

2.1 AUSWAHL DER VERSUCHSPERSONEN

Die Messungen der kontralateralen Suppression der TEOAE und der Tieftonmodulation der DPOAE sollen an Probanden und Patienten durchgeführt werden, die sich bis auf den Befund einer Hyperakusis und den Tinnitus möglichst wenig voneinander unterscheiden. Sie sollen bis auf die genannten Faktoren ein gesundes Gehör haben und keine anderen Erkrankungen, die einen Einfluss auf das Gehör haben könnten.

2.1.1 AUSWAHL DER TINNITUS-PATIENTEN MIT HYPERAKUSIS

Beim Kollektiv der untersuchten Patienten mit chronischem Tinnitus und Hyperakusis (N=15, 5 Männer, 10 Frauen, Durchschnittsalter 31,6 Jahre, Standardabweichung 9,2 Jahre, 2 Linkshänder) handelt es sich um Patienten der Poliklinik der Charité. Durch den standardisierten Tinnitus-Fragebogen (Goebel und Hiller, 1994) und die bei allen Patienten mit Tinnitus und Hyperakusis durchgeführten audiometrischen Voruntersuchungen wurde versucht, eine möglichst homogene Testgruppe im Bezug auf die Belastung durch den Tinnitus und die Hörschwelle zusammenzustellen.

Innerhalb der Diagnostik der Tinnitus-Sprechstunde war bei allen Patienten eine BERA mit unauffälligem Befund durchgeführt worden, so dass retrokochleäre Ursachen für den Tinnitus ausgeschlossen waren. Alle Patienten der Testgruppe mussten eine Unbehaglichkeitsschwelle (UBS) von unter 80 dB HL aufweisen und auch subjektiv unter Hyperakusis leiden. Ausschlusskriterium war ein Hörverlust im Tonschwellenaudiogramm über 15 dB HL bei einer Messfrequenz.

2.1.2 AUSWAHL DER NORMALHÖRENDEN TESTPERSONEN MIT HYPERAKUSIS

Die zweite Testgruppe besteht aus Normalhörenden mit Hyperakusis (N=15, 3 Männer, 12 Frauen, Durchschnittsalter 28,3 Jahre, Standardabweichung 9,8 Jahre, ein Linkshänder) ohne irgendwelche Ohrerkrankungen in der Anamnese. Bei einem ersten Gespräch wurden Symptome der Hyperakusis und die Belastung dadurch erfragt um sicherzustellen, dass subjektiv eine solche Überempfindlichkeit vorliegt. Außerdem wurde nach otologischen sowie neurologischen Erkrankungen (Pfadenhauer et al., 2001) und Kopftraumata gefragt, um möglichst viele evtl. beeinflussende Faktoren

auszuschließen. Die Hörschwelle über alle audiometrischen Frequenzen musste 10 dB HL oder besser sein, und im Tympanogramm durften keine Hinweise auf Schalleitungshörverluste vorkommen. Alle Testpersonen mussten eine UBS mit Pegeln unter 80 dB HL aufweisen.

2.1.3 AUSWAHL DER NORMALHÖRENDEN

Die Kontrollgruppe besteht aus 15 Normalhörenden Personen (fünf Männer, zehn Frauen, Durchschnittsalter 24,6 Jahre, Standardabweichung 0,9 Jahre, ein Linkshänder) mit einem Hörverlust von maximal 10 dB HL über alle Frequenzen und einem normalen Tympanogramm. Mit einer genauen Anamnese wurde versucht subjektive Hörbeschwerden, frühere Erkrankungen des Ohres und neurologische Erkrankungen auszuschließen. Die UBS musste oberhalb von 80 dB HL liegen.

2.2 VERSUCHSPLAN

Bei allen Personen der drei Gruppen wurden die Stimmgabeltests nach Rinne und Weber, Impedanzmessung und Messung des Stapediusreflexes bei 1, 2 und 4 kHz durchgeführt. Außerdem wurde die Hörschwelle im Tonschwellenaudiogramm (TSA) zwischen 0,25 und 8 kHz, sowie die Unbehaglichkeitsschwelle (UBS) bestimmt. Um eine vergleichbare UBS bei allen Probanden und Patienten zu erhalten, wurden sie gebeten, während der Untersuchung an ein Radio oder einen Fernseher zu denken und den Knopf dann zu drücken, wenn sie es als zu laut empfänden und etwas dagegen unternehmen würden. Danach wurden am gleichen Tag die Hörfeldskalierung, die Messung der kontralateralen Suppression der TEOAE sowie die Tieftonmodulation der Distorsionsprodukte otoakustischer Emissionen in allen drei Gruppen durchgeführt.

