

**Untersuchungen zur klinischen Anwendbarkeit der
Messung evozierter otoakustischer Emissionen
bei Katzen**

Julia Ewald

2004

Aus der Medizinischen Tierklinik,
Lehrstuhl für Innere Krankheiten der kleinen Haustiere und Heimtiere
der Tierärztlichen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München

Vorstand: Prof. Dr. Katrin Hartmann

Arbeit angefertigt unter der Leitung von
Priv.-Doz. Dr. med. vet. habil. Andrea Fischer

**Untersuchungen zur klinischen Anwendbarkeit der
Messung evozierter otoakustischer Emissionen
bei Katzen**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von
Julia Ewald
aus Bremen

München 2004

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. A. Stolle

Referentin: Priv.-Doz. Dr. Andrea Fischer

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. B. Kaspers

Tag der Promotion: 23. Juli 2004

INHALTSVERZEICHNIS

| | Seite |
|--|----------|
| 1. EINLEITUNG | 1 |
| 2. LITERATUR | 2 |
| 2.1. Das Gehörorgan | 2 |
| 2.1.1. Anatomie | 2 |
| 2.1.1.1. Äußeres Ohr, Auris externa | 3 |
| 2.1.1.2. Mittleres Ohr, Auris media | 4 |
| 2.1.1.3. Inneres Ohr, Auris interna | 5 |
| 2.1.2. Physiologie des Hörens | 7 |
| 2.1.2.1. Schall | 7 |
| 2.1.2.1.1. Schallstärke | 8 |
| 2.1.2.1.2. Schalldruck | 8 |
| 2.1.2.1.3. Frequenz | 9 |
| 2.1.2.1.4. Hörschwelle | 9 |
| 2.1.2.2. Schallaufnahme und –weiterleitung | 10 |
| 2.1.2.3. Schallverarbeitung im Innenohr | 11 |
| 2.1.2.4. Hörbahn | 12 |
| 2.2. Otoakustische Emissionen | 13 |
| 2.2.1. Geschichte der OAE | 13 |
| 2.2.2. Entstehung der OAE | 14 |
| 2.2.3. Einteilung der OAE | 15 |
| 2.2.3.1. TEOAE | 16 |

| | | |
|--------------|--|----|
| 2.2.3.1.1. | Methode der TEOAE-Messung | 16 |
| 2.2.3.1.2. | Bewertung der Ergebnisse der TEOAE-Messung | 22 |
| 2.2.3.1.2.1. | Qualität der Messbedingungen | 22 |
| 2.2.3.1.2.2. | Qualität der gemessenen Antwort | 23 |
| 2.2.3.2. | DPOAE | 25 |
| 2.2.3.2.1. | Methode der DPOAE-Messung | 26 |
| 2.2.3.2.2. | Bewertung der Ergebnisse der DPOAE-Messung | 27 |
| 2.2.3.2.2.1. | Qualität der Messbedingungen | 27 |
| 2.2.3.2.2.2. | Qualität der gemessenen Antwort | 28 |
| 2.2.4. | OAE in der Audiometrie | 29 |
| 2.2.4.1. | Tympanometrie | 29 |
| 2.2.4.2. | Elektrische Reaktionsaudiometrie | 30 |
| 2.2.4.2.1. | Elektrokochleographie | 30 |
| 2.2.4.2.2. | Frühe akustisch evozierte Potentiale, Hirnstammaudiometrie | 31 |
| 2.2.4.2.3. | Mittlere akustisch evozierte Potentiale | 31 |
| 2.2.4.2.4. | Späte akustisch evozierte Potentiale | 31 |
| 2.2.4.3. | Klinik der evozierten OAE bei Menschen | 32 |
| 2.2.4.3.1. | Altersabhängigkeit | 32 |
| 2.2.4.3.2. | Geschlechtsspezifität | 32 |
| 2.2.4.3.3. | Intra- und Interindividuelle Variabilität | 33 |
| 2.2.4.3.4. | Sensitivität und Spezifität | 33 |
| 2.2.4.3.5. | Einfluss der Mittelohrfunktion auf OAE | 34 |
| 2.2.4.3.6. | Einfluss von Sedierung und Narkose auf OAE | 35 |
| 2.2.4.4. | Einsatz der Messung evozierter OAE in der Humanmedizin | 35 |

| | | |
|------------|--|----|
| 2.2.4.4.1. | Bestimmung der Hörschwelle | 37 |
| 2.2.4.4.2. | Monitoring | 39 |
| 2.2.4.4.3. | Neugeborenen-Screening | 39 |
| 2.2.4.5. | Messung evozierter OAE bei Tieren | 40 |
| 3. | MATERIAL UND METHODE | 41 |
| 3.1. | Untersuchungsmaterial | 41 |
| 3.1.1. | Einteilung der untersuchten Katzen | 41 |
| 3.1.1.1. | Gruppe I: Klinisch unauffällige Katzen | 41 |
| 3.1.1.2. | Gruppe II: Klinisch auffällige Katzen | 44 |
| 3.1.1.3. | Gruppe III: Euthanasierte Katzen | 46 |
| 3.2. | Methode der TEOAE-Messung | 46 |
| 3.2.1. | Gerät | 46 |
| 3.2.1.1. | Sonde | 47 |
| 3.2.1.2. | Stimulus | 47 |
| 3.2.1.3. | Messvorgang | 47 |
| 3.2.1.4. | Dokumentation | 48 |
| 3.2.2. | Vorbereitung | 52 |
| 3.2.2.1. | Vorbereitung der Katzen | 52 |
| 3.2.2.2. | Vorbereitung der Messung | 52 |
| 3.2.3. | Durchführung | 55 |
| 3.2.3.1. | Messung an klinisch unauffälligen Katzen | 56 |
| 3.2.3.1.1. | Nachweis von TEOAE | 56 |
| 3.2.3.1.2. | Reproduzierbarkeit der Messergebnisse | 56 |
| 3.2.3.1.3. | Einfluss der Lagerung der Katzen auf TEOAE | 56 |

| | | |
|------------|---|----|
| 3.2.3.2. | Messung an klinisch auffälligen Katzen | 57 |
| 3.2.3.3. | Messung an Katzen post mortem | 57 |
| 3.2.4. | Bewertung der Messergebnisse | 57 |
| 3.2.4.1. | Qualität der Messbedingungen | 57 |
| 3.2.4.2. | Qualität der gemessenen Antwort | 58 |
| 3.3. | Methode der DPOAE-Messung | 59 |
| 3.3.1. | Gerät | 59 |
| 3.3.1.1. | Sonde | 59 |
| 3.3.1.2. | Stimulus | 59 |
| 3.3.1.3. | Messvorgang | 59 |
| 3.3.1.4. | Dokumentation | 60 |
| 3.3.2. | Vorbereitung der Messung | 63 |
| 3.3.3. | Durchführung der Messung | 64 |
| 3.3.3.1. | Messung an klinisch unauffälligen Katzen | 64 |
| 3.3.3.1.1. | Nachweis von DPOAE | 65 |
| 3.3.3.2. | Messung an klinisch auffälligen Katzen | 65 |
| 3.3.3.3. | Messung an Katzen post mortem | 65 |
| 3.3.4. | Bewertung der Messergebnisse | 65 |
| 3.3.4.1. | Qualität der Messbedingungen | 65 |
| 3.3.4.2. | Qualität der gemessenen Antwort | 66 |
| 3.4. | Statistische Auswertung | 66 |
| 4. | ERGEBNISSE | 67 |
| 4.1. | Untersuchungsergebnisse der TEOAE-Messung | 67 |
| 4.1.1. | Untersuchungsergebnisse bei klinisch unauffälligen Katzen | 67 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 4.1.1.1. | Nachweis von TEOAE bei klinisch unauffälligen Katzen | 67 |
| 4.1.1.1.1. | Dauer der Emission | 72 |
| 4.1.1.2. | Reproduzierbarkeit der Ergebnisse | 73 |
| 4.1.1.3. | Einfluss der Lagerung der Katzen auf TEOAE | 74 |
| 4.1.2. | Untersuchungsergebnisse bei klinisch auffälligen Katzen | 75 |
| 4.1.2.1. | Nachweis von TEOAE bei klinisch auffälligen Katzen | 76 |
| 4.1.3. | Untersuchungsergebnisse bei Katzen post mortem | 77 |
| 4.1.3.1. | Nachweis von TEOAE bei Katzen post mortem | 77 |
| 4.2. | Untersuchungsergebnisse der DPOAE-Messung | 78 |
| 4.2.1. | Untersuchungsergebnisse bei klinisch unauffälligen Katzen | 78 |
| 4.2.1.1. | Nachweis von DPOAE bei klinisch unauffälligen Katzen | 78 |
| 4.2.2. | Untersuchungsergebnisse bei klinisch auffälligen Katzen | 82 |
| 4.2.2.1. | Nachweis von DPOAE bei klinisch auffälligen Katzen | 82 |
| 4.2.3. | Untersuchungsergebnisse bei Katzen post mortem | 84 |
| 4.2.3.1. | Nachweis von DPOAE bei Katzen post mortem | 84 |
| 5. | DISKUSSION | 86 |
| 5.1. | Einteilung der Katzen | 88 |
| 5.2. | TEOAE | 89 |
| 5.2.1. | Messparameter und Bewertungskriterien | 90 |
| 5.2.2. | Nachweis von TEOAE bei klinisch unauffälligen Katzen | 91 |
| 5.2.2.1. | Vergleich der Ergebnisse bei verschiedenen Einstellungen der Latenzzeit | 92 |
| 5.2.2.2. | Inzidenz der TEOAE | 98 |
| 5.2.2.3. | Amplitude der TEOAE | 99 |
| 5.2.2.4. | Reproduzierbarkeit der Ergebnisse | 100 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 5.2.2.5. | Einfluss der Lagerung der Katzen auf TEOAE | 101 |
| 5.2.3. | Nachweis von TEOAE bei klinisch auffälligen Katzen | 103 |
| 5.2.4. | Nachweis von TEOAE bei Katzen post mortem | 104 |
| 5.3. | DPOAE | 105 |
| 5.3.1. | Messparameter und Bewertungskriterien | 106 |
| 5.3.2. | Nachweis von DPOAE bei klinisch unauffälligen Katzen | 106 |
| 5.3.3. | Nachweis von DPOAE bei klinisch auffälligen Katzen | 111 |
| 5.3.4. | Nachweis von DPOAE bei Katzen post mortem | 112 |
| 5.4. | Rückschlüsse auf die Gehörfunktion mittels OAE-Messung | 114 |
| 5.4.1. | Klinisch unauffällige Katzen | 114 |
| 5.4.2. | Klinisch auffällige Katzen | 117 |
| 5.5. | Einsatzmöglichkeiten der TEOAE-Messung in der Tiermedizin | 117 |
| 6. | ZUSAMMENFASSUNG | 120 |
| 7. | SUMMARY | 122 |
| 8. | LITERATURVERZEICHNIS | 124 |
| 9. | ANHANG | 132 |

LEBENS LAUF

DANKSAGUNG

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

| | |
|----------------------|---|
| Abb. | Abbildung |
| ABR | Auditory brainstem response |
| AEP | akustisch evozierte Potentiale / acoustic evoked potentials |
| BAEP | brainstem acoustic evoked potentials |
| BERA | brainstem electric response audiometry |
| dB | Dezibel |
| dB HL | Dezibel Hearing Level |
| dB SPL | Dezibel Sound Pressure Level |
| dB SPL _{pe} | Dezibel Sound Pressure Level peak equivalent |
| DP | Distorsionsprodukt |
| DPOAE | Distorsionsprodukte otoakustischer Emissionen |
| ECochG | Elektrocochleographie |
| EOAE | evozierte otoakustische Emissionen |
| ERA | elektrische Reaktionsaudiometrie / electric response audiometry |
| FAEP | Frühe akustisch evozierte Potentiale |
| Hz | Hertz |
| K ⁺ | Kaliumionen |
| kg | Kilogramm |
| kHz | Kilohertz |
| lg | Logarithmus |
| mg | Milligramm |

| | |
|-------|--|
| min. | Minute/n |
| ms | Millisekunde/n |
| m/s | Meter pro Sekunde |
| mV | Millivolt |
| MW | Mittelwert |
| Nr. | Nummer |
| OAE | otoakustische Emissionen |
| Pa | Pascal |
| sec | Sekunde/n |
| SOAE | spontane otoakustische Emissionen |
| SW | Standardabweichung |
| Tab. | Tabelle |
| TEOAE | transitorisch evozierte otoakustische Emissionen |

1. EINLEITUNG

Otoakustische Emissionen sind akustische Signale, die von intakten Haarzellen im Innenohr generiert und mechanisch über die Gehörknöchelchen hin zum Trommelfell übertragen werden. Unter Voraussetzung eines funktionsfähigen Mittelohres können diese Emissionen im äußeren Gehörgang gemessen werden. Bei einer Störung der cochleären Funktion sind sie eingeschränkt oder nicht nachweisbar.

In der Humanmedizin wird die Messung evozierter otoakustischer Emissionen als ein objektives audiometrisches Verfahren zur Erkennung von Hörschäden im Bereich des Innenohres eingesetzt. Es ermöglicht die Überprüfung der funktionellen Integrität der Cochlea durch eine frequenzspezifische Untersuchung des Innenohres. Da es sich um eine schnell durchzuführende, nicht invasive und objektive Untersuchungsmethode handelt, die keine aktive Kooperation des Patienten erfordert, wird sie in der Humanmedizin immer häufiger in der Neonatologie und Pädiatrie eingesetzt.

Der Einsatz der Messung evozierter otoakustischer Emissionen bei Tieren ist bisher auf Versuche in der humanmedizinischen Forschung beschränkt. Die oben genannten Vorteile machen dieses Verfahren auch für den diagnostischen Einsatz in der Tiermedizin interessant, da hier wie auch in der Neonatologie eine aktive Kooperation des Patienten nur eingeschränkt gegeben ist. Es könnte eine objektive Untersuchungsmethode der Funktionsfähigkeit des Innenohrs bieten.

In der hier vorliegenden Arbeit wurde die klinische Anwendbarkeit der Messung evozierter otoakustischer Emissionen für die tierärztliche Praxis an 51 Katzen untersucht.

2. LITERATUR

2.1. Das Gehörorgan

2.1.1. Anatomie

Das Gehörorgan liegt im Schläfenbein, dem Os temporale. Dieses entsteht aus der Verschmelzung dreier Anteile: der Pars squamosa, der Pars petrosa und der Pars tympanica. Die Pars tympanica an der Basis des Schläfenbeines beherbergt in der bei den Haussäugetieren mächtigen Bulla tympanica die Paukenhöhle des Mittelohres. Außerdem bildet sie sowohl den äußeren knöchernen Gehörgang, Meatus acusticus externus osseus, als auch die knöcherne Hörtrumpete, Pars ossea tubae auditivae, die Verbindung von Paukenhöhle und Nasenrachen.

In der Pars petrosa im kaudoventralen Anteil des Schläfenbeines liegt das Innenohr mit dem Meatus acusticus internus. Ihre Ventralfläche bildet die mediale Wand der in der Pars tympanica gelegenen Paukenhöhle (NICKEL, SCHUMMER und SEIFERLE, 1992).

Beim Menschen bildet die Pars tympanica die knöcherne Wand des Meatus acusticus externus, die Paukenhöhle liegt dagegen wie auch das Innenohr in der Pars petrosa (SCHIEBLER und SCHMIDT, 1987).

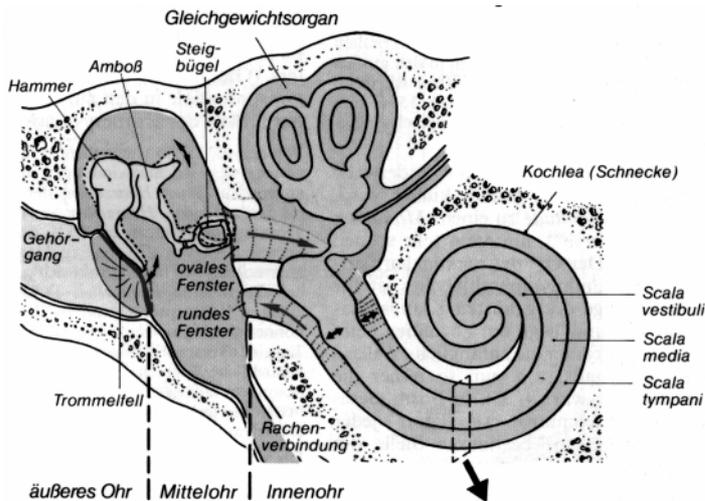


Abbildung 1: Querschnitt durch Mittelohr und Innenohr des Menschen (aus SILBERNAGEL und DESPOPOULOS, 1991)

2.1.1.1. Äußeres Ohr, Auris externa

Zum äußeren Ohr gehören die Ohrmuschel, die bei den Haussäugetieren im Vergleich zum Menschen eher Tüten- als Muschelform aufweist, der knorpelige und der knöcherne äußere Gehörgang.

Der knorpelige äußere Gehörgang, Meatus acusticus externus cartilagineus, wird vom Muschelknorpel gebildet, indem dieser sich trichterförmig zu einem sich verengenden Lumen einrollt. Er ist bei Katze und Hund relativ lang und beim Hund deutlich abgelenkt. Im weiteren Verlauf werden die Wandelemente vom halbringförmigen Knorpel und vom Cartilago anularis gebildet. Letzterer sitzt der Öffnung des knöchernen äußeren Gehörganges auf.

Der knöcherne äußere Gehörgang liegt bei Katze und Hund als Knochenring in der Außenwand der Pars tympanica, beim Hund kann er auch zu einer kurzen Röhre ausgezogen sein. Er endet in Richtung Paukenhöhle am Trommelfell, der Membrana tympani (NICKEL, SCHUMMER und SEIFERLE, 1991), das laut SCHEUNERT und TRAUTMANN (1987) bei der Katze eine mittlere Flächengröße von 42mm^2 hat.

Beim Menschen ist der Meatus acusticus externus 36 mm lang, wovon die Wand des ersten Drittels von einer knorpeligen Rinne umschlossen ist und die letzten zwei Drittel im Knochen des Schläfenbeins liegen. Er verläuft in seiner Längsachse mit einer leichten Krümmung von caudoventral nach craniodorsal (SCHIEBLER und SCHMIDT, 1987). Die Flächengröße des Trommelfelles wird von SCHEUNERT und TRAUTMANN (1987) mit 50 – 90 mm² angegeben.

Von BÖHME (1998) wird die Funktion des äußeren Ohres wie folgt beschrieben: Zum einen schützt es das Trommelfell vor mechanischer Beschädigung, zum anderen wird durch die Gehörgangsresonanz eine Schallpegelerhöhung um bis zu 20 dB im Frequenzbereich von 1 – 3 kHz erzeugt.

2.1.1.2. Mittleres Ohr, Auris media

Das Mittelohr liegt in der Paukenhöhle. Deren Boden und ein Großteil der Seitenwand werden bei Haussäugetieren von einer Knochenblase, der Bulla tympanica, gebildet, die bei der Katze teilweise durch ein Knochenseptum in zwei Ebenen geteilt ist (NICKEL, SCHUMMER und SEIFERLE, 1991).

Zwischen Trommelfell und Vorhofsfenster, das auch als ovales Fenster bezeichnet wird, durchqueren die der Schallübertragung dienenden Gehörknöchelchen die Paukenhöhle. Sie bestehen aus dem Hammer, Malleus, dem Amboß, Incus, dem Linsenbeinchen, Os lenticulare, und dem Steigbügel, Stapes. Die Gehörknöchelchen sind durch gelenkige oder syndesmotische Verbindungen miteinander verbunden und durch Bänder in der Paukenhöhle aufgehängt. Beim Menschen ist das Os lenticulare mit dem Incus verwachsen und wird hier als Proc. lenticularis bezeichnet. Die Gehörknöchelchen werden zusammen mit dem Trommelfell als Schalleitungsapparat bezeichnet.

Durch die Hörtrumpete, Tuba auditiva, steht die Paukenhöhle mit dem Rachenraum in Verbindung. Sie dient der Luftdruckregulation im Mittelohr und dem Abfluß der in dem Flimmerepithel gebildeten Sekrete (NICKEL, SCHUMMER und SEIFERLE, 1991).

Dem Menschen fehlt eine eigentliche Bulla tympanica. Im Gegensatz zum Haussäugetier ist bei ihm der Proc. mastoideus pneumatisiert und steht in Verbindung mit der Paukenhöhle. (SCHIEBLER und SCHMIDT, 1987).

2.1.1.3. Inneres Ohr, Auris interna

Das Innenohr besteht aus einer von der Pars petrosa gebildeten Knochenkapsel, dem knöchernen Labyrinth, und aus einem membranösen Hohlorgan, dem häutigen Labyrinth.

Das knöcherne Labyrinth bildet neben den zum Vestibularapparat gehörenden Bogengängen den Vorhof, Vestibulum, die Schnecke, Cochlea, und den bei den Haussäugetieren kurzen inneren Gehörgang, Meatus acusticus internus.

Der Vorhof ist ein Hohlraum, der über das Vorhoffenster, an das der Steigbügel des Mittelohres grenzt, mit der Paukenhöhle in Verbindung steht.

Die Schnecke wird von einem sich spiralig windenden Knochenkanal gebildet. Ihre Gesamtlänge beträgt beim Menschen durchschnittlich 35 mm (BÖHME, 1998). Laut NICKEL, SCHUMMER und SEIFERLE (1991) sind sowohl beim Menschen als auch beim Fleischfresser nahezu drei Windungen vorzufinden. SCHEUNERT und TRAUTMANN (1987) dagegen berichten von vier Windungen bei der Katze. Zwischenwände der knöchernen Kapsel trennen die Windungen voneinander. In den so gebildeten Schneckengang ragt eine Knochenlamelle, Lamina spiralis ossea, die den Gang in zwei Etagen teilt, die Außenwand und die Spitze jedoch nicht erreicht. Zwischen der Lamina spiralis ossea und der Außenwand spannt sich eine Bindegewebsplatte, die Lamina basilaris. So entstehen zwei Treppengänge, die an der Spitze miteinander kommunizieren: die am ovalen Fenster beginnende Scala vestibuli und die an der Membran des runden Fensters an der Paukenhöhle endende Scala tympani. Die Scala vestibuli liegt oberhalb, die Scala tympani unterhalb der Lamina spiralis ossea. Beide Treppengänge gehen in einem Hohlraum an der Spitze der Knochenspindel, dem Helicotrema, ineinander über.

Das häutige Labyrinth ist ein im knöchernen Labyrinth liegendes membranöses Hohlraumsystem. Diese Hohlräume bilden den Ductus cochlearis und sind mit Endolymphe gefüllt. Die Bereiche, an denen die Membran dem knöchernen Labyrinth nicht unmittelbar anliegt, sind mit Perilymphe angefüllt. Zu diesem perilymphatischen Raum gehören die Scala vestibuli und die Scala tympani.

Der Ductus cochlearis windet sich um die Schneckenspindel und endet blind an ihrer Spitze. Er liegt zwischen der Scala vestibuli und der Scala tympani und wird von ihnen ventral durch die Lamina basilaris und dorsal durch die Membrana vestibularis, auch Reisnersche Membran genannt, abgegrenzt (NICKEL, SCHUMMER und SEIFERLE, 1991). In ihrem Verlauf von

der Basis zur Spitze verändern sich die Eigenschaften der Lamina basilaris: ihre Masse und Breite nehmen zu, während ihre Steifigkeit im Verlauf abnimmt (SCHEUNERT und TRAUTMANN, 1987).

Auf der Lamina basilaris liegt das Organum spirale oder Cortische Organ. Es besteht zum einen aus sekundären Sinneszellen, den Haarzellen, die an der Oberfläche mit feinen Sinneshärchen, den Stereozilien, besetzt sind. Zum anderen findet man Stützzellen (Pfeilerzellen, Phalangenzellen, Hensen-Zellen und Claudius-Zellen), die spaltenförmige Hohlräume umschließen. Die dachfirstartigen Pfeilerzellen bilden unter sich den inneren Tunnel. Die axial von diesem Tunnel sitzenden Sinneszellen werden als innere Haarzellen bezeichnet, die peripher davon sitzenden als äußere Haarzellen (HESS und SINOWATZ, 1986). Die Kopfplatten der Stütz- und Pfeilerzellen bilden eine Deckmembran, die Membrana reticularis, in der sich Löcher zum Durchtritt der Stereozilien der Hörzellen befinden.

Über dem Cortischen Organ ragt die Membrana tectoria von der Lamina spiralis ossea in den Ductus cochlearis (NICKEL, SCHUMMER und SEIFERLE, 1991). Während die in drei Reihen angeordneten äußeren Haarzellen mit ihren Stereozilien die Membrana tectoria erreichen, haben die einreihigen inneren Haarzellen keinen Kontakt zu ihr, sondern liegen frei in der Endolymphe (HAUSER, 1998).

Die zylinderförmigen äußeren Haarzellen bestehen aus einem in der Zellmembran liegenden Aktinomyosinfilamentskelett, das aktive Bewegungen und Formveränderungen der Zellen ermöglicht. Im Gegensatz zu dem Aufbau der äußeren Haarzellen besitzen die inneren Haarzellen kein Filamentnetzwerk und können keine aktiven Bewegungen ausführen.

Die Katze soll ungefähr 2600 innere und 9900 äußere Haarzellen besitzen (SCHEUNERT und TRAUTMANN, 1987). Beim Menschen sind etwa 3400 innere und etwa 13400 äußere Haarzellen zu finden (BÖHME, 1998).

Die Cochlea wird von afferenten und efferenten Neuronen innerviert. Von allen afferenten Neuronen sind beim Menschen nur etwa 5% mit den äußeren Haarzellen verbunden, 95%, ungefähr 32000, mit den inneren Haarzellen. Die etwa 1800 efferenten Neuronen sind vermutlich für die Steuerung der Empfindlichkeit der äußeren Haarzellen verantwortlich (BÖHME, 1998).

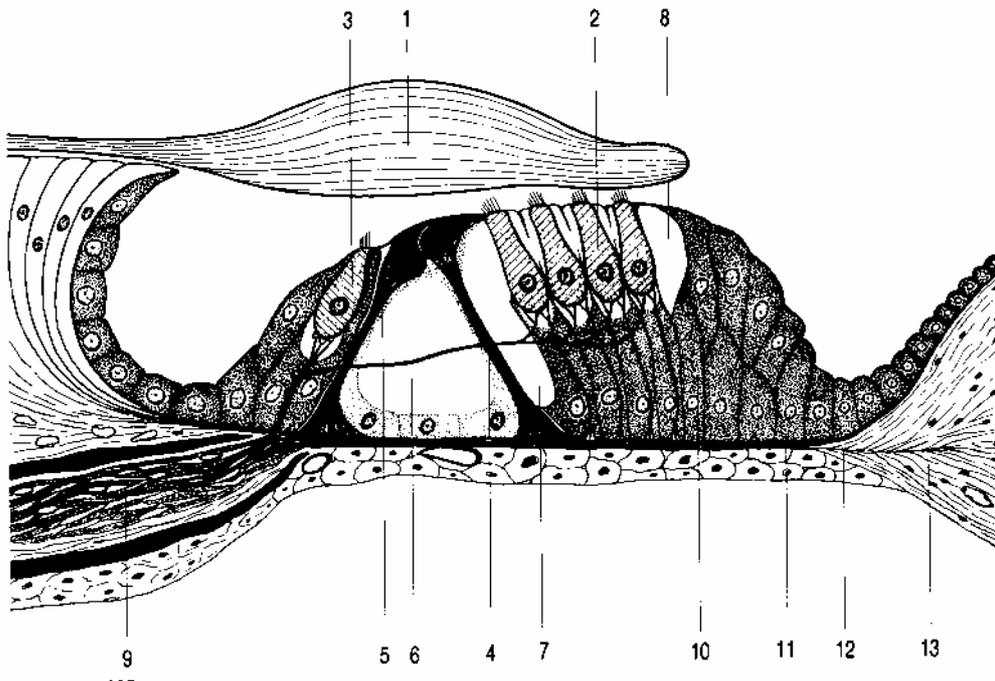


Abbildung 2: Schemazeichnung des Corti-Organes: (1) Membrana tectoria; (2) äußere Haarzellen; (3) innere Haarzelle; (4) äußere Pfeilerzelle; (5) innere Pfeilerzelle; (6) innerer Tunnel; (7) Nuelscher Raum; (8) äußerer Tunnel; (9) Nervus cochlearis; (10) Hensen-Zellen; (11) Basilarmembran; (12) Claudius-Zellen; (13) Ligamentum spirale (aus HESS und SINOWATZ, 1986)

2.1.2. Physiologie des Hörens

2.1.2.1. Schall

Der adäquate Reiz für das Gehörorgan sind Schallwellen, die von einer Schallquelle ausgehen. Sie breiten sich wellenförmig in einem elastischen Medium, z.B. Luft, aus, indem angrenzende Moleküle in Schwingungen versetzt und diese Schwingungen an benachbarte Moleküle weitergegeben werden. Es kommt zu einer lokalen Zu- bzw. Abnahme der Teilchendichte und damit zur Druckerhöhung bzw. Druckverringernug in dem

entsprechenden Medium. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schallwellen in Luft beträgt ungefähr 335 m/s (SCHMIDT und THEWS, 1990).

2.1.2.1.1. Schallstärke

Die Ausbreitung der Schallwellen ist mit Energie verbunden. Der Quotient aus übertragender Schallenergie und benötigter Zeit heißt Schalleistung. Aus dem Quotienten der Schalleistung und der beschallten Fläche ergibt sich die Schallstärke, die in W/m² angegeben wird. Da es sich hierbei um sehr kleine Werte im Bereich von 10⁻² bis 10⁻¹⁰ W/m² handelt, wurde die Einheit Bel eingeführt, eine logarithmische Vergleichseinheit. Deren "Zehntel-Wert" ergibt die in der Akustik verwendete Einheit Dezibel (dB).

Da die Schallstärke definiert ist als

$$\text{Schallstärke in Bel} = \lg \frac{\text{Schallstärkepegel}}{\text{Vergleichspegel}}$$

ergibt sich für

$$\text{Schallstärke in dB} = 10 \lg \frac{\text{Schallstärkepegel}}{\text{Vergleichspegel}}$$

Demzufolge steigt die Schallstärke in der Maßeinheit Dezibel um 3,01 dB, wenn sich der Absolutbetrag auf das Doppelte des Ausgangswertes erhöht (HARMS, 1992).

2.1.2.1.2. Schalldruck

Durch die Wellenbewegungen der Moleküle entstehen Zonen, in denen die Moleküle unterschiedlich dicht gedrängt sind, also ein unterschiedlicher Druck herrscht. Diese Luftdruckschwankungen werden als Schalldruck bezeichnet und in N/m² (=Pa) angegeben (SCHMIDT und THEWS, 1990). Da der vom Menschen wahrgenommene Schalldruck im Bereich von 20 µPa bis 100 Pa liegt, ist es nicht möglich, diesen Bereich linear in einem Diagramm darzustellen. Man ist zu einer logarithmischen Darstellung, dem Schalldruckpegel,

übergegangen. Dessen Einheit Dezibel (dB) ist ein logarithmisches Verhältnismaß (BÖHME, 1998).

Um die beiden Einheiten der Schallstärke und des Schalldruckpegels voneinander zu unterscheiden, hat die Einheit dB des Schalldruckpegels den Zusatz "SPL" bekommen, der für Sound Pressure Level steht (SCHMIDT und THEWS, 1990). Die Einheit dB SPL ist die auf den Referenzwert von 20 μPa bezogene Größe des Schallimpulses. Unter dem Zusatz dB SPL_{peak} oder p.e. (= peak equivalent) versteht man die auf den Referenzwert von 20 μPa bezogene maximale Amplitude eines Schallimpulses (HAUSER, 1998).

Der Schalldruck bestimmt die Lautstärke: Die Amplitude der Schallwellen ist ein Maß für die Abweichung vom normalen Luftdruck zwischen einem Maximal- und einem Minimalwert. Je größer die Amplitude, also die Druckänderung ist, desto lauter ist der Ton (ERNST, 1998).

Ebenso wie die Schallstärke und der Schalldruckpegel wird auch der Hörverlust in Dezibel angegeben: ein Hörverlust von 20 dB bedeutet, daß bei diesem Patienten die Schallstärke um 20 dB größer sein muß als beim Gesunden, damit der Patient den Ton gleich laut hört (HARMS, 1992).

2.1.2.1.3. Frequenz

Als Schwingungsdauer ($=T$) bezeichnet man die Zeit, die ein Molekül benötigt, um eine volle Schwingung um seine Ruhelage auszuführen. Die Frequenz f in der Einheit Hertz ($=\text{Hz}$) definiert sich durch $f=1/T$ und gibt die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde an. Die Frequenz bestimmt die Tonhöhe (BÖHME, 1998).

2.1.2.1.4. Hörschwelle

Damit ein Schall wahrgenommen werden kann, muß er einen bestimmten Schalldruck überschreiten. Dieser Schwellenwert wird als Hörschwelle bezeichnet und ist frequenzabhängig (SCHMIDT und THEWS, 1990). Demzufolge werden Töne mit gleichem Schalldruck und unterschiedlicher Frequenz als verschieden laut empfunden (HARMS,

1992). Die Hörschwelle des Menschen liegt bei 1000 Hz bei ca. 3×10^{-5} Pa (SILBERNAGEL und DESPOPOULOS, 1991).

Das gesunde menschliche Ohr kann Frequenzen von 16 Hz bis ca. 20000 Hz hören, wobei diese Werte für junge Erwachsene gelten, da die obere Hörgrenze mit zunehmendem Alter absinkt (SILBERNAGEL und DESPOPOULOS, 1991). SCHEUNERT und TRAUTMANN beschreiben bei der Katze eine hohe Empfindlichkeit zwischen 1000 und 20000 Hz. Darüber und darunter steigen die Hörschwellen stark an, eine obere Hörgrenze wird bei 60000 Hz angenommen. Für das Gehör des Hundes gehen sie von einer oberen Hörgrenze aus, die über 40000 Hz liegt.

2.1.2.2. Schallaufnahme und –weiterleitung

Die Schallwellen werden von der Ohrmuschel aufgenommen und durch den Meatus acusticus externus zum Trommelfell geleitet. Durch Resonanz kommt es zu einer Verstärkung des Schalldruckes (SILBERNAGEL und DESPOPOULOS, 1991).

Die Schalldruckschwankungen versetzen das Trommelfell in Schwingungen. Über die Gehörknöchelchen wird die Schwingungsenergie an die Membran des ovalen Fensters und von dort an die Perilymphe der Scala vestibuli weitergeleitet. Durch den Weg über den Trommelfell-Gehörknöchelchen-Apparat werden die Schallwellenwiderstände von Luft im äußeren Ohr und Flüssigkeit im Innenohr aneinander angepaßt. Bei einem direkten Übergang von Luft zu Flüssigkeit würden laut BÖHME (1998) 99,9% der Schallenergie durch die unterschiedlichen Schallwellenwiderstände reflektiert werden und damit verloren gehen. Diese Anpassung erfolgt durch die Übertragung der Energie vom Trommelfell, das bei der Katze eine Fläche von etwa 42 mm² hat, auf das sehr viel kleinere ovale Fenster, ca. 1,2 mm² groß, wodurch sich der Druck am ovalen Fenster vervielfacht (SCHMIDT und THEWS, 1990). SCHEUNERT und TRAUTMANN (1987) berichten von einer mindestens zwanzigfachen Verstärkung. Der Verlust der Schallenergie durch Reflexion beträgt durch diesen Anpassungsmechanismus nur etwa 40% (STEINHAUSEN, 1991).

2.1.2.3. Schallverarbeitung im Innenohr

Über den Stapes wird die Schallenergie über das ovale Fenster an die Perilymphe der Scala vestibuli weitergegeben. Die Perilymphe wird in Schwingungen versetzt und es entstehen Wanderwellen, die in der Scala vestibuli Richtung Helicotrema laufen. Durch diese Wellenbewegungen schwingen die Hüllen der Scala media, die Reissner'sche Membran und die Lamina basilaris, auf und ab gegen die Scala vestibuli bzw. Scala tympani (SCHMIDT und THEWS, 1990).

Während die Wellenlänge der Wanderwellen aufgrund der Eigenschaften der Hüllen zum Helicotrema hin immer kürzer wird, wächst die Amplitude der Wanderwellen zu einem Maximum, um bald darauf zu verebben. Dieses Amplitudenmaximum befindet sich für jede Frequenz an einem anderen Ort der Cochlea, je höher die Frequenz, desto näher am ovalen Fenster, je tiefer die Frequenz, desto näher am Helicotrema. So ist jeder Schallfrequenz eine bestimmte Stelle der Scala media zugeordnet (SILBERNAGEL und DESPOPOULOS, 1991). Dieses Prinzip wird Prinzip der tonotopen Abbildung oder Tonotopie genannt (ERNST, 1998). Die Wanderwellen zeigen ein nichtlineares Verhalten: Schon bei niedrigen Schalldruckpegeln werden große Auslenkungen der Hüllen erreicht, die durch Erhöhung der Schalldruckpegel nicht mehr zu steigern sind (HOTH, 1997).

