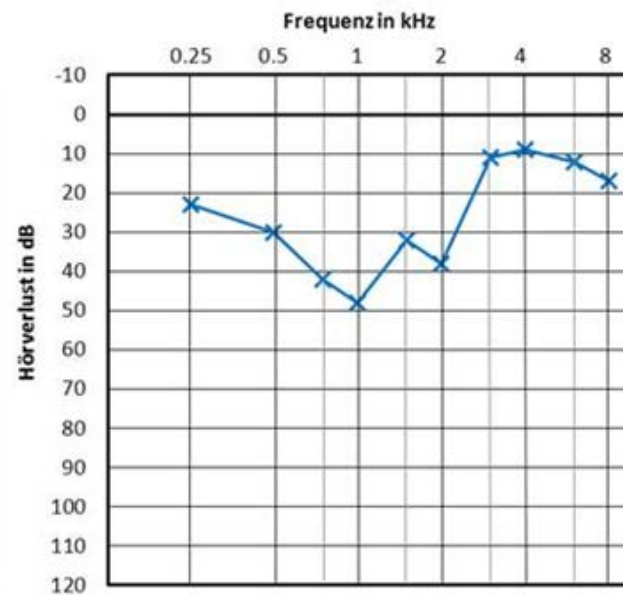
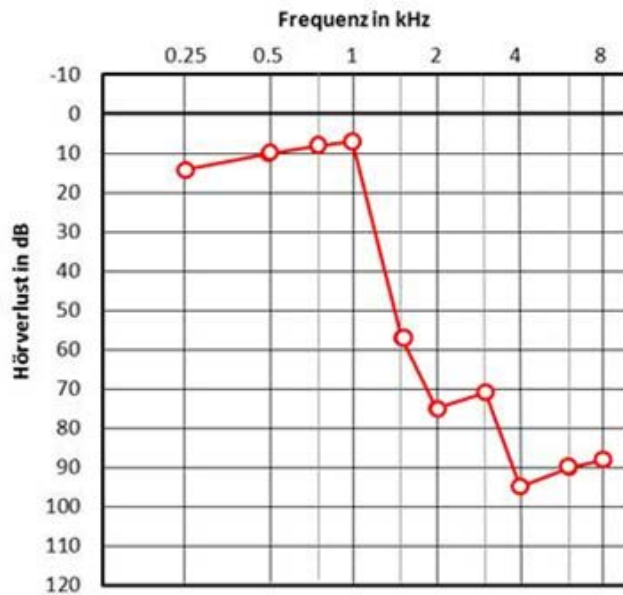
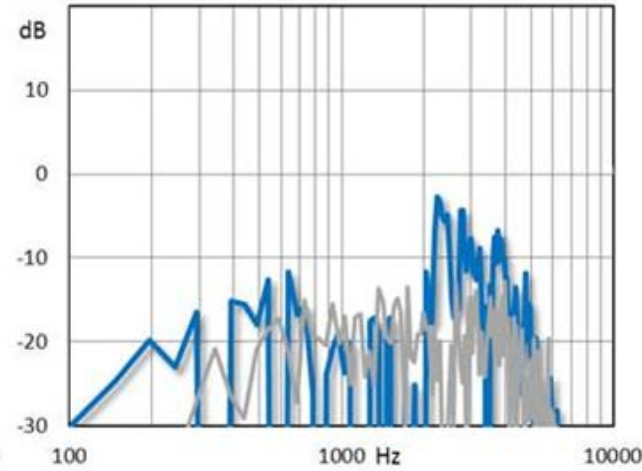
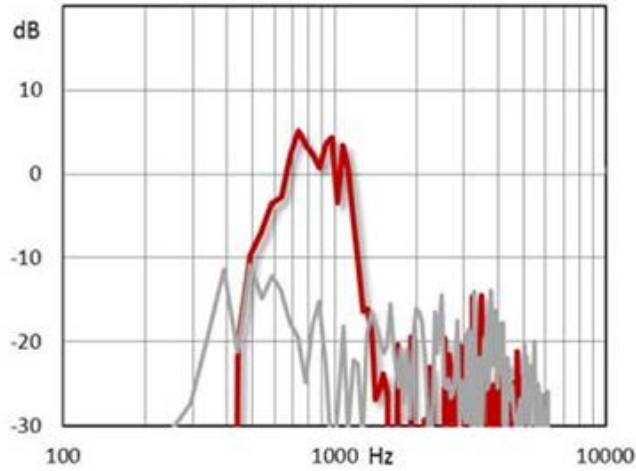
Welche Information enthalten die TEOAE?



Frequenzspektrum: Welche Frequenzen enthält die Antwort und wie groß ist der Geräuschuntergrund?