Bei den Tinnitus-Patienten wurde zusätzlich eine Tinnitusbestimmung durchgeführt und die Verdeckungskurve ermittelt. Außerdem wurden sie gebeten, den Tinnitus-Fragebogen auszufüllen, um die Belastung durch den Tinnitus am Tag der Untersuchung zu erfassen. Sowohl den Tinnitus-Patienten als auch den Normalhörenden mit Hyperakusis wurde ein von uns modifizierter Fragebogen speziell für Hyperakusis vorgelegt (Axelsson et al., 1999).

2.3 HÖRFELDSKALIERUNG

Die Geräuschüberempfindlichkeit ist eine sehr subjektive Empfindung und somit schwierig zu erfassen. Um die Reaktionen aller Personen der zwei Testgruppen und der Kontrollgruppe auf Töne verschiedener Lautstärken vergleichen zu können, ist es Voraussetzung, dass die Töne auf gleiche Art und in gleicher Reihenfolge präsentiert werden. Zudem muss sich die Antwort der jeweiligen Testpersonen möglichst als Wert erfassen lassen. Da die Empfindlichkeit gegenüber Tönen stark frequenzabhängig ist, sollten verschiedene Frequenzen untersucht werden. Der Vorgang, in dem Töne verschiedener Lautstärke und Frequenz eine subjektiv empfundene Lautheit zugeordnet wird, wird in der Audiometrie als subjektive Hörfeldskalierung bezeichnet. In dieser Studie wird eine modifizierte Form des Würzburger Hörfeldes verwendet. Die Hörfeldskalierung wird für die Mittenfrequenzen 0,5, 1, 2 und 4 kHz statt über Kopfhörer im Freifeld durchgeführt. Innerhalb einer akustisch geschirmten Messkammer sitzt die Testperson im definierten Abstand von 1 m vor einem Lautsprecher. Dieser ist an einen PC angeschlossen, der für jede Frequenz 15 Rauschimpulse (Schmalbandrauschen von 100 Hz Breite mit den entsprechenden Mittenfrequenzen) in zufälliger Reihenfolge verschiedener Pegel herausgibt. Die Pegel liegen dabei zwischen 30 dB SPL und 85 dB SPL. Nach jedem Rauschimpuls ordnet der Proband die binaural empfundene Lautheit einer Skala zu, deren Kategorien eins bis sechs von leise nach laut den Begriffen sehr leise – leise – mittellaut – laut – sehr laut und zu laut zugeordnet sind. Die entsprechende Kategorie wird nach jedem Stimulus dem Untersucher mündlich mitgeteilt und von ihm in den PC eingegeben, wodurch automatisch der nächste Reiz ausgelöst wird. Vor dem Beginn der Untersuchung kann der maximal auszugebende Reizpegel an die individuelle Unbehaglichkeitsschwelle des jeweiligen Probanden oder Patienten angepasst werden. Zusätzlich kann bei Unbehagen des Probanden die Messung jederzeit abgebrochen werden. Innerhalb des Tabellenkalkulationsprogramms Excel von Microsoft wird für jede Frequenz eine Kurve der subjektiven Lautheit in Abhängigkeit vom Pegel erstellt.

2.4 MESSTECHNIK DER KONTRALATERALEN SUPPRESSION DER TEOAE

2.4.1 TEOAE

Die Untersuchung wird mit der von Kemp beschriebenen Methode (Kemp et al., 1990) mit der ILO92-Hardware und Software von Otodynamics durchgeführt. Der Apparat produziert den akustischen Stimulus, registriert die Emissionen und führt Mittelwertbildungen und spektrale Analysen durch. Das Mikrofon befindet sich innerhalb der Messsonde, über die auch mit einem dünnen Schlauch die akustischen Klickreize zugeführt werden. Die Messsonde wird mit einem passenden Schaumstoffaufsatz in den Gehörgang eingeführt. Dabei ist ein luftdichter Sitz von großer Bedeutung. Vor jeder TEOAE-Messung wird automatisch ein Probecheck durchgeführt. Dabei achtet man auf den Zeitverlauf des Reizsignals und dessen Spektrum. Bei einem guten Sitz der Sonde ist das Reizsignal ein kurzer Transient mit wenig Nachschwingungen und das Reizspektrum reicht mit gleichmäßigem Pegel von 1 kHz bis 4 kHz (Kemp et al., 1990).