Durch die Schwingungen der Scala media wird eine Verschiebung der Membrana tectoria gegenüber der Lamina basilaris bewirkt. Diese Relativbewegung der beiden Membranen führt zu einer Abscherung der Cilien auf den Haarzellen, was wiederum den adäquaten Reiz für die Haarzelle darstellt und deren Erregung auslöst.

Der Endolymphraum, an den die Haarzellen auf ihrer Cilienseite grenzen, hat gegenüber dem allgemeinen Extrazellularraum ein Bestandpotential von +80 mV. Da die äußeren und inneren Haarzellen in Ruhe ein Zellpotential von -70 bzw. -40 mV haben, besteht über die zilienbesetzte Zellmembran eine Potentialdifferenz von ca. 150 bzw. 120 mV (SILBERNAGEL und DESPOPOULOS, 1991). Werden durch die Cilienabscherung infolge der Wanderwelle die apikal gelegenen K^+ -Kanäle geöffnet, strömen Kaliumionen entlang des elektrochemischen Potentialgradienten in das Zellinnere und die Zelle wird depolarisiert: So entsteht das Rezeptorpotential. Es bewirkt die Freisetzung eines Transmitters aus endoplasmatischen Vesikeln, der schließlich die Aktionspotentiale in den zugehörigen afferenten Fasern des Hörnervs auslöst. Erfolgt eine Gegenbewegung der Basilarmembran,

werden die Stereozilien in die entgegen gesetzte Richtung abgeschert und die apikalen Ionenkanäle schließen sich. Durch aktiven Transport gelangen die Kaliumionen wieder in das Zellinnere und die Zelle wird repolarisiert (HOTH, 1997).

Die äußeren Haarzellen werden durch wesentlich niedrigere Schalldruckpegel erregt als die inneren Haarzellen. Bei den äußeren Haarzellen kommt es infolge der oben beschriebenen Erregung zu einer Verformung der Zellgestalt. Durch die Längenänderung ihres Zellkörpers können sie die passive Wanderwelle aktiv verstärken, wodurch die Amplitude im Bereich der maximalen Auslenkung der Basilarmembran erheblich zunimmt. Bei akustischen Reizen mit niedrigem Schalldruckpegel ermöglicht dieser Verstärkungsmechanismus erst die Stimulation benachbarter innerer Haarzellen, wodurch eine ausgeprägte frequenzspezifische Erregung und schärfere Frequenzunterscheidung erzielt werden kann (HOTH, 1997). Laut HAUSER (1998) führt ein Funktionsverlust der äußeren Haarzellen bei intakten inneren Haarzellen zu einem Hörverlust von ca. 60 dB und zum Verlust der Frequenzschärfeabstimmung.

2.1.2.4. Hörbahn

Vom Innenohr werden die Aktionspotentiale über den zentralen Anteil der Hörbahn weitergeleitet. Die afferenten Nervenfasern der Haarzellen stammen aus dem in der Cochlea liegenden Ganglion spirale, das von den Perikaryen der bipolaren Ganglienzellen des ersten akustischen Neurons gebildet wird. Die primären Fasern teilen sich und laufen zum dorsalen und ventralen Nucleus cochlearis (SCHMIDT und THEWS, 1990). Diese beherbergen die Zellkörper der Neurone zweiter Ordnung, die ipsilateral zum dorsalen Kern des Trapezkörpers ziehen. Von hier gehen Verbindungen zum Thalamus, Kollateralen werden zur Formatio reticularis gesandt. Vom Thalamus ziehen die Fasern zur Hörrinde (SCHEUNERT und TRAUTMANN, 1987).

2.2. Otoakustische Emissionen

Otoakustische Emissionen, im Folgenden kurz OAE genannt, sind aktive akustische Signale, die von intakten äußeren Haarzellen im Innenohr erzeugt und über die Gehörknöchelchen und das Trommelfell zum äußeren Gehörgang übertragen werden. Hier können sie mit einem empfindlichen Mikrofon aufgenommen und nachgewiesen werden.

OAE treten bei nahezu allen normal hörenden Menschen auf, können jedoch bei cochleären Störungen ab einer gewissen Hörschwelle nicht mehr nachgewiesen werden. Die Aufzeichnung der OAE ist demzufolge eine Methode, die funktionelle Integrität der Cochlea zu überprüfen und Hörstörungen in diesem Bereich zu erkennen.

Bei Tieren wurden OAE bisher nur innerhalb humanmedizinischer Forschungen untersucht, nicht jedoch im Hinblick auf die Anwendung als diagnostisches Verfahren in der Tiermedizin.

2.2.1. Geschichte der OAE

Der englische Physiker Thomas GOLD kam 1948 zu der Erkenntnis, dass die zu seiner Zeit gültigen Konzepte eines rein passiven Mechanismus die cochleäre Schallverarbeitung nicht ausreichend erklären konnten. Aufgrund der hohen Empfindlichkeit, der scharfen Frequenztrennung und des großen Bereichs der Hörwahrnehmung vermutete er eine Selbsterregung einiger Elemente der Cochlea durch aktiven Rückkoppelungsmechanismus. Es war ihm jedoch nicht möglich, seine Vermutung mit den damaligen Techniken nachzuweisen (HAUSER, 1998).

1971 beobachtete W.S. RHODE eine Verstärkung der Auslenkung der Basilarmembran, die später von FLOCK et al. (1984), BROWNELL et al. (1985) und ASHMORE et al. (1986) durch Nachweis einer aktiven Kontraktionsfähigkeit der äußeren Haarzellen bestätigt werden konnte.

In den Jahren 1977/1978 gelang es dem englischen Physiker David KEMP, mit der derzeit modernen Elektronik vom Trommelfell abstrahlende Schallenergie nachzuweisen. Er definierte dieses Phänomen als otoakustische Emission.

2.2.2. Entstehung der otoakustischen Emissionen

Werden die nach einer akustischen Stimulation im Gehörgang auftretenden Schalldruckschwankungen gemessen und gemittelt, zeigen sich beim normalhörigen menschlichen Ohr zusätzliche Schallanteile, die nach einer kurzen Verzögerung über einen Zeitraum von 20 – 30 ms nachgewiesen werden können. In einem ertaubten Ohr oder einer passiven Testkavität lassen sich solche Schalldruckschwankungen nicht beobachten (HAUSER, 1998).

Als Entstehungsmechanismus dieser verzögerten Schalldruckschwankungen werden die in Kapitel 2.1.2.3. beschriebenen Längenänderungen des Zellkörpers der äußeren Haarzellen angenommen (BROWNELL, 1990; PROBST, 1991). Die Längenänderungen verstärken nicht nur die anterograde, in Richtung Helicotrema laufende Wanderwelle, sondern erzeugen zusätzlich eine retrograde Wanderwelle, die sich in Richtung ovales Fenster ausbreitet. Sie wird über die Gehörknöchelchen zum Trommelfell übertragen und emittiert als Schall aus dem Gehörgang (HAUSER, 1998).

Die OAE entstehen in dem Bereich der Cochlea, dessen äußere Haarzellen durch die eintreffende Schallwelle des akustischen Reizes am stärksten erregt werden. Die Emission enthält also nur Frequenzanteile, die im akustischen Stimulus enthalten sind. Da sich der Ort des Amplitudenmaximums für hohe Frequenzen im basalen Bereich der Cochlea befindet, sind die hochfrequenten Anteile der Emission zu Beginn der gemessenen Antwort zu finden. Die Emissionsantwort auf die tiefen Frequenzen im Stimulus, die die im apikalen Bereich gelegenen Haarzellen erregen, hat eine längere Latenzzeit und taucht erst später in der Messung auf. Bei einem normal hörenden Ohr enthält das Spektrum der OAE alle auch im Reiz enthaltenen Frequenzen. Emissionen mit ausreichend hoher Amplitude in allen Frequenzbereichen lassen also auf ein funktionsfähiges Innenohr und eine intakte Übertragung in den äußeren Gehörgang schließen (HOTH, 1997).

Die Tatsache, dass evozierte OAE mit einer Veränderung der Polarität ihres Stimulus auch ihre eigene Polarität verändern, erlaubt den Rückschluss, dass die Entstehung der OAE vom Nervensystem unabhängig und damit präneural ist. Eine Veränderung der eigenen Polarität wäre bei einer neuralen Antwort nicht möglich. Für die präneurale Entstehung spricht außerdem, dass die Stimulusrate nicht wie bei neuralen Antworten zur Adaptation führt und

dass eine Durchtrennung des Hörnervs keinen Einfluss auf die Emissionen hat (HAUSER, 1998).

2.2.3. Einteilung der OAE

PROBST et al. (1991) beschreiben folgende Formen der otoakustischen Emissionen:

Die spontanen otoakustischen Emissionen (SOAE) sind ohne eine vorhergehende akustische Stimulation bei 30 bis 50% aller normalhörigen Menschen im äußeren Gehörgang nachweisbar ohne vom Menschen selbst wahrgenommen zu werden. Sie kommen vor allem im Frequenzbereich zwischen 1000 Hz und 3000 Hz vor und besitzen einen niedrigen Schalldruckpegel von -10 bis 20 dB SPL. Sie weisen ein individualspezifisches Emissionsmuster auf, das zeitlebens unverändert bleibt, sofern keine Schädigung des Ohres eintritt (HAUSER, 1998). Als Entstehungsmechanismus wird eine sich selbst unterhaltende Aktivität einer eng umschriebenen Gruppe äußerer Haarzellen angenommen, deren aktive Kontraktionen zu Flüssigkeitsbewegungen der Endolymphe führen (HOTH, 1997). SOAE sind klinisch von untergeordneter Bedeutung, stören den Hörvorgang im Allgemeinen nicht und sind nur in seltenen Fällen Ursache für einen Tinnitus, den so genannten cochleomechanischen Tinnitus (HAUSER, 1998).

Im Gegensatz zu den spontanen werden die evozierten otoakustischen Emissionen durch einen externen akustischen Reiz ausgelöst. Zu dieser Art gehören die transitorisch evozierten OAE (TEOAE), die auf einen kurzen akustischen Stimulus, einen Click oder einen Tone-Burst, ausgelöst werden, und die Distorsionsprodukte otoakustischer Emissionen (DPOAE), die während einer Zweiton-Stimulation gemessen werden können.

Als dritte Form der evozierten OAE sind noch die Stimulusfrequenzemissionen (SFOAE) zu erwähnen, die durch sich kontinuierlich in der Frequenz von 500 Hz bis 4000 Hz ändernde Sinustöne hervorgerufen werden können.

Die TEOAE und die DPOAE sind die klinisch bedeutendsten Formen der evozierten OAE (HAUSER, 1998).

2.2.3.1. TEOAE

Die transitorisch evozierten OAE sind mit unterschiedlich ausgeprägter Amplitude bei nahezu jedem gesunden menschlichen Ohr nachweisbar. Sie fehlen jedoch, wenn die Übertragungsfunktion des Mittelohres beeinträchtigt oder durch eine Störung der Innenohrfunktion ein Hörverlust eingetreten ist (PRÖSCHEL et al., 1995).

Als Stimulus wird meistens ein sich mehrmals wiederholender, 80 bis 120 μ s andauernder Click mit relativ flachem Frequenzspektrum über eine Sonde in das Ohr gesendet. Die nach jedem Click entstehenden Schalldruckschwankungen werden über einen Zeitraum von 20 ms mit einem Mikrofon in der Sonde gemessen und aufgezeichnet (HAUSER, 1998).

TEOAE können ebenfalls durch einen Tone-Burst, einen Stimulus bestehend aus einer Frequenz, ausgelöst werden. In der Humanmedizin haben sich in entsprechenden Untersuchungen jedoch keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zur Stimulation mit einem breitbandigen Click gezeigt (PRIEVE et al., 1996).

Die Stimulation mit einem breitbandigen Click hat den Vorteil, dass ein entsprechend breiter Frequenzbereich der Cochlea simultan erregt und überprüft werden kann. Die click-evozierte OAE-Messung eignet sich damit zur globalen Überwachung der Cochlea (HAUSER, 1998).

2.2.3.1.1. Methode der TEOAE-Messung

Für die Messung wird ein rauscharmes, empfindliches Mikrofon benötigt, das sich in einer Gehörgangssonde befindet. Das Mikrofon registriert den Schalldruck, der von den äußeren Haarzellen im Innenohr über das Mittelohr in den äußeren Gehörgang gelangt. Neben dem Mikrofon ist ein Lautsprecher in der Gehörgangssonde eingebaut, der den akustischen Stimulus in das Ohr sendet.

HOTH (1997) empfiehlt vor jeder OAE-Messung eine Reinigung des äußeren Gehörganges, da Cerumen und Flüssigkeit das Messergebnis verfälschen können. Anschließend wird die Sonde in den äußeren Gehörgang eingebracht. Sie sollte diesen möglichst dicht abschließen, um den Umgebungslärm zu vermindern und den Schalldruckpegel zu erhöhen.

Über ein Kabel ist die Gehörgangssonde mit einem Rechner verbunden, durch den die Messung gesteuert und aufgezeichnet wird (HAUSER, 1998).

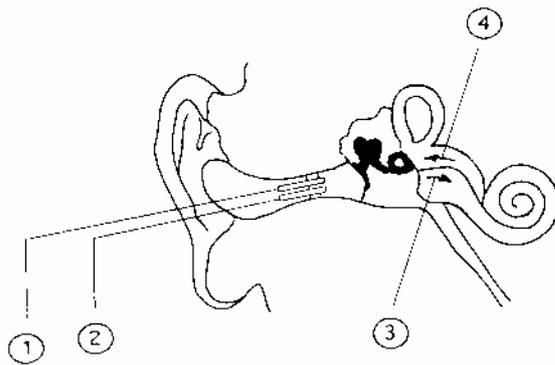


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Messung einer OAE. (1) Lautsprecher, (2) Mikrofon, (3) Wanderwelle, (4) otoakustische Emission (nach HAUSER, 1998)

Während des Messdurchgangs sollte es in der Umgebung möglichst ruhig sein und der Patient sollte sich nicht bewegen, um das Auftreten von Störgeräuschen zu vermindern. Man unterscheidet extrinsischen Störschall, der durch Geräusche in der Umgebung der Messung entsteht, und intrinsischen Störschall, der durch physiologische Geräusche, wie zum Beispiel Atmung und Muskelbewegungen im Probanden hervorgerufen wird. Störgeräusche beeinträchtigen das Messergebnis, da sie sowohl den Reiz als auch die gemessene Antwort überlagern können (HAUSER, 1998).

Die Schalldruckpegel der im äußeren Gehörgang gemessenen Emissionen sind sehr niedrig. Der Pegel des Stimulus liegt deutlich höher und ruft nicht nur ein aktives Echo, die Emission, hervor, sondern erzeugt auch ein passives Echo durch Reflexion des akustischen Stimulus vom Trommelfell und den Wänden des Gehörganges (HOTH, 1997).

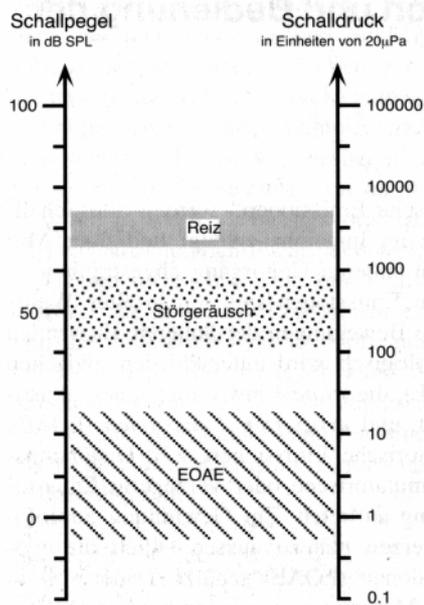


Abbildung 4: Größenverhältnisse der Lautstärken von akustischem Signal (grau), Störgeräuschen (gepunktet) und gemessener evozierter otoakustischer Emission (gestrichelt) (nach HOTH, 1997).

Um eine Überlagerung der Emissionsantwort durch Störgeräusche und das passive Echo des Stimulus zu vermeiden, beschreibt HAUSER (1998) mehrere Maßnahmen zur Vermeidung und Erkennung von Artefakten, die ein hohes Maß an Sicherheit der gemessenen Antwort gewährleisten:

a) **Lärmpegelbegrenzung**

TEOAE sind bei Menschen im Allgemeinen nicht lauter als 30 dB. Durch die Einstellung der Lärmpegelbegrenzung, die auch als Störschwelle bezeichnet wird, werden Signale, die oberhalb des eingestellten Grenzwertes liegen, nicht in die Messung aufgenommen. So besteht die Möglichkeit, laute Störgeräusche aus der Messung zu eliminieren. Störgeräusche, die eine ähnliche Lautstärke wie die TEOAE aufweisen, bleiben dagegen in der Antwort enthalten.

Die Lärmpegelbegrenzung wird anhand einer Anzeige auf dem Bildschirm bei jeder Messung neu eingestellt und kann während der Messung den jeweiligen Störgeräuschen angepasst

werden. Bei häufiger oder ständiger Überschreitung dieses Grenzwertes wird die Messung unterbrochen und erst nach einer Nachregulierung fortgesetzt.

Die Schwierigkeit der Einstellung besteht darin, dass bei einer zu hoch eingestellten Störschwelle Störgeräusche geringerer Lautstärke in die Messung mit einfließen. Bei einer zu niedrig eingestellten Störschwelle kann die Messzeit jedoch zu lange andauern, wenn zu viele gemessene Antworten oberhalb der eingestellten Störschwelle liegen und deswegen verworfen werden. Unter einer zu langen Messzeit leidet wiederum die Qualität der Messbedingungen.

b) Latenzzeit

TEOAE treten bei Menschen mit einer Verzögerung von 2,5 bis 20 ms im Gehörgang auf, ein passives Echo dagegen folgt dem Stimulus unmittelbar. Um die Aufnahme eines passiven Echos als Emission zu verhindern, wird die Messung der Antwort einige Millisekunden nach dem Stimulus gestartet. Ganz auszuschließen sind die Latenzzeit überdauernde Reizartefakte durch besondere Resonanzverhältnisse jedoch nicht.

c) Filterung

Bestimmte Frequenzbänder, deren Frequenz unter 500 Hz liegt, werden nicht in die Antwort einbezogen. Diese Frequenzen sind typisch für intrinsische Störgeräusche wie Atemgeräusche und Muskelbewegungen.

d) Mittelungstechnik

TEOAE haben nach dem Stimulus jeweils die gleiche Wellenform, Störschall dagegen ist reizunabhängig und zufallsbedingt. Bei Wiederholungen der akustischen Stimulation wird der gesamte messbare Schall aus TEOAE, in diesem Fall auch als Nutzschaall bezeichnet, und Störschall aufsummiert. Da die Summe des Nutzschaalles proportional zur Anzahl der Wiederholungen wächst, kommt es durch die Mittelung zu einer Addition der TEOAE mehrerer Messungen. Die zufällig und reizunabhängig auftretenden Störschallanteile löschen sich dagegen bei der Aufsummierung teilweise gegenseitig aus.

Im Gegensatz zu dem reizunabhängig auftretenden Störschall tritt der resonanzbedingte Störschall zeitlich synchron mit dem Stimulus auf und kann demzufolge durch die Mittelungstechnik nicht ausgelöscht werden.

In der Humanmedizin sind Messdurchgänge mit 260 Clicks und anschließender Messung und Mittelung der Antwort üblich. Auch in Studien an Tieren verwendeten die Autoren 260 Clicks (HOSHINO et al., 1999; SOCKALINGAM et al., 1998).

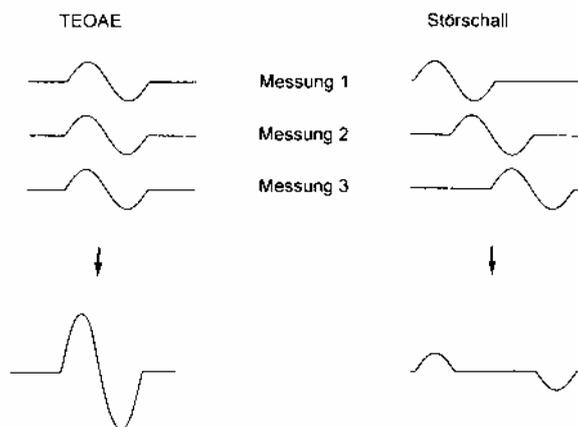


Abbildung 5: Schematische Darstellung des Mittelungsvorganges (nach HAUSER, 1998)

e) Nichtlineares Verhalten der TEOAE

Versuche bei erwachsenen Menschen haben gezeigt, dass die Amplituden der gemessenen Antwort bei steigender Stimuluslautstärke zunächst stark zunehmen, ab einer Lautstärke von 65 dB SPL jedoch immer weniger. Daraus ergibt sich ein charakteristisches Kennzeichen der OAE: ihr nichtlineares Amplitudenwachstum. Ein passives Echo wächst dagegen proportional mit der Stimuluslautstärke.

Dieses Verhalten der TEOAE wird zur Artefaktunterdrückung ausgenutzt, indem der linear wachsende Anteil der akustischen Antwort rechnerisch eliminiert und computergesteuert extrahiert wird.

f) Nachweis der Reproduzierbarkeit

Im Gegensatz zum zufallsbedingtem Störschall weisen TEOAE bei zweimaliger Messung unter gleichen Bedingungen eine hohe Reproduzierbarkeit auf. Um die Reproduzierbarkeit der gemessenen Antwort zu überprüfen, werden Messungen mit zwei aufeinander folgenden Stimulusgruppen in zwei verschiedenen Speichern des Rechners abgespeichert. Die beiden nach der Mittelung entstandenen Kurven werden miteinander verglichen und der

Übereinstimmungsgrad im so genannten Korrelationskoeffizienten berechnet. Dieser Korrelationskoeffizient stellt die Gesamtreproduzierbarkeit der gemessenen Antwort in Prozent dar. Er beträgt bei zwei exakt gleichen Kurven im Idealfall 100%.

Die Emissionskurve, die man nach den Maßnahmen zur Artefaktunterdrückung erhält, ist die Kurve des mittleren Schalldruckes im Gehörgang in Abhängigkeit von der Zeit seit dem Stimulus.

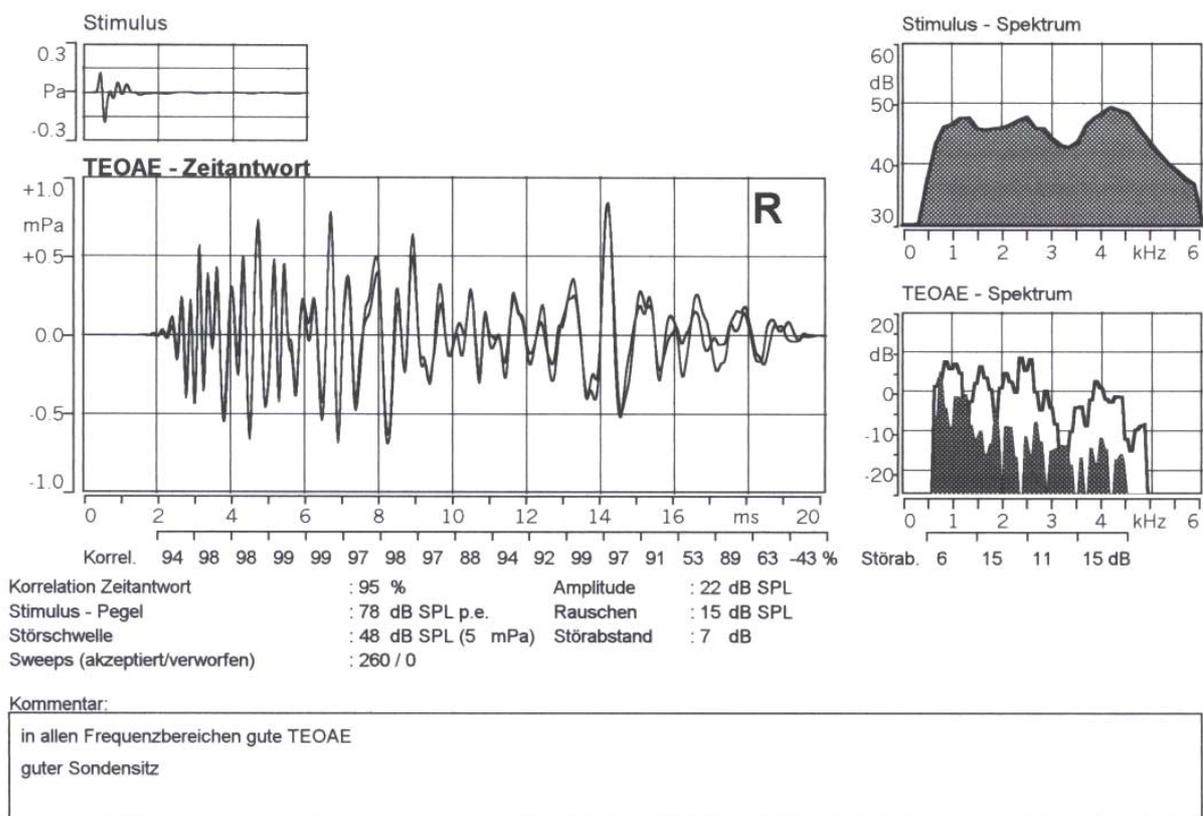


Abbildung 6: Beispiel eines ausgedruckten Messergebnisses mit TEOAE über den gesamten Frequenzbereich bei gutem Sondensitz (von der Firma Hortmann)

2.2.3.1.2. Bewertung der Ergebnisse der TEOAE-Messung

Um das Vorhandensein einer otoakustischen Emission nachweisen zu können, werden in der Humanmedizin sowohl die Qualität der Messbedingungen als auch die gemessene Antwort selbst beurteilt (HAUSER, 1998). Der Nachweis ist jedoch nicht einfach, da die TEOAE-Kurven kein einheitliches Muster aufweisen und interindividuell stark variieren. Zudem existieren keine vorgeschriebenen allgemeingültigen Kriterien zur Bewertung einer gemessenen Emission (KNÖPPEL-FRENZ, 1999).

2.2.3.1.2.1. Qualität der Messbedingungen

Eine hohe Qualität der Messbedingungen ist Voraussetzung für eine zuverlässige Beurteilung der gemessenen Antwort. Zum Beispiel kann eine vorhandene Emission bei starkem Störgeräusch überdeckt oder bei falschem SONDENSITZ nicht korrekt gemessen werden (FRESE et al., 2001).

Folgende Parameter, die auf dem Bildschirm des Computers einzustellen und zu überprüfen sind, werden zur Beurteilung der Qualität der Messbedingungen herangezogen:

a) Stimulus

In der Humanmedizin hat sich eine Stimuluslautstärke von 75 bis 85 dB SPL bewährt (FRESE et al., 2001). Bei Tierversuchen sind in der Literatur Einstellungen der Stimuluspegel von 65 dB SPL bis 80 dB SPL (HOSHINO et al., 1999; SOCKALINGAM et al., 1998 und 2000) beschrieben.

Anhand der Anzeige des Stimulusspektrums lässt sich das Frequenzspektrum des Stimulus im Gehörgang überprüfen. Es gibt Auskunft über die Lautstärke der einzelnen Frequenzbereiche des Stimulus im Gehörgang. Der Verlauf sollte möglichst flach sein, d.h. keine Maxima und Minima aufweisen, da diese auf Undichtigkeiten beim SONDENSITZ hinweisen.

Die Anzeige des Stimulus zeigt seinen zeitlichen Verlauf an. Der Reiz sollte innerhalb einer ms abklingen, um ein Überlagern der Emission und damit eine Verfälschung der gemessenen Antwort zu vermeiden (FRESE et al., 2001).

b) Störschallpegel

Unter 2.2.3.1.1. wurde die richtige Einstellung der Lärmpegelbegrenzung beschrieben. Mit der Einstellung der Lärmpegelbegrenzung, auch Störschallpegel genannt, können laute Störgeräusche aus der Messung eliminiert werden (HAUSER, 1998).

Das Messprogramm zeigt den mittleren Schalldruckpegel des in den Messkurven noch enthaltenen Störgeräusches an. Der Pegel ist anhand der Anzeigen Störgeräusch oder Rauschen auf dem Bildschirm bzw. Ausdruck zu erkennen.

d) Verworfenne Messungen

In der Studie von FRESE et al. (2001) zogen die Autoren die Anzahl der verworfenen Messungen, das heißt die Anzahl der Antworten, die die Störschwelle überschritten und deshalb nicht registriert wurden, in die Qualitätskriterien mit ein. Die verworfenen Messungen sollten unter 50% der Anzahl aller Stimulationen liegen. Auch HAUSER (1998) empfiehlt, dass die nicht in die Messung eingegangenen Stimulationen nicht über 50% liegen sollten.

Damit in der Klinik eine Vergleichbarkeit der gemessenen Antworten gegeben ist, sollten möglichst gleiche Messbedingungen bei den einzelnen Untersuchungen eingehalten werden.

2.2.3.1.2.2. Qualität der gemessenen Antwort

Folgende Bewertungskriterien werden für die Beurteilung der gemessenen Antwort herangezogen (BÖHME, 1998; HAUSER, 1998):

a) Reproduzierbarkeit

Die Errechnung der Reproduzierbarkeit wurde in Kapitel 2.2.3.1.1. beschrieben. Sie gibt den Korrelationskoeffizienten aus den beiden getrennt abgespeicherten Submittelungskurven als Übereinstimmungsgrad der beiden Kurven in Prozent an. Es sind sowohl die Reproduzierbarkeit einzelner Frequenzbänder als auch die der gesamten gemessenen Antwort abzulesen.

Die von HAUSER (1998) und HOTH (1997) als klinisch tolerabler unterer Grenzwert angegebene Reproduzierbarkeit von 60% hat sich als Bewertungskriterium sowohl beim Menschen als auch in Tierversuchen etabliert.

b) Amplitude / Störabstand

Die Angabe der Amplitude zeigt den mittleren Schalldruckpegel der gesamten Emission an, der individuell stark schwanken kann. Unter Voraussetzung einer guten Messqualität sollte die Gesamtamplitude laut HAUSER (1998) über 3 dB liegen, um eine Emission vom Störschall abgrenzen zu können. FRESE et al. (2001) legen in ihrer Studie den Grenzwert bei einer Gesamtamplitude von 5 dB fest.

Verschiedene Autoren bewerten die Antwort anhand der Differenz zwischen dem Mittelwert der Emissionsamplitude und dem Mittelwert des Störgeräuschpegels, die als Signal-Störschall-Abstand oder Störabstand bezeichnet wird. Es gibt jedoch auch hier keine allgemeingültigen Grenzwerte. So beurteilen DIELER et al. (1999) und RÖDEL et al. (1994) in ihren Studie eine Emission als positiv, wenn der Störabstand mehr als 5 dB beträgt. In Studien von SOCKALINGHAM et al. (2000) gelten Emissionen als positiv, die einen Störabstand von mehr als 3 dB aufweisen.

c) Frequenzspektrum / TEOAE-Spektrum

In der Anzeige des TEOAE-Spektrums sind die TEOAE im Zeitverlauf in ihre Frequenzzusammensetzung (Spektrum) zerlegt.

Ein möglichst breitbandiges Frequenzspektrum spricht für die Funktionsfähigkeit der gesamten Cochlea. Fehlen dagegen bestimmte Frequenzanteile in der gemessenen Antwort, kann das auf einen teilweisen Funktionsverlust der Cochlea hindeuten. Die mittlere untere Grenzfrequenz, das heißt die tiefste messbare Emissionsfrequenz liegt beim Erwachsenen bei 900 Hz +/- 400 Hz, die mittlere obere Grenzfrequenz wird mit 4000 Hz +/- 500 Hz angegeben.

Bei der Beurteilung des Frequenzspektrums der TEOAE muss die Tatsache bedacht werden, dass die Cochlea frequenzspezifisch antwortet, das heißt, dass Emissionen nur in dem Frequenzbereich auftreten können, der auch im Reiz enthalten war (HAUSER, 1998).

Zur Beurteilung der Qualität der gemessenen Antwort müssen alle Bewertungskriterien einbezogen werden. Je größer die Bandbreite des Frequenzspektrums ist und je höher die Reproduzierbarkeit und die Amplitude der Emission sind, umso eher kann auf eine funktionstüchtige Cochlea geschlossen werden (HAUSER, 1998)

2.2.3.1. DPOAE

Distorsionsprodukte otoakustischer Emissionen werden durch zwei simultan applizierte Sinustöne unterschiedlicher Frequenz, der Frequenzen f_1 und f_2 , erzeugt. Sie entstehen durch eine Interaktion der lokal eng benachbart mit f_1 und f_2 liegenden angeregten Membranabschnitte (HAUSER, 1998). Diese Membranabschnitte erzeugen ein so genanntes Verzerrungs- oder Distorsionsprodukt (DP), dessen Frequenz entsprechend mathematischer Regeln von den Frequenzen der Primärtöne abhängig ist (HAUSER et al., 1991). LONSBURY-MARTIN et al. (1990) untersuchten beim Menschen verschiedene Kombinationen der Frequenzen f_1 und f_2 und beobachteten die größte DPOAE-Amplitude bei der Frequenz $2f_1-f_2$ und einem Verhältnis von $f_2/f_1=1,22$. GASKILL et al. ermittelten 1990 ein optimales Frequenzverhältnis von $f_2/f_1=1,225$. In der Humanmedizin konzentriert sich der Nachweis der DPOAE nahezu auf die Frequenz $2f_1-f_2$ und ein Frequenzverhältnis von $f_1/f_2=1,2$ bis $1,3$ (HAUSER, 1998). Auch bei Tieren findet sich bei der Frequenz $2f_1-f_2$ die größte Amplitude (LONSBURY-MARTIN et al., 1987; SOCKALINGAM et al., 2000).

Die Amplitude der DPOAE ist abhängig von der Frequenz, dem Verhältnis und den absoluten und relativen Lautstärken der beiden Primärtöne, deshalb ist ein Vergleich zwischen einzelnen Studien nur bei gleicher Einstellung der Messparameter möglich (GORGA et al., 1993). LONSBURY-MARTIN et al. haben 1990 beschrieben, dass die DPOAE-Amplitude beim Menschen 50-70 dB kleiner ist als die Stimuluslautstärke der Primärtöne. HAUSER et al. konnten 1991 in ihrer Studie diese Werte bestätigen. In Studien an Tieren haben verschiedene Autoren (HOSHINO et al., 1999; LONSBURY-MARTIN et al. 1987) deutlich höhere Amplituden der gemessenen Emissionen festgestellt, die nur 30-40 dB unter denen der Primärtöne lagen.

Experimentell wurde nachgewiesen, dass das Distorsionsprodukt bei der Frequenz des geometrischen Mittels der Primärtöne f_1 und f_2 oder in der Nähe der Frequenz f_2 entsteht. Bei

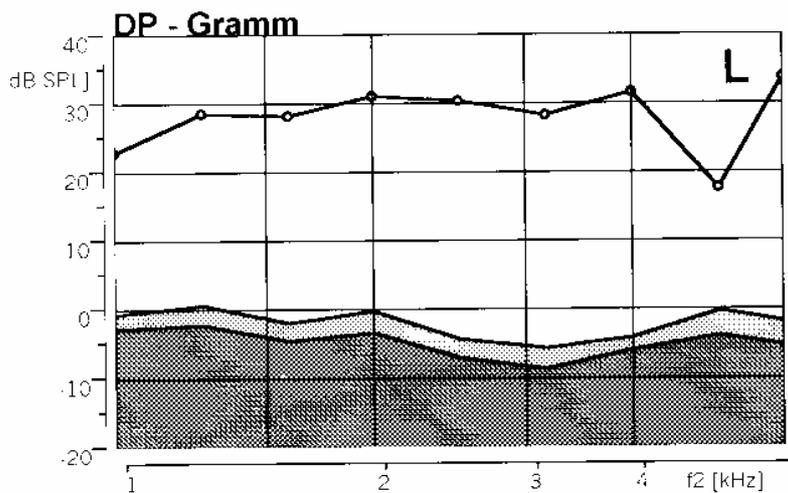
einer Schädigung der äußeren Haarzellen im Frequenzbereich der Primärtöne können die DPOAE nicht mehr nachgewiesen werden. Demzufolge weisen fehlende oder veränderte DPOAE auf eine Funktionsstörung im Frequenzbereich der Primärtöne hin und nicht auf eine Störung im Frequenzbereich der DPOAE. Da durch eine Veränderung der Primärtöne die gesamte Cochlea überprüft werden kann, ist mit dieser Methode eine frequenzspezifische Überwachung der Cochlea möglich (HAUSER, 1998).