Frequenzspektrum der TEOAE

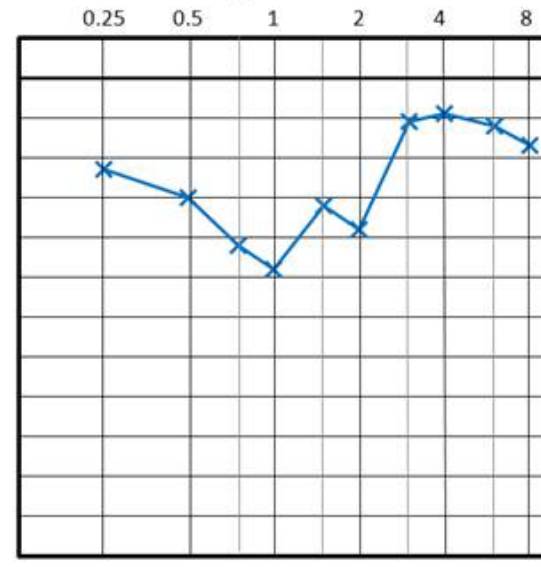
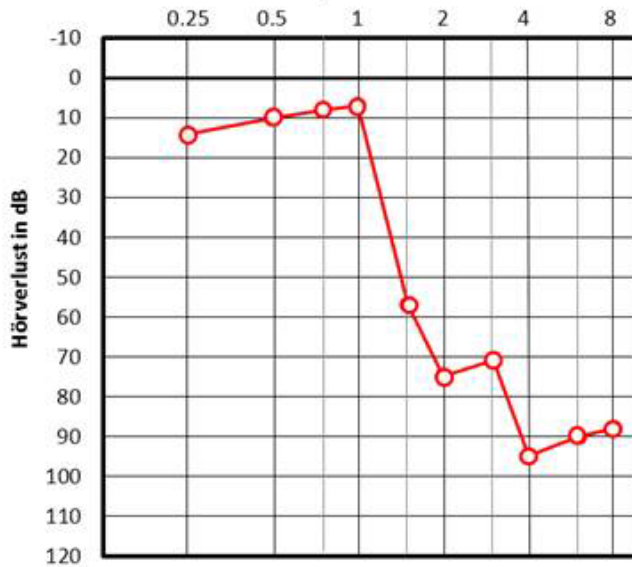
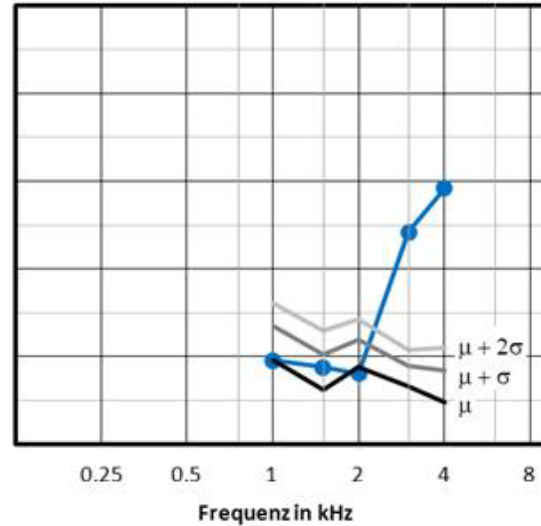
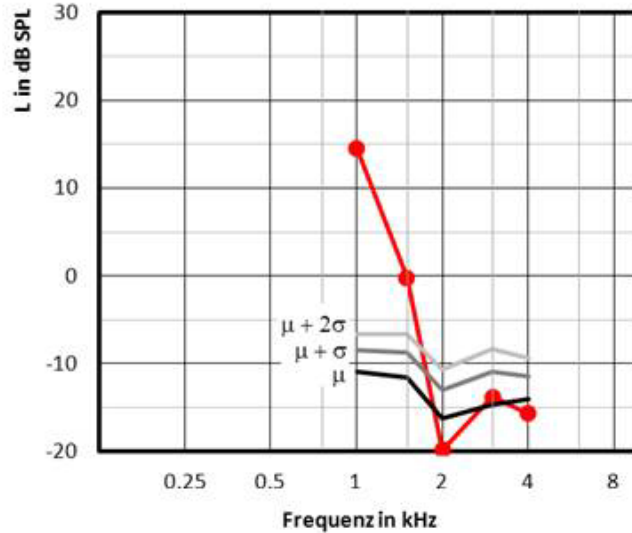


Hochtonhörverlust

Tieftonhörverlust



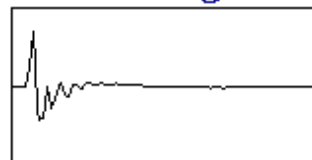
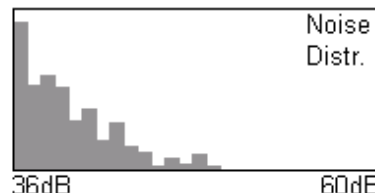
Frequenzverlauf des DP-grams



Hochtonhörverlust

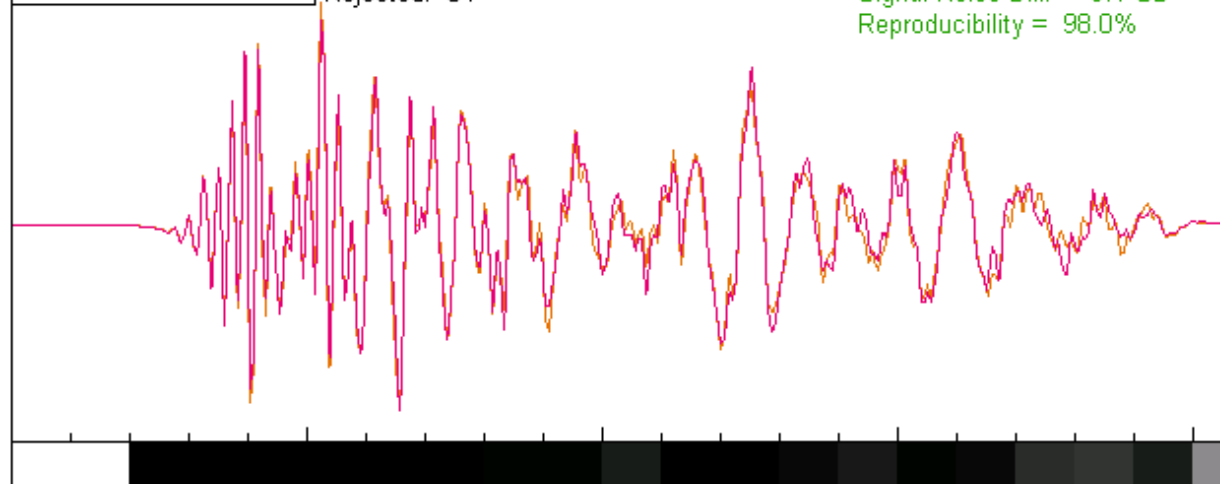
Tieftonhörverlust

Name: G. T. (w)
 Alter: 25.4 Jahre
 Diagnose: Tinnitus links
 Ohr: rechts
 Messung: 17. 9.2003
 Auswertung: 25.10.2006



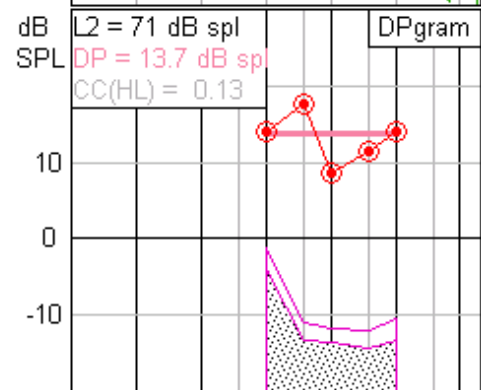
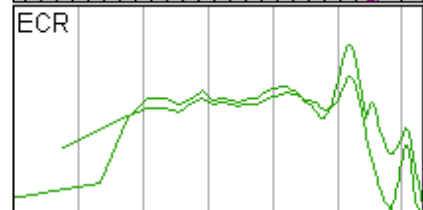
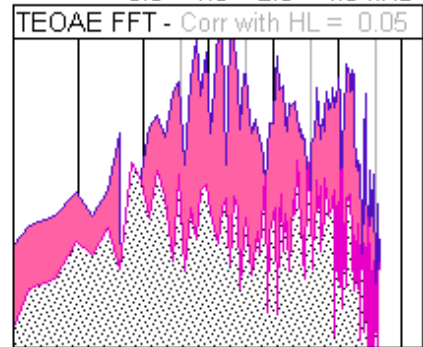
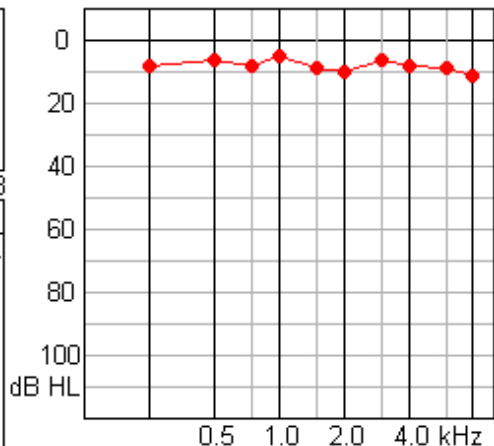
TEOAE D:\ILODATA\2003_09\A3091705.DTA
 Stimulus level = 80.5 dB re Vss CLIKN
 Stability = 97 %
 Accepted: 260 sweeps
 Rejected: 54