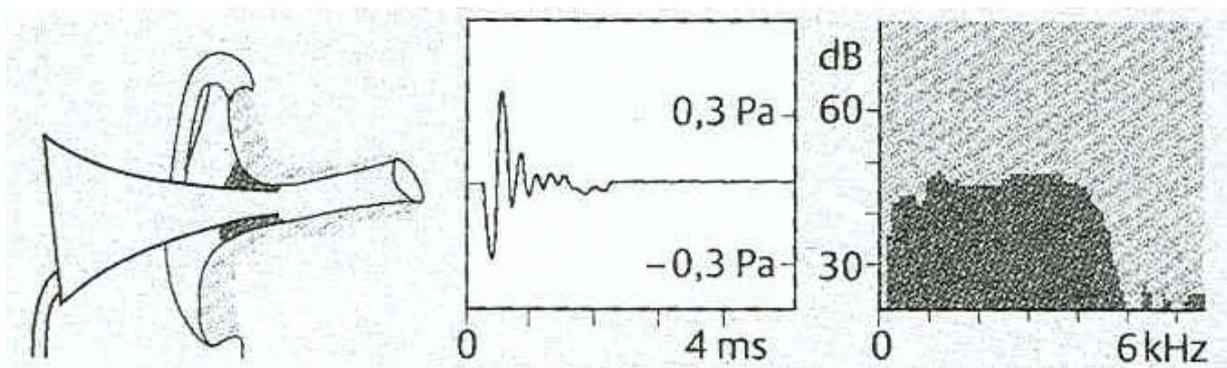


Abbildung 2.1: Guter Sondensitz, Zeitsignal des Klickreizes mit Spektrum

Berührt die Sonde die Gehörgangswand oder befindet sich nur teilweise innerhalb des Schaumgummistöpsels oder sitzt zu locker, muss ein erneutes Anpassen im Gehörgang versucht werden. Ansonsten besteht die Gefahr, dass Geräusche von außen ins Ohr gelangen und die Messung verfälschen sowie die Emissionen verdecken. Stehen Sender und Empfänger der Gehörgangssonde dem Trommelfell nicht direkt gegenüber, sondern hinter dem Schaumstoffaufsatz etwas zurück, kommt es an der Spitze der Sonde zu hochfrequenten Verzerrungsgeräuschen, die die Messung stören. In diesem Fall zeigt das Reizsignal eine deutliche Nachschwingung im Zeitbereich sowie unerwünschte Gipfel im Spektrum.

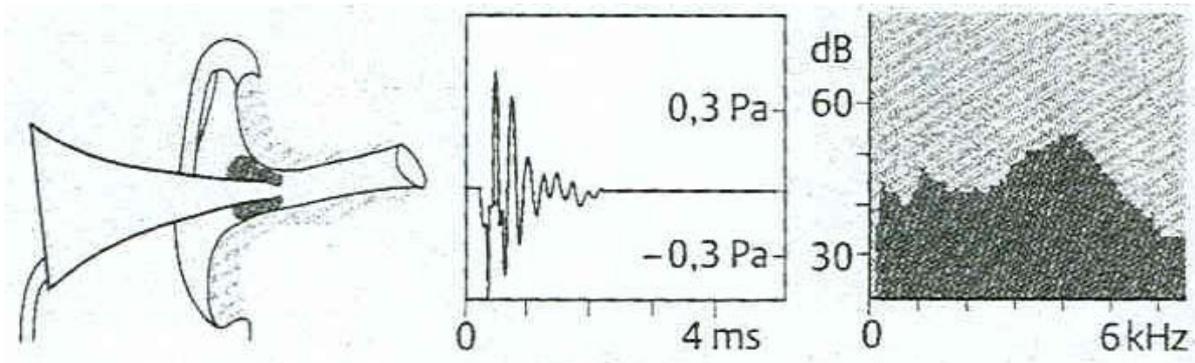


Abbildung 2.2: Schlechter Sondensitz mit Nachschwingungen im Zeitsignal, Spektrum

Das Spektrum der gemessenen Emission (schwarzes Spektrum, Response) muss deutlich über dem Spektrum der Störgeräusche (weiß) liegen. Um diese zu minimieren, wird die Messung in einer akustisch abgeschirmten Messkammer durchgeführt. Der Patient oder Proband sitzt auf einem bequemen Stuhl und wird gebeten sich zu entspannen, während die TEOAE- Messung läuft; sie dauert etwa eine Minute und wird für jedes Ohr mehrfach durchgeführt.