2.2.3.1.1. Methode der DPOAE-Messung

Die Messapparatur für die Messung der DPOAE ist ähnlich aufgebaut wie die der TEOAE-Messung und im Allgemeinen mit demselben Gerät durchzuführen. Voraussetzung dafür sind zwei Lautsprecherkanäle in der Gehörgangssonde für die beiden Primärtöne. Die vorbereitenden Maßnahmen, wie die Säuberung des Gehörgangs, die Anpassung der Sonde und die Einstellung der Messparameter entsprechen denen der TEOAE-Messung.

Die beiden Stimulustöne werden in der eingestellten Lautstärke simultan über die Lautsprecher in den Gehörgang gesendet. Die Amplituden der gemessenen Antwort werden ebenso wie bei der TEOAE-Messung aufaddiert und gemittelt, um den Einfluss des Störschalles auf die Antwort zu minimieren. Pro untersuchte Frequenz werden zwei Messvorgänge durchgeführt.

Die Ergebnisse werden anhand eines so genannten DP-Gramms dargestellt. Es zeigt die Verlaufskurven der DPOAE und des Störschalles im Bereich von 500 bis 6000 kHz. Auf der x-Achse wird je nach System entweder die Frequenz des geometrischen Mittels der Primärtöne f_1 und f_2 oder die Frequenz f_2 in kHz angegeben, die y-Achse zeigt die frequenzspezifischen DPOAE-Amplituden (HAUSER, 1998).



| Frequenz f2 [kHz] | 1.0 | 1.3 | 1.6 | 2.0 | 2.5 | 3.2 | 4.0 | 5.0 | 6.0 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Amplitude [dB SPL] | 22.8 | 28.5 | 28.2 | 31.1 | 30.3 | 28.2 | 31.6 | 17.6 | 33.8 |
| Emission [dB] | 23.6 | 27.9 | 30.2 | 31.4 | 34.7 | 34.0 | 35.8 | 17.9 | 35.6 |
| Sweeps akzeptiert | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Sweeps verworfen | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 5 |
| Stim. Pegel [dB SPL] | 69.0 | 69.1 | 68.8 | 67.8 | 67.3 | 68.3 | 72.1 | 68.4 | 69.8 |

Störschwelle: 52 dB SPL (8 mPa)

$f1 = 1.22 \cdot f2$

Abbildung 7: Beispiel eines ausgedruckten Messergebnisses (von der Firma Hortmann)

2.2.3.1.2. Bewertung der Ergebnisse der DPOAE-Messung

Bei der Bewertung der Ergebnisse der DPOAE-Messung werden ebenso wie bei der TEOAE-Messung sowohl die Qualität der Messbedingungen als auch die Qualität der gemessenen Antwort beurteilt. Eine große interindividuelle Variabilität der DPOAE-Amplitude und das Fehlen allgemeingültiger Bewertungskriterien erschweren die Beurteilung (HAUSER, 1998).

2.2.3.1.2.1. Qualität der Messbedingungen

An folgenden Parametern lässt sich laut HAUSER (1998) die Qualität der Messbedingungen erkennen und bewerten:

a) Stimulus

Zur Information über den Stimulus werden die Frequenzen und Schalldruckpegel der beiden Primärtöne angezeigt.

Am Stimulusspektrum, das das Frequenzspektrum der beiden Stimuli im Gehörgang darstellt, kann man die Stimuli und den Sitz der Gehörgangssonde überprüfen. Das Spektrum der beiden Primärtöne sollte möglichst flach verlaufen und eine gute Übereinstimmung beider Kurven aufweisen. Minima und Maxima im Kurvenverlauf sowie Differenzen beider Kurven deuten auf einen fehlerhaften Sondensitz hin und können unkorrekte Messergebnisse zur Folge haben.

b) Störschall

Wie bei der TEOAE-Messung wird auch bei der DPOAE-Messung vor Starten der Messung die Lärmpegelbegrenzung eingestellt. Der oberhalb der eingestellten Grenze liegende Störschall geht nicht in die Messung mit ein.

2.2.3.1.2.2. Qualität der gemessenen Antwort

Die Qualität der gemessenen Antwort wird anhand des DP-Gramms und der dazugehörigen Angaben zur Amplitude von DPOAE und Störschall beurteilt. Die numerische Angabe der Reproduzierbarkeit ist bei der Darstellung der gemessenen DPOAE nicht üblich (HAUSER, 1998).

a) Amplitude / Störabstand

Bei der Beurteilung der DPOAE wird im Allgemeinen der Störabstand angegeben und nicht die absolute DPOAE-Amplitude.

Die DPOAE-Amplitude sollte im Verhältnis zum Störschall einen genügend großen Störabstand aufweisen. HAUSER et al. (1991) und WAGNER et al. (1999) geben in ihren Studien einen Störabstand von mindestens 6 dB zum Nachweis von DPOAE an. LONSBURY-MARTIN et al. (1990) bewerten in ihrer Studie Emissionen mit einem Störabstand von mindestens 3 dB als positiv. Auch SOCKALINGAM et al. legen in ihren Studien an Labortieren (2000) und Hunden (2002) den Grenzwert bei 3 dB fest.

b) Frequenzbereich

Die Frequenzanteile in der gemessenen Antwort sind im DP-Gramm ersichtlich. Die Autoren verschiedener Untersuchungen (DREHER et al., 1997; HAUSER et al., 1991; SHEHATA-DIELER et al., 1999) achteten in ihren Studien darauf, dass das DP-Gramm in möglichst vielen der geprüften Frequenzen DPOAE aufweisen sollte. Eine breite Verteilung der DPOAE über den gesamten geprüften Frequenzbereich spricht für eine funktionsfähige Cochlea und verringert die Wahrscheinlichkeit, dass Artefakte vorliegen (HAUSER, 1998).

2.2.4. OAE in der Audiometrie

In der Audiometrie der Humanmedizin unterscheidet man die Reinton- und die Sprachaudiometrie, bei der die Mitarbeit des Patienten zur Diagnostik benötigt wird, von der objektiven Audiometrie. Letztere umfasst alle Prüfverfahren, die ohne Mithilfe des Patienten möglich sind. Diese Untersuchungsverfahren werden zur Lokalisation von Hörstörungen, bei erschwerter oder fehlender Mitarbeit des Patienten und in der Begutachtungssituation eingesetzt (ERNST, 1998).

Die Messung evozierter otoakustischer Emissionen ergänzt mit ihrer frequenzspezifischen Überprüfung der Innenohrfunktion die Tympanometrie und die elektrische Reaktionsaudiometrie (BÖHME, 1998).

2.2.4.1. Tympanometrie

Treffen Schallwellen von einem Medium auf ein anderes Medium, werden sie zum einen Teil reflektiert, zum anderen Teil gehen sie in das neue Medium über. Der reflektierte Anteil ist umso größer, je schallhärter das zweite Medium ist. Die Schallhärte eines Mediums wird in der Technik als Impedanz bezeichnet und lässt sich durch das Maß an Reflexionen bestimmen.

Bei der Tympanometrie wird die Impedanz des Trommelfells durch Druckänderungen im äußeren Gehörgang registriert. Eine Sonde mit integriertem Mikrofon und Schallgeber schließt den äußeren Gehörgang dicht ab und misst die Reflexion des ausgesendeten

Sondentons. Im Normalfall herrscht Druckgleichheit im äußeren Gehörgang und Mittelohr und das Trommelfell weist eine maximale Beweglichkeit und minimale Schallreflexion auf. Abweichungen der normalen Druckverhältnisse werden registriert und ermöglichen Rückschlüsse auf Funktionsstörungen im Bereich des Mittelohres, wie Tubenfunktionsstörungen und Ergüsse (ERNST, 19989).

2.2.4.2. Elektrische Reaktionsaudiometrie

Durch Einwirkung eines akustischen Reizes auf das Gehör kommt es zu elektrischen Vorgängen im auditorischen System, von den Sinneszellen des Innenohres über den Hörnerven und die zentralen Hörbahnen bis zu den kortikalen Assoziationszentren. Diese Vorgänge führen zu elektrischen Potentialen, die von ausgedehnten Bereichen des Schädels mittels Elektroden abgeleitet werden können.

Die Messung dieser Potentiale am geschlossenen Schädel bezeichnet man als elektrische Reaktionsaudiometrie (electric response audiometry, ERA). Sie ermöglicht die Ableitung von Reizantworten aus dem gesamten Bereich der Hörbahn und wird zur topischen Diagnostik von Hörstörungen und zur objektiven Bestimmung der Hörschwelle herangezogen (BÖHME, 1998).

Zu den diagnostischen Verfahren der ERA zählen die Elektrokochleographie und die Ableitung der akustisch evozierten Potentiale (AEP) (ERNST, 1997).

2.2.4.2.1. Elektrocochleographie

Unter dem Begriff der Elektrocochleographie (ECochG) wird die Ableitung der cochleären Mikrofonpotentiale, der Summationspotentiale und der Aktionspotentiale zusammengefasst. Die Ableitung erfolgt überwiegend bipolar zwischen Promontorium bzw. äußerem Gehörgang und Mastoid bzw. Ohrläppchen der beschallten Seite. Die Bezugselektrode liegt entweder am Mastoid oder Ohrläppchen der Gegenseite. Die ECochG wird zur Abklärung von Innenohrschwerhörigkeiten herangezogen (BÖHME, 1998).

2.2.4.2.2. Frühe akustisch evozierte Potentiale, Hirnstammaudiometrie

Unter der Bezeichnung Hirnstammaudiometrie (brainstem electric response audiometry, BERA / auditory brainstem response, ABR) wird die Ableitung der frühen akustisch evozierten Potentiale (FAEP) zwischen Vertex und Mastoid oder Ohrläppchen zusammengefasst, deren Latenzzeit unter 10 ms liegt (BÖHME, 1998).

Die BERA umfasst die Ableitungen elektrischer Aktivitäten aus den Bereichen des Hörnerven und des Hirnstammes und ist unempfindlich gegenüber Sedierung, Narkose und dem Bewusstseinszustand des Patienten (ERNST, 1997).

2.2.4.2.3. Mittlere akustisch evozierte Potentiale

Als mittlere AEP werden elektrische Aktivitäten bezeichnet, die 10 – 60 ms nach Beginn des akustischen Reizes von großen Bereichen des Schädels abzuleiten sind. Sie enthalten neuronale Anteile aus dem Thalamus und dem primären auditorischen Kortex (ERNST, 1997). Die Ableitung erfolgt überwiegend zwischen Ohrläppchen oder Mastoid und Vertex mit der Bezugselektrode an der Stirn. Die Antworten sind von Vigilanz, Pharmaka und Alter abhängig und weisen eine große intraindividuelle Variabilität auf (BÖHME, 1998).

2.2.4.2.4. Späte akustisch evozierte Potentiale

Wechselspannungspotentiale, die mit einer Latenzzeit von 60 – 500 ms nach Reizbeginn zwischen Vertex und Mastoid mit der Bezugselektrode am contralateralen Mastoid abzuleiten sind, werden als späte AEP bezeichnet. Sie enthalten Anteile des sekundären und tertiären auditorischen Kortex (ERNST, 1997).

Die Antworten sind frequenzspezifisch und durch Sedation und den Bewusstseinszustand des Patienten beeinflussbar (BÖHME, 1998).

2.2.4.3. Klinik der evozierten OAE bei Menschen

Bei etwa 98% der Ohren normal hörender Erwachsener sind TEOAE in einem Frequenzbereich von 440 bis 4000 Hz nachweisbar (WAGNER et al., 1999). DPOAE können mit einer ebenso hohen Inzidenz in einem Frequenzbereich von etwa 500 bis 8000 Hz nachgewiesen werden (SHEHATA-DIELER, 1999). In einer Studie von BONFILS et al. (1988) an 240 Fällen zeigte sich sogar ein Vorkommen der TEOAE von 100%.

2.2.4.3.1. Altersabhängigkeit

Die evozierten OAE zeigen eine deutliche Abhängigkeit vom Lebensalter des Probanden. Bei Neugeborenen weisen die TEOAE eine besonders große Amplitude von über 30 dB SPL und einen größeren Anteil höherer Frequenzen auf. Eine mögliche Erklärung für diesen Unterschied könnte die Struktur von Innenohr, Mittelohr und Gehörgang liefern. Das geringere Gehörgangsvolumen bei Neugeborenen wirkt als Kuppler zwischen Mittelohr und Gehörgangssonde und verbessert so die Übertragung der OAE. Diese Unterschiede sind jedoch wissenschaftlich nicht ausreichend belegt (HAUSER, 1998).

Wie PRIEVE et al. 1997 feststellten, beginnt sowohl die TEOAE- als auch die DPOAE-Amplitude bereits innerhalb des ersten Lebensjahres frequenzabhängig zu sinken und nimmt mit zunehmendem Alter immer weiter ab. LONSBURY-MARTIN et al. hatten bereits 1990 eine signifikante Korrelation zwischen steigendem Lebensalter und sinkender DPOAE-Amplitude nachgewiesen.

2.2.4.3.2. Geschlechtsspezifität

In Bezug auf eine geschlechtsspezifische Abhängigkeit der TEOAE wiesen DIELER et al. (1999) bei Frauen höhere Mittelwerte der TEOAE-Pegel nach als bei Männern. Die Autoren erklären dieses mit den geringeren Gehörgangsvolumina bei Frauen. SHEHATA-DIELER et al. (1999) konnten in ihren Untersuchungen die Ergebnisse von DIELER et al. (1999) bestätigen: Die DPOAE-Pegel lagen ebenso wie die TEOAE-Pegel bei Frauen signifikant

höher als bei Männern. Aufgrund der besseren Frequenzauflösung der DPOAE zeigte sich, dass die höheren Pegel bei Frauen erst im Frequenzbereich >2 kHz zu finden waren. Unterhalb dieses Bereiches fanden sich bei den Männern höhere Pegelwerte. Die Unterschiede sind jedoch sehr gering und es wird ihm keine klinische Bedeutung beigemessen.

2.2.4.3.3. Intra- und interindividuelle Variabilität

Zur Untersuchung der Variabilität maßen DIELER et al. (1999) die TEOAE an 32 normal hörenden Erwachsenen drei Mal im Abstand von je einer Woche, wobei sie pro Untersuchungstag je zwei Messungen pro Ohr durchführten. Sie konnten nachweisen, dass keine signifikanten Unterschiede der Messdaten der verschiedenen Messdurchgänge bestanden. Auch andere Autoren (FRANKLIN et al., 1992; LONSBURY-MARTIN et al., 1991; PRIEVE et al., 1993) beschreiben eine hohe Test/Retest-Reliabilität bei TEOAE-Messungen. Die geringen intraindividuellen Schwankungen ermöglichen den Einsatz der TEOAE-Messung für langfristige Verlaufskontrollen der cochleären Funktion.

SHEHATA-DIELER et al. (1999) untersuchten in einer Studie an 36 normal hörenden Erwachsenen die intra- und interindividuelle Variabilität der DPOAE in mehreren Messdurchgängen. Sie bestätigten die Ergebnisse von Untersuchungen anderer Autoren (FRANKLIN et al., 1992; GASKILL et al., 1990; ROEDE et al., 1993), dass die Schalldruckpegel der gemessenen DPOAE zwischen den einzelnen Messungen keine signifikanten Unterschiede aufwiesen. DPOAE zeichnen sich ebenso wie TEOAE bei hoher interindividueller Variabilität durch eine hohe intraindividuelle Stabilität aus, auf die weder der Zeitabstand zwischen den einzelnen Messungen noch die individuellen Unterschiede der Amplituden der Versuchspersonen einen Einfluss haben (ROEDE et al., 1993).

2.2.4.3.4. Sensitivität und Spezifität

Laut FRESE et al. (2001) sind in der Literatur Angaben zur Sensitivität zur Diagnostik von Hörstörungen der TEOAE-Messung von 90 bis 100% zu finden. Aufgrund des seltenen

Vorkommens falsch-negativer Ergebnisse gilt die TEOAE-Messung als Screeningverfahren zur Erkennung von Hörstörungen als geeignet (ARNOLD et al., 1995).

Die Spezifität der TEOAE-Messung ist niedriger. Die Angaben in der Literatur reichen von 67 bis 99% (FRESE et al., 2001). ARNOLD et al. (1995), FRESE et al. (2001) und PRÖSCHEL et al. (1995) beschreiben in ihren Studien das Vorkommen falsch-positiver Ergebnisse, deren Ursache in den meisten Fällen auf eine retrocochleäre Schwerhörigkeit zurückzuführen war.

2.2.4.3.5. Einfluss der Mittelohrfunktion auf OAE

Die Funktion des Mittelohres hat einen stets zu berücksichtigenden Einfluss auf die Messung der evozierten OAE. Da für die Weiterleitung des Stimulus zum Innenohr bzw. der OAE zum äußeren Gehörgang eine normale Übertragung der Schallwellen im Mittelohr unabdingbar ist, kann eine Schalleitungsstörung in diesem Bereich die OAE beeinflussen. Demzufolge kann zum einen bei vorhandenen OAE sowohl eine normale Innenohr- als auch eine normale Mittelohrfunktion angenommen werden. Zum anderen kann bei fehlenden OAE eine Funktionsstörung im Bereich des Mittelohres wie auch im Bereich des Innenohres vorliegen (HAUSER, 1998).

RÖDEL et al. untersuchten 1994 den Einfluss eines veränderten Mittelohrdruckes auf TEOAE. Sie stellten fest, dass der kritische Wert für den Mittelohrdruck bei -126 mPa liegt, da unterhalb dieses Wertes die Wahrscheinlichkeit für einen TEOAE-Nachweis stark abnimmt. Ein mögliches Fehlen von TEOAE trotz eines normalen Audiogramms erklären sie damit, dass vor allem im Frequenzbereich von 0,5 bis 3 kHz die Übertragung von innen nach außen schlechter ist als von außen nach innen, der Stimulus also gehört, die Emission jedoch nicht nach außen übertragen werden kann.

Um Fehlinterpretationen bei der Beurteilung des Hörvermögens zu vermeiden, empfehlen sie bei fehlenden OAE immer die Durchführung einer Tympanometrie.

2.2.4.3.6. Einfluss von Sedierung und Narkose auf OAE

In der Literatur gibt es bislang keinen Hinweis auf eine die OAE beeinflussende Wirkung von Sedativa und Narkotika.

In einer Studie von DELB et al. (1994) wurde an 35 normal hörenden Patienten der Einfluss einer Diazepam- oder Flunidrazepamsedierung auf TEOAE untersucht. Die Autoren konnten keinen messbaren Einfluss der Sedierung auf die Frequenzen und Amplituden der gemessenen TEOAE nachweisen. HAUSER et al. hatten bereits 1992 TEOAE unter einer Atropinprämedikation und Midazolamsedierung gemessen und keine statistisch signifikanten Veränderungen festgestellt. Eine ebenfalls von ihnen durchgeführte Messung TEOAE unter Inhalationsnarkose mit Lachgas zeigte einen Abfall der Amplitude in der späten Phase der Narkose. Diese Beobachtung führten die Autoren auf die den Mittelohrdruck erhöhende Wirkung des verwendeten Lachgases zurück.

An Meerschweinchen untersuchten CAZALS und HORNER 1987 den Einfluss einer Ketaminnarkose auf die Amplitude der DPOAE. Sie konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen wachem und narkotisiertem Zustand feststellen. HOSHINO et al. bestätigten 1999 dieses Ergebnis.

2.2.4.4. Einsatz der Messung evozierter OAE in der Humanmedizin

Mit der Messung evozierter OAE sind Innenohrschwerhörigkeiten zu identifizieren, bei denen der cochleäre Verarbeitungsprozess durch einen Funktionsausfall der äußeren Haarzellen gestört ist. Dieser Funktionsausfall kann erblich bedingt oder Folge von Infektionskrankheiten, Stoffwechselstörungen, altersbedingter Degeneration, Lärmexposition oder Verabreichung ototoxischer Pharmaka wie z.B. Antibiotika, Schleifendiuretika oder Zytostatika sein. Eine Differenzierung der Ursachen für eine Innenohrschwerhörigkeit ist mit der Messung der evozierten OAE nicht möglich (HOTH, 1997).

Die mit der Messung evozierter OAE zu diagnostizierende Innenohrbedingte Hörstörung wird als sensorische Schwerhörigkeit bezeichnet und macht den größten Anteil aller Hörstörungen aus. Retrocochleäre, zentrale Schwerhörigkeiten, die caudal des Innenohrs entstehen, haben dagegen keinen Einfluss auf die Entstehung otoakustischer Emissionen und können mit dieser

Methode nicht nachgewiesen werden (HAUSER, 1998). Demzufolge schließen gemessene Emissionen bei vorhandener Schwerhörigkeit eine Innenohr- oder Schalleitungsschwerhörigkeit aus und weisen auf eine retrocochleäre Schwerhörigkeit hin (PRÖSCHEL et al., 1995).

Das Fehlen von Emissionen kann nicht isoliert betrachtet und als Schädigung der cochleären Funktion interpretiert werden. Mögliche Gründe können ebenso eine gestörte Mittelohrfunktion oder aber unkorrekt durchgeführte Messungen sein. Unter Voraussetzung einer intakten Mittelohrfunktion und dem Ausschluss von Artefakten ermöglichen Abweichungen in der gemessenen Antwort jedoch Rückschlüsse auf die Integrität des entsprechenden Frequenzbereiches der Cochlea, ohne genaue Aussagen über das Ausmaß des Hörverlustes machen zu können (PROBST, 2000).

DPOAE können bei normal hörenden Menschen im Vergleich zu den TEOAE in einem größeren Frequenzbereich bis 8000 Hz nachgewiesen werden. Durch ein frequenzspezifisches "Abtasten" der Cochlea ist eher eine frequenzspezifische Diagnose einer Hörstörung möglich als durch die Messung der TEOAE. Da bei der Auswertung der gemessenen Antwort bei den DPOAE weniger Mittelungen erforderlich sind als bei den TEOAE, liefern die DPOAE für einzelne Frequenzen schneller ein Ergebnis. Aufgrund dieser Vorteile wird die DPOAE-Messung eher für frequenzspezifische Untersuchungen der Cochlea eingesetzt, die TEOAE-Messung dagegen für eine globale Überwachung der cochleären Funktionsfähigkeit (SHEHATA-DIELER et al., 1999).

Mit der Messung evozierter otoakustischer Emissionen steht der Audiologie eine objektive, zuverlässige, unkompliziert und schnell durchzuführende Untersuchungsmethode zur Funktionskontrolle des Innenohres zur Verfügung, keine aktive Kooperation des Patienten erfordert. Der Test ist sensitiv, nicht invasiv, von kurzer Dauer und zeigt keine wesentlichen vigilanzabhängigen Schwankungen.

Da für die routinemäßige Messung mehrere ausgereifte Geräte zu Verfügung stehen und die Messung die genannten Vorteile bietet, ist sie in der Humanmedizin ein wichtiges Hilfsmittel zum Nachweis einer normalen cochleären Funktion. Sie wird sowohl in Kombination mit anderen Methoden zur Hördiagnostik und Topodiagnostik sensorer Hörstörungen herangezogen, als auch als einzeln angewandtes Verfahren zum so genannten Hörscreening und Monitoring genutzt (HAUSER, 1998).

2.2.4.4.1. Bestimmung der Hörschwelle

Die Untersuchung auf evozierte OAE eignet sich zur Differenzierung normalhöriger und schwerhöriger Ohren. Es ist jedoch nicht möglich, von der Amplitude der gemessenen Antwort auf das genaue Ausmaß des Hörverlustes zu schließen (WAGNER, 1999).

Die Angaben, ab welcher Hörschwelle keine TEOAE mehr nachweisbar sind, schwanken zwischen 25 dB HL (KEMP, 1978; PROBST et al, 1987) und 35 dB HL (BONFILS, 1988; PRÖSCHEL et al., 1995). Liegt der Hörverlust bei allen Frequenzen oberhalb dieses Grenzwertes, nimmt die Wahrscheinlichkeit für den Nachweis TEOAE stark ab. Da man davon ausgehen kann, dass nachgewiesene TEOAE eine mehr als geringgradige Schwerhörigkeit ausschließen, eignet sich dieses Verfahren zum Einsatz beim Hörscreening (FRESE et al., 2001).

Untersuchungen von WAGNER et al. (1999) haben gezeigt, dass Hörverluste im mittleren Frequenzbereich eine deutlichere Reduzierung der TEOAE zur Folge haben als isolierte Hörverluste im unteren und oberen Frequenzbereich.

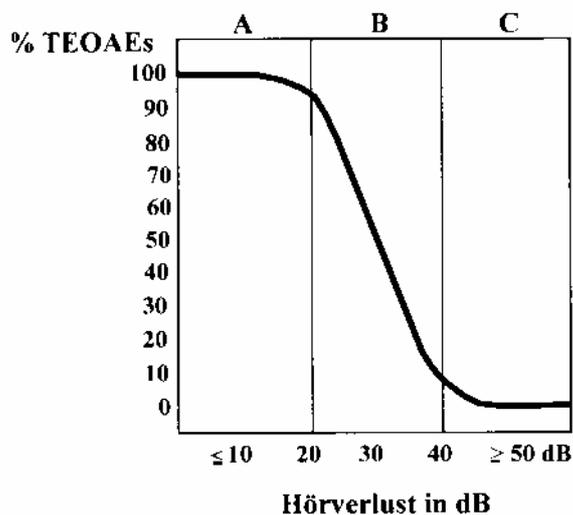


Abbildung 8: Nachweisbarkeit von TEOAE bei Innenohrschwerhörigkeit in Abhängigkeit vom Mittelwert des Hörverlustes; A: bei einem Hörverlust geringer als 20 dB sind in 99% der Fälle TEOAE nachzuweisen; C: bei einem Hörverlust von über 40 dB fehlen TEOAE; B: ein Übergangsbereich, in dem TEOAE vorhanden sein können oder fehlen (aus BÖHME, 1998).

Bei den DPOAE hängt die Nachweisbarkeit beim Hörverlust von der Stimuluslautstärke ab (WAGNER et al., 1999). Laut HAUSER (1998) sind DPOAE bei einer Stimuluslautstärke von 55-60 dB SPL ab einer Hörschwelle von >40 dB HL nicht mehr nachweisbar. Im Einzelfall können sie bei höheren Stimuluspegeln noch bis zu einer Hörschwelle von 60 dB HL nachgewiesen werden.

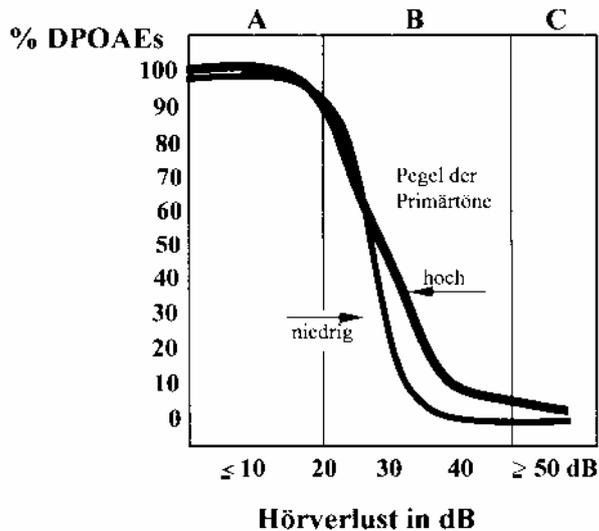


Abbildung 9: Nachweisbarkeit von DPOAE in Abhängigkeit vom Hörverlust; A: DPOAE in 99% der Fälle nachweisbar; C: DPOAE nicht mehr nachweisbar; B: die Nachweisbarkeit hängt vom Pegel der Primärtöne ab (aus BÖHME, 1998)

Bei Tieren finden sich in Bezug auf messbare evozierte OAE bei Schwerhörigkeit ähnliche Angaben: In ihrer im Jahr 2000 durchgeführten Studie an Meerschweinchen und Ratten stellten SOCKALINGAM et al. fest, dass bei einer mittels ABR festgestellten angehobenen Hörschwelle um >30 dB HL keine TEOAE und DPOAE mehr gemessen werden konnten. Eine Hörschwelle von <10 dB HL hatte keinen Einfluss auf TEOAE und DPOAE.

2.2.4.4.2. Monitoring

Im Gegensatz zur einmaligen Messung zur Überprüfung der Innenohrfunktion werden bei Verlaufskontrollen, dem so genannten Monitoring, mehrere Messungen mit variierenden Zeitabständen durchgeführt.

Wie in Kapitel 2.2.4.3. beschrieben, weisen evozierte OAE bei starker interindividueller Variabilität eine zuverlässige intraindividuelle Stabilität auf. Unter Voraussetzung stabiler Reiz- und Messbedingungen und einer unbeeinträchtigten Mittelohrfunktion kann man davon ausgehen, dass eine Änderung der OAE-Amplituden eines Patienten bei mehrmaligen Messungen eine Änderung der cochleären Funktionsfähigkeit anzeigt (DIELER et al., 1999; SHEHATA-DIELER et al., 1999). Diese Tatsache ermöglicht eine objektive Feststellung von Schädigungs- oder Erholungsvorgängen der äußeren Haarzellen nach einem Hörsturz, nach Lärmschädigungen (LONSBURY-MARTIN et al., 1987; VINCK et al., 1999; IWASAKI et al., 1998) oder nach Verabreichung ototoxischer Pharmaka (UEDA et al., 1992; PROBST et al., 1993; HOTZ et al., 1994).

2.2.4.4.3. Neugeborenen-Screening

Der Einsatz von TEOAE-Messungen zur Hördiagnostik wird gerade bei Säuglingen und Kleinkindern aufgrund der oben genannten Vorteile immer häufiger zur Früherkennung angeborener Hörstörungen eingesetzt. Im so genannten Hörscreening werden durch die TEOAE-Messung normal hörende von schwerhörigen Ohren unterschieden: Werden Emissionen in allen Frequenzbereichen nachgewiesen, kann auf ein intaktes peripheres Hörorgan geschlossen werden. Fehlen Emissionen teilweise oder vollständig, müssen weitere Untersuchungen zur Klärung der Ursache folgen (PROBST, 2000).

In einer Studie von 1997 konnten WELZL-MÜLLER et al. bei 99% von 3933 Neugeborenen TEOAE nachweisen.

HAUSER (1998) betont den Vorteil der kurzen Dauer der TEOAE-Messung, durch den auch bei unruhigen Kindern ein Überblick über die funktionelle Integrität der Cochlea gewonnen werden kann. Die Messung von AEP dauert im Vergleich zur TEOAE-Messung nicht nur

länger, sie ist auch teurer und aufwendiger, so dass sie bei Risikokindern und als weiterführende Diagnostik in Verdachtsfällen eingesetzt wird.

Da die TEOAE im Vergleich zu den DPOAE bereits ab einem geringeren Hörverlust nicht mehr nachweisbar sind, werden sie für das Neugeborenen-Screening bevorzugt (DREHER et al., 1997).

2.2.4.5. Messung evozierter OAE bei Tieren

In der Literatur sind bisher nur Untersuchungen zu evozierten OAE bei Tieren zum Zweck der humanmedizinischen Forschung beschrieben und keine Studien, die die Methode zur Erweiterung der Diagnostik in der Tiermedizin zum Ziel haben. Für die Tierversuche wurden kommerzielle Messgeräte der Humanmedizin verwendet.

Es finden sich Untersuchungen an Kleintieren, wie z.B. Meerschweinchen, Kaninchen und Ratten, die sich mit der Klinik evozierter OAE (LONSBURY-MARTIN et al., 1987; HAMERNIK et al., 1998; HOSHINO et al., 1999), dem Monitoring bei Verabreichung ototoxischer Pharmaka (SOCKALINGAM et al., 2000; UEDA et al., 1992) und dem Einfluss von Lärmschädigungen auf evozierte OAE (HAMERNIK et al., 1998) befassen.

An Katzen und Hunden wurde die Messung evozierter OAE bisher selten durchgeführt. IWASAKI et al. (1998) beschäftigten sich in ihrer Studie mit der Wirkung von Lärm und Anoxie auf tone-burst-evozierte OAE bei Katzen. 1998 untersuchten SOCKALINGAM et al. an sieben Hunden das Vorhandensein von TEOAE und DPOAE und die Veränderungen nach einer Lärmschädigung der Haarzellen und dem Tod des Tieres, um die Verwendung von Hunden in Studien für die Humanmedizin zu überprüfen. An fünf Hunden untersuchten SOCKALINGAM et al. 2002 die ototoxische Wirkung von Cisplatin anhand der Messung von DPOAE.

3. MATERIAL UND METHODE

3.1. Untersuchungsmaterial

Die Messungen otoakustischer Emissionen wurden an 51 Katzen durchgeführt, die für verschiedene chirurgische Eingriffe narkotisiert wurden. Sofern es der postoperative Zustand zuließ und sie sich noch in einem ausreichend tiefen Narkosestadium befanden, standen sie unmittelbar nach der Operation für die Messungen zur Verfügung.

Die Katzen sind bzw. waren Patienten der Tierärztlichen Gemeinschaftspraxis Dr. Lukaß / Dr. Koopmann in Bremen.

3.1.1. Einteilung der untersuchten Katzen

Die 51 Katzen der Studie wurden anhand ihrer Anamnese und klinischen Untersuchung in die Gruppen I, II und III eingeteilt:

Zur Gruppe I gehörten die Katzen, deren Anamnese, Allgemeinuntersuchung und Otoskopie in Bezug auf die Gehörfunktion klinisch unauffällig waren. Die Bezeichnung „klinisch unauffällig“ bezieht sich in dieser Studie ausschließlich auf die Gehörfunktion. Gruppe II beinhaltet die Katzen, deren Anamnese und Untersuchung auf eine Störung der Gehörfunktion hinwiesen. Der Gruppe III wurden Katzen zugeordnet, die wenige Minuten vor der Messung euthanasiert worden waren.

Die Nummerierung der Katzen erfolgte fortlaufend entsprechend ihrer Untersuchung.

3.1.1.1. Gruppe I: Klinisch unauffällige Katzen

Zur Gruppe I gehörten 43 Tiere im Alter von fünf Monaten bis 11 Jahren, bei 10 von ihnen war das Alter nicht bekannt. Der Mittelwert lag bei 3,5 Jahren. Die Tiere wogen zwischen 2,3

und 6,2 kg. Von den 43 Tieren waren 17 weiblich und 26 männlich. Daraus ergibt sich eine Geschlechtsverteilung von 39 % weiblichen und 61 % männlichen Tieren.

In der Tabelle 1 sind das Alter, das Geschlecht, die Rasse und der Grund für die Narkose aufgeführt.

Tabelle 1: Alter, Geschlecht, Rasse und Grund für die Narkose / Gruppe I

| Nr. | Alter (Jahre) | Geschlecht | Rasse | Grund für Narkose |
|------------|----------------------|-------------------|---------------|-------------------------------------|
| 1 | ? | w | EKH | Kastration |
| 2 | ? | m | EKH | Kastration |
| 4 | < 1 | m | EKH | Kastration |
| 5 | ? | m | EKH | Kastration |
| 6 | 2 | wk | EKH | Abszeßspaltung Hintergliedmaße |
| 8 | < 1 | w | EKH | Kastration |
| 9 | 5 | mk | Perser-Mix | Zahnsanierung + Entfernung Tumor |
| 10 | ? | wk | EKH | Abszeßspaltung Hintergliedmaße |
| 11 | 1 | m | Perser-Mix | Kastration |
| 12 | ? | wk | EKH | Zahnsanierung + Entfernung Tumor |
| 13 | < 1 | m | EKH | Kastration |
| 14 | < 1 | m | EKH | Kastration |
| 15 | ? | m | EKH | Kastration |
| 16 | 10 | mk | EKH | Entfernung Lipom |
| 17 | 4 | mk | Norw. Waldktz | Abszeßspaltung linke Gesichtshälfte |
| 18 | < 1 | m | EKH | Kastration |
| 19 | ? | w | EKH | Kastration |
| 20 | 4 | wk | EKH | Zahnsanierung |
| 21 | ? | w | EKH | Kastration |
| 22 | 9 | mk | EKH | Zahnsanierung |
| 23 | 9 | w | EKH | Pyometra |
| 24 | < 1 | m | Kartäuser | Kastration |
| 25 | < 1 | w | EKH | Kastration |

| | | | | |
|-----------|-----|----|--------------|--------------------|
| 26 | 8 | mk | EKH | Abszeßspaltung |
| 27 | < 1 | m | EKH | Entropium |
| 28 | 8 | mk | EKH | Entfernung Tumor |
| 31 | < 1 | m | Kartäuser | Kastration |
| 32 | 9 | wk | EKH | Entfernung Melanom |
| 33 | ? | m | EKH | Kastration |
| 34 | 10 | mk | EKH | Zahnsanierung |
| 35 | ? | m | EKH | Kastration |
| 36 | < 1 | w | EKH | Kastration |
| 37 | < 1 | w | EKH | Kastration |
| 38 | 6 | wk | EKH | Zahnsanierung |
| 39 | < 1 | m | EKH | Kastration |
| 40 | < 1 | m | EKH | Kastration |
| 41 | < 1 | w | EKH | Kastration |
| 42 | 1 | w | EKH | Kastration |
| 44 | 11 | mk | EKH | Zahnsanierung |
| 45 | 1 | m | Norw.Waldktz | Kastration |
| 47 | 1 | mk | EKH | Abszeßspaltung |
| 49 | 1 | w | EKH | Kastration |
| 50 | 9 | mk | EKH | Abszeßspaltung |

Legende:

w: weiblich; wk: weiblich kastriert; m: männlich; mk: männlich kastriert; EKH: Europäisch Kurzhaar; Norw. Waldktz: Norwegische Waldkatze; ?: Alter unbekannt

Die Tabelle 2 zeigt die Verteilung von Alter und Geschlecht der der Gruppe I zugeordneten Katzen. Als junge Katzen galten Tiere im Alter bis zu einem Jahr, Tiere zwischen zwei und neun Jahren wurden als erwachsene und Tiere über neun Jahre als alten Katzen bezeichnet.