Compound sign. = 16.2 dB SPL
 Residual noise = -3.9 dB SPL
 True OAE level = 16.2 dB SPL
 Signal-Noise-Diff. = 9.1 SD
 Reproducibility = 98.0%

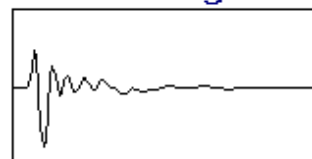
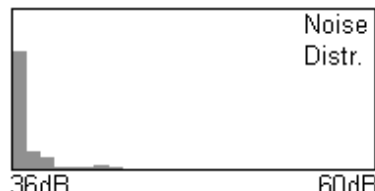


0 5 10 15 20 ms

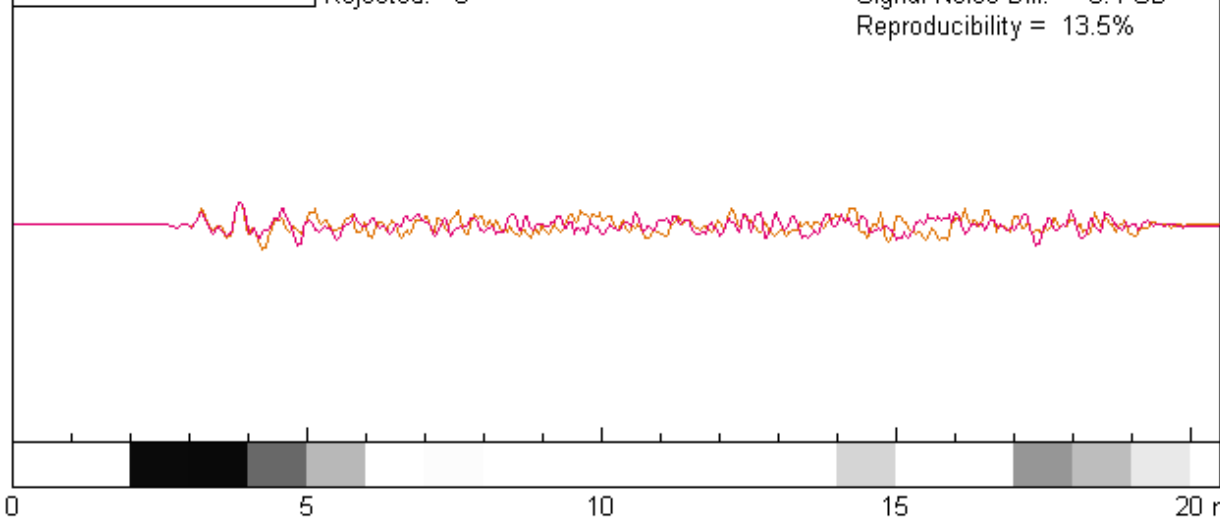
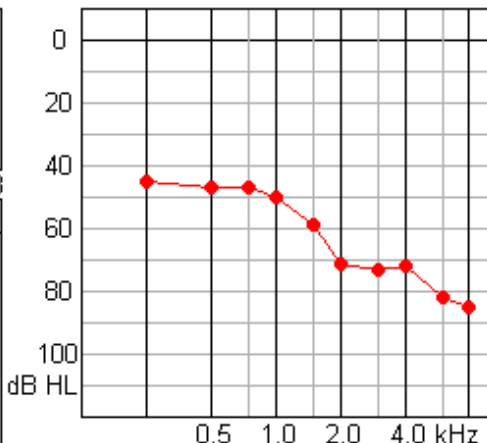
DPOAE D:\ILODATA\2003_09\DPDATA\TORKE003.DPG					
f1 in kHz:	0.8	1.2	1.6	2.5	3.3
f2 in kHz:	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
L1 in dB SPL:	70.3	69.6	70.3	70.5	70.2
L2 in dB SPL:	70.7	69.4	70.7	71.0	70.9
L(2f1-f2) in dB SPL:	14.1	17.7	8.7	11.4	14.0
Noise + 2 SD in dB SPL:	-1.1	-11.0	-11.7	-12.0	-10.6
S/N (97%) in dB:	15.5	28.9	20.6	23.6	24.8
Noise ampl. in µPa:	7.3	2.9	3.1	2.7	2.6
Noise stddev. in µPa:	5.2	1.4	1.1	1.1	1.6
DP error in µPa:	1.6	0.4	0.3	0.4	0.5
True DP amplitude in µPa:	101.1	153.4	54.4	74.3	100.2
True DP level in dB:	14.1	17.7	8.7	11.4	14.0
Noise level in dB SPL:	-8.8	-16.8	-16.2	-17.2	-17.6
Sign.-Noise-Diff. / SD:	18.2	108.0	48.8	63.1	59.3
No. of averages:	47	48	48	48	48



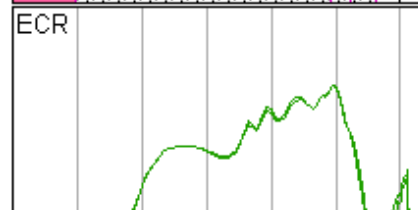
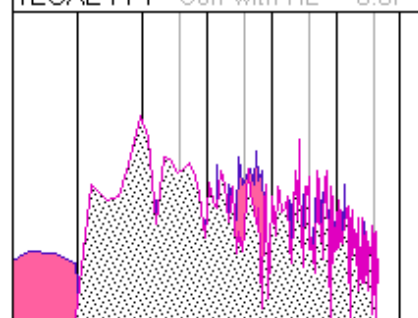
Name: C. G. (w)
 Alter: 71.7 Jahre
 Diagnose: Toxischer Innenohrschaden
 Ohr: rechts
 Messung: 2. 7.1996
 Auswertung: 25.10.2006