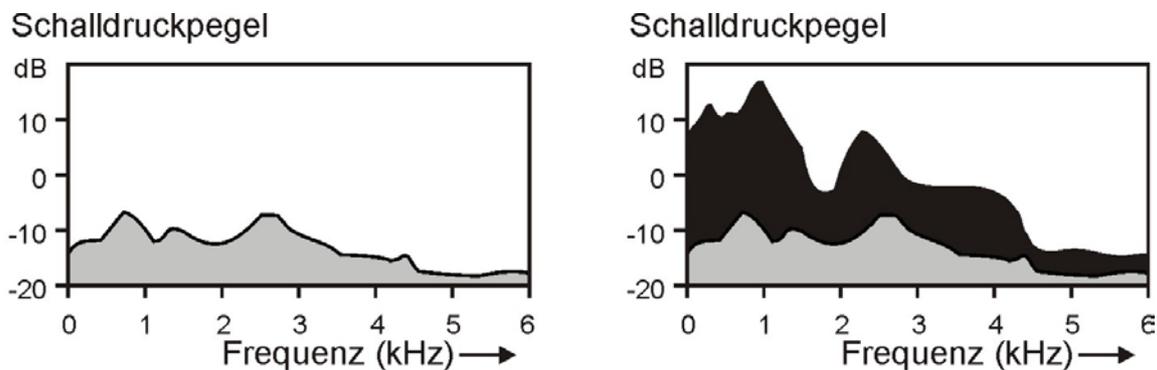


Abbildung 2.3: Spektrum der Emission (schwarz) über dem Spektrum der Störgeräusche

Innerhalb einer Messung werden 260 Klicks mit gleicher Polarität (lineare Messung) in das Ohr gegeben, wobei das Mikrophon automatisch während der Klicks kurz ausgeschaltet und erst nach 4 ms zur Registrierung der TEOAE wieder eingeschaltet wird. Die 260 registrierten Einzelemissionen werden gemittelt. Dabei werden alle geradzahligen und alle ungeradzahligen Messungen zu jeweils einem Teilmittelwert zeitsynchron addiert. Ist die Korrelation dieser beiden Mittelwerte sehr hoch, so ist die Reproduzierbarkeit der Messung gut. Dieser Wert wird in Prozent angegeben und sollte

für einen guten Messverlauf 80 % überschreiten. Die Größe der Differenz dieser Mittelwerte ist ein Hinweis auf die Höhe des Störpegels während der Messung. Als Ergebnis einer einminütigen TEOAE- Messung erhält man ein gemitteltes TEOAE- Signal über der Zeit sowie dessen Spektrum und das Spektrum des Störrauschens. Vom Zeitsignal der TEOAE wird in einem bestimmten Zeitabschnitt der Effektivwert berechnet und durch einen Wert in dB beschrieben.

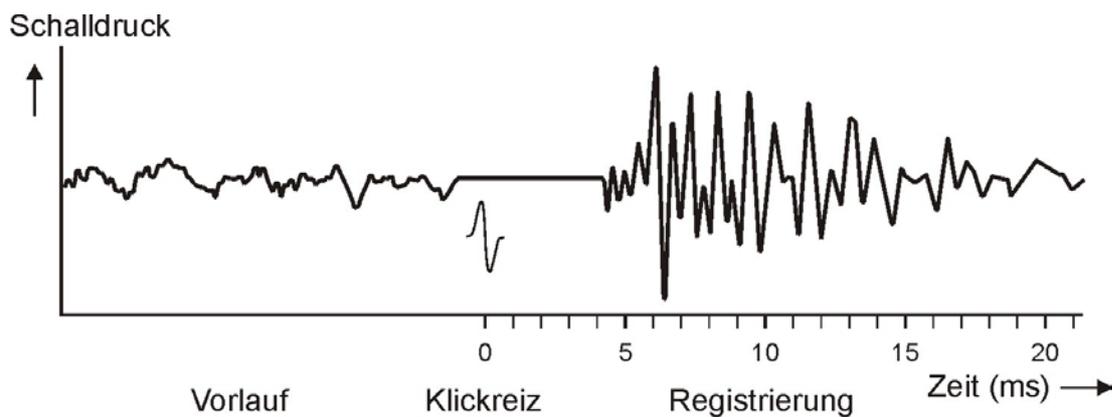


Abbildung 2.4: TEOAE- Signal im Zeitverlauf

Alle Einzelergebnisse und die Teilmittelwerte werden als Dateien im Rechner gespeichert. Pro Ohr werden nacheinander fünf Messungen mit einem Klick-Pegel von 70 dB SPL durchgeführt, dabei die ersten drei ohne kontralaterale Stimulation (KS), um ein Maß für die Reproduzierbarkeit im Messverlauf zu bekommen. Ohne den Sondensitz zu verändern, erfolgen 2 Messungen mit KS nacheinander, um die Stabilität der Messungen zu kontrollieren, die Messdauer aber nicht zu lange auszudehnen.