Tabelle 2 : Alters- und Geschlechtsverteilung der klinisch unauffälligen Katzen

| Alter (Jahre) | Weiblich | Männlich | Gesamt |
|----------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| 0 – 1 | 7 | 12 | 19 |
| 2 – 9 | 4 | 7 | 11 |
| > 9 | 0 | 3 | 3 |
| Nicht bekannt | 5 | 5 | 10 |
| Gesamt | 17 | 26 | 43 |

3.1.1.2. Gruppe II: Klinisch auffällige Katzen

Diese Gruppe bestand aus sechs Katzen, bei denen aufgrund der Anamnese, der Allgemeinuntersuchung oder der Otoskopie eine Störung der Gehörfunktion möglich war. Die Tiere waren zwischen acht Monaten und 15 Jahren alt und wogen zwischen 3,4 und 6,5 kg. Unter den sechs klinisch auffälligen Katzen waren vier weibliche und zwei männliche Tiere.

Bei drei Tieren fand sich beidseitig eine Otitis externa, in einem Fall eine Otitis externa ceruminosa, in den beiden anderen Fällen eine Otitis externa erythematosa. Den Besitzern dieser drei Tiere war keine Beeinträchtigung des Gehörs bei ihren Tieren aufgefallen.

Die Besitzer von zwei Katzen berichteten von einer möglichen Schwerhörigkeit ihres Tieres. Eine weitere Katze war nach Auskunft der Besitzerin vollständig taub. Bei diesen drei Katzen war die Adspektion des äußeren Gehörganges unauffällig.

Die Tabelle 3 stellt das Alter, Geschlecht, die Rasse, den Grund für die Narkose und den Befund von Anamnese oder klinischer Untersuchung jeder Katze der Gruppe II dar.

Tabelle 3: Alter, Geschlecht, Rasse, Grund für die Narkose und Befund bezüglich der Gehörfunktion / Gruppe II

| Nr. | Alter (Jahre) | Geschlecht | Rasse | Grund f. Narkose | Befund |
|-----|---------------|------------|--------|------------------------------------|--|
| 3 | 12 | wk | EKH | Zahnsanierung | beidseitige Otitis externa ceruminosa |
| 7 | 7 | wk | Perser | Zahnsanierung + Entfernung Atherom | Taubheit; Adspektion ohne besonderen Befund |
| 29 | < 1 | w | EKH | Kastration | beidseitige Otitis externa erythematosa |
| 30 | 6 | mk | Perser | Cystotomie | Besitzer berichteten über „Schwerhörigkeit“; Adspektion ohne besonderen Befund |
| 43 | 15 | mk | EKH | Zahnsanierung | beidseitige Otitis externa erythematosa |
| 51 | 14 | wk | EKH | Zahnextraktion | Besitzer berichteten über „Schwerhörigkeit“; Adspektion ohne besonderen Befund |

Legende:

w: weiblich; wk: weiblich kastriert; m: männlich; mk: männlich kastriert; EKH: Europäisch Kurzhaar

In der Tabelle 4 ist die Verteilung von Alter und Geschlecht der klinisch auffälligen Tiere dargestellt. Es wurde die Alterseinteilung für junge, erwachsene und alte Katzen aus der Gruppe I übernommen.

Tabelle 4: Alters- und Geschlechtsverteilung der klinisch auffälligen Katzen

| Alter (Jahre) | Weiblich | Männlich | Gesamt |
|---------------|----------|----------|--------|
| 0 – 1 | 1 | 0 | 1 |
| 2 – 9 | 1 | 1 | 2 |
| > 9 | 2 | 1 | 3 |
| Nicht bekannt | 0 | 0 | 0 |
| Gesamt | 4 | 2 | 6 |

3.1.1.3. Gruppe III: Euthanasierte Katzen

Zur Gruppe III gehörten zwei Katzen, die wenige Minuten vor der Messung euthanasiert worden waren. Beide Katzen waren männlich. Ein Tier war 15 Jahre alt, bei dem anderen war das Alter nicht bekannt. Ihr Gewicht betrug 3,8 bzw. 4,3 kg.

Das Alter, Geschlecht, die Rasse und der Grund für die Euthanasie der Katzen sind in der Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Alter, Geschlecht, Rasse und Grund für die Euthanasie / Gruppe III

| Nr. | Alter (Jahre) | Geschlecht | Rasse | Grund für Euthanasie |
|-----|---------------|------------|-------|-------------------------------|
| 46 | ? | mk | EKH | FIV |
| 48 | 12 | mk | EKH | Chronische Niereninsuffizienz |

Legende:

?: Alter unbekannt; mk: männlich kastriert; EKH: Europäisch Kurzhaar; FIV: Felines Immundefizienzvirus

3.2. Methode der TEOAE-Messung

3.2.1. Gerät

Die Messungen otoakustischer Emissionen wurden mit dem Echomaster OAE-Analyser Version 2.0 durchgeführt, der von der Firma Hortmann¹ für die Zeit der Untersuchungen zur Verfügung gestellt wurde.

Das Gerät besteht aus einem Audiologiemodul mit der durch ein Kabel verbundenen OAE-Sonde und einem an die Messeinheit angeschlossenen Computer mit Drucker.

¹ GN Otometrics GmbH & Co KG
An der Kleimannbrücke 75
D – 48157 Münster

3.2.1.1. Sonde

Die Sonde, die in den Gehörgang eingesetzt wird, enthält zwei Lautsprecher, die akustische Signale in den Gehörgang senden, und ein Mikrofon für die Aufnahme der Emission. Für die Messung der TEOAE wird nur ein Lautsprecher für den Stimulus benötigt. Da dasselbe Gerät auch für die DPOAE-Messung verwendet werden kann, enthält die Sonde zwei Lautsprecher für die beiden simultan applizierten Stimulustöne.

Um ein möglichst optimales Ergebnis der Messung zu erzielen, ist ein korrekter Sitz der Sonde im Gehörgang notwendig. Es stehen verschieden große Gummistöpsel zur Verfügung, die über die Sonde geschoben werden, um sie im Gehörgang zu fixieren und ihn abzudichten. Eine Kontrolle des Sondensitzes ist über die in Kapitel 3.2.1.4. beschriebenen Parameter Reiz, Stimulus und Stimulus-Spektrum möglich.

3.2.1.2. Stimulus

Als Stimulus wurde ein breitbandiger Click eingesetzt, der alle Frequenzen von 0,5 bis etwa 5 kHz enthält. Pro Messdurchgang wurden 260 Clicks in den Gehörgang gesendet. Die Lautstärke des Stimulus wurde bei 80 dB SPL eingestellt.

3.2.1.3. Messvorgang

Zur Messung der transitorisch evozierten otoakustischen Emissionen wurde die in Kapitel 3.2.1.1. beschriebene Sonde in den Gehörgang der Katze eingesetzt. Nach Einstellung der Stimuluslautstärke und Lärmpegelbegrenzung sendete das Messgerät über den Lautsprecher in der Sonde einen sich mehrmals wiederholenden breitbandigen Click als Stimulus in den Gehörgang und das Mikrofon zeichnete die durch diesen Reiz ausgelöste Antwort auf. Die gemessenen Antworten wurden auf die in Kapitel 2.2.3.1.1. beschriebene Technik im Computer verrechnet und das Ergebnis wurde auf dem Bildschirm des Computers angezeigt.

3.2.1.4. Dokumentation

Auf einem Untersuchungsbogen wurden Patientenummer, Datum, Rasse, Alter und Geschlecht der untersuchten Katze, die Erkrankung bzw. Behandlung, die Narkose und der Befund der Adspektion des äußeren Gehörgangs festgehalten. Die Patientenummer, der Name, das Geschlecht und Alter des Patienten wurden vor der Messung in den Computer eingegeben.

Auf dem Bildschirm des Computers können vor Beginn der Messung anhand verschiedener Anzeigen der Stimuluspegel und die Störschwelle eingestellt, sowie der Sondensitz überprüft werden. Es handelt sich um Anzeigen mit folgender Bezeichnung und Bedeutung:

Reiz: Kontrollelement für den ordnungsgemäßen Sitz der Sonde, das optimalen Sondensitz in grün und ungenügenden Sondensitz in gelb oder rot anzeigt

Sollpegel und Istpegel: Zeigt die Vorgabe und den tatsächlichen Stimuluspegel in dB SPL an

Stimulus: Zeigt den zeitlichen Verlauf der Lautstärke des Stimulus in Pa an

Stimulus-Spektrum: Zeigt das Frequenzspektrum des Stimulus im Gehörgang an

Stimulus-Pegel: Manuelle oder automatische Einstellung des Istpegels auf den Sollpegel

Störungen: Anzeige der Störgeräusche in mPa und manuelle oder automatische Einstellung der Störschwelle. Alle Signale oberhalb dieser Schwelle werden verworfen.

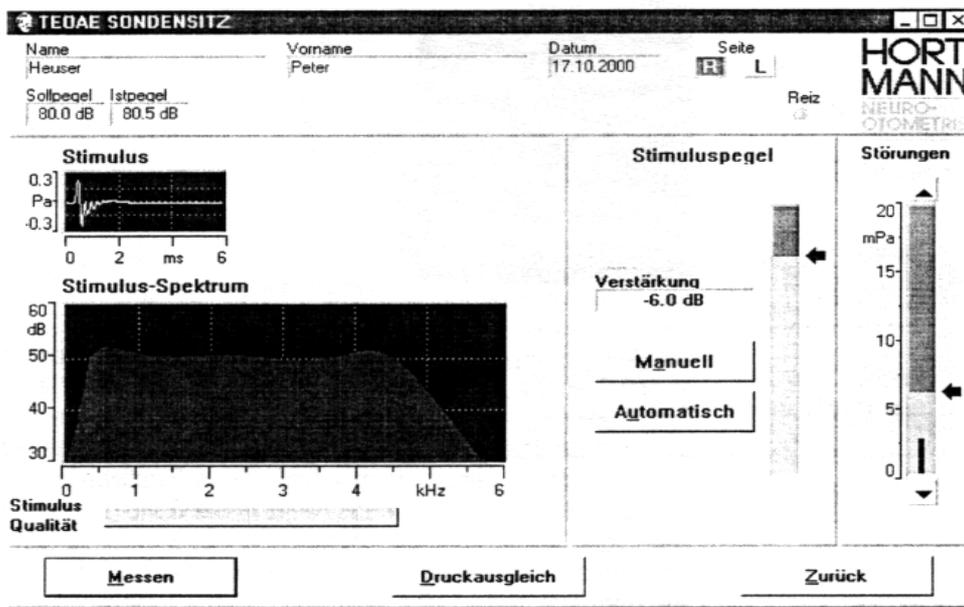


Abbildung 10: Fenster im Computer vor dem Messdurchgang

Während und nach der Messung zeigt der Bildschirm vier Graphiken mit folgender Bezeichnung:

Stimulus: Zeigt den zeitlichen Verlauf der Lautstärke des Stimulus in Pa an

Stimulus-Spektrum: Darstellung des Frequenzspektrums des Stimulus im Bereich von 0 bis 6 kHz

TEOAE-Zeitantwort: Darstellung der aufgezeichneten Zeitantwort der TEOAE in zwei Kurven. Die zwei Kurven entstehen durch die abwechselnde Speicherung der gemessenen Antworten in zwei verschiedenen Speichern des Rechners.

Die dazugehörige Anzeige "Korrelation" stellt die Reproduzierbarkeit der gemessenen Antworten farblich dar.

TEOAE-Spektrum: Darstellung des Spektrums der TEOAE im Bereich von 0 bis 6 kHz (hell), davor das Spektrum des Hintergrundrauschens in anderer Farbe (dunkel).

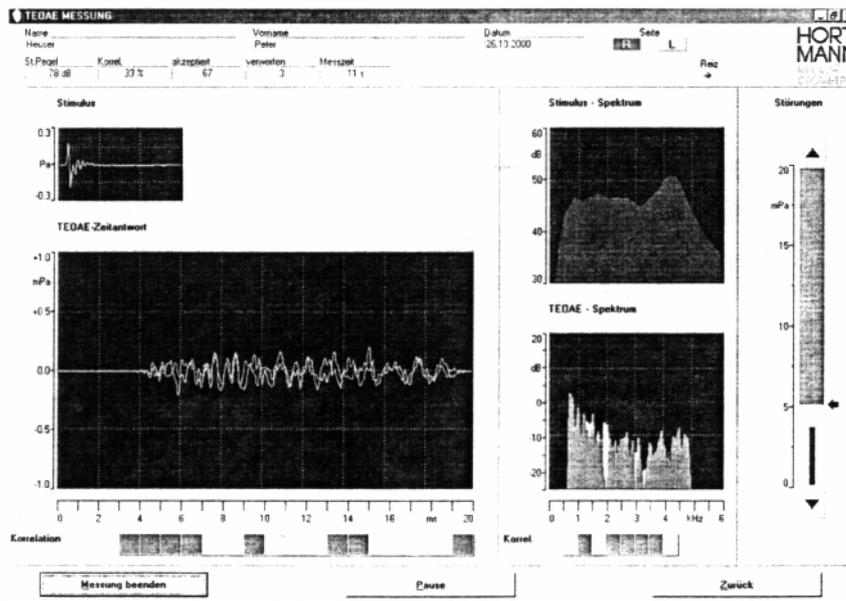


Abbildung 11: Fenster im Computer während und nach dem Messdurchgang

Nach Beendigung der Messung sind auf dem Bildschirm die oben beschriebenen Graphiken zu sehen und die Ergebnisse der Messung in folgender Auflistung abzulesen:

Stimuluspegel: Anzeige des Stimuluspegels während der Messung in dB SPL

Korrelation: Anzeige der Reproduzierbarkeit der Emissionen in Prozent

Akzeptiert: Anzeige der Anzahl der einzelnen Clickstimuli während der Messungen

Verworfen: Anzahl der Messdurchgänge, die nicht in die Bewertung eingehen

Messzeit: Anzeige der Dauer einer TEOAE-Messung in Sekunden

Amplitude: Anzeige des Mittelwertes der gemessenen Amplitude der TEOAE in dB SPL

Rauschen: Anzeige des Rauschpegels in dB SPL

Störabstand: Differenz aus gemittelter TEOAE-Amplitude (in dB SPL) und dem Mittelwert des Rauschens (in dB SPL)

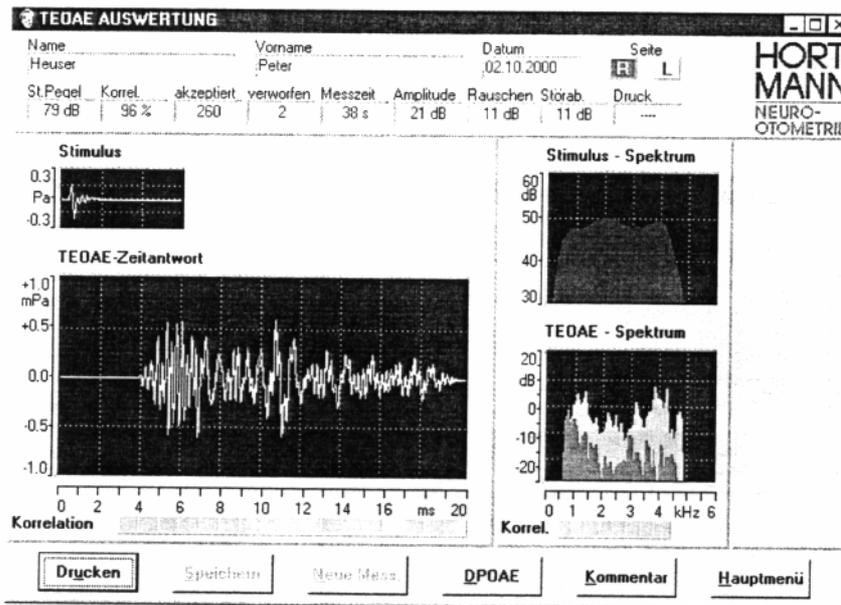


Abbildung 12: Fenster im Computer nach Beendigung des Messdurchgangs

Diese Anzeigen und Graphiken können abgespeichert und bei Bedarf ausgedruckt werden.

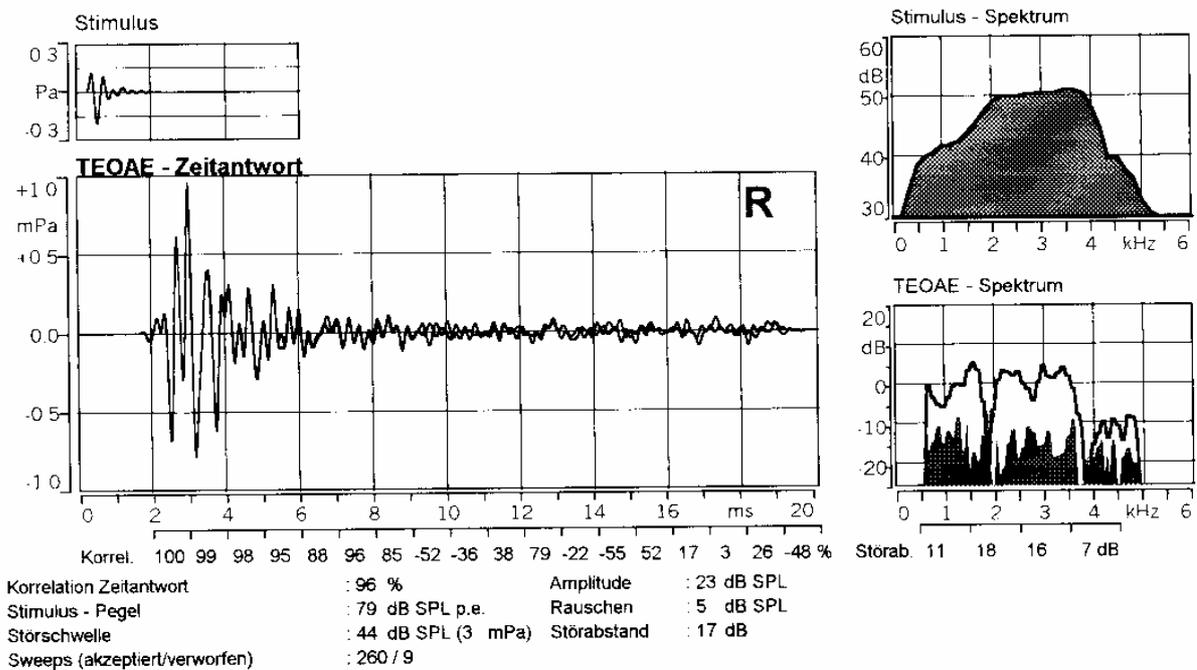


Abbildung 13: Computerausdruck nach dem Messdurchgang

3.2.2. Vorbereitung

3.2.2.1. Vorbereitung der Katzen

Die Messungen erfolgten in einem ruhigen Untersuchungsraum der Tierärztlichen Gemeinschaftspraxis Dr. Lukaß / Dr. Koopmann in Bremen.

Nach der Anamnese und einer allgemeinen Untersuchung wurden die Katzen gewogen und ihrem Gewicht entsprechend mit 10 mg/kg Körpergewicht Ketamin (Narketan®, Chassot GmbH, Ravensburg) und 0,05 mg/kg Körpergewicht Medetomidin (Dormitor®, Pfizer GmbH, Karlsruhe) mittels intramuskulärer Injektion in Narkose gelegt. Anschließend erfolgte die geplante Operation.

Unmittelbar nach dem chirurgischen Eingriff wurden das Narkosestadium und das Allgemeinbefinden der Tiere überprüft. Um Störgeräusche bei der Messung durch Ohrbewegungen oder Schlucken zu vermeiden, mussten sich die Katzen im Toleranzstadium der Narkose befinden. Waren dieses Auswahlkriterium sowie ein stabiler postoperativer Zustand gegeben, standen die Katzen für die Messung zur Verfügung.

Vor der Messung wurde bei jeder Katze eine Adspektion des äußeren Gehörganges und des Trommelfelles durchgeführt. Im Gehörgang vorhandenes Cerumen wurde ohne Spülung vorsichtig mit einer Ohrschlinge entfernt. Anschließend wurden die Tiere für die Dauer der Messung in Seitenlage mit der zu messenden Seite nach oben mit gestrecktem Kopf auf ein Wärmekissen gelegt und zugedeckt.

Die Katzen Nr. 46 und 48 waren unmittelbar vor der Messung mit Embutramid (T61®, Firma Intervet, Unterschleißheim) euthanasiert worden und standen anschließend für die Durchführung der Messung zur Verfügung.

3.2.2.2. Vorbereitung der Messung

Im Echomaster OAE-Analyser wurden die Patientendaten Patientenummer, Name, Alter und Geschlecht der Katzen eingegeben.

Anschließend wurde die Höhe des Stimuluspegels anhand des Sollpegels eingestellt. An den Graphiken Stimulus und Stimulusspektrum war zu erkennen, dass bei einer Einstellung des

Sollpegels bei 80 dB SPL sowohl der Zeitverlauf des Stimulus als auch das Stimulusspektrum im Gehörgang optimal waren. Der Sollpegel wurde daher für die Messungen immer auf 80 dB eingestellt. Automatisch oder manuell kann der tatsächliche Istpegel dem vorgegebenen Sollpegel angeglichen werden, wobei der Istpegel vom Sollpegel um 1-3 dB abweichen kann. Um einen korrekten Sitz der Sonde im Gehörgang zu gewährleisten, wurden bei jedem Katzenohr verschiedene Stöpselgrößen ausprobiert und anhand der Anzeigen Reiz, Stimulus, Stimulusspektrum und Störgeräusch der Sondensitz mit dem jeweiligen Stöpsel beurteilt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Anzeige Stimulus kein Nachschwingen außerhalb der Latenzzeit aufwies und das Stimulusspektrum möglichst eben war. Außerdem sollte der Gehörgang durch den Stöpsel gegenüber extrinsischen Störgeräuschen weitgehend abgeschlossen sein, was an einem niedrigen Pegel in der Anzeige Störgeräusch zu erkennen war. Anhand dieser Kriterien wurde der Stöpsel für den optimalen Sondensitz ausgewählt. Die Sonde mit Stöpsel wurde so eingesetzt, dass sie den Gehörgang so dicht wie möglich abschloss und während der Messung nicht verrutschen konnte.

Abschließend wurde die Störschwelle eingestellt. Auf dem Bildschirm sind in der Anzeige Störungen die von dem Mikrophon in der Sonde aufgenommenen Störgeräusche in mPa dargestellt. Bei möglichst leiser Umgebung wurde nun die Störschwelle gerade über dem erkennbaren vorhandenen und nicht vermeidbaren Störgeräusch, hervorgerufen durch z.B. Atmung oder Blutstrom in Gefäßen, eingestellt.

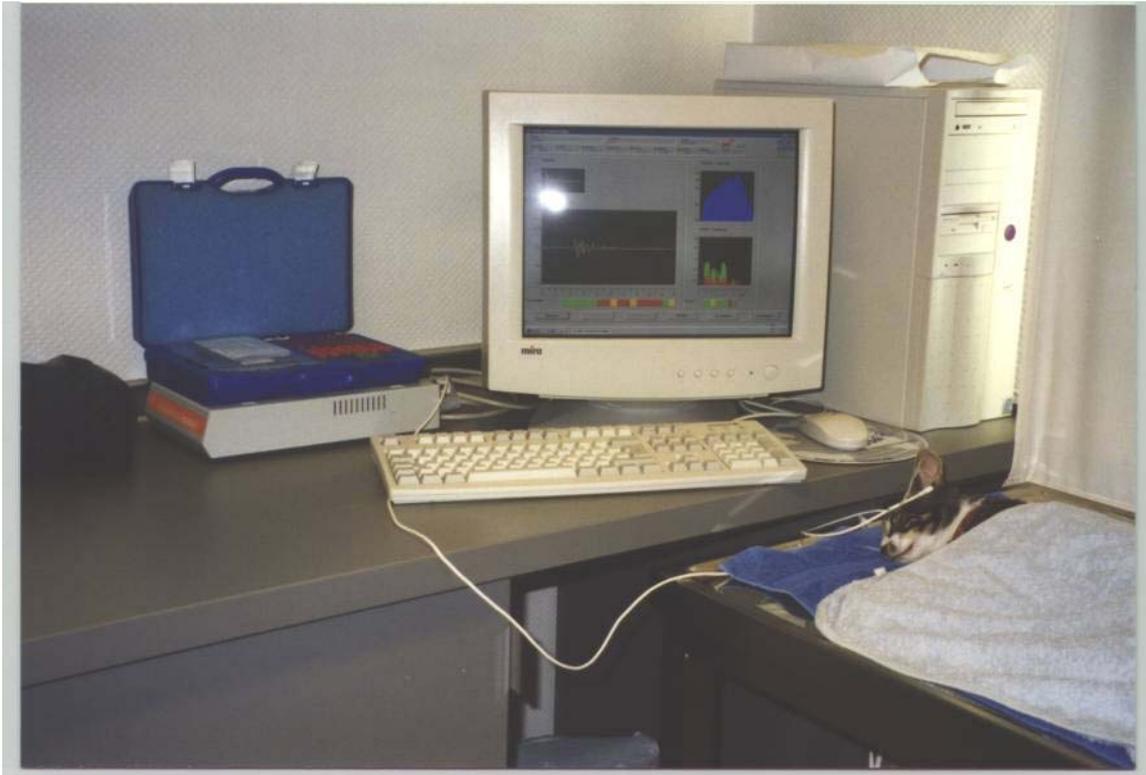


Abbildung 15: Arbeitsplatz

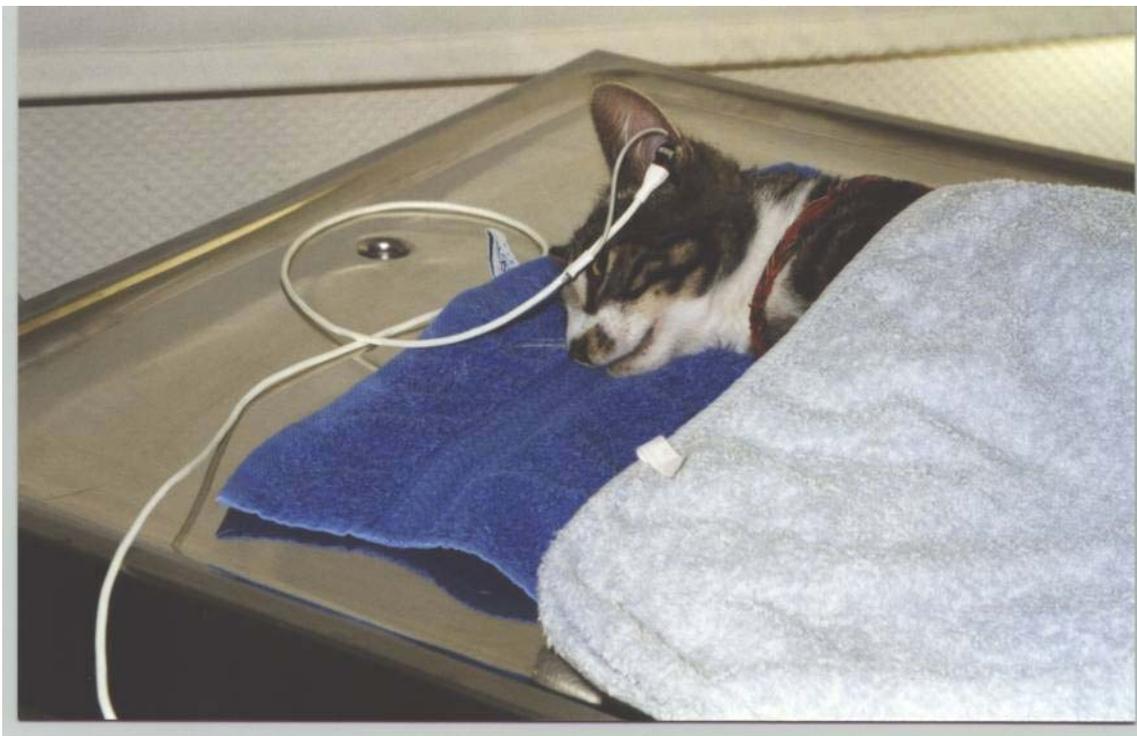


Abbildung 14: Katze während der Messung

3.2.3. Durchführung

Jede Katze der Studie wurde auf das Vorhandensein otoakustischer Emissionen untersucht. Ob diese Messung ein- oder beidseitig durchgeführt wurde, hing von dem Narkosestadium ab. Sobald die Katze Muskelbewegungen im Ohr- oder Kieferbereich zeigte, wurde die Messung aufgrund der auftretenden Störgeräusche abgebrochen. War das Narkosestadium auch nach beidseitiger Messung noch tief genug, wurden an den Tieren noch weitere Messungen durchgeführt.

Bei einer Untersuchung beider Ohren auf das Vorhandensein von otoakustischen Emissionen wurden die Tiere von der einen auf die andere Seite umgelagert, so dass das zu messende Ohr immer oben lag. Der Sondensitz wurde nach der Umlagerung überprüft und gegebenenfalls durch Verwendung einer anderen Stöpselgröße korrigiert.

Nachdem die Vorbereitungen und alle beschriebenen Einstellungen erfolgt waren, wurde die Messung gestartet. Beim Echomaster werden als Stimuli 260 Clicks pro Messdurchgang verwendet. Nach jedem einzelnen Stimulus-Click wird die akustische Emission des Ohres mit einer Zeitverzögerung von einigen Millisekunden aufgezeichnet. Durch diese Verzögerung soll vermieden werden, dass Resonanzen des Stimulus im Gehörgang als otoakustische Emissionen registriert werden. Der Zeitabstand zwischen Stimulation und Messung, die so genannte Latenzzeit, war anfangs vom Hersteller auf 3,5 ms eingestellt worden. Nachdem die Ergebnisse mit dieser Einstellung aber sehr unbefriedigend waren, wurde der Zeitabstand auf 1,5 ms verkürzt, um früher auftretende Emissionen erkennen zu können.

Um Störgeräusche zu vermeiden, wurde während der Messung darauf geachtet, dass es im Raum möglichst ruhig war und niemand mit dem Sondenkabel in Berührung kam.

Nach Beendigung der Messung wurde das Ergebnis auf dem Bildschirm grafisch und mit der Angabe der in Kapitel 3.2.1.3. beschriebenen Parameter dargestellt. Es wurde abgespeichert und bei Bedarf ausgedruckt.

3.2.3.1. Messung an klinisch unauffälligen Katzen

3.2.3.1.1. Nachweis von TEOAE

Alle 43 Katzen der Gruppe I wurden auf das Vorhandensein einer otoakustischen Emission untersucht. Bei 13 Katzen wurde in einem Ohr, bei 30 Katzen wurde sowohl im linken als auch im rechten Ohr gemessen. Bei allen Tieren wurden die Messungen in Seitenlage durchgeführt.

Die vom Hersteller für die Humanmedizin empfohlene Einstellung der Latenzzeit von 3,5 ms wurde nach einigen unbefriedigenden Ergebnissen auf 1,5 ms verkürzt. Da diese Veränderung des Zeitfensters im Computer auch nach einer Messung erfolgen kann, lagen von jeder Messung zwei Ergebnisse vor.

3.2.3.1.2. Reproduzierbarkeit der gemessenen Antwort

In 13 Katzenohren wurde in 26 Vergleichsmessungen mit einem Zeitabstand von 2 bis 20 Minuten zwischen beiden Messungen die Reproduzierbarkeit der gemessenen TEOAE untersucht. Die Messungen wurden in Seitenlage durchgeführt.

3.2.3.1.3. Einfluss der Lagerung der Katzen auf TEOAE

Neben den Untersuchungen in Seitenlage wurde bei neun Katzen eine zusätzliche Messung in Bauchlage durchgeführt. Die Tiere wurden mit gestrecktem Kopf auf den Bauch gelegt und die Sonde wurde nochmals mit demselben Stöpsel wie bei der Messung in Seitenlage im Ohr platziert.

3.2.3.2. Messung an klinisch auffälligen Katzen

Alle Ohren der sechs klinisch auffälligen Katzen der Gruppe II wurden auf das Vorhandensein von TEOAE untersucht.

3.2.3.3. Messung an Katzen post mortem

Die beiden Katzen der Gruppe III wurden kurz nach der Euthanasie in Seitenlage auf das Vorhandensein von TEOAE untersucht. Es wurden mehrere Messdurchgänge an einem Ohr mit einem Zeitabstand von jeweils einigen Minuten durchgeführt. Bei beiden Katzen wurde jeweils ein Ohr untersucht.

3.2.4. Bewertung der Messergebnisse

Um die Messergebnisse zu beurteilen und zu entscheiden, ob es sich bei der gemessenen Antwort um eine otoakustische Emission handelte, wurden sowohl die Qualität der Messbedingungen als auch die Qualität der gemessenen Antwort begutachtet. Es wurden die von verschiedenen Autoren (HAUSER, 1998; FRESE et al., 2001; BÖHME, 1998; HOTH, 1997) beschriebenen Kriterien zur Bewertung herangezogen.

3.2.4.1. Qualität der Messbedingungen

Zur Beurteilung der Qualität der Messbedingungen und Auswahl der besten Messung bei mehreren Durchgängen wurden die Parameter Stimulus, Stimulusspektrum, Rauschen und die Anzahl der verworfenen Messdurchgänge herangezogen:

In der Graphik des Stimulus wurde darauf geachtet, dass dieser nicht zu lange nachschwang, damit er nicht selber als Antwort aufgezeichnet wurde. Der Verlauf des Stimulus sollte in der

Anzeige des Stimulusspektrums möglichst flach sein, da Minima und Maxima in der Graphik auf Undichtigkeiten im Sondersitz hinweisen.

Neben der Qualität des Stimulus wurde auf einen möglichst niedrigen Pegel des Umgebungsrauschens und auf eine unter 50% der Messdurchgänge liegende Anzahl der verworfenen Messungen geachtet.

Lagen von einem Ohr mehrere Messungen vor, wurde für die Auswertung der Ergebnisse die Messung mit der besten Messqualität herangezogen.

3.2.4.2. Qualität der gemessenen Antwort

Zur Bewertung der Qualität der gemessenen Antwort und Klärung der Frage, ob eine otoakustische Emission vorlag, wurden die Qualitätskriterien Korrelationskoeffizient und Störabstand herangezogen.

a) Korrelationskoeffizient

Die gemessenen Antworten auf die 260 Stimuli werden abwechselnd in zwei verschiedenen Speichern des Computers abgespeichert. Nach Mittelung der Antworten auf die in Kapitel 2.2.3.1.1. beschriebene Weise entstehen so zwei Kurven A und B. Der Korrelationskoeffizient stellt die Reproduzierbarkeit als Übereinstimmungsgrad dieser beiden Kurven in Prozent dar.

Der von HAUSER (1998) und HOTH (1997) für den Korrelationskoeffizienten empfohlene untere Grenzwert von 60% hat sich als Bewertungskriterium etabliert und wurde in dieser Studie eingesetzt. Oberhalb dieses Grenzwertes galt eine gemessene Antwort als ausreichend reproduzierbar und damit als nachgewiesene otoakustische Emission.

b) Amplitude / Störabstand

Aus der Differenz der gemittelten TEOAE-Amplitude des gesamten Frequenzbereiches und dem Mittelwert der Amplitude des Rauschens errechnet der Echomaster den so genannten Signal-Rausch-Abstand, der auch als Störabstand bezeichnet wird. Da die Firma Hortmann für den Echomaster einen Wert von 6 dB empfiehlt, wurde dieser Wert als unterer Grenzwert für diese Studie übernommen.