TEOAE D:\ILODATA\ECHO76 6.5. - 31.7.96\96070201.DTA
 Stimulus level = 81.2 dB re Vss CLIKN
 Stability = 93 %
 Accepted: 260 sweeps
 Rejected: 6
 Compound sign. = -4.5 dB SPL
 Residual noise = -5.7 dB SPL
 True OAE level = -10.8 dB SPL
 Signal-Noise-Diff. = -0.4 SD
 Reproducibility = 13.5%

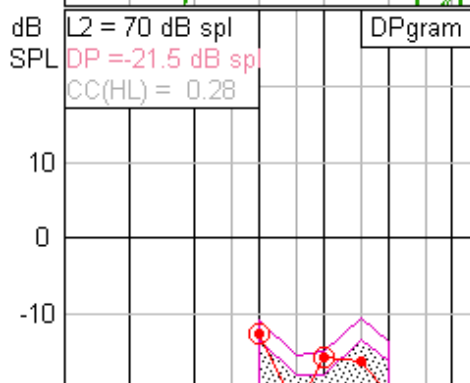


TEOAE FFT - Corr with HL = -0.07

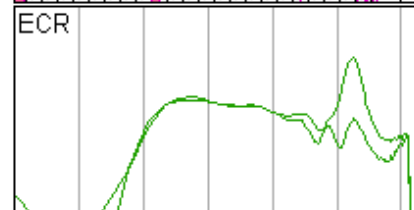
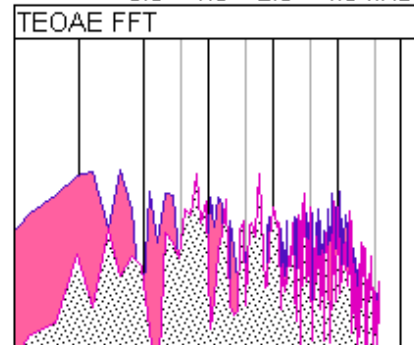
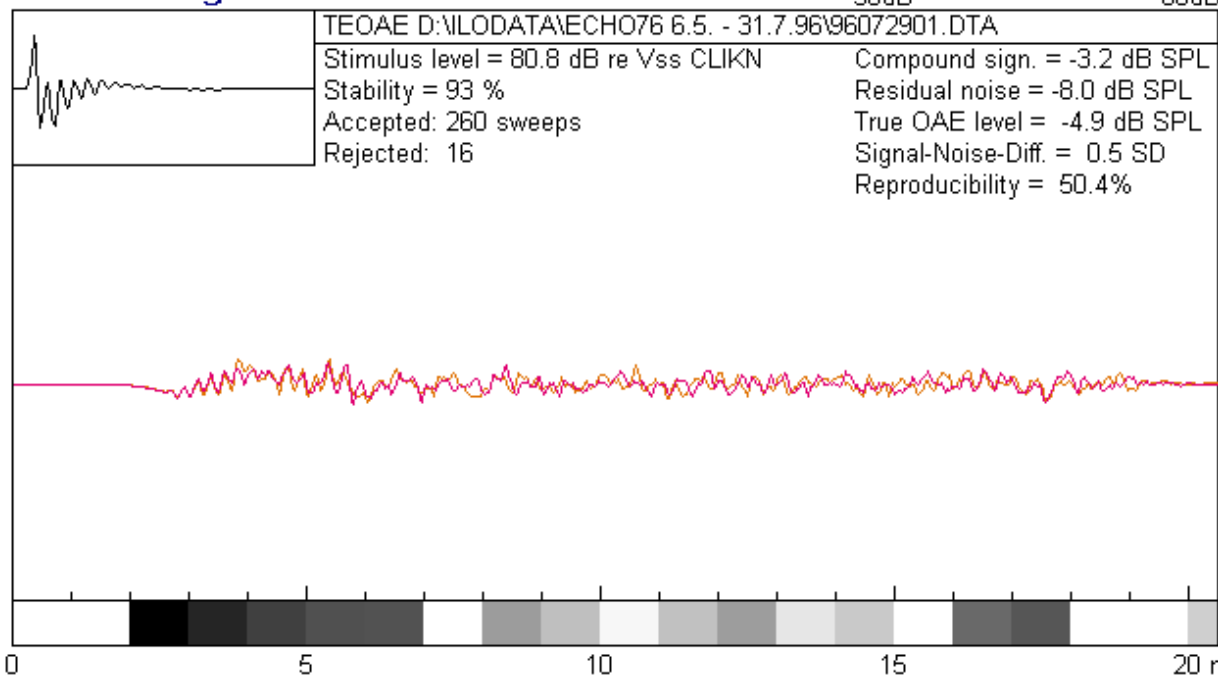
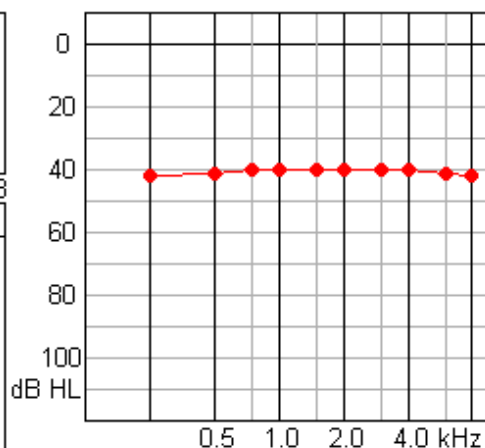


DPOAE D:\ILODATA\ECHO76 6.5. - 31.7.96\DPDATA\GREGEO01.DPG

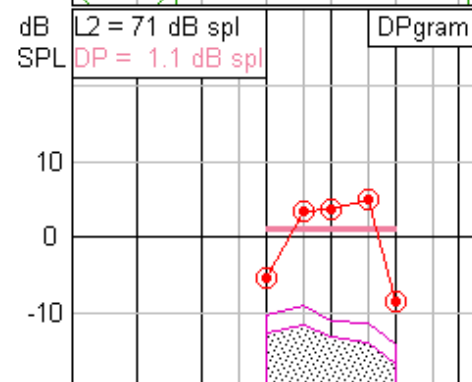
f1 in kHz:	0.8	1.2	1.6	2.5	3.3
f2 in kHz:	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
L1 in dB SPL:	67.7	68.2	69.0	70.4	69.8
L2 in dB SPL:	70.0	69.1	70.2	71.8	71.0
L(2f1-f2) in dB SPL:	-12.6	-22.3	-15.7	-16.2	-20.5
Noise + 2 SD in dB SPL:	-10.8	-15.4	-14.9	-10.4	-13.5
S/N (97%) in dB:	-1.5	-6.7	-0.5	-5.5	-6.7
Noise ampl. in μ Pa:	2.8	1.7	1.4	2.6	2.0
Noise stddev. in μ Pa:	1.5	0.8	1.1	1.7	1.1
DP error in μ Pa:	0.5	0.3	0.3	0.5	0.4
True DP amplitude in μ Pa:	3.8	0.0	2.9	1.7	0.0
True DP level in dB:	-14.5	-40.0	-16.6	-21.5	-40.0
Noise level in dB SPL:	-17.1	-21.2	-22.9	-17.7	-20.1
Sign.-Noise-Diff. / SD:	1.3	-0.3	1.7	0.3	-0.1
No. of averages:	59	58	64	64	64