2.4.2 KONTRALATERALE SUPPRESSION

Für die kontralaterale Suppression der TEOAE- Messung wird ein Bandpassrauschen des Frequenzbereiches 0,600 Hz – 6 kHz mit einem Pegel von 50 dB SPL und in der nächsten Messung von 60 dB SPL verwendet. Vom Generator gelangt das Rauschen mit einer Sonde in den Gehörgang des Probanden, der abgedichtet wird. Dies geschieht vor der ersten TEOAE- Messung um eine gleich bleibende Situation der 5 Messungen zu schaffen. Es ist darauf zu achten, dass das Sondenkabel nirgendwo reibt oder aufliegt, da dadurch weitere Störgeräusche entstehen können. Erst bei der vierten TEOAE- Messung wird ein kontralaterales Rauschen von 50 dB SPL gleichzeitig

zugeführt und bei der fünften Messung eins von 60 dB SPL. Dabei wird das Rauschen kurz vor Beginn der TEOAE- Messung eingeschaltet. Bei den Messungen ohne KS darf die Sonde im kontralateralen Ohr keinerlei Geräusche erzeugen. Die Messung der kontralateralen Suppression wird für beide Schalldruckpegel des Rauschens nur einmal durchgeführt, da bei gleichem Sondensitz in Vorversuchen keine großen Unterschiede zu messen waren und alle Messungen pro Person etwa eineinhalb Stunden dauern und nicht verlängert werden sollten.

2.5 TIEFTONMODULATION VON DISTORSIONSPRODUKTEN OTOAKUSTISCHER EMISSIONEN

2.5.1 DPOAE

Die akustische Stimulation mit den Primärtönen erfolgt über zwei getrennte Schallsender, die den im Reizgenerator erzeugten Schall der Ohrsonde (Etymotic Research 10 C) über zwei Silikonschläuche zuführen. Die Ohrsonde enthält auch ein Mikrofon zur Registrierung der otoakustischen Emissionen. Mit Hilfe eines Schaumstoffstöpsels, der ein Plastikröhrchen mit Öffnungen für die Schallsender und das Mikrofon enthält, kann die Sonde in den Gehörgang des Probanden luftdicht eingepasst werden. Die Messung findet in einer akustisch abgeschirmten Kammer statt. Der Proband befindet sich in bequemer Sitzlage. Vor dem Einsetzen der Sonde wird eine Sondenkalibrierung im Kuppler durchgeführt. Dann wird die Sonde eingesetzt und ein Probecheck im äußeren Gehörgang durchgeführt. Bei diesem Test werden die Transferfunktionen der Wandler im individuellen Gehörgangsvolumen ermittelt und so die ordnungsgemäße Funktion des Meßsystems überprüft. Durch den Vergleich der Transferfunktionen im Ohr mit der im Ohrsimulator kann der Untersucher auch die Qualität des Sondensitzes im Gehörgang abschätzen. Ein Abfall der Amplitude im tieffrequenten Bereich weist dabei auf eine mangelnde Abdichtung des Gehörganges durch die Sonde hin (Marquardt, 1998). Sitzt die Sonde dicht im Gehörgang, wird zunächst die Hörschwelle für die beiden verwendeten Frequenzen der Primärtöne über die Sonde bestimmt. Diese fällt etwas anders aus als die Hörschwelle mit Kopfhörern bei der Tonschwellenaudiometrie. Für die Messung mit dem kleinsten L_2 (Pegel des Primärtones mit der Frequenz f_2) wird ein Wert von 10 dB oberhalb der Sondenhörschwelle gewählt. Für jedes Ohr wird nun die DP-Wachstumsfunktion

ermittelt, indem DPOAE für mindestens drei verschiedene Pegel L_2 mit entsprechenden L_1 Pegeln bestimmt werden. Dabei wird L_1 nach der Formel $0,4 L_2 + 39 \text{ dB}$ gewählt (Kummer et al., 1998). Das Verhältnis zwischen den Frequenzen von L_2 und L_1 beträgt immer 1,21.

Zusätzlich zu den DPOAE registriert das Mikrofon weitere Störgeräusche, wie zum Beispiel die Primärtöne sowie Geräusche der Blutzirkulation, Atmung oder Muskelkontraktion des Probanden. Deshalb sind zur Messung der Emissionen komplizierte Filter und Verstärker im Messaufbau nötig, die in der Methode von Anke Hirschfelder (Hirschfelder, 2000) beschrieben sind. Das Messsignal wird durch den PC mit Hilfe des Programms MATLAB verarbeitet. 200 Signalabschnitte der Emissionen werden synchron gemittelt, um das Signal/ Störsignal-Verhältnis zu verbessern. Um die Signale vom Zeit- in den Frequenzbereich zu überführen, wird die Fast Fourier Transformation durchgeführt. Damit werden die Spektrallinien der Primärtöne f_1 und f_2 sowie die Spektrallinie der DPOAE mit der Frequenz $2f_1-f_2$ getrennt dargestellt und ausgewertet.