3.3. Methode der DPOAE-Messung

3.3.1. Gerät

Die Messungen der Distorsionsprodukte otoakustischer Emissionen wurden wie auch die TEOAE-Messungen mit dem Echomaster OAE-Analysator Version 2.0 der Firma Hortmann durchgeführt.

3.3.1.1. Sonde

Bei der Sonde für die DPOAE-Messung handelt es sich um dieselbe Sonde wie für die TEOAE-Messung. Um den zweiten Stimuluston in den Gehörgang zu senden, wird der zweite Lautsprecher verwendet.

3.3.1.2. Stimulus

Die Stimulustöne der Frequenz f_1 lagen in jedem Messdurchgang bei folgenden Frequenzen: 812 Hz, 1031 Hz, 1296 Hz, 1640 Hz, 2062 Hz, 2609 Hz, 3281 Hz, 4125 Hz und 4921 Hz. Für die Stimulustöne f_2 lagen sie bei 1000 Hz, 1265 Hz, 1593 Hz, 2000 Hz, 2515 Hz, 3171 Hz, 4000 Hz, 5046 Hz und 6000 Hz. Das Verhältnis f_2/f_1 betrug 1,2.

Die Lautstärken L_1 und L_2 der Primärtöne waren wie bei der TEOAE-Messung individuell einstellbar und wurden für diese Studie bei 70 dB SPL fixiert.

3.3.1.3. Messvorgang

Die Messung der Distorsionsprodukte otoakustischer Emissionen wurde entsprechend der Messung der transitorisch evozierten otoakustischen Emissionen durchgeführt. Statt des sich mehrmals wiederholenden breitbandigen Clicks bei der TEOAE-Messung wurden bei der

DPOAE-Messung zwei akustische Signale unterschiedlicher Frequenz simultan in den Gehörgang gesendet. Das in derselben Sonde wie die Lautsprecher befindliche Mikrofon zeichnete die Antwort auf.

3.3.1.4. Dokumentation

Für die Dokumentation wurden die bereits für die TEOAE-Messung erstellten Untersuchungsbögen genutzt. Da die Programme für die TEOAE-Messung und für die DPOAE-Messung auf dieselbe Patientendatei zurückgreifen, war ein erneutes Eingeben der Patientendaten in den Computer nicht notwendig.

Vor der Messung können anhand der Anzeigen auf dem Bildschirm der Sondensitz überprüft und die Störungsschwelle eingestellt werden. Außerdem wird die Lautstärke der beiden Stimuli angezeigt. Die Anzeigen werden folgendermaßen bezeichnet:

Reiz: Kontrollelement für den ordnungsgemäßen Sondensitz; Anzeige in Grün (optimal), Gelb oder Rot (ungenügend)

Reiz L_1 und Reiz L_2 : Anzeige der Lautstärke der beiden Reize L_1 und L_2 in dB SPL

Gehörgangsspektrum: Frequenzspektrum der beiden Teststimuli; sollte möglichst flach sein und exakt übereinander liegen

Störungen: Einstellung der Störungsschwelle (in mPa)

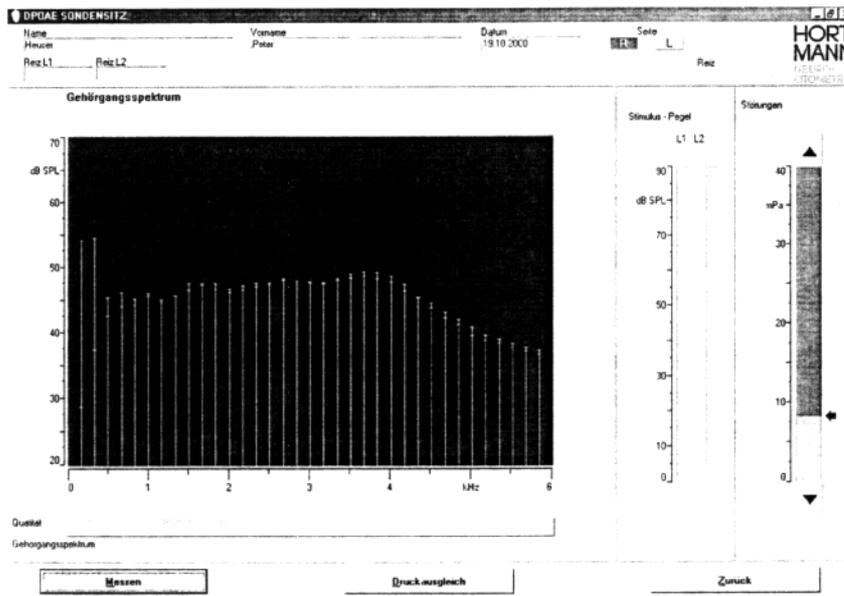


Abbildung 16: Fenster im Computer vor Messbeginn

Während und nach der Messung sind auf dem Bildschirm zwei Graphiken zu sehen:

DP-Gramm: Darstellung der gemessenen Distorsionsprodukte im so genannten Distorsionsprodukte-Gramm im Frequenzbereich von 1 bis 6 kHz. Auf der x-Achse ist die Lautstärke des Distorsionsproduktes in dB SPL abzulesen, auf der y-Achse die zum gemessenen Distorsionsprodukt gehörende Frequenz f_2 . Die Lautstärken der gemessenen Distorsionsprodukte sind als miteinander verbundene Kreise dargestellt. In Form von roten und grauen Balken wird das Hintergrundrauschen angezeigt.

Spektrum $2f_1-f_2$: Darstellung der einzelnen Spektren der gemessenen Distorsionsprodukte, die im Fenster DP-Gramm ausgewählt werden können. Darunter ist die Frequenz des ausgewählten Distorsionsproduktes angegeben.

Außerdem sind Einstellungen und Ergebnisse mit folgender Bezeichnung und Bedeutung auf dem Bildschirm abzulesen:

f_1 und f_2 : Anzeige der Frequenz der Primärtöne f_1 und f_2 in Hz

Reiz L_1 und Reiz L_2 : Anzeige der Lautstärke der Primärtöne L_1 und L_2 in dB

Akzeptiert: Anzeige der Messvorgänge, die in die Bewertung eingehen

Verworfen: Anzahl der Messvorgänge (Sweeps) der Messungen, die nicht in die Bewertung eingehen. Es wird so lange gemessen, bis 40 Sweeps in die Bewertung eingehen.

Störabstand: Anzeige des Störabstandes bzw. der Differenz aus der Amplitude des gemessenen Distorsionsproduktes (in dB SPL) und dem statistischen Mittelwert des Rauschens (in dB SPL) in dB.

Störschwelle: Mittelwert der registrierten Störungen / Artefakte in dB

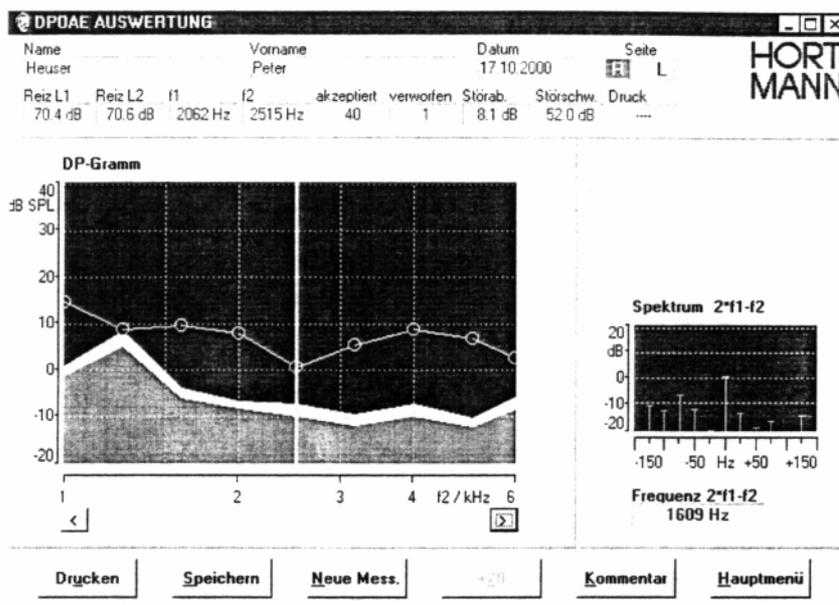


Abbildung 17: Fenster im Computer während und nach dem Messvorgang

Druckt man das Messergebnis aus, erhält man statt der Grafik Spektrum $2f_1-f_2$ eine Tabelle, in der für die neun verschiedenen Frequenzen der Distorsionsprodukte zwischen 1 und 6 kHz jeweils folgende Angaben aufgelistet sind:

Frequenz f_2 : Frequenz des zweiten Stimulustons in kHz

Amplitude: Anzeige der gemessenen Amplitude der DPOAE in dB SPL

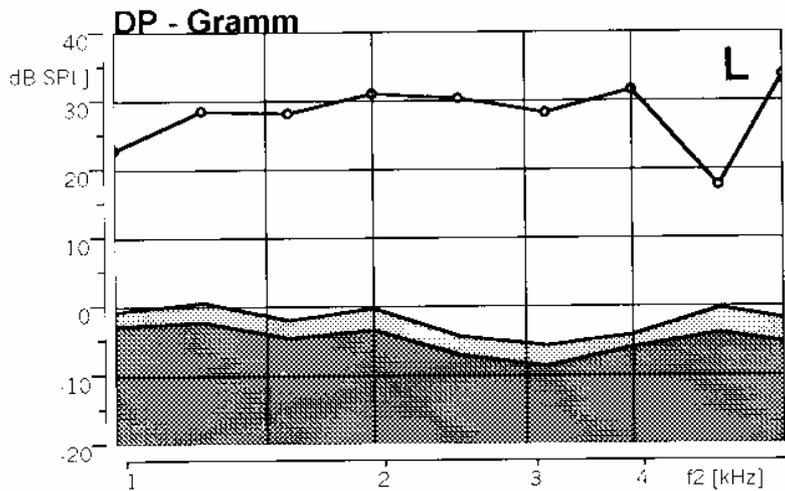
Signal/Rausch: Entspricht dem Störabstand. Differenz aus gemittelter DPOAE-Amplitude und dem Mittelwert des Rauschens in dB

Sweeps akzeptiert: Anzahl der Messvorgänge, die in die Bewertung eingehen

Sweeps verworfen: Anzahl der Messvorgänge, die nicht in die Bewertung eingehen

Stimuluspegel: Anzeige der Lautstärke der Stimuli L_1 und L_2 in dB SPL

Störschwelle: Anzeige der Störschwelle in dB SPL



| Frequenz f2 [kHz] | 1.0 | 1.3 | 1.6 | 2.0 | 2.5 | 3.2 | 4.0 | 5.0 | 6.0 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Amplitude [dB SPL] | 22.8 | 28.5 | 28.2 | 31.1 | 30.3 | 28.2 | 31.6 | 17.6 | 33.8 |
| Emission [dB] | 23.6 | 27.9 | 30.2 | 31.4 | 34.7 | 34.0 | 35.8 | 17.9 | 35.6 |
| Sweeps akzeptiert | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Sweeps verworfen | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 5 |
| Stim. Pegel [dB SPL] | 69.0 | 69.1 | 68.8 | 67.8 | 67.3 | 68.3 | 72.1 | 68.4 | 69.8 |

Störschwelle: 52 dB SPL (8 mPa)

$f_1 = 1.22 \cdot f_2$

Abbildung 18: Computerausdruck nach dem Messdurchgang

3.3.2. Vorbereitung der DPOAE-Messung

Die Messungen der DPOAE wurden bei jedem Tier im Anschluss an mindestens eine TEOAE-Messung durchgeführt, ohne dass die Lage der Tiere verändert oder die Sonde aus dem Gehörgang entfernt wurde.

Im Computer wurde vom TEOAE-Programm in das DPOAE-Programm gewechselt. Da beide Programme auf dieselbe Datenbank mit den Stammdaten der Patienten zurückgreifen, mussten die Daten des Patienten nicht neu eingegeben werden. Der Sondensitz wurde anhand der Parameter Reiz und Gehörgangsspektrum noch einmal überprüft und gegebenenfalls korrigiert.

Die Lautstärke der Primärtöne wurde auf 70 dB SPL eingestellt, wobei der tatsächliche Istpegel im Gehörgang etwas von dem eingestellten Sollwert abweichen kann. Die Störschwelle wurde oberhalb des gerade noch erkennbaren Rauschens eingestellt.

3.3.3. Durchführung der DPOAE-Messung

Jede Katze dieser Studie wurde unabhängig von ihrer Gruppeneinteilung auf das Vorhandensein von DPOAE untersucht. Die Messung erfolgte direkt im Anschluss an mindestens eine TEOAE-Messung. Ob weitere Messungen durchgeführt wurden, hing von dem Narkosestadium der Katzen ab: Lag dieses noch im Toleranzbereich, wurde nach einer weiteren TEOAE-Messung jeweils wieder eine DPOAE-Messung durchgeführt. Sobald es bei dem untersuchten Tier aufgrund von Muskelbewegungen im Kopfbereich zu Störgeräuschen kam, wurden die Messungen beendet.

Die Amplitude des Distorsionsproduktes wurde bei der Frequenz $2f_1-f_2$ gemessen. In der auf dem Bildschirm und im Ausdruck dargestellten Graphik ist das Messergebnis des DP seinem Entstehungsort in der Nähe der Frequenz f_2 zugeordnet.

Nach Durchführung der in Kapitel 3.3.2. beschriebenen Einstellungen wurde die Messung gestartet. Wie bei der TEOAE-Messung sollten Umgebungsgeräusche während der Messzeit vermieden werden, um die Möglichkeit der Registrierung von Störgeräuschen als Emissionen zu vermindern. Die Messung wurde auf dem Bildschirm verfolgt und die Störschwelle wenn nötig korrigiert. Nach Beendigung des ersten Messdurchganges wurde die Messung automatisch einmal wiederholt.

3.3.3.1. Messung an klinisch unauffälligen Katzen

3.3.3.1.1. Nachweis von DPOAE

Alle Katzen der Gruppe I wurden in Seitenlage auf das Vorhandensein von DPOAE untersucht. Bei 14 Katzen wurde die Messung in einem Ohr, bei 29 Katzen wurde sie in beiden Ohren durchgeführt.

3.3.3.2. Messung an klinisch auffälligen Katzen

Alle Ohren der sechs klinisch auffälligen Katzen der Gruppe II wurden auf das Vorhandensein von DPOAE untersucht. Bei allen Katzen wurden die Messungen in Seitenlage durchgeführt.

3.3.3.3. Messung an Katzen post mortem

An den beiden euthanasierten Katzen der Gruppe III wurde eine DPOAE-Messung in Seitenlage an je einem Ohr vorgenommen.

3.3.4. Bewertung der Messergebnisse

Zur Bewertung der Messergebnisse wurden sowohl die Qualität der gemessenen Antwort als auch die Qualität der Messbedingungen beurteilt.

3.3.4.1. Qualität der Messbedingungen

Die Qualität der Messbedingungen wurde anhand der Kriterien Stimulus und Störschall beurteilt. Der Echomaster lieferte durch die Anzeige Reiz zusätzliche Informationen über den Sitz der Sonde im Gehörgang.

In der Graphik des Gehörgangsspektrums wurde darauf geachtet, dass der Verlauf der Kurven beider Teststimuli möglichst flach war und eine gute Übereinstimmung aufwies. Minima und Maxima im Verlauf sowie Differenzen zwischen den beiden Kurven deuten auf Undichtigkeiten beim Sondensitz hin.

Der Pegel des Störschalles sollte möglichst niedrig sein, um Störgeräusche aus der Messung zu eliminieren und deren Einfluss auf das Messergebnis zu verringern.

3.3.4.2. Qualität der gemessenen Antwort

Die Qualität der gemessenen Antwort wurde anhand des DP-Gramms und des Störabstandes der DPOAE beurteilt. Für den Störabstand wurde ein unterer Grenzwert von 6 dB festgelegt. Ein Störabstand oberhalb dieses Wertes galt als Nachweis für eine otoakustische Emission. Um auf ein vollständig funktionsfähiges Innenohr schließen zu können, sollte das DP-Gramm in möglichst vielen der geprüften Frequenzen DPOAE aufweisen.

3.4. Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit dem Programm Microsoft®Excel. Neben der Berechnung des Mittelwertes (MW) und der Standardabweichung (SD) wurden Minimum (Min) und Maximum (Max) der Werte angegeben, um die große Streubreite der einzelnen Ergebnisse darzustellen.

Die graphische Darstellung in Säulen- und Punktediagrammen wurde im Programm Microsoft®Word durchgeführt.

4. ERGEBNISSE

4.1. Untersuchungsergebnisse der TEOAE-Messung

In einem Zeitraum von fünf Monaten wurden 51 Katzen auf die in Kapitel 3.2. beschriebene Weise ein- oder beidseitig auf das Vorhandensein transitorisch evozierter otoakustischer Emissionen untersucht.

4.1.1. Untersuchungsergebnisse bei klinisch unauffälligen Katzen

An den 43 klinisch unauffälligen Katzen der Gruppe I wurde das Vorhandensein von TEOAE, die Reproduzierbarkeit der gemessenen Antwort und der Einfluss der Lagerung der Tiere auf die gemessene Antwort untersucht. Die Ergebnisse der Messungen werden anhand des TEOAE-Zeitfensters mit den Angaben des Korrelationskoeffizienten und des Störabstands dargestellt.

Die Stimuluspegel lagen im Bereich von 77 bis 81 dB SPL mit einem Durchschnitt von 79,3 dB \pm 1,3. Die Messzeit betrug zwischen 38 und 66 Sekunden, durchschnittlich 44,6 Sekunden \pm 5,7. Die Anzahl der verworfenen Messungen lag mit 0 bis 67 immer unter 50% der durchgeführten Messdurchgänge.

4.1.1.1. Nachweis von TEOAE bei klinisch unauffälligen Katzen

Bei 13 der 43 klinisch unauffälligen Katzen wurde die TEOAE-Messung in einem Ohr durchgeführt, bei den übrigen 30 Tieren in beiden Ohren. Dadurch ergibt sich eine Gesamtanzahl von 73 untersuchten Ohren. Lagen bei einer Katze Ergebnisse mehrerer Messdurchgänge vor, wurde die Messung mit der besten Messqualität anhand der in Kapitel 3.2.4.1. beschriebenen Kriterien ermittelt und zur Auswertung herangezogen.

Die Tabelle 6 zeigt den Korrelationskoeffizienten und den Störabstand der TEOAE-Messung bei allen Katzen der Gruppe I mit einer Latenzzeit von 1,5 ms und 3,5 ms. Bei einer Latenzzeit von 3,5 ms lag der Korrelationskoeffizient in 34 Ohren (47%) bei Werten über 60%, der Störabstand erreichte in 35 Ohren (48%) den für den Nachweis einer OAE erforderlichen Grenzwert von 6 dB. Nach Verkürzung der Latenzzeit auf 1,5 ms wiesen 64 Ohren (88%) einen Korrelationskoeffizienten über 60% auf. Der Störabstand lag bei 62 Ohren (85%) bei mindestens 6 dB.

Tabelle 6: Korrelationskoeffizient und Störabstand bei einer Latenzzeit von 3,5 ms und 1,5 ms / Gruppe I

| Nr. | Seite | Korrelation (%) | | Störabstand (dB) | |
|-----|-------|-----------------|--------|------------------|--------|
| | | 3,5 ms | 1,5 ms | 3,5 ms | 1,5 ms |
| 1 | re | 16 | 67 | -1 | 2 |
| 2 | li | 29 | 77 | 0 | 7 |
| 4 | re | 12 | 64 | 0 | 11 |
| 5 | re | 67 | 96 | 7 | 17 |
| 6 | re | 55 | 85 | 2 | 13 |
| 8 | re | 78 | 96 | 5 | 14 |
| 9 | re | -17 | 4 | -1 | 0 |
| | li | -11 | -12 | -1 | 2 |
| 10 | re | 22 | 69 | 0 | 5 |
| | li | 14 | 68 | 0 | 3 |
| 11 | re | 33 | 80 | 1 | 7 |
| 12 | re | 38 | 46 | -1 | 7 |
| | li | 80 | 93 | 7 | 15 |
| 13 | re | 57 | 95 | 4 | 15 |
| | li | 41 | 95 | 3 | 12 |
| 14 | re | 94 | 98 | 13 | 15 |
| | li | 95 | 99 | 16 | 22 |
| 15 | re | -31 | -13 | -1 | 0 |
| | li | -8 | 3 | 0 | 3 |

| | | | | | |
|-----------|-----------|----|----|----|----|
| 16 | re | 68 | 97 | 6 | 18 |
| | li | 26 | 81 | 4 | 10 |
| 17 | re | 55 | 98 | 5 | 19 |
| | li | 81 | 98 | 9 | 23 |
| 18 | re | 40 | 95 | 4 | 14 |
| | li | 15 | 79 | 1 | 9 |
| 19 | re | 37 | 91 | 1 | 15 |
| 20 | re | 58 | 97 | 12 | 17 |
| 21 | re | 3 | 69 | -1 | 8 |
| 22 | re | 66 | 97 | 7 | 21 |
| | li | 35 | 55 | -2 | 1 |
| 23 | re | 26 | 82 | 1 | 8 |
| | li | 20 | 46 | -1 | 6 |
| 24 | re | 78 | 98 | 12 | 19 |
| | li | 66 | 98 | 9 | 21 |
| 25 | re | 67 | 96 | 6 | 16 |
| | li | 57 | 95 | 7 | 13 |
| 26 | re | 96 | 99 | 15 | 21 |
| | li | 78 | 99 | 10 | 17 |
| 27 | re | 68 | 95 | 8 | 15 |
| 28 | re | 78 | 94 | 7 | 14 |
| | li | 17 | 22 | 0 | 5 |
| 31 | re | 64 | 94 | 6 | 14 |
| | li | 72 | 95 | 9 | 15 |
| 32 | re | 4 | 90 | 1 | 14 |
| | li | 29 | 91 | 4 | 13 |
| 33 | re | 72 | 98 | 10 | 19 |
| | li | 39 | 93 | 3 | 15 |
| 34 | re | 71 | 95 | 4 | 11 |
| | li | 36 | 93 | 8 | 14 |

| | | | | | |
|-----------|-----------|----|----|----|----|
| 35 | re | 95 | 97 | 13 | 15 |
| | li | 88 | 95 | 11 | 14 |
| 36 | re | 76 | 98 | 10 | 21 |
| 37 | re | 77 | 97 | 8 | 20 |
| 38 | re | 3 | 79 | 2 | 12 |
| | li | -4 | 74 | 0 | 10 |
| 39 | re | 25 | 37 | -2 | 0 |
| | li | -2 | 61 | 1 | 7 |
| 40 | re | 74 | 98 | 9 | 18 |
| | li | 59 | 97 | 10 | 20 |
| 41 | re | 67 | 97 | 9 | 21 |
| | li | 63 | 96 | 7 | 18 |
| 42 | re | 50 | 86 | 0 | 5 |
| | li | 60 | 95 | 8 | 11 |
| 44 | re | 92 | 99 | 15 | 24 |
| | li | 88 | 98 | 11 | 21 |
| 45 | re | 92 | 99 | 14 | 25 |
| | li | 93 | 99 | 16 | 21 |
| 47 | re | 17 | 84 | 0 | 13 |
| | li | 23 | 64 | 0 | 7 |
| 49 | re | 51 | 93 | 5 | 16 |
| | li | 70 | 97 | 6 | 18 |
| 50 | re | 82 | 98 | 12 | 21 |
| | li | 74 | 95 | 5 | 15 |

Legende:

ms: Millisekunden; dB: Dezibel; re: rechtes Ohr; li: linkes Ohr

Die Abbildung 19 zeigt als Beispiel das Messergebnis der Katze Nr. 16 mit einer Latenzzeit von 1,5 ms. Die Grafiken Stimulus und Stimulusspektrum zeigen den zeitlichen Verlauf des Stimulus und das Spektrum des Stimulus im Gehörgang. Im Fenster TEOAE-Zeitantwort ist der Verlauf der Antwort zu erkennen: Zu Beginn der Antwort finden sich die hochfrequenten Anteile, später folgen die Anteile niedrigerer Frequenz. Das Fenster TEOAE-Spektrum verdeutlicht das Frequenzspektrum der TEOAE. Zusätzlich zur grafischen Darstellung sind die Ergebnisse und die Angaben des Stimuluspegels, der Störschwelle und der akzeptierten und verworfenen Sweeps abzulesen.

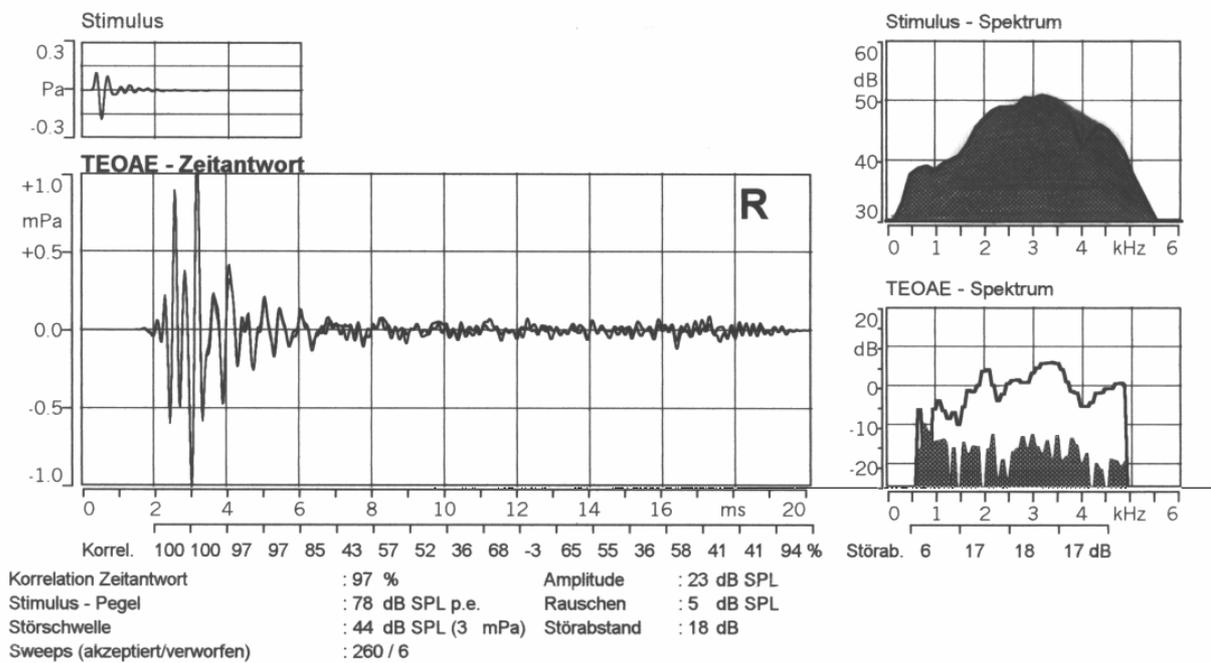


Abbildung 19: Ergebnis der TEOAE-Messung bei der Katze Nr. 16 mit einer Latenzzeit von 1,5 ms

In der Tabelle 7 ist der Vergleich der Minimal- und Maximalwerte und des Mittelwertes mit Standardabweichung des Korrelationskoeffizienten und des Störabstandes bei einer Latenzzeit von 3,5 ms und 1,5 ms dargestellt.

Tabelle 7: Minimum, Maximum, Mittelwert und Standardabweichung des Korrelationskoeffizienten und Störabstandes bei einer Latenzzeit von 3,5 ms und 1,5 ms / Gruppe I

| | n | Minimum | Maximum | MW | SD |
|--|----------|----------------|----------------|-----------|-----------|
| Korrelation (%) bei 3,5 ms | 73 | -31 | 96 | 49,3 | 31,7 |
| Korrelation (%) bei 1,5 ms | 73 | -13 | 99 | 81,8 | 26,4 |
| Störabstand (dB) bei 3,5 ms | 73 | -2 | 16 | 5,3 | 5,0 |
| Störabstand (dB) bei 1,5 ms | 73 | 0 | 25 | 13,3 | 6,4 |

Legende:

ms: Millisekunden; dB: Dezibel; n: Anzahl der Messergebnisse; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung

Die Amplituden der gemessenen Antworten sind in der Tabelle 25 im Anhang ersichtlich. Sie lagen bei einer Latenzzeit von 1,5 ms zwischen 11 und 31 dB SPL. Der Mittelwert betrug 20,6 dB SPL \pm 5,0.

4.1.1.1.1. Dauer der Emission

Zur Feststellung der Emissionsdauer wurde die Zeit gewertet, bis der Korrelationskoeffizient auf einen Wert <60% sank. Die Emissionsdauer jedes untersuchten Ohres der Katzen der Gruppe I ist in der Tabelle 26 im Anhang aufgeführt. Bei einer Latenzzeit von 1,5 ms dauerte die Emission zwischen 0 und 15 ms, der Mittelwert lag bei 7,0 ms \pm 2,9.

4.1.1.2. Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

Bei 13 Messungen wurde ein Messdurchgang nach einer Zeitspanne zwischen zwei und 20 Minuten wiederholt, um die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zu untersuchen. Für die Auswertung wurden die Messergebnisse mit einer Latenzzeit von 1,5 ms verwendet.

In der Tabelle 8 sind der Korrelationskoeffizient und der Störabstand mit dem Mittelwert und der Standardabweichung bei jeweils zwei Messungen an demselben Katzenohr mit einem Zeitabstand zwischen 2 und 20 min dargestellt.

Die statistische Auswertung ergab, dass die Korrelation des Bewertungsparameters Korrelationskoeffizient zwischen beiden Messungen an demselben Ohr 0,8 betrug, bezüglich des Bewertungsparameters Störabstand lag sie bei 0,93.

Tabelle 8: Korrelationskoeffizient und Störabstand mit Mittelwert und Standardabweichung bei zwei Messungen mit Zeitabstand / Gruppe I

| Nr. | Seite | Korrelation (%) | Störabstand (dB) | Zeitabstand (min) | Korrelation (%) | Störabstand (dB) |
|-----|-------|-----------------|------------------|-------------------|-----------------|------------------|
| 8 | re | 96 | 15 | 2 | 96 | 14 |
| 18 | re | 95 | 14 | 20 | 93 | 15 |
| 31 | re | 94 | 14 | 4 | 91 | 11 |
| | li | 97 | 16 | 4 | 95 | 15 |
| 33 | li | 89 | 12 | 4 | 93 | 15 |
| 36 | re | 98 | 21 | 5 | 98 | 19 |
| 41 | li | 96 | 18 | 8 | 96 | 18 |
| 42 | li | 95 | 11 | 14 | 95 | 11 |
| 44 | re | 99 | 24 | 2 | 99 | 22 |
| | li | 98 | 21 | 2 | 98 | 21 |
| 45 | re | 99 | 25 | 18 | 99 | 25 |
| 49 | re | 93 | 16 | 4 | 94 | 17 |
| 50 | li | 95 | 15 | 7 | 95 | 16 |
| MW | | 95,7 | 17,1 | | 95,5 | 16,9 |
| SD | | 2,6 | 4,3 | | 2,4 | 4,0 |

Legende:

dB: Dezibel; min: Minuten; re: rechtes Ohr; li: linkes Ohr; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung

4.1.1.3. Einfluss der Lagerung der Katzen auf TEOAE

Bei neun Katzen wurde neben der Messung in Seitenlage noch eine Messung in Bauchlage an demselben Ohr mit einem Zeitabstand von 2 bis 20 Minuten durchgeführt. Für die vergleichende Darstellung der Messergebnisse in der Tabelle 9 wurde die Einstellung der Latenzzeit von 1,5 ms verwendet.

Die statistische Auswertung der Ergebnisse des Korrelationskoeffizienten in Seiten- und Bauchlage ergab eine Korrelation 0,81. Die Korrelation zwischen den Ergebnissen bezüglich des Bewertungsparameters Störabstand betrug 0,9.

Tabelle 9: Vergleich von Korrelationskoeffizient und Störabstand in Seiten- und Bauchlage / Gruppe I

| Nr. | Korrelation (%) | | Störabstand (dB) | |
|-----------|-----------------|-----------|------------------|-----------|
| | Seitenlage | Bauchlage | Seitenlage | Bauchlage |
| 10 | 50 | 75 | 1 | 6 |
| 11 | 80 | 73 | 7 | 6 |
| 13 | 95 | 87 | 15 | 12 |
| 14 | 98 | 98 | 15 | 16 |
| 18 | 95 | 96 | 13 | 12 |
| 22 | 97 | 98 | 21 | 23 |
| 24 | 98 | 97 | 19 | 21 |
| 25 | 96 | 93 | 16 | 15 |
| 40 | 97 | 92 | 20 | 16 |
| MW | 89,6 | 89,9 | 14,1 | 14,1 |
| SD | 15,0 | 9,1 | 6,1 | 5,5 |

Legende:

Nr.: Nummer; dB: Dezibel; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung

4.1.2. Untersuchungsergebnisse bei klinisch auffälligen Katzen

Die Ohren der sechs klinisch auffälligen Katzen wurden auf die in Kapitel 3.2.3.2. beschriebene Weise auf das Vorhandensein von transitorisch evozierten otoakustischen Emissionen untersucht. Die Ergebnisse der Messungen werden anhand des TEOAE-Zeitfensters mit den Angaben des Korrelationskoeffizienten und des Störabstandes bei einer Latenzzeit-Einstellung von 1,5 ms dargestellt.

Die Stimuluspegel lagen im Bereich von 77 bis 80 dB SPL. Die Messzeit betrug zwischen 41 und 47 Sekunden. Die Anzahl der verworfenen Messungen lag zwischen 4 und 23.

4.1.2.1. Nachweis von TEOAE bei klinisch auffälligen Katzen

In der Tabelle 10 sind der Korrelationskoeffizient und der Störabstand der Ergebnisse der TEOAE-Messung bei den sechs Katzen der Gruppe II dargestellt. Bei keiner Katze wies der Korrelationskoeffizient Werte über 60% auf. Der Störabstand lag bei allen Katzen unter dem Grenzwert von 6 dB.

Tabelle 10: Korrelationskoeffizient und Störabstand bei einer Latenzzeit von 1,5 ms / Gruppe II

| Nr. | Seite | Korrelation (%) | Störabstand (dB) |
|-----|-------|-----------------|------------------|
| 3 | re | -23 | 2 |
| | li | 17 | 0 |
| 7 | re | 16 | 0 |
| | li | 24 | -1 |
| 29 | re | -9 | 1 |
| | li | 49 | 4 |
| 30 | re | 21 | 2 |
| | li | 11 | 1 |
| 43 | re | 19 | 2 |
| | li | 20 | 0 |
| 51 | re | -2 | 3 |
| | li | 10 | 5 |

Legende:

dB: Dezibel; ms: Millisekunden; re: rechtes Ohr; li: linkes Ohr

In der Tabelle 11 sind die Minimal- und Maximalwerte sowie die Mittelwerte mit Standardabweichung des Korrelationskoeffizienten und des Störabstandes bei einer Latenzzeit von 1,5 ms aufgeführt.

Tabelle 11: Minimal-, Maximalwerte, Mittelwert und Standardabweichung von Korrelationskoeffizient und Störabstand bei einer Latenzzeit von 1,5 ms / Gruppe II

| | n | Minimum | Maximum | MW | SD |
|-------------------------|----------|----------------|----------------|-----------|-----------|
| Korrelation (%) | 12 | -23 | 49 | 12,8 | 17,3 |
| Störabstand (dB) | 12 | -1 | 5 | 1,6 | 1,7 |

Legende:

dB: Dezibel; n: Anzahl; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung

4.1.3. Untersuchungsergebnisse bei Katzen post mortem

An den beiden euthanasierten Katzen der Gruppe III wurden in jeweils einem Ohr die transitorisch evozierten otoakustischen Emissionen gemessen. Die Ergebnisse der Messungen werden anhand des TEOAE-Zeitfensters mit den Angaben des Korrelationskoeffizienten und des Störabstandes bei einer Latenzzeit von 1,5 ms dargestellt.

Die Pegel der Stimuli lagen zwischen 77 und 81 dB SPL. Zwischen 2 und 47 Messdurchgänge wurden aufgrund zu lauter Störgeräusche verworfen

4.1.3.1. Nachweis von TEOAE bei Katzen post mortem

In der Tabelle 12 sind der Korrelationskoeffizient und der Störabstand der TEOAE-Messungen bei den beiden Katzen der Gruppe III aufgeführt. Zusätzlich wird die Zeit angegeben, die nach der Euthanasie vergangen ist.

Sowohl der Korrelationskoeffizient als auch der Störabstand lagen bei beiden Katzen bei allen Messungen nach dem Exitus unter den für den Nachweis der TEOAE erforderlichen Grenzwerten.