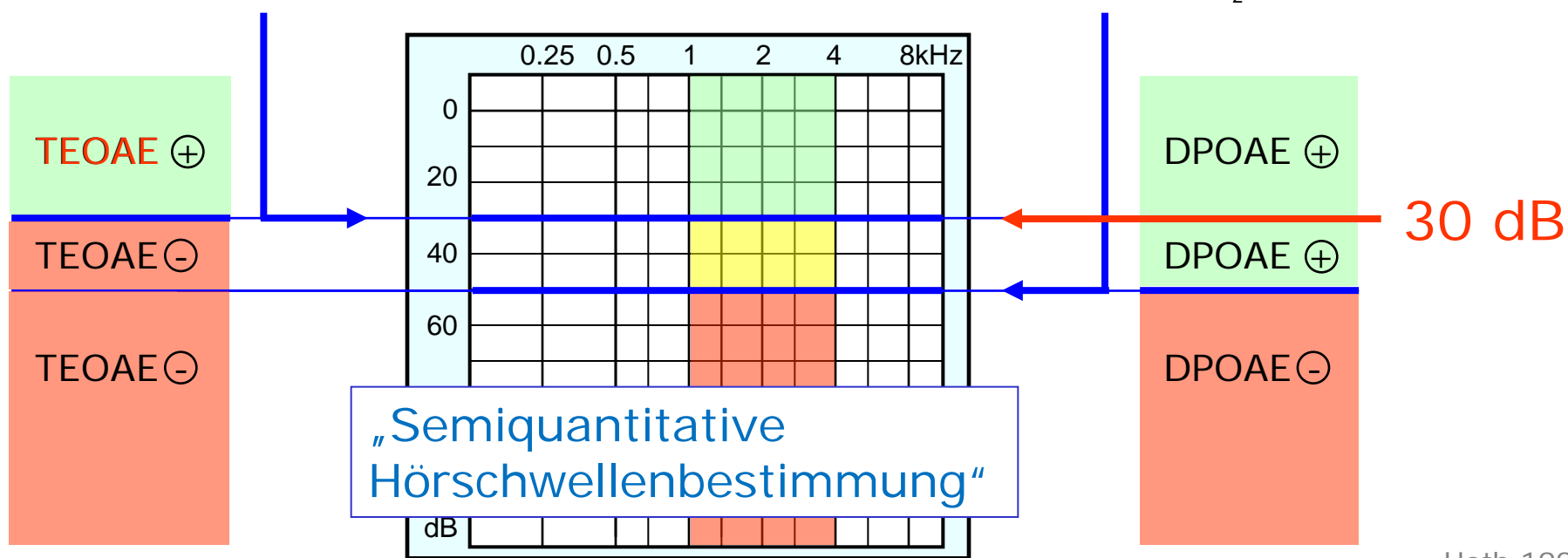
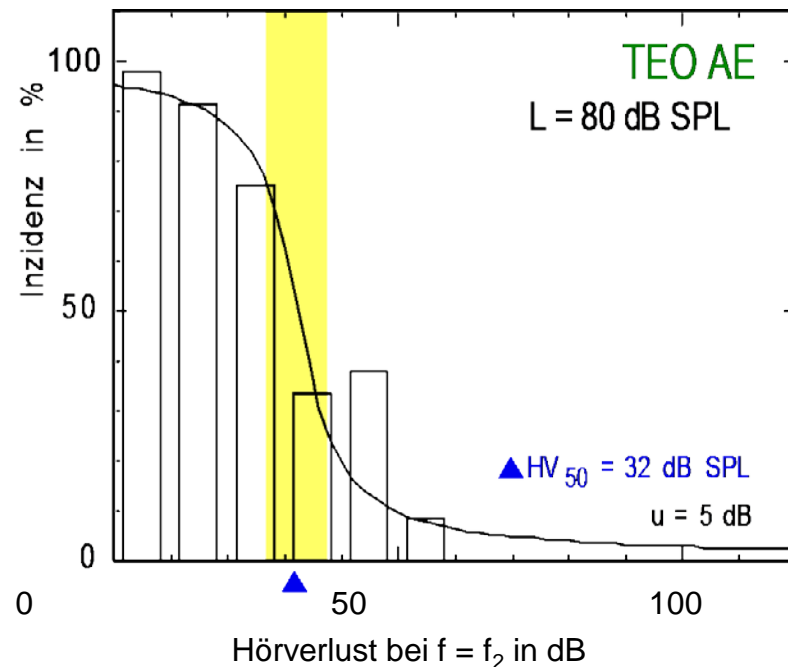
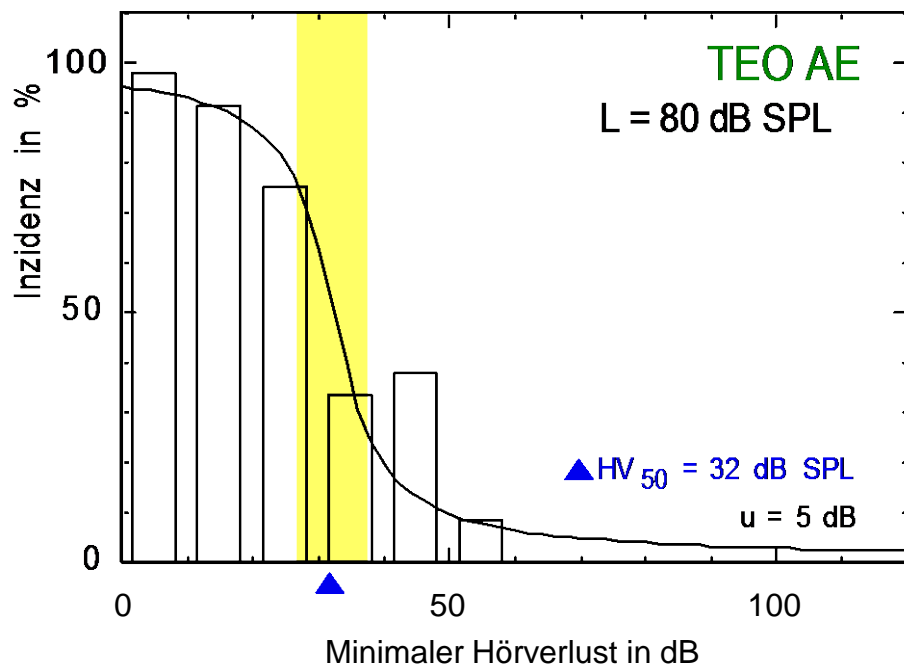
Name: R. G. (w)
 Alter: 56.5 Jahre
 Diagnose: Pantonale IO-SH
 Ohr: rechts
 Messung: 29. 7. 1996
 Auswertung: 25. 10. 2006