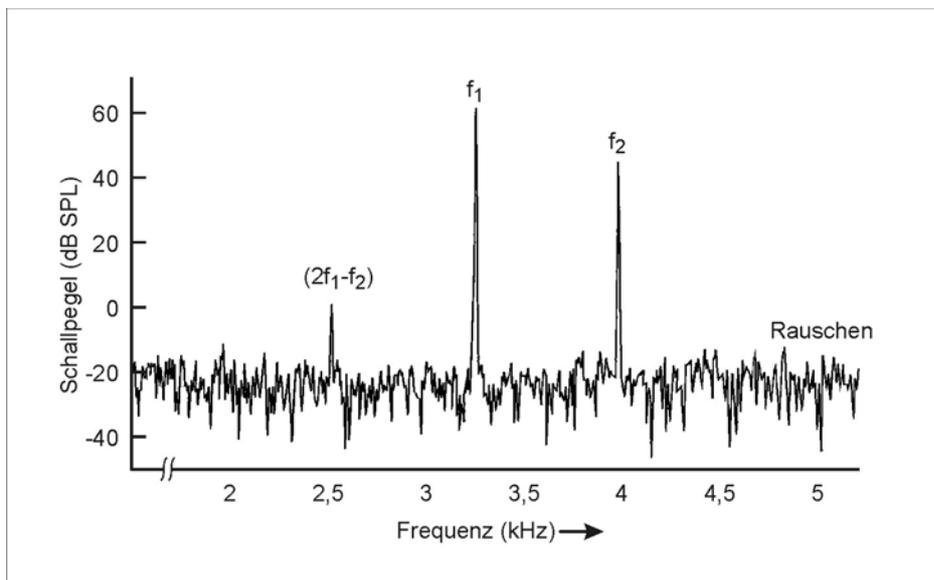


Abbildung 2.5: Spektrale Darstellung der Primärtöne und der DPOAE

2.5.2 TIEFTONMODULATION DER DPOAE

Für die zusätzliche Modulation der DPOAE wird ein tieffrequenter Dauerton von 25 Hz von einem Sinusgenerator erzeugt und über einen dünnen Silikonschlauch der Sonde zugeführt. Das Ende des Schlauches wird durch den Schaumgummistöpsel geführt, so

dass Primärtöne und Tiefton im Gehörgang überlagert werden. Während der Messungen für die DP-Wachstumsfunktion bleibt der Sondensitz unverändert und der Tiefton ausgeschaltet. Danach werden die bestehenden Messungen mit denselben Primärtonpegelpaaren nochmals unter Einfluss der Tieftonsuppression durchgeführt. Als Ergebnis betrachtet man das Modulationsmuster bei Tieftonsuppression über der Zeit während einer Tieftonphase.

Der Lautstärkepegel des Suppressortones von 110 dB SPL könnte für die Patienten mit Tinnitus und Hyperakusis und für die Normalhörenden mit Hyperakusis eine Belastung darstellen. Unter Berücksichtigung des frequenzabhängigen Hörschwellenverlaufes und der Frequenz von 25 Hz entsprechen 110 dB jedoch nur einer empfundenen Lautstärke von ca. 95 phon.