Tabelle 12: Korrelationskoeffizient, Störabstand und Zeitabstand nach Exitus / Gruppe III

| Nr. | Seite | Zeit nach Exitus (min) | Korrelation (%) | Störabstand (dB) |
|-----|-------|------------------------|-----------------|------------------|
| 46 | re | 2 | 10 | 2 |
| | | 10 | -5 | 4 |
| | | 30 | -12 | 0 |
| 48 | re | 15 | 35 | 5 |
| | | 20 | 27 | 3 |
| | | 25 | 12 | 3 |

Legende:

min: Minuten; dB: Dezibel; re: rechtes Ohr

4.2. Untersuchungsergebnisse der DPOAE-Messung

Alle 51 Katzen dieser Studie wurden ein- oder beidseitig auf das Vorhandensein von Distorsionsprodukten otoakustischer Emissionen untersucht.

4.2.1. Untersuchungsergebnisse bei klinisch unauffälligen Katzen

An den 43 Katzen der Gruppe I wurde das Vorhandensein der DPOAE in einem Frequenzbereich zwischen 1 und 6 kHz untersucht.

Die Ergebnisse der gemessenen Antwort werden anhand des Signal-Rausch-Abstandes und der Amplitude der Emission für jede der neun getesteten Frequenzen beurteilt.

Die Pegel der Primärtöne lagen im Durchschnitt bei 68,8 dB SPL \pm 3,6.

4.2.1.1. Nachweis von DPOAE bei klinisch unauffälligen Katzen

Bei 29 Katzen der Gruppe I wurde die DPOAE-Messung in beiden Ohren durchgeführt, bei 14 Katzen in einem Ohr. Daraus ergibt sich eine Anzahl von 72 getesteten Ohren. Die

Messergebnisse der Amplitude und des Störabstandes aller Katzen sind in den Tabellen 27 und 28 im Anhang aufgeführt.

Als DPOAE in der jeweiligen getesteten Frequenz wurde eine Antwort mit einem Störabstand von mindestens 6 dB gewertet. Die Anzahl der Ohren, bei denen in 0 bis 9 der getesteten Frequenzen eine Emission nachweisbar war, sind in Tabelle 13 aufgeführt.

Tabelle 13: Anzahl der Ohren, die bei 0 bis 9 Frequenzen Emissionen aufwiesen

| | Anzahl der positiv getesteten Frequenzen | | | | | | | | | |
|---------------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Anzahl Ohren | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 7 | 55 |

Die Abbildung 20 zeigt als Beispiel das ausgedruckte Messergebnis der Katze Nr. 5. Im DP-Gramm sind die durch Linien verbundenen Punkte der Messergebnisse der einzelnen Frequenzen zu erkennen. Sie liegen in allen getesteten Frequenzbereichen deutlich über dem als dunkle Fläche gekennzeichneten Rauschen. In der Tabelle unterhalb des DP-Gramms sind die Werte der Amplitude der gemessenen Emission und des Signal-Rausch-Abstandes abzulesen. In diesem Ohr sind DPOAE nachweisbar.

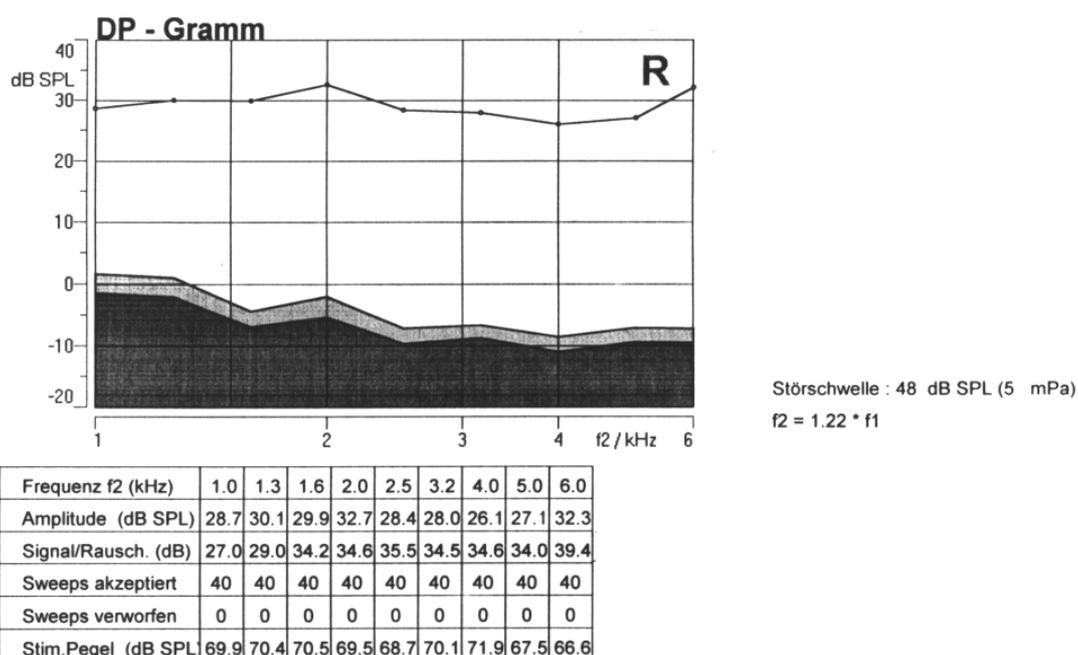


Abbildung 20: Ergebnis der DPOAE-Messung der Katze Nr. 5

Die Minimal- und Maximalwerte und den Mittelwert des Störabstandes bei den jeweiligen getesteten Frequenzen zeigt die Tabelle 14.

Tabelle 14: Minimal-, Maximal- und Mittelwerte des Störabstandes bei den einzelnen Frequenzen / Gruppe I

| | Frequenz f_2 (kHz) | | | | | | | | |
|------------|----------------------|-------|------|-------|-------|------|------|------|-------|
| | 1 | 1.3 | 1.6 | 2 | 2.5 | 3.2 | 4 | 5 | 6 |
| n | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| Min | -10,6 | -18,9 | -5,6 | -11,2 | -10,5 | -5,2 | -3,5 | -3,8 | -12,2 |
| Max | 31,1 | 38,2 | 44,4 | 44,6 | 48,1 | 46,2 | 49 | 47,7 | 54,1 |
| MW | 14,9 | 16,8 | 26,8 | 27,1 | 30,3 | 29,3 | 31,7 | 29,3 | 36,5 |
| SD | 10,4 | 13,1 | 13,1 | 13,5 | 12,3 | 11,9 | 12,5 | 12,1 | 13,8 |

Legende:

n: Anzahl der gemessenen Ohren; Min: Minimum; Max: Maximum; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung

Die Minimal- und Maximalwerte und der Mittelwert der DPOAE-Amplituden in dB SPL bei den jeweiligen getesteten Frequenzen sind in Tabelle 15 aufgeführt.

Tabelle 15: Minimal-, Maximal- und Mittelwerte der Amplituden in dB SPL bei den einzelnen Frequenzen / Gruppe I

| | Frequenz f_2 (kHz) | | | | | | | | |
|-----------------|----------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| | 1 | 1.3 | 1.6 | 2 | 2.5 | 3.2 | 4 | 5 | 6 |
| n | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| Min (dB) | -9 | -11,1 | -9,9 | -14,5 | -15,5 | -12,9 | -10,3 | -8,2 | -16,9 |
| Max (dB) | 34,2 | 34,9 | 37,4 | 38,3 | 37,4 | 40,6 | 44,1 | 45,9 | 47,7 |
| MW | 17,3 | 20,1 | 22,3 | 22,6 | 22,3 | 22,4 | 25,6 | 26,8 | 31,9 |
| SD | 10,6 | 11,3 | 11,4 | 12,8 | 11,8 | 11,7 | 11,9 | 11,4 | 13,3 |

Legende:

n: Anzahl der gemessenen Ohren; dB: Dezibel; Min: Minimum; Max: Maximum; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung

Die Tabelle 16 zeigt die Anzahl der Ohren, die bei der dargestellten Frequenz f_2 den höchsten Störabstand bzw. die höchste Amplitude aufwiesen.

Tabelle 16: Anzahl der Ohren, bei denen der höchste Störabstand und die höchste Amplitude bei der dargestellten Frequenz gemessen wurden / Gruppe I

| | Frequenz f_2 (kHz) | | | | | | | | |
|--|----------------------|-----|-----|---|-----|-----|---|---|----|
| | 1 | 1.3 | 1.6 | 2 | 2.5 | 3.2 | 4 | 5 | 6 |
| Anzahl der Ohren mit höchstem Störabstand | 0 | 1 | 0 | 2 | 5 | 5 | 9 | 7 | 45 |
| Anzahl der Ohren mit höchster Amplitude | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | 8 | 7 | 43 |

Legende:

kHz: Kilohertz

4.2.2. Untersuchungsergebnisse bei klinisch auffälligen Katzen

Alle 12 Ohren der sechs klinisch auffälligen Katzen wurden auf die in Kapitel 3.3.3.2. beschriebene Weise auf das Vorhandensein von DPOAE untersucht.

Die Ergebnisse der gemessenen Antwort werden anhand des bei neun Frequenzen zwischen 1 und 6 kHz gemessenen Parameters Störabstand dargestellt.

Die Stimuluspegel der beiden Primärtöne lagen im Durchschnitt bei 67,3 dB SPL \pm 5,0.

4.2.2.1. Nachweis von DPOAE bei klinisch auffälligen Katzen

Die Messergebnisse der Katzen der Gruppe II sind in der Tabelle 26 im Anhang aufgeführt.

Lag der Störabstand bei einer Frequenz bei mindestens 6 dB, wurde die gemessene Antwort in diesem Frequenzbereich als Emission gewertet. Die Tabelle 17 zeigt die Anzahl der Ohren, bei der in 0 bis 9 der getesteten Frequenzen Emissionen nachzuweisen waren.

Tabelle 17: Anzahl der Ohren, die bei 0 bis 9 Frequenzen Emissionen aufwiesen / Gruppe I

| | Anzahl der positiv getesteten Frequenzen | | | | | | | | | |
|---------------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Anzahl Ohren | 9 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Die Minimal-, Maximal- und Mittelwerte des Störabstandes und der Amplitude der Distorsionsprodukte der einzelnen Frequenzen sind in Tabelle 18 und 19 aufgeführt:

Tabelle 18: Minimal-, Maximal-, und Mittelwerte und Standardabweichung des Störabstandes bei den einzelnen Frequenzen / Gruppe I

| | Frequenz f_2 (kHz) | | | | | | | | |
|------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|
| | 1 | 1.3 | 1.6 | 2 | 2.5 | 3.2 | 4 | 5 | 6 |
| n | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Min | -10,6 | -18,9 | -5,6 | -11,2 | -10,5 | -5,2 | -3,5 | -3,8 | -12,2 |
| Max | 31,1 | 38,2 | 44,4 | 44,6 | 48,1 | 46,2 | 49 | 47,7 | 52,8 |
| MW | -3,66 | -7,28 | -3,66 | -3,73 | -0,15 | 0,39 | -0,54 | 0,98 | 4,7 |
| SD | 7,82 | 10,91 | 14,03 | 10,95 | 11,86 | 10,9 | 10,9 | 8,15 | 12,36 |

Legende:

n: Anzahl der gemessenen Ohren; Min: Minimum; Max: Maximum; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung

Tabelle 19: Minimal-, Maximal-, und Mittelwerte der Amplitude bei den einzelnen Frequenzen / Gruppe I

| | Frequenz f_2 (kHz) | | | | | | | | |
|------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 1.3 | 1.6 | 2 | 2.5 | 3.2 | 4 | 5 | 6 |
| n | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Min | -9,9 | -25,4 | -17,8 | -20,7 | -16,6 | -20,9 | -21,7 | -17,9 | -16,8 |
| Max | 23,1 | 26,6 | 28,3 | 17,5 | 25,7 | 27,6 | 24,4 | 26,8 | 34 |
| MW | 3,0 | -3,3 | -5,8 | -5,2 | -6,4 | -6,9 | -5,1 | -0,5 | -0,9 |
| SD | 9,5 | 11,1 | 11,3 | 8,9 | 10,8 | 11,4 | 11,4 | 10,3 | 13,0 |

Legende:

n: Anzahl der gemessenen Ohren; Min: Minimum; Max: Maximum; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung

4.2.3. Untersuchungsergebnisse bei Katzen post mortem

Bei den beiden euthanasierten Katzen der Gruppe III wurde jeweils ein Ohr auf DPOAE untersucht. Die Ergebnisse der Messung werden anhand des Störabstandes des DP bei den einzelnen Frequenzen dargestellt.

4.2.3.1. Nachweis von DPOAE bei Katzen post mortem

Die Tabellen 20 und 21 zeigen die Messergebnisse der Katzen Nr. 46 und 48 dreißig bzw. zwanzig Minuten nach dem Exitus.

Tabelle 20: Störabstand und Amplitude bei den einzelnen Frequenzen / Katze Nr. 46

| | Frequenz f_2 (kHz) | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 1 | 1.3 | 1.6 | 2 | 2.5 | 3.2 | 4 | 5 | 6 |
| Störabst. (dB) | -3,2 | -11,7 | -2,1 | -0,3 | -0,6 | -0,7 | -5,0 | -1,4 | -10,0 |
| Ampl. (dB) | 0,1 | 1,0 | -3,8 | -2,6 | -3,9 | -9,7 | -7,2 | 2,4 | -9,2 |

Legende:

kHz: Kilohertz; Störabst.: Störabstand ; dB: Dezibel ; Ampl.: Amplitude

Tabelle 21: Störabstand und Amplitude bei den einzelnen Frequenzen / Katze Nr. 48

| | Frequenz f_2 (kHz) | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------|-------|-----|------|------|-----|-------|-----|------|
| | 1 | 1.3 | 1.6 | 2 | 2.5 | 3.2 | 4 | 5 | 6 |
| Störabst. (dB) | -3 | -13,5 | 2,5 | -4,4 | -0,4 | 5,6 | -8 | 2,3 | 21,1 |
| Ampl. (dB) | -4,6 | -3,4 | -5 | -7,8 | -8,6 | -5 | -10,9 | 0,6 | 17,6 |

Legende:

kHz: Kilohertz; Störabst.: Störabstand ; dB: Dezibel ; Ampl.: Amplitude

5. DISKUSSION

In der tierärztlichen Praxis sind die Möglichkeiten einer genauen Diagnose von Schwerhörigkeit und Taubheit bei Tieren zurzeit auf subjektive Untersuchungsmethoden und die Ableitung von BAEP beschränkt. Die Durchführung des in der Humanmedizin üblichen Audiogrammes ist in der Tiermedizin unmöglich.

Die Ableitung akustisch evozierter Potentiale ermöglicht eine objektive Überprüfung der Gehörfunktion: Können keine BAEP abgeleitet werden, lässt das auf eine Funktionsstörung im Bereich des Gehörnerven oder distal von diesem schließen. Eine genauere Aussage über den Ort des Funktionsausfalles lässt sich jedoch nicht machen (ERNST, 1997).

Zahlreiche veröffentlichte Studien zeigen, dass die Ableitung von BAEP weltweit zur Diagnose von Schwerhörigkeit und Taubheit bei Hunden eingesetzt wird: 2003 veröffentlichten JURASCHKO et al. eine Studie über angeborene Taubheit bei Dalmatinern, in der das Hörvermögen von 1899 Hunden mittels Ableitung von BAEP beurteilt wurde. Eine ähnliche Studie führten FAMULA et al. (2001) in den USA in einem Zeitraum von 1984 bis 1998 an 3101 Dalmatinern durch. Einen Zusammenhang zwischen fehlenden BAER und dem Auftreten von Gehirntumoren und deren Lokalisation verdeutlichten FISCHER et al. (1994) in einer Studie an 26 Hunden. Auch zum Nachweis einer Ototoxizität von Pharmaka wurde die Ableitung BAEP herangezogen (PICKRELL, 1993).

Der Deutsche Edelkatzen Züchterverband hat in seiner Satzung festgelegt, dass eine genetisch bedingte Taubheit bei weissen Zuchtkatzen und Zuchtkatern durch die Messung akustisch evozierter Potentiale entsprechend der Standardisierung des 1. DEKZV e.V. vor dem Zuchteinsatz ausgeschlossen werden muss.

Durch die Messung evozierten OAE ist beim Menschen innerhalb kurzer Zeit ein Überblick über die Funktionsfähigkeit der gesamten Cochlea oder einzelner Frequenzbereiche zu gewinnen, ohne dass eine Kooperation des Patienten nötig ist. Aufgrund dieser Vorteile, die den Einsatz der OAE-Messung in der Neonatologie und Pädiatrie ermöglichen, entstand die Idee, die Einsatzmöglichkeit der OAE-Messung für die tiermedizinische Diagnostik zu untersuchen. Der Einsatz der Messung EOAE würde eine objektive Überprüfung der Innenohrfunktion zur Diagnostik und Lokalisierung von Hörstörungen ermöglichen.

Die in der Literatur zu findenden OAE-Messungen an Meerschweinchen (UEDA et al., 1992; HOSHINO et al., 1999; SOCKALINGAM et al., 2000), Ratten (HATZOPOULOS et al., 1999; SOCKALINGAM et al., 2000), Kaninchen (LONSBURY-MARTIN et al., 1987), Chinchillas (HAMERNIK et al., 1998), Vögeln (KETTEMBEIL et al., 1995), Katzen (IWASAKI et al., 1998; WILSON, 1980) und Hunden (SOCKALINGAM et al., 1998, 2002) beschränken sich auf Versuche zum Zweck der humanmedizinischen Forschung.

Um die klinische Anwendbarkeit dieser Methode für die Tiermedizin zu beurteilen, wurden in einer Feldstudie 51 zufällig ausgewählte Katzen auf das Vorhandensein und die Nachweismöglichkeit evozierter OAE untersucht. Dafür wurde zum einen an allen Katzen die OAE-Messung durchgeführt. Zusätzlich wurde an mehreren Tieren die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse untersucht, um das Auftreten der evozierten OAE zu bestätigen. Außerdem wurde ein möglicher Einfluss der Lagerung der Tiere auf die OAE überprüft.

Da während der Messung eine Minimierung der extrinsischen und intrinsischen Störgeräusche notwendig ist und bereits geringgradige Muskelbewegungen im Kopfbereich zu lauten Störgeräuschen in der Sonde führten, mussten sich die Katzen während der Messungen im Toleranzstadium der Narkose befinden. Die Tiere dieser Studie hatten zum Messzeitpunkt bereits verschiedene Untersuchungen und Operationen hinter sich. Das hatte den Nachteil, dass die Zeit, die für die Durchführung der Messungen zur Verfügung stand, von Tier zu Tier unterschiedlich lang war. So musste anhand des Narkosestadiums entschieden werden, ob die Messung an einem oder an beiden Ohren durchgeführt wurde und ob mehrere Messungen an einem Ohr erfolgen konnten. Es bot sich jedoch andererseits die Möglichkeit, auf diese Weise im Versuchszeitraum die Messungen an vielen Katzenohren durchzuführen. Die in der Literatur beschriebenen Untersuchungen erfolgten hingegen ausschließlich an Tieren, die speziell für die Studien anästhesiert worden waren (LONSBURY-MARTIN et al., 1987; SOCKALINGAM et al., 1998 und 2000; IWASAKI et al., 1998; HOSHINO et al., 1999).

Die Ergebnisse der Messungen, die Nachweismöglichkeit funktionsbeeinträchtigter Ohren und die Einsatzmöglichkeiten dieser Methode in der tiermedizinischen Diagnostik sollen in diesem Kapitel diskutiert werden.

5.1. Einteilung der Katzen

Die zur Verfügung stehenden Katzen wurden nach einer Voruntersuchung in drei verschiedene Gruppen eingeteilt. Zur Voruntersuchung gehörten die Anamnese mit Fragen nach Auffälligkeiten bezüglich der Gehörfunktion der Katze, die Allgemeinuntersuchung, in deren Verlauf auf die Reaktionen der Katze auf Geräusche geachtet wurde, und die Otoskopie, die eine Adspektion des äußeren Gehörganges und des Trommelfelles ermöglichte. Da es sich bei den Katzen Nr. 1, 2, 5, 15, 19 und 21 um frei lebende Katzen handelte, die zur Kastration eingefangen worden waren, entfielen bei diesen Tieren sowohl die Anamnese als auch die Allgemeinuntersuchung, da die Katzen in wachem Zustand nicht anzufassen waren. Die Otoskopie wurde in Narkose durchgeführt.

Ergaben sich nach der Voruntersuchung keine Hinweise auf eine gestörte Gehörfunktion, wurde das Tier als klinisch unauffällig der Gruppe I zugeteilt. 43 der 51 untersuchten Katzen (84%) wurden dieser Gruppe zugeordnet.

Äußerten die Besitzer einen Verdacht auf Schwerhörigkeit oder Taubheit ihrer Katze oder ergaben die Allgemeinuntersuchung oder die Otoskopie einen Befund, wurde diese Katze als klinisch auffällig der Gruppe II zugeordnet. Zu dieser Gruppe gehörten sechs der 51 Tiere (12%). Laut KRAFT et al. (2003) sind Katzen gut dazu in der Lage, eine Schwerhörigkeit oder Taubheit zu kompensieren, so dass eine Einschränkung der Gehörfunktion nicht unbedingt von den Besitzern zu erkennen ist. Die Besitzer der Katzen Nr. 30 und Nr. 51 äußerten die Vermutung, ihre Tiere könnten „schwerhörig“ sein, da sie auf Zuruf und Geräusche teilweise nicht reagierten. Eine völlige Taubheit schlossen sie aus. Die Ergebnisse der Allgemeinuntersuchung und Otoskopie ergaben keinen besonderen Befund. Bei der Katze Nr. 7 war eine Taubheit bekannt und im Verlauf der Allgemeinuntersuchung eindeutig, die Otoskopie war ohne besonderen Befund. Bei der Adspektion des äußeren Gehörganges zeigte sich bei den Katzen Nr. 29 und 43 eine beidseitige hochgradige Otitis externa erythematosa. Die Besitzer der Katze Nr. 43 berichteten von einer jahrelangen erfolglosen Behandlung der Ohren mit verschiedenen Medikamenten bei unterschiedlichen Tierärzten. Bei der Katze Nr. 3 wurde eine hochgradige Otitis externa ceruminosa diagnostiziert. Eine Beeinträchtigung des Gehörs war keinem Besitzer dieser Tiere aufgefallen. Durch eine Otitis externa kann zum einen durch Sekretansammlungen und entzündungsbedingte Schwellungen im äußeren Gehörgang die Übertragung der Schallwellen zum Innenohr und damit die Gehörfunktion

beeinträchtigt sein. Zum anderen kann sich eine Otitis externa zu einer Otitis media entwickeln, die ebenfalls Ursache für eine eingeschränkte Übertragung der Schallwellen sein kann. Eine gestörte Weiterleitung der Schallwellen vom äußeren Ohr zum Innenohr bzw. die der Emissionen vom Innenohr zum äußeren Gehörgang kann ein falsch negatives Ergebnis der EOAE-Messung zur Folge haben. Aus diesem Grund wurden die Katzen mit einer Otitis externa der Gruppe II zugeteilt, obwohl diese Erkrankung keinen direkten Einfluss auf die mittels der EOAE-Messung zu untersuchende Innenohrfunktion hat.

Die Bezeichnungen „klinisch unauffällig“ und „klinisch auffällig“ beziehen sich in dieser Studie ausschließlich auf die Ohren und das Gehör der untersuchten Tiere.

Im Versuchszeitraum ergab sich die Möglichkeit, die Messung von EOAE an zwei toten Tieren durchzuführen, die der Gruppe III zugeteilt wurden. Die beiden Katzen waren aufgrund schwerer Erkrankungen mit infauster Prognose euthanasiert worden. Ihre Voruntersuchungen hatten keinen Verdacht auf eine Funktionsstörung des Gehörs ergeben.

SOCKALINGAM et al. führten in ihren Studien an Hunden (1998 und 2002) vor der EOAE-Messung sowohl eine Otoskopie, als auch eine Tympanometrie und die Ableitung AEP durch, um den Funktionszustand des Gehörs zu überprüfen. Die Ohren, die keine normale Gehörfunktion aufwiesen, wurden keiner EOAE-Messung unterzogen. Andere Autoren (LONSBURY-MARTIN et al., 1987; IWASAKI et al., 1998; HOSHINO et al., 1999) beschränkten ihre Voruntersuchungen auf eine Otoskopie.

5.2. TEOAE

Die Messung transitorisch evozierter otoakustischer Emissionen dient einer Überprüfung der Integrität der Cochlea: Durch einen breitbandigen Stimulus werden die Haarzellen in dem entsprechenden Frequenzbereich der Cochlea erregt und senden eine Antwort aus, die die Frequenzen des Stimulus enthält. Fehlende Emissionen deuten unter Voraussetzung eines funktionsfähigen Mittelohres auf eine eingeschränkte Integrität der Cochlea hin (HAUSER, 1998).

5.2.1. Messparameter und Bewertungskriterien

Ebenso wie die in der Literatur beschriebenen Untersuchungen an Tieren (SOCKALINGAM et al., 1998 und 2002; IWASAKI et al.; 1998) wurde diese Studie mit einem kommerziellen Gerät aus der Humanmedizin durchgeführt. Da beim Menschen OAE im Allgemeinen in einem Frequenzbereich bis 4000 Hz registriert werden können, liegt der Frequenzbereich des verwendeten Stimulus bei 0,5 bis 5 kHz. Das bedeutet, dass mit diesem Stimulus nur der entsprechende Frequenzbereich der Cochlea überprüft wird.

Für einen optimalen SONDENSITZ stehen für die verschiedenen Gehörgangsvolumina bei Neugeborenen, Kindern und Erwachsenen unterschiedlich große Stöpsel zu Verfügung, die über die Gehörgangssonde gestülpt werden. FRESE et al. verdeutlichen in ihrer Studie von 2001 die Wichtigkeit eines guten SONDENSITZES und beschreiben die Möglichkeit der Aufnahme falsch positiver und falsch negativer Befunde bei mangelhaftem SONDENSITZ. In der Literatur über TEOAE-Messungen an Tieren sind keine Hinweise darauf zu finden, dass die Autoren Schwierigkeiten hatten, mittels der für die Humanmedizin zur Verfügung stehenden Geräte einen optimalen SONDENSITZ zu erreichen. Die in der Literatur mehrfach erwähnte, vom Gerät in Prozent angegebene SONDENSTABILITÄT (DELB et al., 1994; DIELER et al., 1999; HAUSER, 1998) zeigt der Echomaster der Firma Hortmann nicht an. Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Studie der SONDENSITZ anhand der Grafiken des Stimulus und des Stimulus-Spektrums beurteilt: Es wurde darauf geachtet, dass der Stimulus wie von FRESE et al. (2001) empfohlen innerhalb einer Millisekunde abklang und das Stimulus-Spektrum möglichst gleichmäßig über den gesamten Frequenzbereich ausgeprägt war. Nach diesen Bewertungskriterien wurde mit Verwendung der kleinsten Stöpsel für Neugeborene und Kinder bei den Katzen dieser Studie ein überwiegend guter SONDENSITZ erreicht.

Für die Einstellung des Stimuluspegels bei TEOAE-Messungen gibt es weder für Menschen noch für Tiere einheitliche Vorgaben. Laut FRESE et al. (2001) haben sich in der Humanmedizin für Erwachsene Pegel zwischen 75 und 85 dB etabliert. Für die Untersuchungen an Tieren finden sich in der Literatur Einstellungen von 30 bis 80 dB SPL (HOSHINO et al., 1999; IWASAKI et al., 1998; SOCKALINGAM et al., 1998 und 2000). In der vorliegenden Studie wurden bei den ersten untersuchten Katzen verschiedene Stimuluslautstärken ausprobiert. Es stellte sich heraus, dass bei einem Stimuluspegel unter 80 dB die Antworten teilweise leiser als das nicht zu vermeidende Grundrauschen waren und das

Stimulusspektrum in der entsprechenden Grafik nicht über den gesamten Frequenzbereich verteilt war. Mit einem Stimuluspegel von 80 dB waren die Antworten deutlich erkennbar und der Stimulus wies das gesamte Frequenzspektrum auf. Weitergehende Versuche zum optimalen Stimuluspegel für click-evozierte OAE bei Tieren wären für einen diagnostischen Einsatz dieser Methode notwendig und könnten gleichzeitig die für OAE typische Nicht-Linearität der gemessenen Antwort untersuchen.

Bezüglich der Bewertungskriterien finden sich ebenfalls keine einheitlichen Vorgaben. Im Allgemeinen werden bei Durchgängen mit guter Messqualität die im TEOAE-Zeitfenster erkennbare Antwort, ihr Frequenzspektrum und die Angaben der Reproduzierbarkeit und des Störabstands beurteilt. Bei der Beurteilung der Reproduzierbarkeit wurde der in der Humanmedizin übliche (HAUSER, 1998; HOTH, 1997) und auch von SOCKALINGAM et al. (1998) angewandte untere Grenzwert von 60% eingesetzt. Für die Beurteilung des Störabstandes existieren keine allgemeingültigen Grenzwerte. Die Autoren verschiedener Studien setzten Werte zwischen 3 dB und 6 dB als untere Grenzwerte fest. In der vorliegenden Studie wurde aufgrund der Empfehlung der Firma Hortmann für das Gerät Echomaster ein unterer Grenzwert von 6 dB für den Nachweis einer OAE angenommen.

5.2.2. Nachweis von TEOAE bei klinisch unauffälligen Katzen

Bei allen klinisch unauffälligen Katzen wurde die TEOAE-Messung durchgeführt. Bei 13 Tieren erfolgte die Messung in einem, bei 30 Tieren in beiden Ohren. Der Stimuluspegel lag im Durchschnitt bei 79,3 dB SPL \pm 1,3. Die Messzeit pro Messdurchgang betrug durchschnittlich 44,6 Sekunden \pm 5,7.

5.2.2.1. Vergleich der Ergebnisse bei verschiedenen Einstellungen der Latenzzeit

Der Stimulus ruft durch Reflexion im Gehörgang ein passives Echo hervor. Um die Aufnahme dieses Echos als otoakustische Emission zu vermeiden, wird die Messung der aktiven Antwort wenige Millisekunden nach dem Stimulus, nach der so genannten

Latenzzeit, gestartet (HOTH, 1997). Diese war auf die vom Hersteller Hortmann für das Gerät und die Messungen beim Menschen empfohlene Latenzzeit von 3,5 ms eingestellt worden. Nachdem bei den ersten zehn Katzen in nur zwei Ohren eindeutige TEOAE nachzuweisen waren, stellte sich die Frage, ob in allen anderen Ohren die Gehörfunktion oder der Nachweis der TEOAE beeinträchtigt war. Da jedoch ersteres unwahrscheinlich war und die Grafiken der TEOAE-Zeitantwort zu Beginn der Messungen Andeutungen einer Emission von tiefer Frequenz und kurzer Dauer zeigten, wurde der Versuch unternommen, durch Verkürzung der Latenzzeit auf 1,5 ms eventuell früher auftretende Emissionen zu registrieren. Da sich die Einstellung der Latenzzeit nach der Messung im Computer verändern lässt, konnten bei allen Katzen nach einmaliger Messung die Ergebnisse mit einer Latenzzeit von 3,5 ms und 1,5 ms verglichen werden.

Die Abbildungen 21 und 22 zeigen die Veränderung der Messergebnisse der Katze Nr.16 durch eine Verkürzung der Latenzzeit. In Abbildung 21 beginnt die TEOAE-Messung 3,5 ms nach dem Stimulus. Die Kurven in der Anzeige der TEOAE-Zeitantwort weisen in den ersten Millisekunden nach Messbeginn eine hohe Reproduzierbarkeit auf, fallen nach sieben Millisekunden stark ab und erreichen eine Gesamtreproduzierbarkeit von 68%. Die Kurven deuten auf eine eher niedrige Frequenz mit kleiner Amplitude hin. Dies bestätigt die Anzeige des TEOAE-Spektrums, in der die Amplitude der gemessenen Antwort nur im Frequenzbereich um 2 kHz über der Amplitude des Störschalles liegt. Im gesamten Messdurchgang beträgt die Amplitude der Emission 11 dB SPL und die Amplitude des Störschalles 5 dB SPL. Damit weist der Störabstand bei dieser Messung 6 dB auf. Anhand der niedrigen Störschwelle und der Grafiken des Stimulus und des Stimulusspektrums ist eine gute Qualität der Messbedingungen zu erkennen. Bei einer Latenzzeit von 3,5 ms sind in diesem Ohr sehr schwache TEOAE niedriger Frequenz vorhanden, die einwandfreie Integrität der Cochlea ist fraglich.

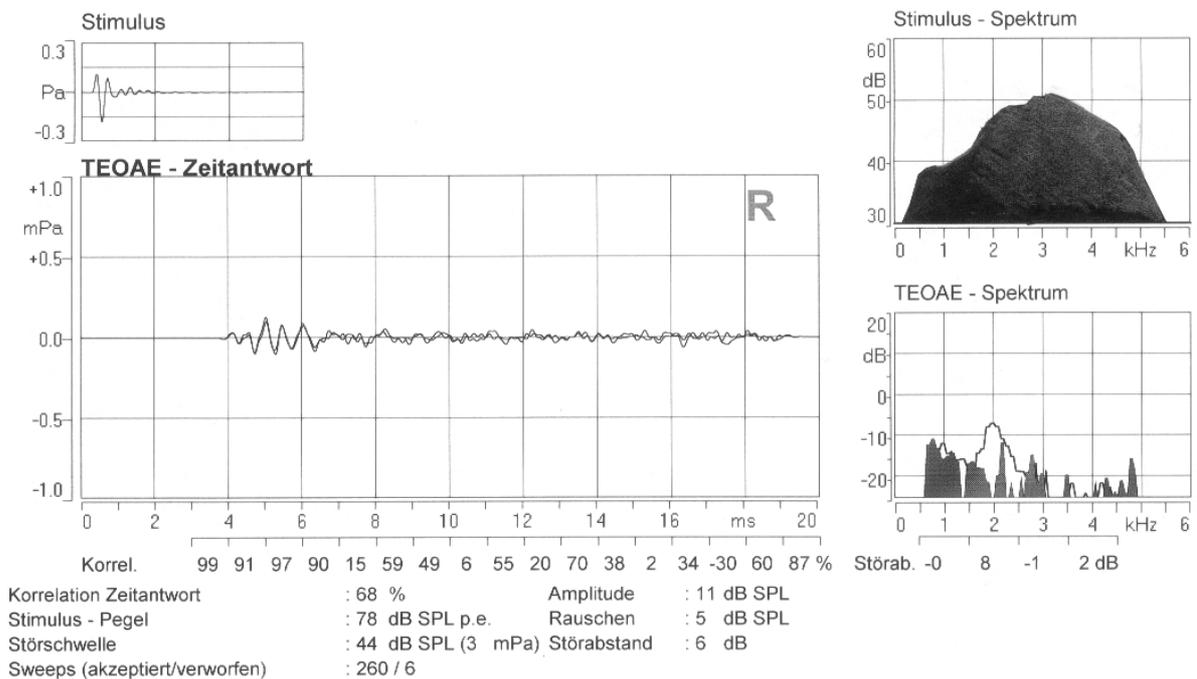


Abbildung 21: Ergebnis der TEOAE-Messung bei der Katze Nr. 16 / Latenzzeit 3,5 ms

Die Abbildung 22 zeigt das Messergebnis der Katze Nr. 16 nach Verkürzung der Latenzzeit: Die hochfrequenten Kurven im Fenster TEOAE-Zeitantwort weisen zu Beginn der Messung eine hohe Reproduzierbarkeit bei sehr hohen Amplituden auf. Die Amplituden der Emissionen in der Anzeige des TEOAE-Spektrums erstrecken sich über den gesamten getesteten Frequenzbereich, sie sind groß und deutlich vom Störschall zu trennen. Die Gesamtproduzierbarkeit der gemessenen Antwort beträgt 97%, ihre Amplitude beträgt 23 dB SPL. Der Störabstand liegt bei 18 dB SPL. Nach Betrachtung aller Bewertungsparameter lässt sich sagen, dass bei einer Latenzzeit von 1,5 ms in diesem Ohr deutliche TEOAE nachzuweisen sind.