DPOAE D:\ILODATA\ECHO76 6.5. - 31.7.96\DPDATA\SCHWIO01.DPG					
f1 in kHz:	0.8	1.2	1.6	2.5	3.3
f2 in kHz:	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
L1 in dB SPL:	71.0	70.7	69.8	69.6	69.1
L2 in dB SPL:	70.6	71.8	70.7	70.3	70.3
L(2f1-f2) in dB SPL:	-5.4	3.5	3.8	4.9	-8.5
Noise + 2 SD in dB SPL:	-10.3	-8.8	-10.9	-11.3	-14.1
S/N (97%) in dB:	5.1	12.5	14.9	16.4	5.8
Noise ampl. in µPa:	3.3	3.5	3.3	2.7	1.9
Noise stddev. in µPa:	1.4	1.9	1.2	1.4	1.0
DP error in µPa:	0.4	0.6	0.4	0.4	0.3
True DP amplitude in µPa:	10.2	29.7	30.8	35.1	7.3
True DP level in dB:	-5.8	3.4	3.8	4.9	-8.8
Noise level in dB SPL:	-15.7	-15.1	-15.7	-17.5	-20.6
Sign.-Noise-Diff. / SD:	5.2	14.1	22.9	23.2	5.4
No. of averages:	64	58	55	64	64



Häufigkeit nachweisbarer EOAE in Abhängigkeit vom Hörverlust

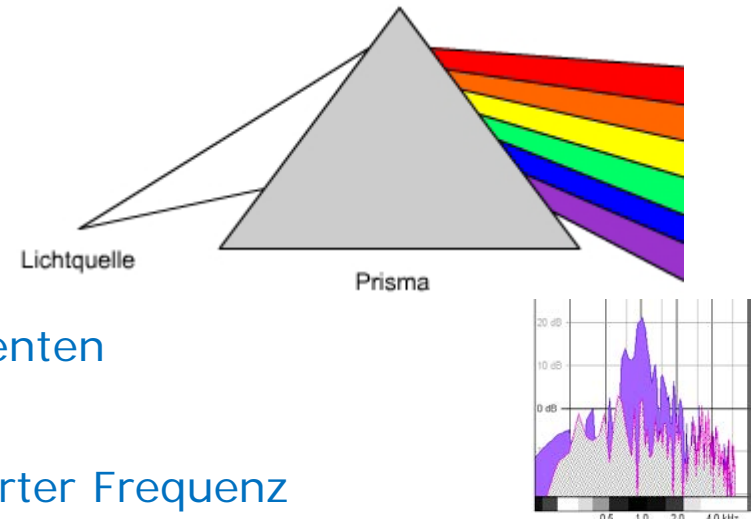


OAE und Frequenzspezifität

Einige Fakten...

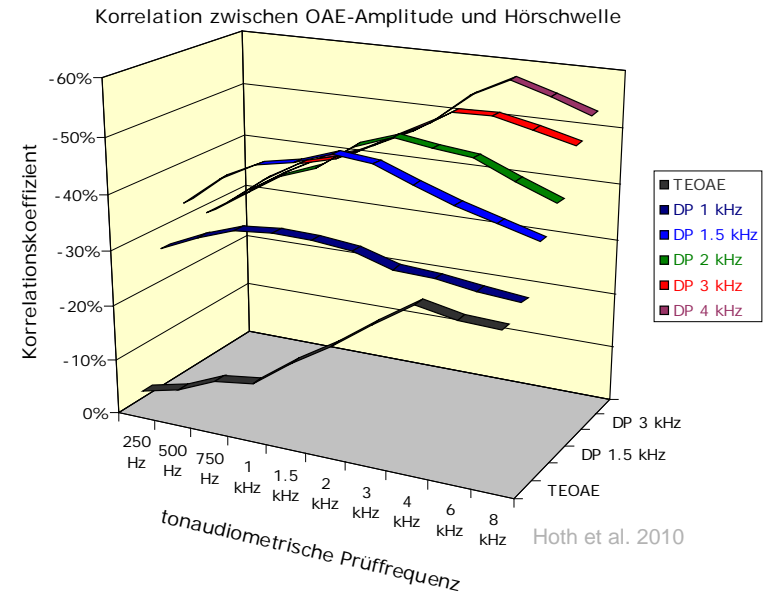
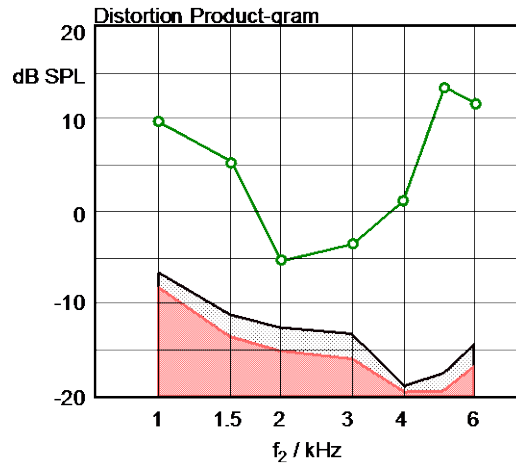
TEOAE-Spektrum:

Zerlegung der durch einen „weißen“ Reiz ausgelösten OAE in ihre Frequenzkomponenten



DP-gram:

Messung der Antwort auf Reize mit definierter Frequenz



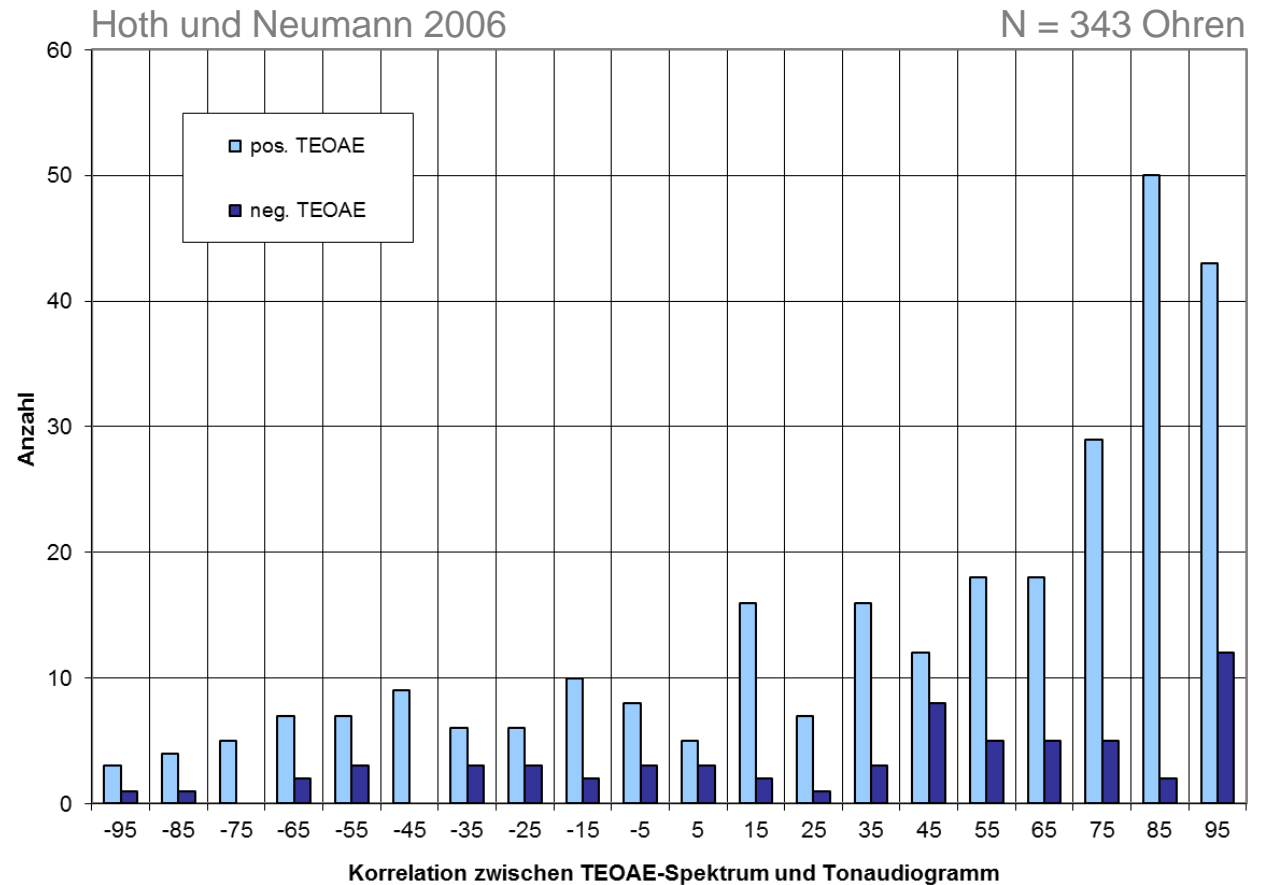
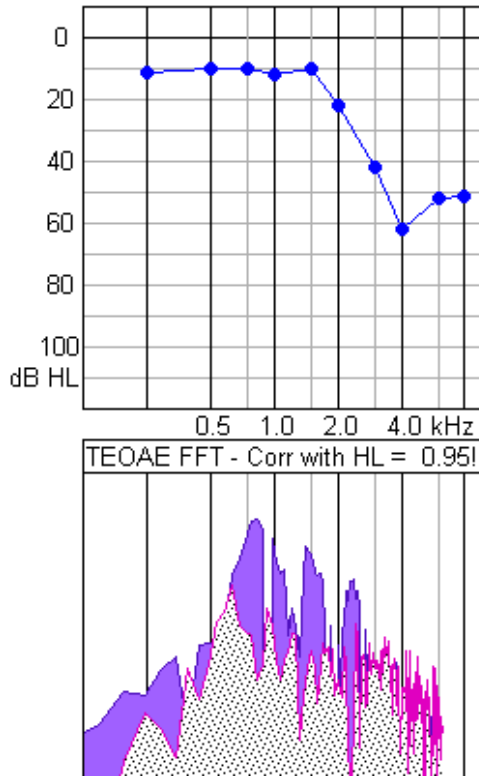
Nur bei hohen Reizpegeln möglich!

DPOAE-Wachstumsfunktionen:

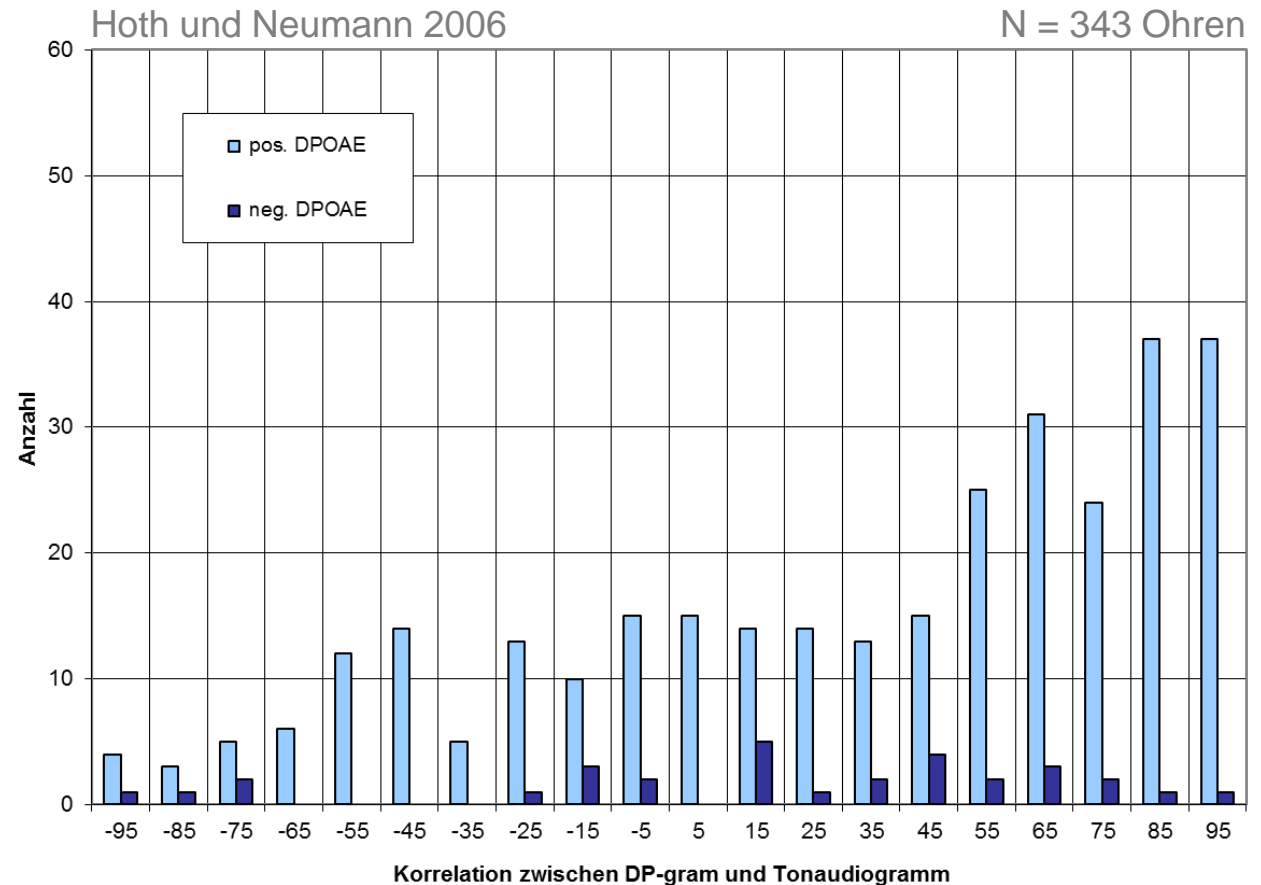
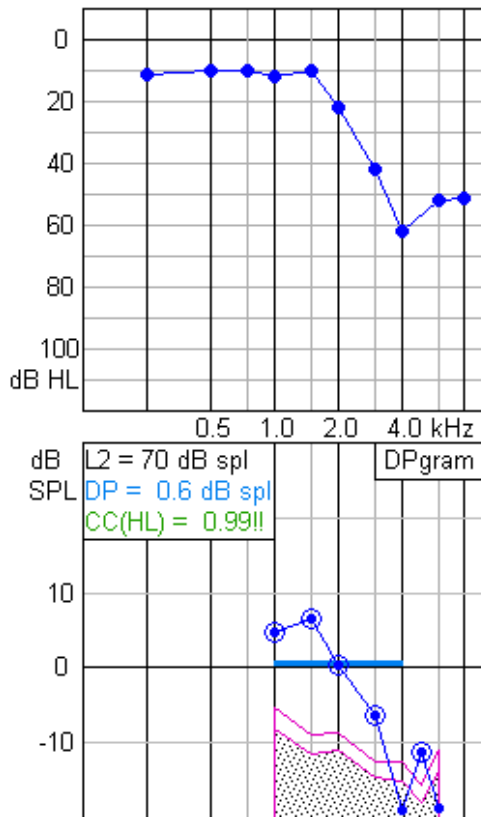
Extrapolation der DP-Amplitude zur Bestimmung der Nachweisschwelle