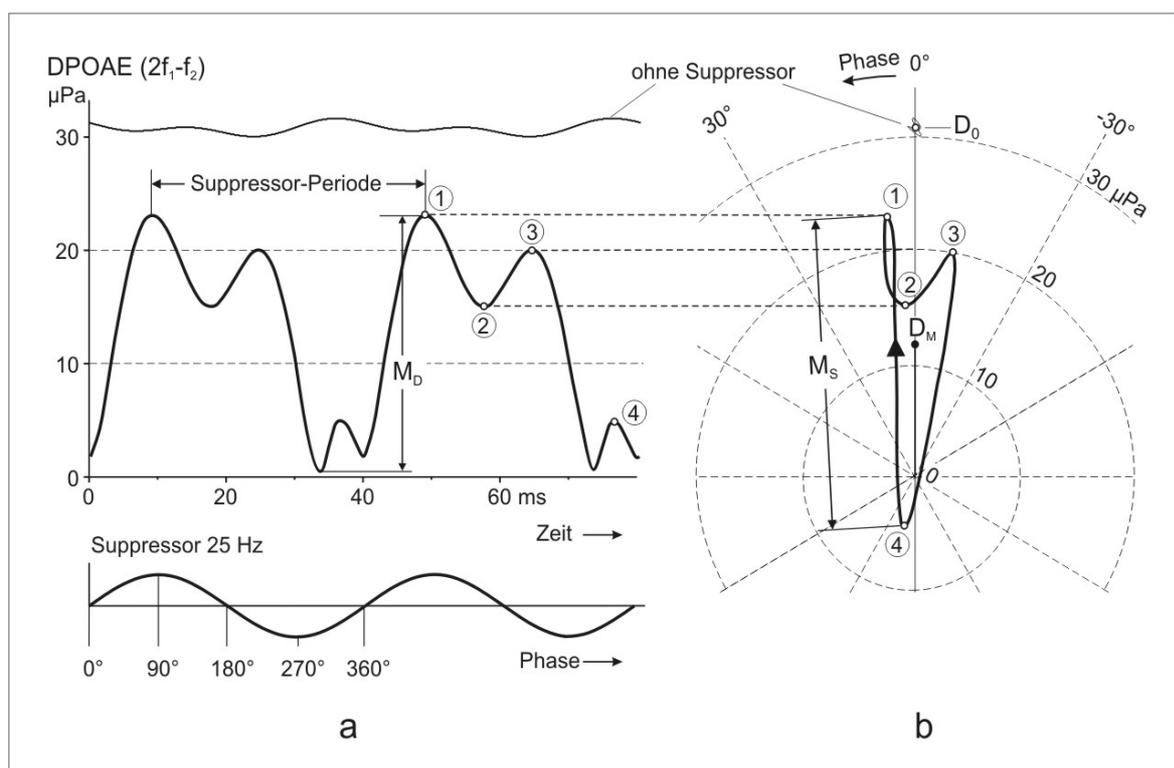


Abbildung 2.6: a) Zeitverlauf der DPOAE-Amplitude mit Tieftonphase. Im Verlauf jeder Periode des Suppressortones sind zwei Minima zu den Zeiten 2 und 4 zu erkennen; Oben: DPOAE-Amplitude ohne Tiefton; Mitte: Tieftonmodulierte Amplituden der DPOAE; Unten: Tieftonsignal b) Ortskurve des komplexen DPOAE-Amplitudenzeigers. Mit Berücksichtigung der Phasenlage wird die maximale Amplitudenänderung M_s korrekt bestimmt. Diese wird auch als Spannweite bezeichnet.

2.6 DATENVERARBEITUNG

2.6.1 AUDIOMETRISCHE STANDARDUNTERSUCHUNGEN UND HÖRFELDSKALIERUNG

Mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogramms Excel wurden das mittlere Alter pro Untersuchungsgruppe und die Mittelwerte und Standardabweichung der Stapediusreflexschwellen für die drei untersuchten Frequenzen bestimmt. Auch für die Hörschwellen und die Unbehaglichkeitsschwellen wurden pro Gruppe die Mittelwerte sowie die einfache Standardabweichung mit Excel bestimmt. Die Auswertung der Hörfeldskalierung erfolgte innerhalb einer Gruppe für jede der vier Frequenzen getrennt. Innerhalb einer Frequenz wurde für jeden Pegel ein Mittelwert der empfundenen Lautheit mit einer Standardabweichung berechnet. Diese Werte wurden gegen die verschiedenen Pegel aufgetragen und mit Korrelationsgeraden zusammengefasst. Die Steigungen dieser Geraden können dann für jede Frequenz quantitativ zwischen den Untersuchungsgruppen verglichen werden.

2.6.2 KONTRALATERALE SUPPRESSION DER TEOAE

Innerhalb unserer Arbeitsgruppe wurde von R. Becker eine Software erstellt, um die Mittelwertbildung der Teilergebnisse des ILO92 durchzuführen und somit den Effektivwert der gemessenen TEOAE zu errechnen und damit Aussagen über die Qualität der Messung zu ermöglichen. Auch die Graphik der gemittelten TEOAE über der Zeit, die vom ILO92 herausgegeben wird, kann von diesem Programm reproduziert werden. Dabei können einzelne Messungen ausgewählt und deren Effektivwerte berechnet werden, sowie die bestimmter Zeitabschnitte der TEOAE. Die Effektivwerte werden ebenfalls in einer Excel-Datei abgespeichert. Die Größe der Suppression erhält man, indem der Effektivwert der TEOAE einer Messung mit kontralateraler Stimulation vom Effektivwert einer Messung ohne kontralaterale Stimulation abgezogen wird (Collet et al., 1990; Hood et al., 1996). Für die mittlere Suppression wird dann pro Testgruppe der Median errechnet. Die Effektivwerte der drei Messungen ohne Suppression werden pro Gruppe gemittelt. Da in der Literatur Hinweise auf den Einfluss der Händigkeit auf die TEOAE-Amplitude und die KS der TEOAE zu finden sind (VeUILlet et al., 1999), wird bei der Auswertung die Händigkeit der Probanden berücksichtigt.