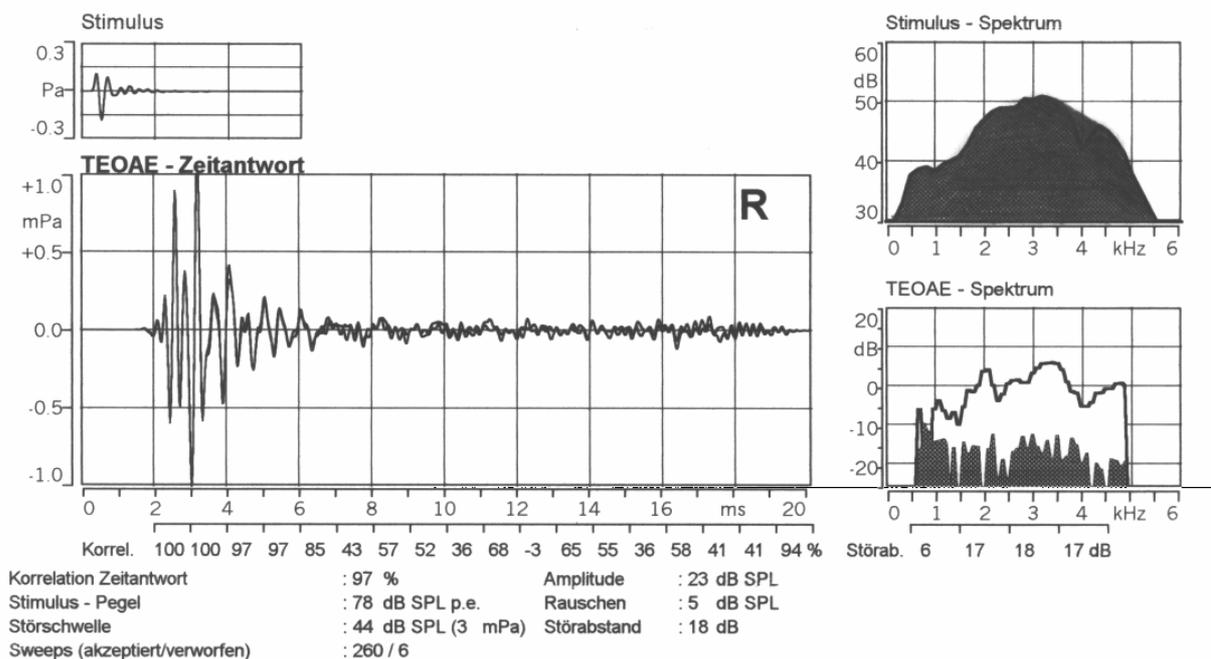


Abbildung 22: Ergebnis der TEOAE-Messung bei der Katze Nr. 16 / Latenzzeit 1,5 ms

Der Vergleich der beiden Ergebnisse zeigt, dass die Emissionen unmittelbar nach dem Stimulus beginnen. Bei einer Latenzzeit von 3,5 ms werden eventuell vorher auftretende Anteile der Emission nicht registriert. Man würde das Hörvermögen des rechten Innenohres bezüglich der Töne hoher Frequenz in Frage stellen, da in der Emission keine hochfrequenten Anteile zu erkennen sind. Nach Verkürzung der Latenzzeit auf 1,5 ms sind die hochfrequenten Anteile nachzuweisen, eine Funktionseinschränkung ist in diesem Ohr nicht zu vermuten.

Um die Veränderung der gesamten Messergebnisse zu verdeutlichen, wurde in der Tabelle 22 die Anzahl der Messergebnisse mit einem Korrelationskoeffizienten unter 60% und mit mindestens 60% bei einer Latenzzeit von 3,5 ms und 1,5 ms dargestellt. Bei einer Latenzzeit von 3,5 ms wiesen 34 Ohren (47%) einen Korrelationskoeffizienten von mindestens 60% auf, in 7 Ohren (10%) lag er bei > 90%. Bei einer Latenzzeit von 1,5 ms erreichten 64 Ohren (88%) den Grenzwert von mindestens 60%, 46 Ohren (63%) wiesen einen Korrelationskoeffizienten von über 90% auf.

Tabelle 22: Vergleich des Korrelationskoeffizienten bei einer Latenzzeit von 3,5 und 1,5 ms / Gruppe I

| | Korrelation (%) | | |
|--|------------------------|----------------|----------------|
| | < 60 | 60 – 90 | > 90 |
| Anzahl der Ohren 3,5 ms | 39 | 27 | 7 |
| Anzahl der Ohren 1,5 ms | 9 | 18 | 46 |

Legende:

ms: Millisekunden

Die Tabelle 23 zeigt den Vergleich des Störabstandes bei den beiden Latenzzeiteinstellungen. Bei einer Latenzzeit von 3,5 ms wiesen 35 Ohren (48%) den für den Nachweis einer otoakustischen Emission erforderlichen Wert von mindestens 6 dB auf. Nach Verkürzung der Latenzzeit auf 1,5 ms stieg die Anzahl der Ohren auf 62 (85%).

Tabelle 23: Vergleich des Störabstandes bei einer Latenzzeit von 3,5 und 1,5 ms / Gruppe I

| | Störabstand (dB) | |
|--|-------------------------|------------|
| | < 6 | ≥ 6 |
| Anzahl der Ohren 3,5 ms | 38 | 35 |
| Anzahl der Ohren 1,5 ms | 11 | 62 |

Legende:

dB: Dezibel; ms: Millisekunden

Der Vergleich der Messergebnisse aller Katzen aus der Gruppe I zeigt eine deutliche Verbesserung nach einer Verkürzung der Latenzzeit. Betrachtet man den Korrelationskoeffizienten als einziges Bewertungskriterium, weisen nach der Verkürzung der Latenzzeit 30 Ohren eine vorher nicht erkennbare Emission auf. Bezüglich des Störabstandes sind es 27 Ohren, die nach einer Verkürzung der Latenzzeit den für den Nachweis einer Emission erforderlichen Grenzwert überschreiten. Der aus allen Messungen gebildete Mittelwert bestätigt dieses Ergebnis: Der Mittelwert des Korrelationskoeffizienten stieg von $49,3\% \pm 31,7$ bei einer Latenzzeit von 3,5 ms auf $81,8\% \pm 26,4$ bei 1,5 ms. Der Mittelwert des Störabstandes erhöhte sich von $5,3 \text{ dB} \pm 5,0$ bei 3,5 ms auf $13,3 \text{ dB} \pm 6,4$ bei 1,5 ms.

Laut HAUSER (1998) treten TEOAE beim Menschen innerhalb von 2,5 bis 20 ms im Gehörgang auf. Bezüglich der Latenzzeit bei Tieren sind in der Literatur sehr wenige Angaben zu finden. In den Untersuchungen an Katzen benutzten WILSON (1980) und IWASAKI et al. (1998) zur Stimulation einen Tone-Burst der Frequenz 1,8 kHz (WILSON, 1980) bzw. 2 kHz (IWASAKI et al., 1998) und konnten 5 bis 12 ms (WILSON, 1980) bzw. 5,53 bis 7,28 ms (IWASAKI et al., 1998) nach dem Stimulus eine Emission nachweisen. Die Stimulation mit einem Tone-Burst ist mit einem breitbandigen Click-Stimulus aus folgendem Grund nicht direkt vergleichbar: Eine Emission enthält bei einem normal hörenden Ohr alle im Stimulus enthaltenen Frequenzen (HAUSER, 1998). Ein Click-Stimulus mit einem Frequenzspektrum von 500 bis 5000 Hz, wie er in den vorliegenden Untersuchungen eingesetzt wurde, erzeugt eine Antwort mit diesem Spektrum. Bei einem Tone-Burst handelt es sich dagegen um einen Stimulus einer Frequenz, dem eine Antwort mit dieser Frequenz folgt. Da sich das Amplitudenmaximum für hohe Frequenzen im basalen Teil der Cochlea befindet, tauchen die hohen Frequenzanteile zu Beginn der Emission auf (HOTH, 1997). Erscheint also die Emission nach einem Stimulus mit der Frequenz 2 kHz nach 5 ms (WILSON, 1980), müssen demzufolge die hochfrequenten Anteile der Antwort auf einen breitbandigen Stimulus bis 5 kHz früher erscheinen. HOSHINO et al. (1999) beschreiben einen Verlauf der TEOAE bei Meerschweinchen innerhalb von 1 bis 6 ms nach dem Stimulus. In den Untersuchungen von SOCKALINGAM et al. (1998) lassen sich die TEOAE bei Hunden innerhalb der ersten 10 ms nach dem Stimulus erkennen. In der vorliegenden Studie dauerte es bei einer Latenzzeit von 1,5 ms zwischen 0 und 15 ms bis die Reproduzierbarkeit einer nachgewiesenen Antwort den Grenzwert von 60% unterschritt. Der

Mittelwert der Verlaufsauer der gemessenen Antworten lag bei $7,0 \text{ ms} \pm 2,9$. Diese Ergebnisse liegen im Bereich der in der Literatur zu findenden Beschreibungen.

Da in der Humanmedizin eine längere Latenzzeit empfohlen wird, um die Wahrscheinlichkeit der Aufnahme des passiven Echos als Emission zu verringern, stellt sich die Frage, ob bei einer Latenzzeit von 1,5 ms tatsächlich eine Emission aufgenommen wurde und nicht nur die Resonanz des Stimulus im Gehörgang. Für das Vorhandensein einer OAE spricht jedoch, dass in den Ohren der klinisch auffälligen und euthanasierten Katzen keine Antworten registriert wurden. Wäre bei den Katzen der Gruppe I ein passives Echo des Stimulus anstelle einer Emission als Antwort aufgezeichnet worden, müsste auch bei den Tieren der Gruppe II eine Antwort nachweisbar gewesen sein.

Der Frequenzverlauf der gemessenen Antworten im TEOAE-Zeitfenster spricht ebenfalls für das Vorhandensein einer OAE: Sind Kurven mit ausreichend hoher Reproduzierbarkeit erkennbar, folgen immer die niedrigfrequenten Anteile denen mit hoher Frequenz. Die Wahrscheinlichkeit, dass Artefakte oder Resonanzen des Stimulus immer die Frequenzfolge mit hohen Frequenzen zu Beginn und tiefen Frequenzen zum Ende aufweisen, ist sicher sehr gering. Außerdem weisen alle Messungen bei Betrachtung der Messqualität einen guten Sondenitz auf, so dass das Vorhandensein so genannter Pseudoemissionen, hervorgerufen durch sonden- oder stimulusbedingte Fehler (FRESE et al., 2001), mit größter Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden können. Ein sicherer Beweis für das Vorhandensein von TEOAE wäre der Nachweis der Nichtlinearität der gemessenen Antwort durch mehrere Messdurchgänge mit unterschiedlichem Stimuluspegel gewesen. Dieses war jedoch aufgrund der zur Verfügung stehenden kurzen Messzeit in der vorliegenden Studie nicht möglich.

Eine Erklärung für das frühe Auftreten der Emissionen findet sich in der Literatur nicht. Möglicherweise ist es im Unterschied der Hörgrenzen bei Menschen und Tieren zu finden: Das Frequenzspektrum des Stimulus reicht von 500 bis 5000 Hz. Beim gesunden Menschen, der Frequenzen im Bereich von 16 bis 20000 Hz hören kann (SILBERNAGEL und DESPOPOULOS, 1991), sind in der Emission vor allem Frequenzanteile im niedrigeren Bereich von 500 bis 3500 Hz nachzuweisen, für Frequenzanteile im höheren Bereich sinkt die Inzidenz (HAUSER, 1998). In einer Studie von DELB et al. (1994) lag die durchschnittliche TEOAE-Amplitude bei Erwachsenen im Frequenzbereich von 900 bis 3000 Hz deutlich höher als im Bereich von 3000 bis 5000 Hz. Der hörbare Frequenzbereich beginnt bei Katzen

laut SCHEUNERT und TRAUTMANN (1987) bei 1000 Hz und kann bis zu 60000 Hz reichen. Das Katzenohr hört also im Vergleich zum menschlichen Ohr höhere Frequenzen. Da die hohen Frequenzanteile der Emission in dem basal gelegenen Bereich der Cochlea entstehen, der die hohen Frequenzanteile des Stimulus verarbeitet, tauchen sie am Anfang der gemessenen Antwort auf. Wenn bei Katzen eher die höheren Frequenzanteile des Stimulus die entsprechenden Haarzellen der Cochlea zur „Antwort“ anregen, müssten die höheren Frequenzanteile entsprechend früh in der Antwort auftauchen.

Darstellungen der TEOAE von Neugeborenen lassen eine gewisse Ähnlichkeit mit den TEOAE bei Tieren erkennen (BÖHME und WELZL-MÜLLER, 1998; HAUSER, 1998): sie zeigen deutlich größere Amplituden und Emissionen in höheren Frequenzbereichen als bei Erwachsenen. HAUSER (1998) erwähnt als mögliche Ursache die bei deutlich höheren Frequenzen liegende Gehörgangsrisonanz und die Wirkung des geringeren Gehörgangsvolumens als eine Art „Kuppler“, der die Übertragung der OAE verbessert. Das geringere Gehörgangsvolumen wird auch als Erklärung für die bei Frauen im Vergleich zu Männern lautereren OAE-Pegel im höheren Frequenzbereich vermutet (DIELER et al., 1999; SHEHATA-DIELER et al., 1999). Da das Gehörgangsvolumen bei Katzen kleiner ist als das eines erwachsenen Menschen, könnte eine vergleichsweise schnellere Übertragung der Emission zusätzlich das frühe Auftreten der TEOAE erklären.

5.2.2.2. Inzidenz der TEOAE

In verschiedenen Studien zeigte sich eine hohe Inzidenz der TEOAE von 98 bis 100% bei normal hörenden Menschen (WAGNER et al., 1999; BONFILS et al., 1988). SOCKALINGAM et al. (1998) konnten bei sieben Hunden in 11 von 12 Ohren (92%) TEOAE nachweisen. In der Studie von IWASAKI et al. (1998) zeigten sich bei 19 von 21 Katzen (90,5%) in 30 von 37 Ohren (81%) tone-burst-evozierte OAE. Die Autoren hatten in Voruntersuchungen ausschließlich eine Otoskopie durchgeführt. UEDA et al. (1992) wiesen bei Meerschweinchen in 20 von 24 Ohren (83%) TEOAE nach. Da sich die Untersuchungen anderer Autoren mit der Langzeitstabilität von OAE (HOSHINO et al., 1999), Veränderungen der OAE nach Lärmbelastung (LONSBURY-MARTIN et al., 1987) oder nach der Applikation ototoxischer Medikamente (SOCKALINGAM et al., 2000 und 2002)

beschäftigen, wurden die Versuche ausschließlich an Tieren durchgeführt, die vor den Versuchen OAE aufwiesen. Die Inzidenz der TEOAE wurde in diesen Studien nicht untersucht.

In der vorliegenden Arbeit weisen in der Gruppe I 64 von 73 Ohren (88%) bei 36 von 43 Katzen (84%) einen für den Nachweis von TEOAE ausreichend hohen Korrelationskoeffizienten auf. Der Störabstand lag in 62 Ohren (85%) bei 35 Katzen (81%) über dem erforderlichen Grenzwert von 6 dB SPL. Diese Ergebnisse entsprechen etwa den wenigen vorhandenen Literaturangaben bei Tieren. Ein Vergleich der Ergebnisse ist jedoch nur teilweise möglich, da sich die Voruntersuchungen in den Studien unterscheiden und damit auch die Auswahl der untersuchten Probanden: Die Angaben für Menschen beziehen sich auf die Inzidenz bei Erwachsenen, bei denen mittels Audiogramm eine Erhöhung der Hörschwelle ausgeschlossen worden war. In den Studien von SOCKALINGAM et al. (1998) hatten die Autoren nach Voruntersuchungen durch Tympanometrie und der Ableitung akustisch evozierter Potentiale in zwei Ohren eine Funktionseinschränkung festgestellt und diese Ohren von der TEOAE-Messung ausgeschlossen. In der vorliegenden Studie beschränkte sich die Voruntersuchung auf die Allgemeinuntersuchung und die Otoskopie, eine Messung akustisch evozierter Potentiale wurde nicht durchgeführt. Taube oder schwerhörige Tiere konnten also vor der OAE-Messung nicht mit Sicherheit erkannt werden.

5.2.2.3. Amplitude der TEOAE

In der Literatur sind wenige konkrete Angaben über die Amplitude und den Störabstand der TEOAE bei Tieren zu finden. SOCKALINGAM et al. (1998) geben den in ihrer Studie gemessenen höchsten Störabstand mit 16 dB SPL bei einer Frequenz von 4000 Hz an. Da der Mittelwert der Messungen an den sieben Hunden oder die Amplituden der gemessenen TEOAE nicht erwähnt werden, ist eine Vergleichsmöglichkeit mit der vorliegenden Studie nicht gegeben. In den Untersuchungen von HOSHINO et al. (1999) lag die durchschnittliche Amplitude der TEOAE in den Ohren von acht Meerschweinchen bei 7,6 dB SPL \pm 4,4.

In 372 Ohren von Menschen ermittelte HAUSER (1998) eine Amplitude zwischen 0,2 und 25,5 dB SPL, der Mittelwert lag bei 7,8 dB SPL \pm 4,8. DELB et al. (1994) wiesen bei Erwachsenen eine deutliche Frequenzabhängigkeit der TEOAE-Amplitude nach: Bei 20

Erwachsenen lag die Amplitude im Frequenzbereich von 0 bis 5000 Hz bei durchschnittlich 12,5 dB SPL \pm 3,6. Im oberen Frequenzbereich von 3000 bis 5000 Hz erreichte sie nur noch einen Mittelwert von 1,6 \pm 5,5 dB SPL.

Die vorliegende Arbeit zeigte bezüglich des Störabstandes und der TEOAE-Amplitude der gemessenen Antwort deutlich höhere Messergebnisse als bei Erwachsenen oder den von HOSHINO (1999) untersuchten Meerschweinchen: Die Amplitude erreichte zwischen 11 bis 31 dB SPL mit einem Mittelwert von 20,6 dB SPL \pm 4,9. Der Störabstand zeigte eine starke Streuung mit Werten von 0 bis 25 dB SPL bei durchschnittlich 13,3 dB SPL \pm 6,4. Die hier gemessenen Amplituden weisen ähnlich hohe Werte auf, wie sie bei Neugeborenen gefunden wurden: HAUSER (1998) beschreibt ausgesprochen hohe TEOAE-Amplituden bis über 30 dB SPL, für deren mögliche Ursache er den als „Kuppler“ fungierenden engen Gehörgang und die ausgeprägte Gehörgangsresonanz bei Säuglingen angibt.

In Kapitel 5.2.2.1. wurde bereits eine mögliche ähnliche Wirkung des engen Gehörgangs bei Katzen bezüglich der kurzen Latenzzeit der TEOAE diskutiert. Der – im Vergleich zum Menschen – engere Gehörgang bei Katzen und eine möglicherweise stärkere Gehörgangsresonanz könnten ebenso der Grund für die hohen Amplituden der TEOAE sein.

5.2.2.4. Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

Bei 13 Katzen, die sich nach jeweils einer TEOAE-Messung und anschließender DPOAE-Messung in einem Ohr noch im Toleranzstadium der Narkose befanden, wurde die TEOAE-Messung nach einige Minuten wiederholt. Das Ziel dieses zweiten Messdurchganges mit einem Zeitabstand von 2 bis 20 Minuten zur ersten Messung war die Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Messergebnisse. Eine weitere Messung am folgenden Tag zur Untersuchung der Reproduzierbarkeit über einen längeren Zeitraum war aus organisatorischen Gründen nicht möglich.

Verschiedene Autoren (DIELER et al., 1999; PRIEVE et al., 1993; ROEDE et al., 1993; SHEHATA-DIELER et al., 1999) konnten in ihren Untersuchungen sowohl bei TEOAE als auch bei DPOAE eine hohe intraindividuelle Stabilität der Messergebnisse bei Menschen nachweisen. HOSHINO et al. führten in ihrer Studie 1999 Untersuchungen zur Langzeitstabilität von TEOAE und DPOAE an acht Meerschweinchen über einen Zeitraum

von acht Wochen durch: Sie wiesen nach, dass zwischen allen Messergebnissen keine signifikanten Unterschieden bestanden.

Die nachgewiesene hohe Stabilität der Messergebnisse ermöglicht zum einen den Einsatz der OAE-Messungen als Kontrolluntersuchungen der Innenohrfunktion über einen längeren Zeitraum hinweg. Zum anderen sinkt durch eine nachgewiesene hohe Reproduzierbarkeit die Wahrscheinlichkeit, dass Artefakte und Störgeräusche als Emission aufgenommen wurden (HAUSER, 1998). So führten Arnold et al. (1995) in ihren Untersuchungen immer zwei Messdurchgänge pro Kind durch, um anhand der Reproduzierbarkeit das tatsächliche Vorhandensein von OAE zu überprüfen.

In der vorliegenden Arbeit wiesen alle Messergebnisse bei einer Wiederholung des Messdurchganges nach mehreren Minuten keine oder nur in geringem Maße abweichende Werte des Korrelationskoeffizienten und des Störabstands auf. Genau gleiche Werte ergaben sich sowohl nach zweimaliger Messung mit kurzem Zeitabstand als auch nach Messdurchgängen, die länger auseinander lagen. Die Ergebnisse des Korrelationskoeffizienten betrugen bei der ersten Messung zwischen 89% und 99%, der Mittelwert lag bei $95,7\% \pm 2,6$. Beim zweiten Messdurchgang erreichten die Ergebnisse Werte von 91% bis 99% mit einem Mittelwert von $95,5\% \pm 2,4$. Der Störabstand lag bei beiden Messungen bei Werten von 11 dB bis 25 dB. Bei dem ersten Messdurchgang betrug der Mittelwert $17,1 \text{ dB} \pm 4,3$, bei der zweiten Messung lag er bei $16,9 \text{ dB} \pm 3,9$. Die Korrelation zwischen beiden Messdurchgängen lag beim Bewertungsparameter Korrelationskoeffizient bei 0,8, beim Parameter Störabstand bei 0,93.

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass zwischen den beiden Messdurchgängen unabhängig vom Zeitabstand eine hohe Reproduzierbarkeit nachzuweisen war. Dieses bestätigt die Schlussfolgerung, dass es sich bei der aufgezeichneten Antwort tatsächlich um otoakustische Emissionen und nicht um Artefakte und Störgeräusche handelte.

5.2.2.5. Einfluss der Lagerung der Katzen auf TEOAE

Für eine erfolgreiche TEOAE-Messung ist unter anderem ein korrekter Sondensitz mit vollständiger Abdichtung des Gehörganges sehr wichtig (FRESE et al., 2001; HAUSER,

1998). Durch eine schlecht sitzende Sonde wird möglicherweise der Stimulus nicht korrekt in den Gehörgang gesendet und die Emission nicht korrekt aufgezeichnet. Außerdem können Resonanzen im Gehörgang und externe Störgeräusche das Ergebnis verfälschen. Um zu untersuchen, ob die Lagerung der Katzen einen Einfluss auf den Sondensitz und damit auf das Messergebnis hat, wurde bei 9 Katzen die TEOAE-Messung sowohl in Seiten- als auch in Bauchlage durchgeführt. Voraussetzung für den Messdurchgang in Bauchlage war wieder eine ausreichende Narkosetiefe bei den Tieren. Der Zeitabstand zwischen den beiden Messungen lag zwischen 2 und 20 Minuten.

Beim Vergleich des Korrelationskoeffizienten als Bewertungsparameter zeigte sich bei fünf der neun Katzen in der Seitenlage ein höherer Korrelationskoeffizient als in der Bauchlage. Bei drei Katzen zeigten sich in der Bauchlage höhere Werte des Korrelationskoeffizienten, bei einer Katze waren die Ergebnisse beider Messdurchgänge identisch. Die Unterschiede beschränkten sich bei acht der neun Tiere auf wenige Prozentpunkte. Bei der Katze Nr. 10 fiel der Unterschied deutlicher aus: in Seitenlage lag das Messergebnis unterhalb des Grenzwertes für nachgewiesene TEOAE, in der Bauchlage lag es oberhalb dieses Grenzwertes.

Die vergleichende Betrachtung des Störabstandes zeigte bei fünf Katzen ein besseres Ergebnis in Seitenlage, bei vier Katzen lag der Störabstand in Bauchlage höher. Die Werte unterschieden sich um ein bis vier dB. Bei der Katze Nr. 10 lag der Störabstand in Seitenlage mit 1 dB unter dem für den Nachweis von TEOAE angenommenen Grenzwert von 6 dB, in Bauchlage erreichte er diesen Wert.

Der Korrelationskoeffizient und der Störabstand der Messergebnisse wiesen eine hohe Korrelation von 0,81 bzw. 0,9 auf. Bei acht der neun Katzen zeigten sich zwischen beiden Messungen geringe Unterschiede, die in so kleinen Bereichen lagen, dass sie keinen Einfluss auf die Beurteilung der gemessenen Antwort hatten. Bei einem Zeitabstand von mehreren Minuten zwischen zwei Messdurchgängen und einer Umlagerung der Tiere ist die Wahrscheinlichkeit, beim zweiten Messdurchgang identische Werte zu erhalten, sicher sehr gering. Die Messergebnisse zeigen, dass die Lagerung der Katzen bis auf eine Ausnahme keinen, bei weiteren Messungen zu berücksichtigenden Einfluss auf die TEOAE hatte.

Die Ausnahme bilden hier die Messergebnisse der Katze Nr. 10, für deren Differenz kein Grund erkennbar ist. Der Sondensitz war bei beiden Durchgängen gut und das Stimulusspektrum gleichmäßig über den gesamten Frequenzbereich verteilt. Die Störschwelle

war sowohl in der Seiten- als auch in der Bauchlage niedrig eingestellt, allerdings lag der Pegel des Störgeräusches in der Seitenlage höher als in der Bauchlage. Möglicherweise wurde in der Seitenlage ein intrinsisches Störgeräusch aufgezeichnet, das durch ein Blutgefäß oder Muskelbewegungen verursacht wurde und die Emission überlagerte.

5.2.3. Nachweis von TEOAE bei klinisch auffälligen Katzen

In der Gruppe II wurden jeweils beide Ohren der klinisch auffälligen Katzen auf das Vorhandensein von TEOAE untersucht. Die Betrachtung der Ergebnisse zeigt, dass bei keiner Katze die Reproduzierbarkeit über dem für den Nachweis einer TEOAE erforderlichen Grenzwert von 60% lag. Der Störabstand wies bei allen Katzen Werte unter 6 dB SPL auf. Die Abbildung 22 zeigt als Beispiel das Messergebnis der Katze Nr. 51. Die Korrelation mit -2% und der Störabstand mit 3 dB unter den für den Nachweis von TEOAE nötigen Grenzwerten. Im TEOAE-Spektrum ist keine Emission erkennbar. Somit sind in diesem Ohr bei gutem Sondersitz keine TEOAE nachweisbar.

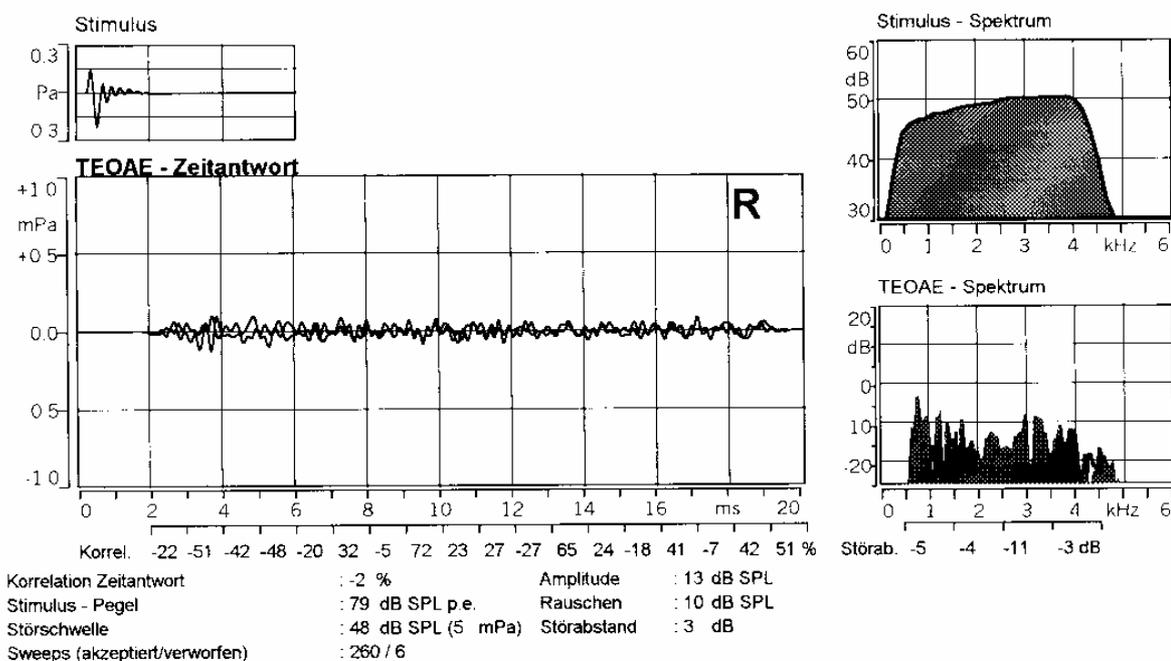


Abbildung 23: Ergebnis der TEOAE-Messung bei der Katze Nr. 51

Bei den Katzen der Gruppe II konnte aufgrund der Anamnese oder der Otoskopie von einer Beeinträchtigung der Gehörfunktion ausgegangen werden. Die Tatsache, dass in keinem der Ohren dieser sechs Katzen Emissionen nachzuweisen waren, lässt die Schlussfolgerung zu, dass die TEOAE-Messung zur Diagnose einer beeinträchtigten Gehörfunktion einzusetzen sein könnte.

Durch dieses Ergebnis sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass es sich bei den gemessenen Antworten der klinisch unauffälligen Katzen der Gruppe I um Pseudoemissionen handelte. Solche durch Resonanzen oder Artefakte verursachten Pseudoemissionen hätten dann zumindest in einigen Ohren der klinisch auffälligen Katzen mit großer Wahrscheinlichkeit ebenfalls erkennbar sein müssen.

Da in der Literatur keine Studien zu TEOAE-Messungen an Tieren, deren Gehörfunktion aufgrund vorhergehender Untersuchungen eine Beeinträchtigung vermuten ließ, zu finden sind, fehlen entsprechende Messergebnisse für einen Vergleich mit der vorliegenden Studie.

5.2.4. Nachweis von TEOAE bei Katzen post mortem

In der Literatur sind wenige TEOAE-Messungen an Tieren post mortem zu finden. SOCKALINGAM et al. (1998) euthanasierten die Hunde im Anschluss an die OAE-Messungen und berichteten, dass fünf Minuten post mortem vorher vorhandene TEOAE nicht mehr nachzuweisen waren. IWASAKI et al. (1998) untersuchten die Veränderungen der toneburst-evozierte OAE bei Katzen unter Anoxie, indem sie die Beatmung der anästhesierten Tiere unterbrachen. Die Autoren beschrieben, dass die TEOAE nach zwei Minuten Anoxie verschwanden, innerhalb von 1-3 Minuten nach Wiederaufnahme der Beatmung jedoch wieder nachzuweisen waren. Damit bestätigten die Autoren, dass der Entstehung der evozierten OAE ein aktiver Mechanismus zugrunde liegen muss. In ihrer Untersuchung zu evozierten OAE an Labortieren führten SOCKALINGAM et al. (2000) eine OAE-Messung im Anschluss an die Euthanasie der Tiere durch, um sicherzugehen, dass die aufgezeichneten OAE biologischen Ursprungs und keine Artefakte waren. Die Ergebnisse dieser Messdurchgänge sind nicht veröffentlicht.

Die beiden Katzen der Gruppe III in der vorliegenden Studie wurden wenige Minuten nach der Euthanasie jeweils einseitig auf das Vorhandensein von TEOAE untersucht. Bei jeder

Katzen wurden post mortem drei Messdurchgänge mit einem Zeitabstand von einigen Minuten durchgeführt. In beiden Ohren waren innerhalb von 30 Minuten nach dem Exitus keine TEOAE nachzuweisen, da sowohl der Korrelationskoeffizient als auch der Störabstand unter den für den Nachweis der TEOAE geltenden Grenzwerten lagen. Da aus Rücksicht auf die Besitzer keine TEOAE-Messung vor der Euthanasie durchgeführt wurde, ist nicht bekannt, ob bei diesen Tieren vor dem Tod TEOAE vorhanden waren. Dadurch lässt sich keine Aussage über die Gehörfunktion der Katzen vor der Euthanasie machen.

Die Messergebnisse widersprechen jedoch nicht den in der Literatur zu findenden Beschreibungen, dass post mortem keine Emissionen mehr auftreten, und sind daher als weiterer Hinweis für die Einsatzmöglichkeit der TEOAE-Messung zur Überprüfung der Gehörfunktion zu sehen.

5.3. DPOAE

Neben den transitorisch evozierten OAE, die einen Überblick über die Funktionsfähigkeit der gesamten Cochlea liefern, findet in der Humanmedizin die Messung von Distorsionsprodukten otoakustischer Emissionen ihre Anwendung in der objektiven Audiometrie: Durch zwei simultan applizierte Stimulustöne unterschiedlicher Frequenz werden die Haarzellen im Innenohr erregt. Sie produzieren einen Ton einer dritten Frequenz, das so genannte Distorsionsprodukt (DP), das im Gehörgang aufgezeichnet werden kann. Die Veränderung der Frequenzen der Primärtöne ermöglicht eine frequenzspezifische Überprüfung der cochleären Integrität (HAUSER, 1998).

Um die Einsatzmöglichkeit dieser Methode für die Praxis zu untersuchen, wurde bei allen 51 Katzen dieser Studie direkt im Anschluss an die TEOAE-Messung entweder ein- oder beidseitig eine DPOAE-Messung durchgeführt. Mehrere DPOAE-Messungen an einem Ohr zum Nachweis der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse oder die Untersuchung eines möglichen Einflusses der Lagerung der Tiere auf DPOAE konnten aus Zeitgründen nicht erfolgen.

5.3.1. Messparameter und Bewertungskriterien

Vor Beginn einer Messung werden die Parameter Stimuluspegel und Frequenzverhältnis im Gerät eingestellt. Die Autoren verschiedener Studien an Tieren verwendeten für die DPOAE-Messung Stimuluspegel von 55 bis 80 dB SPL. Die vorliegende Studie wurde mit Pegeln von 70 dB SPL für die beiden Stimuli durchgeführt.

Das optimale Frequenzverhältnis f_2/f_1 der beiden Primärtöne beim Menschen ermittelten verschiedene Autoren im Bereich von 1,2 bis 1,3 (GASKILL et al., 1990; HAUSER, 1998; LONSBURY-MARTIN et al., 1990). HOSHINO et al. (1999) und SOCKALINGAM et al. (1998, 2000 und 2002) übernahmen diese Einstellung für ihre DPOAE-Messungen an Tieren. Da in der Literatur keine Untersuchungen zu finden sind, die für Tiere ein anderes Frequenzverhältnis empfehlen, wurden die Frequenzen der Primärtöne in der vorliegenden Studie bei $f_2/f_1=1,2$ festgelegt.

Die größte Amplitude des Distorsionsproduktes zeigte sich sowohl beim Menschen als auch bei Tieren bei der Frequenz $2f_1-f_2$ (LONSBURY-MARTIN et al., 1987 und 1990; SOCKALINGAM et al., 2000). In der vorliegenden Studie wurde die Amplitude des DP bei dieser Frequenz gemessen.

Die DPOAE werden anhand des Parameters Störabstand beurteilt. Liegt eine gemessene Antwort über dem ausgewählten Grenzwert wird sie als otoakustische Emission in dem entsprechenden Frequenzbereich beurteilt. In der Literatur finden sich keine allgemeingültigen Vorgaben, ab welchem Störabstand eine gemessene Antwort als Emission zu bewerten ist. Die angewendeten Grenzwerte reichen von 3 bis 6 dB (HAUSER, 1998; LONSBURY-MARTIN et al., 1987; SOCKALINGAM et al., 2000 und 2002; WAGNER, 1999). Da die Firma Hortmann für den Echomaster einen Wert von mindestens 6 dB empfiehlt, wurde in dieser Studie eine gemessene Antwort als otoakustische Emission bewertet, wenn in der jeweiligen Frequenz der Störabstand bei mindestens 6 dB lag.

5.3.2. Nachweis von DPOAE bei klinisch unauffälligen Katzen

In der Gruppe I der klinisch unauffälligen Katzen wurde in 72 Ohren bei 43 Katzen die DPOAE-Messung bei neun verschiedenen Frequenzen durchgeführt. 55 Ohren (76%) wiesen

DPOAE bei allen neun getesteten Frequenzen auf, was auf eine uneingeschränkte Innenohrfunktion in dem untersuchten Frequenzbereich schließen lässt. Laut verschiedener Autoren (DREHER et al., 1997; HAUSER et al., 1991; SHEHATA-DIELER et al., 1999) spricht der Nachweis von DP in möglichst vielen der geprüften Frequenzen für ein funktionstüchtiges Innenohr. In dieser Arbeit wurde davon ausgegangen, dass beim Nachweis von DP in mindestens zwei Drittel der überprüften Frequenzen auf ein funktionsfähiges Innenohr geschlossen werden kann.