... und keine einheitliche Meinung

Weit verbreiteter Irrtum: Die TEOAE sind nicht frequenzspezifisch

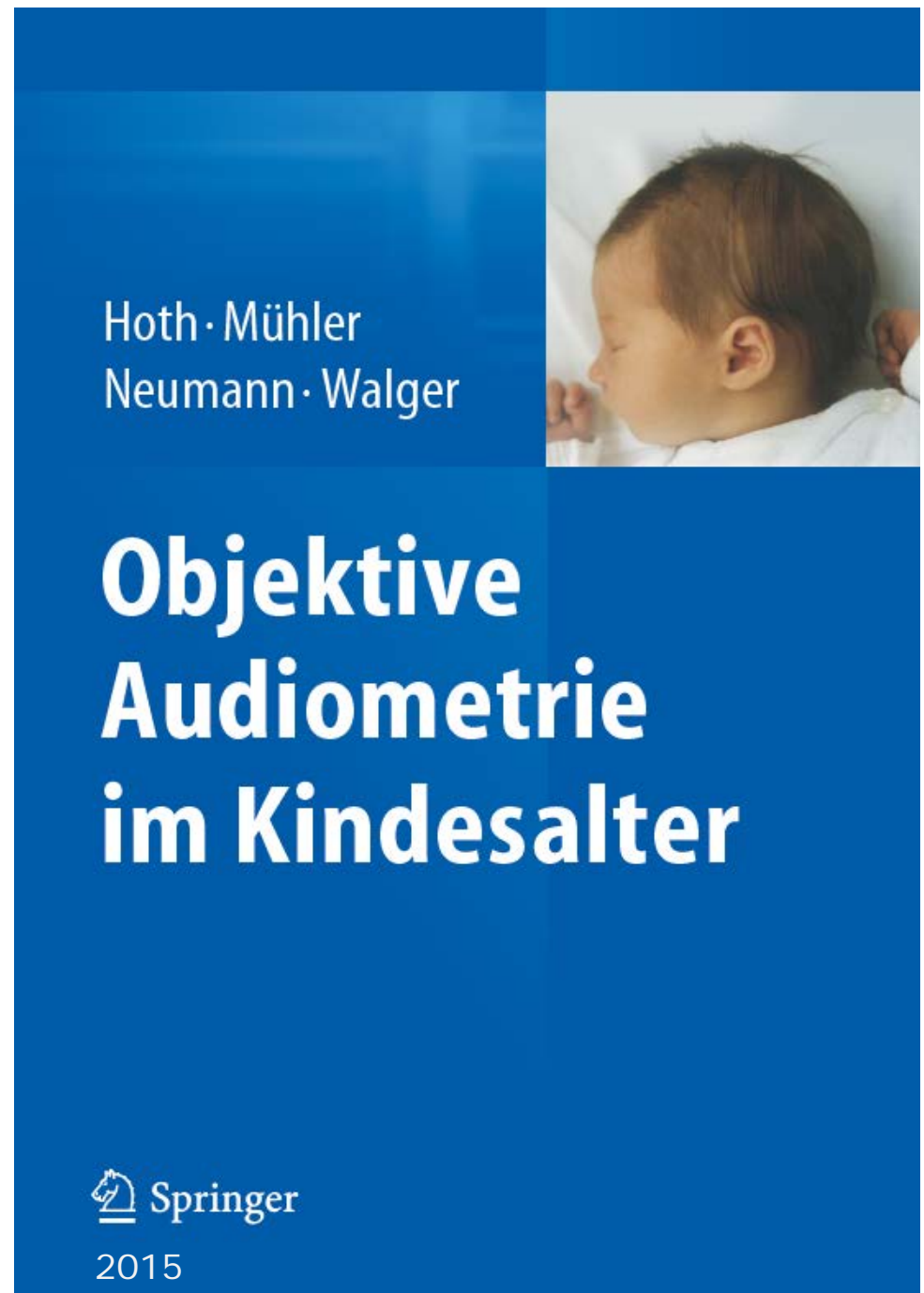


Ein weiterer Irrtum: Die DPOAE sind frequenzspezifisch



Noch Fragen?

2006



Der Autor bedankt sich für die Einladung und das Interesse – und lässt hier etwas Raum für Eintragungen des Hörerin bzw. Leserin 😊.