Die Suppression der TEOAE unter kontralateraler Stimulation soll in verschiedenen

Zeitabschnitten betrachtet werden, da sich größere Suppressionen in späteren Abschnitten der TEOAE fanden und zwar zwischen 8 und 18 ms (Hood et al., 1996) und zwischen 10 und 16 ms (Velenovsky und Glatke, 2001).

2.6.3 DP-WACHSTUMSFUNKTION UND TIEFTONMODULIERTE DPOAE

Bei der Messung der Distorsionsprodukte (DP) der OAE erhält man für verschiedene Pegel L_2 der Frequenz f_2 mit nach der Pegelschere angepasstem Pegel L_1 der Frequenz f_1 auch verschiedene DP-Amplituden. Die Größen dieser DP-Amplituden in μ -Pascal, werden durch die Spektralanalyse von MATLAB berechnet und mit dem Namen Zentrum bezeichnet. Es ergeben sich Wertepaare, in denen jedem Pegel L_2 in dB SPL mit entsprechendem Pegel L_1 eine DP-Amplitude in μ -Pascal zugeordnet wird. Für jedes Ohr gibt es also eine DPOAE- Wachstumsfunktion, die sich aus den DP-Amplituden für drei oder mehr verschiedene Pegel L_2 zusammensetzt. Diese wurden bei der Frequenz f_2 im Bereich zwischen 20 dB SPL (L_1) und 60 dB SPL (L_5) bestimmt. Für jeden Probanden und Patienten wurden sie gesondert betrachtet, um eine Aussage über die Steigung der Funktion und über die Größe der DPOAE machen zu können und damit vereinzelt auffällige Kurven identifizieren zu können. Innerhalb der Gruppen wurde der Median mit den zugehörigen Quartilen berechnet. Die Darstellung und Auswertung wurde dabei in dB SL durchgeführt, um bei unterschiedlichen Hörschwellen eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den Gruppen zu erreichen. Die Größe des Distorsionsproduktes wird durch einen Wert in μ Pa bezeichnet.

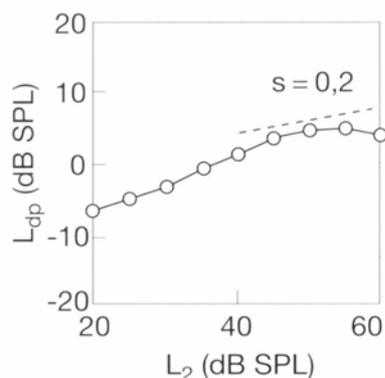


Abbildung 2.7: DPOAE-Wachstumsfunktion bei steigendem Pegel L_2 bei normaler Haarzellfunktion. Zwischen 40 und 60 dB SPL ist der Verlauf flach mit einer Steigung $s=0,2$

In Excel werden pro Untersuchungsgruppe für jeden Pegel L_2 Mediane der DP-Amplituden mit den zugehörigen Quartilen bestimmt. Trägt man diese Mediane gegen L_2 auf, erhält man eine gemittelte Wachstumsfunktion pro Untersuchungsgruppe.

Um eventuelle Unterschiede in der Beweglichkeit der Basilarmembran zwischen den Untersuchungsgruppen nachzuweisen, sollen die Muster der tieftonmodulierten DPOAE verglichen werden. Als quantitativer Ergebnisparameter der Modulation durch den Tiefton wird in MATLAB die sogenannte Spannweite (siehe Abbildung 2.6) benutzt, die der Größe der DPOAE unter Tieftonmodulation entspricht und in μ -Pascal angegeben wird. Für jedes Ohr lässt sich eine Funktion erstellen, die verschiedenen L_2 die entsprechenden Spannweiten zuordnet.

2.7 STATISTIK

Die statistischen Auswertungen wurden mit den Programmpaketen SPSS und SAS durchgeführt. Da es sich um Daten nicht-parametrischer Tests handelt, verwendet man für die Varianzanalyse den Kruskal-Wallis-Test, der die Unterschiede zwischen den Gruppen mit Hilfe von Chi-Quadrat abschätzt. Die Suppressionen werden als Unterschiede zwischen den Gruppen betrachtet. Für die Analyse der DPOAE sind zweifaktorielle Analysen für Wiederholungsmessungen nötig. Auch hier wird der Kruskal-Wallis-Test verwendet und der Unterschied zwischen den Gruppen bestimmt. Ist dieser Unterschied groß, so ist der Wert p klein.