66 Ohren (92%) wiesen Emissionen mit einem ausreichend großen Störabstand von mindestens 6 dB in sechs oder mehr der getesteten Frequenzen auf. In zwei Ohren (3%) waren bei fünf, in einem Ohr (1%) bei einer und in drei Ohren (4%) bei keiner der getesteten Frequenzen DPOAE vorhanden. Die Tatsache, dass in 92% der Ohren klinisch unauffälliger Katzen bei mindestens zwei Drittel der überprüften Frequenzen Emissionen nachweisbar waren, spricht für die Einsatzmöglichkeit der Methode zum Nachweis funktionstüchtiger Ohren.

In der Abbildung 24 ist das Ergebnis der DPOAE-Messung der Katze Nr. 5 zu sehen. Die DP liegen deutlich über dem durch den schwarzen Balken dargestellten Grundrauschen und sind damit über den gesamten untersuchten Frequenzbereich von 1 bis 6 kHz nachweisbar.

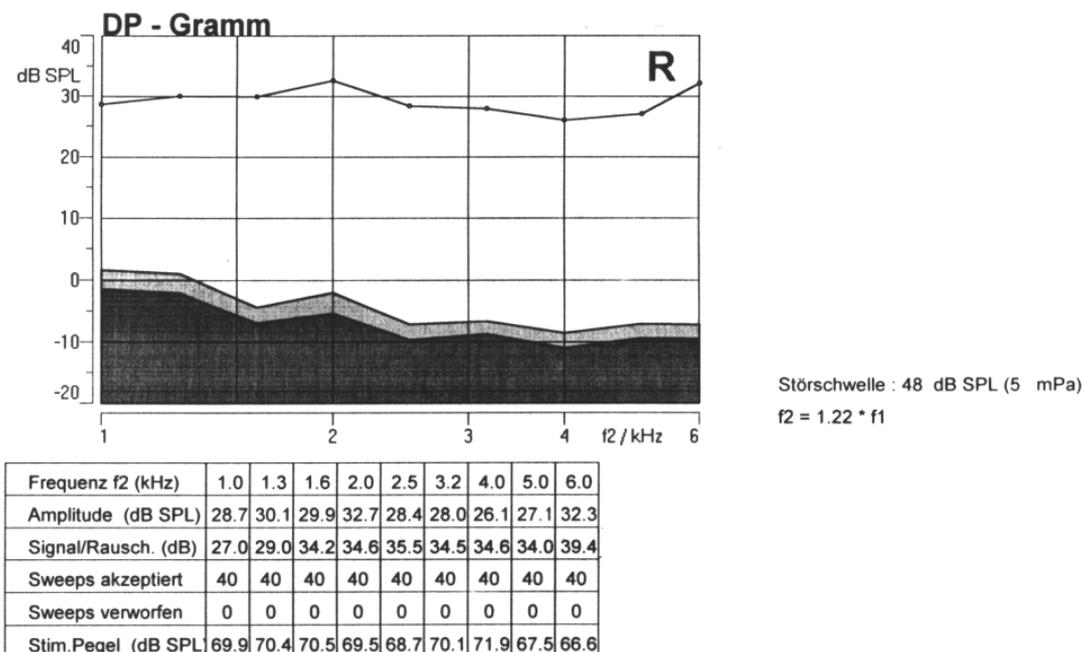


Abbildung 24: Beispiel eines Ergebnisses der DPOAE-Messung

Bei der Betrachtung des Störabstandes der gesamten Messergebnisse zeigt sich, dass der Mittelwert bei den Distorsionsprodukten mit der Frequenz $f_2= 1000$ Hz am niedrigsten und bei den DP mit $f_2= 6000$ Hz am höchsten war. Auch der Mittelwert der DPOAE-Amplitude war bei den DP mit $f_2= 1000$ Hz am niedrigsten und bei den DP mit $f_2= 6000$ Hz am höchsten.

Die Abbildungen 25 und 26 zeigen die Maximal- und Mittelwerte des gemessenen Störabstandes und der gemessenen Amplitude des DP mit der Frequenz f_2 .

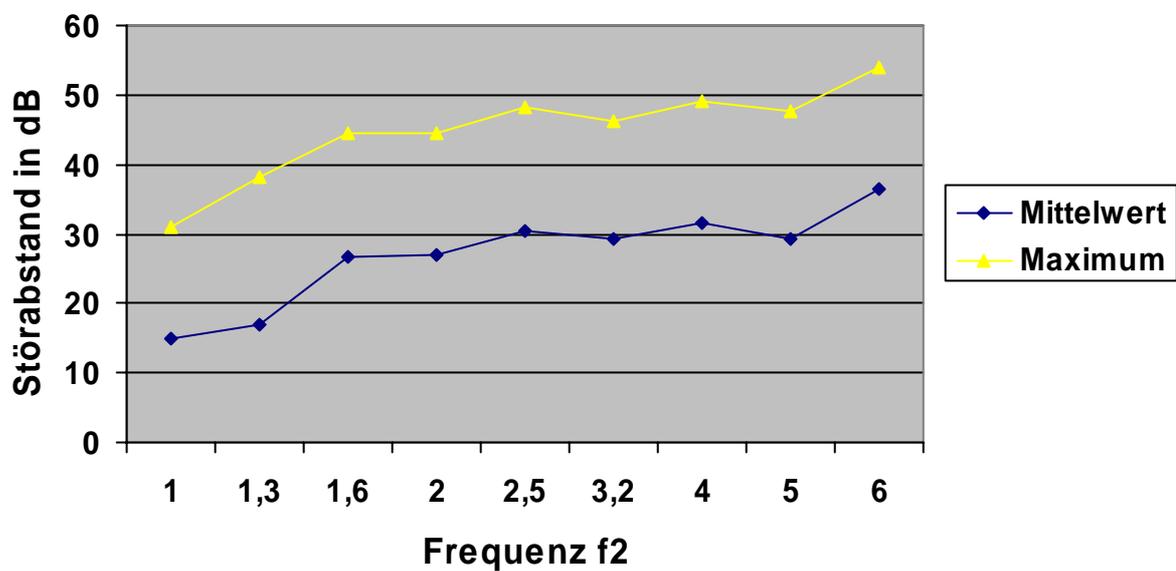


Abbildung 25: Maximal- und Mittelwerte des Störabstandes der DP (mit der Frequenz f_2)

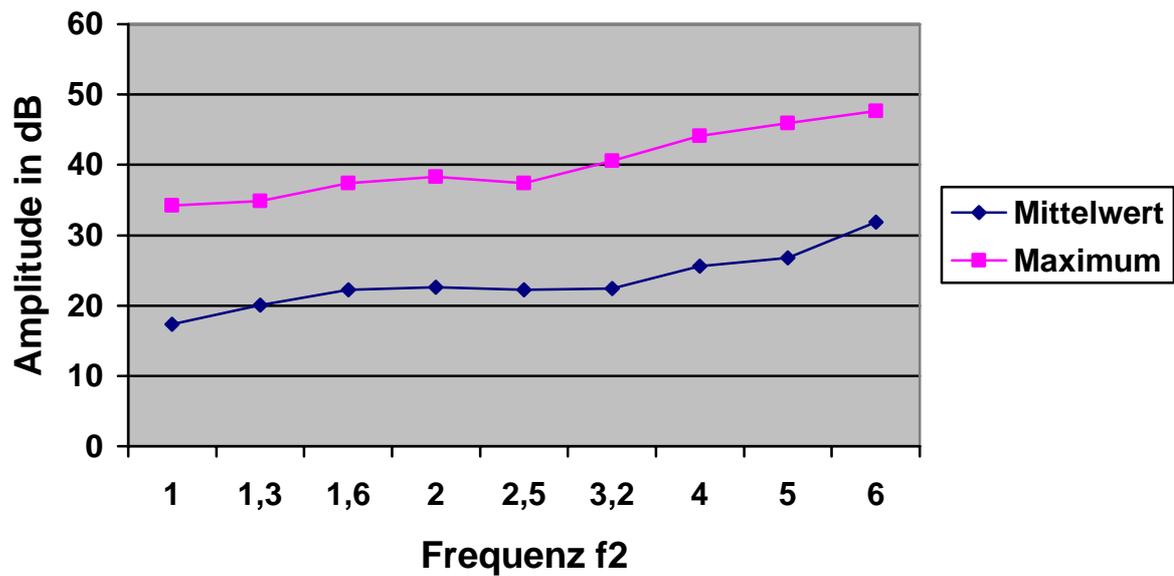


Abbildung 26: Maximal- und Mittelwerte des Störabstandes der DP (mit der Frequenz f_2)

In 45 Ohren (63%) lag der höchste gemessene Störabstand bei dem DP mit $f_2 = 6000$ Hz, die höchste gemessene Amplitude lag in 43 Ohren (60%) ebenfalls bei dem DP dieser Frequenz. Die Abbildung 27 verdeutlicht diese Messergebnisse.

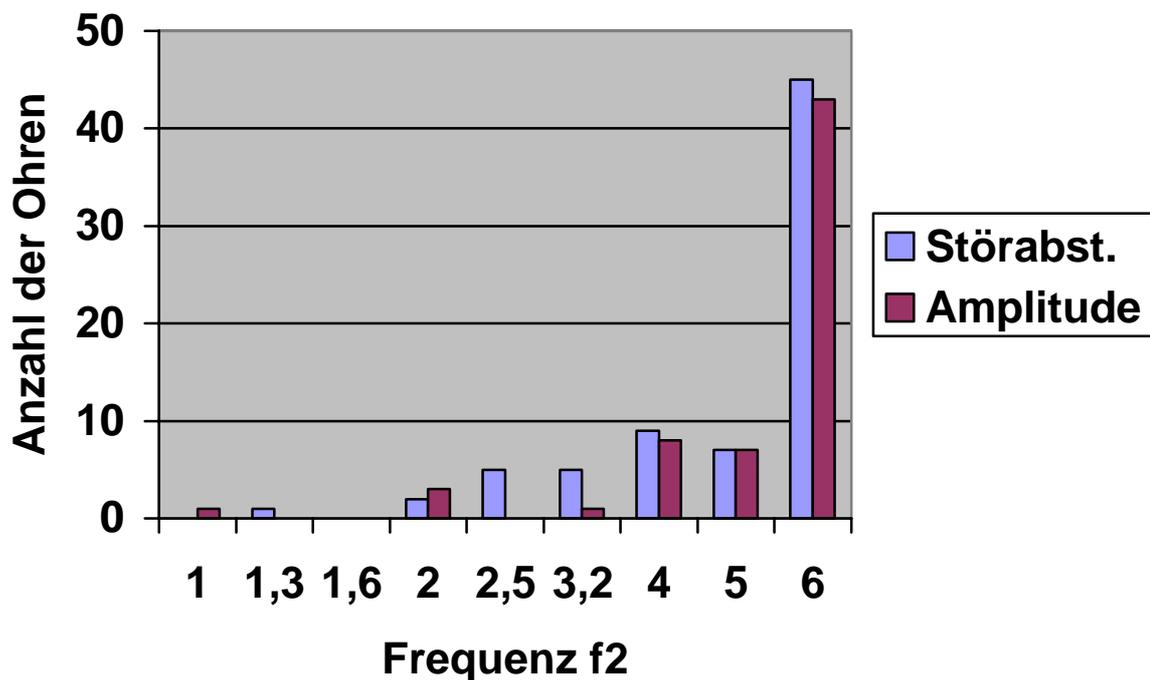


Abbildung 27: Darstellung der DP (mit der Frequenz f_2) mit der höchsten Amplitude und dem höchsten Störabstand

Die Beobachtung, dass die Amplituden und der Störabstand der DP mit steigender Frequenz zunehmen, wurde von verschiedenen Autoren beschrieben: In der Studie von SOCKALINGAM et al. (1998) wurde die DPOAE-Messung an sieben Hunden mit verschiedenen Stimuluspegeln in einem Frequenzbereich von 1000 bis 6348 Hz durchgeführt. Die Autoren konnten in allen untersuchten Ohren DPOAE nachweisen und sie stellten fest, dass der durchschnittliche Störabstand mit zunehmender Frequenz größer wurde. Den größten Signal-Störschall-Abstand mit 43,8 dB SPL fanden sie bei einer Stimuluslautstärke von 70 dB SPL bei der Frequenz 5042 kHz. LONSBURY-MARTIN et al. untersuchten 1987 bei Kaninchen DPOAE in einem Frequenzbereich von 0,7 bis 11,3 kHz bei Stimuluspegeln von 70 dB SPL. Sie berichteten, dass die Amplituden teilweise bei über 30 dB SPL lagen und die Lautstärke mit steigender Frequenz zunahm. Auch HOSHINO konnte 1999 in seinen Langzeitstudien der OAE an Meerschweinchen höhere Emissionspegel bei höheren Frequenzen nachweisen.

Die Ergebnisse der DPOAE-Messung bei klinisch unauffälligen Katzen zeigen zum einen, dass der Einsatz dieser Methode zur Beurteilung einer normalen Gehörfunktion möglich wäre. Zum anderen lassen sie Rückschlüsse auf das frequenzspezifische Hörvermögen zu, das vor allem in höheren Frequenzbereichen ausgeprägter zu sein scheint als in niedrigeren Frequenzbereichen. Weitere Versuche zur DPOAE-Messung in höheren als den hier untersuchten Frequenzbereichen wären ausgesprochen interessant und könnten weitere Hinweise über das Hörvermögen der Katzen liefern.

5.3.3. Nachweis von DPOAE bei klinisch auffälligen Katzen

Bei den sechs klinisch auffälligen Katzen wurden alle Ohren auf das Vorhandensein von DPOAE untersucht. Lediglich in einem Ohr waren in allen überprüften Frequenzen DPOAE nachweisbar. Neun der 12 Ohren (75%) wiesen keine Emissionen auf, in zwei Ohren waren bei zwei bzw. drei Frequenzen Emissionen erkennbar. Da in der vorliegenden Arbeit für eine uneingeschränkte Gehörfunktion in mindestens zwei Drittel der getesteten Frequenzen Emissionen erkennbar sein sollten, kann man in dieser Gruppe davon ausgehen, dass die Gehörfunktion in 11 der 12 Ohren (92%) der klinisch auffälligen Katzen tatsächlich beeinträchtigt ist. Diese Messergebnisse sprechen für die Einsatzmöglichkeit der DPOAE-Messung zum Nachweis funktionsbeeinträchtigter Ohren. In der Literatur sind DPOAE-Messungen bei Tieren mit dem Verdacht auf eine eingeschränkte Gehörfunktion nicht zu finden.

Das Beispiel eines Messergebnisses einer der klinisch auffälligen Katzen (Nr. 51) zeigt die Abbildung 28. Die im DP-Gramm durch Linien verbundenen Messergebnisse bei den einzelnen Frequenzen liegen innerhalb des dunkel gefärbten Hintergrundrauschens, bei der Frequenz f_2 1.0, 2.5 und 5 kHz geringfügig darüber. Unter Einbeziehung der Tabelle unterhalb des DP-Gramms lässt sich sagen, dass dieses Ohr im Frequenzbereich von 1 bis 6 kHz keine DPOAE aufweist.

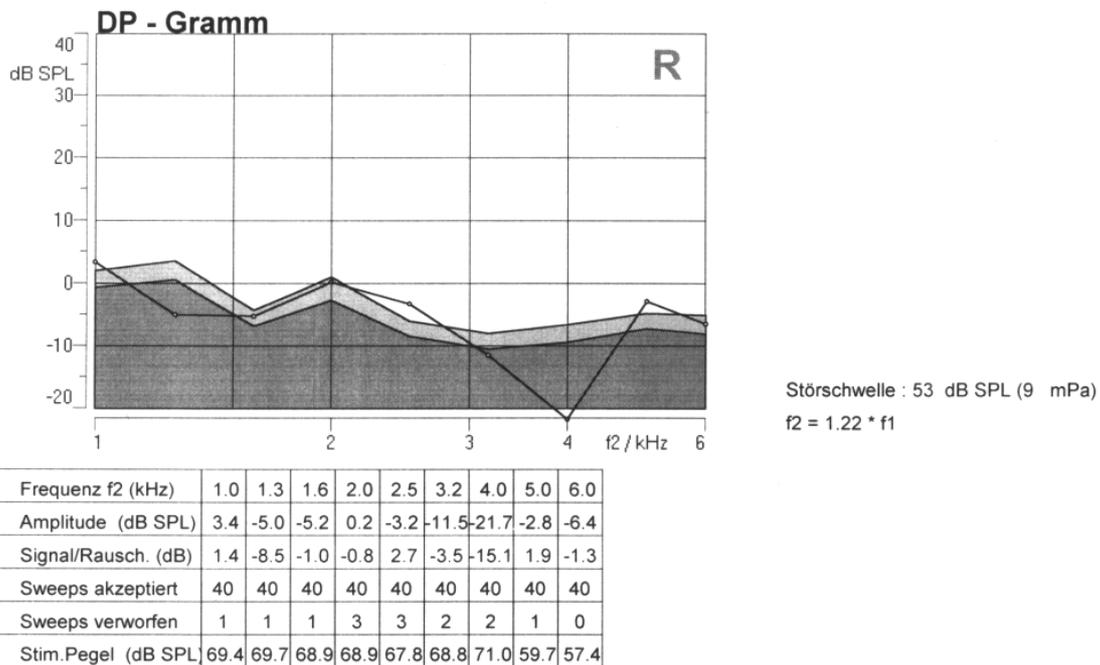
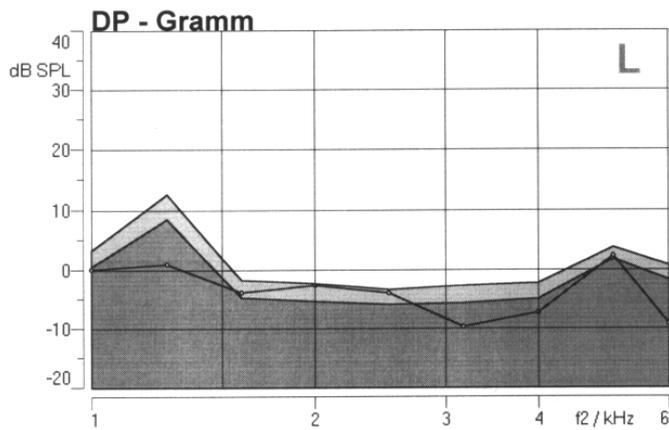


Abbildung 28: Ergebnis der DPOAE-Messung der Katze Nr. 51

5.3.4. Nachweis von DPOAE bei Katzen post mortem

Bei den beiden toten Katzen wurde jeweils ein Ohr auf das Vorhandensein von DPOAE untersucht. Eine DPOAE-Messung vor der Euthanasie war wie schon bei der TEOAE-Messung aus Rücksicht auf die Besitzer nicht durchführbar.

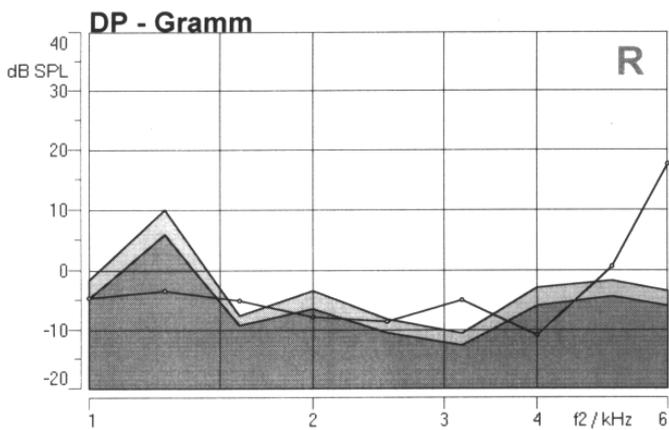
Bei der Katze Nr. 46 lag der Störabstand in allen Frequenzen unterhalb von 6 dB, es waren also im gesamten überprüften Frequenzbereich keine DPOAE nachweisbar. Im Ohr der Katze Nr. 48 zeigte sich bei der Frequenz $f_2 = 6000$ Hz eine Emission, der Störabstand lag deutlich über 6 dB. Die Amplitude des Distorsionsproduktes betrug bei dieser Frequenz 17,6 dB. Da aus Zeitgründen keine Kontrollmessung durchgeführt werden konnte, ist nicht zu beurteilen, ob es sich bei dieser Antwort um eine tatsächliche Emission oder um eine Pseudoemission handelt.



Störschwelle : 54 dB SPL (10 mPa)
 $f_2 = 1.22 * f_1$

| Frequenz f2 (kHz) | 1.0 | 1.3 | 1.6 | 2.0 | 2.5 | 3.2 | 4.0 | 5.0 | 6.0 |
|----------------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Amplitude (dB SPL) | 0.1 | 1.0 | -3.8 | -2.6 | -3.9 | -9.7 | -7.2 | 2.4 | -9.2 |
| Signal/Rausch. (dB) | -3.2 | -11.7 | -2.1 | -0.3 | -0.6 | -7.0 | -5.0 | -1.4 | -10.0 |
| Sweeps akzeptiert | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Sweeps verworfen | 0 | 2 | 0 | 3 | 9 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| Stim. Pegel (dB SPL) | 69.2 | 68.9 | 69.4 | 67.6 | 66.6 | 66.5 | 66.5 | 52.0 | 53.3 |

Abbildung 29: Messergebnis der Katze Nr. 46



Störschwelle : 52 dB SPL (8 mPa)
 $f_2 = 1.22 * f_1$

| Frequenz f2 (kHz) | 1.0 | 1.3 | 1.6 | 2.0 | 2.5 | 3.2 | 4.0 | 5.0 | 6.0 |
|----------------------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|
| Amplitude (dB SPL) | -4.6 | -3.4 | -5.0 | -7.8 | -8.6 | -5.0 | -10.9 | 0.6 | 17.6 |
| Signal/Rausch. (dB) | -3.0 | -13.5 | 2.5 | -4.4 | -0.4 | 5.6 | -8.0 | 2.3 | 21.1 |
| Sweeps akzeptiert | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Sweeps verworfen | 0 | 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Stim. Pegel (dB SPL) | 69.2 | 68.8 | 68.5 | 68.5 | 67.8 | 67.9 | 69.6 | 63.5 | 61.4 |

Abbildung 30: Messergebnis der Katze Nr. 48

5.4. Rückschlüsse auf die Gehörfunktion mittels OAE-Messung

Mit der Methode der Messung evozierter OAE lassen sich Rückschlüsse auf die Gehörfunktion ziehen, eine eindeutige Diagnose vermag diese Methode als einzeln angewandtes Verfahren jedoch nicht zu liefern. Werden Emissionen in allen Frequenzbereichen nachgewiesen, kann auf ein intaktes peripheres Hörorgan geschlossen werden. Eine retrocochleäre Schwerhörigkeit ist jedoch nicht zu erkennen.

Fehlen Emissionen teilweise oder vollständig, kann man davon ausgehen, dass die Gehörfunktion eingeschränkt ist. Die Ursache kann sowohl im Mittel- als auch im Innenohr liegen, eine retrocochleäre Störung ist zusätzlich möglich und nicht auszuschließen.

Bei der Begutachtung der Ergebnisse muss immer bedacht werden, dass die Methode nur den Frequenzbereich der Cochlea überprüft, der auch im Stimulus enthalten war, und damit nur Aussagen über den betreffenden Bereich liefern kann. Demzufolge ist mit der Messung evozierter otoakustischer Emissionen eine frequenzspezifische Untersuchung der Cochlea möglich.

In diesem Kapitel soll die Möglichkeit diskutiert werden, von den Ergebnissen der OAE-Messung eine Aussage über die Gehörfunktion der untersuchten Ohren liefern zu können.

5.4.1. Klinisch unauffällige Katzen

In 62 der 73 untersuchten Ohren (85%) der klinisch unauffälligen Katzen konnten evozierte OAE nachgewiesen werden. Die Ergebnisse der Voruntersuchung, die bei diesen Tieren keinen Verdacht auf eine Beeinträchtigung der Gehörfunktion ergeben hatten, wurden durch die Ergebnisse der objektiven OAE-Messung bestätigt.

In den übrigen 11 der 73 Ohren (15%) lag mindestens einer der Bewertungsparameter unterhalb des in der vorliegenden Studie eingesetzten Grenzwertes. In der Tabelle 24 sind diese Ohren mit den Messergebnissen aufgelistet.

Tabelle 24: Ohren, bei denen mindestens einer der Bewertungsparameter unter den Grenzwerten lag / Gruppe I

| NR. | TEOAE | | DPOAE |
|--------------|------------------------|------------------|-----------------------------------|
| | Reproduzierbarkeit (%) | Störabstand (dB) | Frequenzen mit Störabstand > 6 dB |
| 1 re | 67 | 2 | 9 |
| 9 re | 4 | 0 | 0 |
| li | -12 | 2 | 0 |
| 10 re | 69 | 5 | 7 |
| li | 68 | 3 | 9 |
| 12 re | 46 | 7 | 8 |
| 15 re | -13 | 0 | 0 |
| li | 3 | 3 | 0 |
| 22 li | 55 | 1 | 4 |
| 23 li | 46 | 6 | 7 |
| 28 li | 22 | 5 | 6 |
| 39 re | 61 | 7 | 5 |
| 42 re | 86 | 5 | 9 |

Legende:

dB: Dezibel; re: rechtes Ohr; li: linkes Ohr

Ein Vergleich der einzelnen Bewertungsparameter zeigt, dass in vier dieser 11 Ohren (36%) die Messergebnisse aller drei Bewertungsparameter unterhalb des Grenzwertes lagen. Aufgrund dieser Ergebnisse kann bei diesen Ohren auf eine eingeschränkte Gehörfunktion und dadurch erhöhte Hörschwelle im überprüften Frequenzbereich geschlossen werden. Die Katze Nr. 15 war eine Wildkatze, bei der die Anamnese und die Allgemeinuntersuchung und damit eine subjektive Einschätzung der Gehörfunktion entfielen. Bei der Katze Nr. 9 hatten die Besitzer keinen Verdacht einer Schwerhörigkeit ihrer Katze geäußert. Zur genauen Diagnose wären in diesem Fall weitere Untersuchungen in höheren Frequenzbereichen interessant. Bei der Katze Nr. 22 waren im rechten Ohr sowohl TEOAE als auch DPOAE

eindeutig nachweisbar. Eine einseitige Schwerhörigkeit oder sogar Taubheit ist von einer Katze sicherlich so gut zu kompensieren, dass den Besitzern nichts auffällt. Im rechten Ohr der Katze Nr. 39 lagen die Reproduzierbarkeit und der Störabstand zum Nachweis der TEOAE ganz knapp über den entsprechenden Grenzwerten. DPOAE waren in fünf der neun überprüften Frequenzen nachweisbar. In diesem Ohr passen die Ergebnisse der beiden Messungen ebenso wie in den oben aufgezählten Ohren zusammen und eine uneingeschränkte Gehörfunktion muss angezweifelt werden.

In den restlichen Ohren passen die Ergebnisse der TEOAE- und der DPOAE-Messungen nicht eindeutig zusammen: In den Ohren der Katzen Nr. 1, 10, 12 rechts, 23 links, 28 links lagen die Reproduzierbarkeit und der Störabstand zum Nachweis der TEOAE unter oder knapp über den Grenzwerten. DPOAE waren dagegen deutlich zu erkennen. Ein Grund für diese verschiedenen Ergebnisse der beiden Methoden könnte in der Hörschwelle liegen: TEOAE sind beim Menschen ab einer Hörschwelle von 25 bis 35 dB (BONFILS, 1988; PROBST et al, 1987; PRÖSCHEL et al., 1995) nicht mehr nachweisbar, DPOAE können in Einzelfällen bei lauten Stimuluspegeln noch bis zu einer Hörschwelle von 60 dB messbar sein (HAUSER, 1998). Ein Hörverlust bei diesen Katzen in einem Bereich, in dem TEOAE nicht mehr, DPOAE dagegen gerade noch nachweisbar sind, könnte eine mögliche Erklärung für diese Messergebnisse sein.

Im rechten Ohr der Katze Nr. 42 lassen die Ergebnisse der Reproduzierbarkeit und der DPOAE-Messung keinen Verdacht einer eingeschränkten Gehörfunktion aufkommen. Der Störabstand der TEOAE-Messung liegt mit 5 dB gerade unterhalb des Grenzwertes. Bei der Betrachtung der Grafiken der TEOAE-Zeitantwort und des TEOAE-Spektrums sind deutliche Emissionen zu erkennen und die Amplitude beträgt 20 dB SPL. Das Störgeräusch ist allerdings mit 15 dB sehr laut, so dass sich ein Störabstand von nur 5 dB trotz deutlich vorhandener Emissionen ergibt.

Gerade diese Katze ist ein Beispiel dafür, dass die Ergebnisse der Bewertungsparameter nicht allein zur Begutachtung der gemessenen Antwort ausreichen. Die Grafiken der TEOAE-Zeitantwort und des TEOAE-Spektrums müssen immer mit in die endgültige Bewertung einbezogen werden, um sich ein vollständiges Bild über die Gehörfunktion machen zu können.

Für eine genaue Diagnostik der Ätiologie einer Beeinträchtigung der Gehörfunktion wäre eine Tympanometrie zur Begutachtung des Mittelohrs notwendig. Findet sich hier keine

Funktionseinschränkung, sind die Ursachen der Schwerhörigkeit oder Taubheit auf eine Störung der cochleären Integrität zurückzuführen. Mit den hier durchgeführten Messungen wurde die Cochlea jedoch nur im Frequenzbereich von 500 bis ca. 5000 Hz überprüft, eine Aussage über die Funktionsfähigkeit in höheren Frequenzbereichen lässt sich nicht machen.

5.4.2. Klinisch auffällige Katzen

Bei den sechs klinisch auffälligen Katzen konnten in keinem ihrer Ohren TEOAE nachgewiesen werden. In 11 der 12 Ohren (92%) waren in höchstens einem Drittel der überprüften Frequenzen DPOAE nachweisbar. Das Fehlen der TEOAE im Frequenzbereich von 500 bis 5000 Hz lässt die Schlussfolgerung zu, dass die Gehörfunktion in diesem Bereich tatsächlich eingeschränkt war. In einem Ohr, dem linken Ohr der Katze Nr. 29, zeigten sich DPOAE über den gesamten untersuchten Frequenzbereich. Eine Erklärung für die unterschiedlichen Ergebnisse könnte wie schon bei den Katzen Nr. 1, 10, 12 rechts, 23 links, 28 links in Kapitel 5.4.2. in der Höhe der Hörschwelle liegen, die möglicherweise oberhalb der Nachweisgrenze für TEOAE, aber unterhalb der Nachweisgrenze für DPOAE liegt. Eine Einschränkung der Gehörfunktion ist auch in diesem Ohr ebenfalls nachgewiesen.

Die Ursache der beeinträchtigten Gehörfunktion ist damit jedoch nicht einwandfrei geklärt. Zur genauen Diagnose wäre die Durchführung der Tympanometrie zur Begutachtung der Mittelohrfunktion notwendig. Findet sich hier keine Funktionseinschränkung müssten höhere Frequenzbereiche im Innenohr untersucht werden, um zu klären, ob sich die eingeschränkte Gehörfunktion über die gesamte Cochlea erstreckt.

5.5. Einsatzmöglichkeiten der OAE-Messung in der Tiermedizin

In dieser Arbeit wurde festgestellt, dass die Messung evozierter otoakustischer Emissionen bei Katzen unter Praxisbedingungen möglich ist. Sowohl TEOAE als auch DPOAE sind bei Katzen mit herkömmlichen Geräten aus der Humanmedizin nachweisbar. Mit dem Einsatz dieser Methode in der tiermedizinischen Diagnostik könnte innerhalb kurzer Zeit ein Überblick über die sonst nur subjektiv zu beurteilende Gehörfunktion gewonnen werden.

Vermutlich wäre die TEOAE-Messung der DPOAE-Messung vorzuziehen, da erstere einen Überblick über die funktionelle Integrität der Cochlea liefert. Soll zusätzlich eine Aussage über bestimmte Frequenzbereiche getroffen werden, kann die Untersuchung um die Messung der DPOAE ergänzt werden.

Als Screeningverfahren für angeborene Hörstörungen steht der Tiermedizin die Ableitung der BAEP zur Verfügung. Eine Einsatzmöglichkeit der Messung evozierter otoakustischer Emissionen wäre die Klärung der Ätiologie einer Schwerhörigkeit oder Taubheit als Ergänzung zur Messung der BAEP. Die Möglichkeit einer frequenzspezifischen Überprüfung der cochleären Funktion könnte zum Beispiel bei Gebrauchshunden wie Blinden- oder Rettungshunden sinnvoll sein.

Sollte der Einsatz der OAE-Messung in der Tiermedizin tatsächlich Bedarf finden, wären weitere Versuche notwendig: Die praktische Anwendung sollte an anderen Tieren, vor allem an Hunden, untersucht werden, da bei Hunden sicherlich ein größerer Bedarf nach einer entsprechenden Untersuchungsmethode besteht. Die vorliegende Studie wurde nicht an Hunden durchgeführt, da es Schwierigkeiten mit dem Sondensitz im Gehörgang besonders bei großen Hunden gegeben hatte. Der Aufbau der Sonde, deren Verbindungsstelle zu den Kabeln nicht am Ende, sondern rechtwinklig an der SONDENSEITE lag, machte ein ausreichend tiefes Einsetzen der Sonde im Gehörgang unmöglich. Bei Studien mit dem verwendeten Gerät an Hunden wäre die Sonde entsprechend zu modifizieren, um einen optimalen Sondensitz zu gewährleisten. Für die Untersuchung von Katzen in der vorliegenden Arbeit sprach zum einen die Tatsache, dass in der Praxis mehr Katzen als Hunde in Narkose gelegt wurden und so in kürzerer Zeit mehr Messungen durchgeführt werden konnten. Zum anderen hätte die bei Hunden überwiegend durchgeführte Inhalationsanästhesie die Messungen erschwert: Nach Beenden der Anästhesie wären die Tiere nicht lange genug im erforderlichen Toleranzstadium der Narkose geblieben, um die OAE-Messungen durchführen zu können. Eine Messung der OAE während des Aufrechterhaltens der Inhalationsanästhesie war aus organisatorischen Gründen nicht möglich.

Um die OAE-Messung in der diagnostischen Tiermedizin einsetzen zu können, wäre die Ermittlung und Festlegung allgemeingültiger Mess- und Bewertungsparameter nötig, um den Vergleich verschiedener Messungen untereinander zu ermöglichen. Außerdem sollten die Untersuchungen auf höhere Frequenzbereiche ausgeweitet werden, da das Gehör von Tieren ein breiteres Frequenzspektrum aufweist, als das des Menschen.

Eine Vergleichsstudie mit der Ableitung der BAEP und OAE-Messungen bei Tieren müßte folgen, um die praktische Anwendung und die Messergebnisse der beiden Methoden miteinander zu vergleichen und möglicherweise die Höhe des Hörverlustes bestimmen zu können, der mit der OAE-Messung nachzuweisen ist.

6. ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit wurde die Anwendung der Messung evozierter otoakustischer Emissionen für die tierärztliche Praxis untersucht.

Hierzu wurden an 73 Ohren von 51 Katzen sowohl transitorisch evozierte otoakustische Emissionen (TEOAE) als auch Distorsionsprodukte otoakustischer Emissionen (DPOAE) gemessen.

Die Tiere wurden nach einer Voruntersuchung bestehend aus Allgemeinuntersuchung und Otoskopie in zwei Gruppen eingeteilt: eine Gruppe beinhaltete die bezüglich der Gehörfunktion klinisch unauffälligen Katzen, die andere Gruppe die Katzen, die aufgrund der Allgemeinuntersuchung und Otoskopie in Bezug auf die Gehörfunktion als klinisch auffällig eingestuft wurden. Zusätzlich wurden die Messungen an zwei kurz zuvor euthanasierten Katzen durchgeführt.

Für die TEOAE-Messung wurde den anästhesierten Katzen ein sich mehrmals wiederholender Click-Stimulus mit einem Frequenzspektrum von 0,5 bis 5 kHz und einer Lautstärke von 80 dB SPL über eine Sonde in den Gehörgang gesendet. Die durch diesen Reiz in funktionsfähigen äußeren Haarzellen ausgelöste Antwort wurde über ein Mikrofon in derselben Sonde aufgezeichnet.

Die DPOAE-Messungen wurden mit zwei simultan applizierten Sinustönen in einem Frequenzbereich von 0,8 bis 6 kHz durchgeführt. Das Verhältnis der Frequenzen der beiden Stimuli (f_2/f_1) lag bei 1.2, ihre Lautstärken betragen 70 dB SPL. Die beiden Stimuli erzeugten auf den entsprechenden Membranabschnitten der Cochlea ein sogenanntes Distorsionsprodukt einer dritten Frequenz, das von dem Mikrofon aufgezeichnet wurde. Die Amplitude des Distorsionsproduktes wurde bei der Frequenz $2f_1-f_2$ gemessen.

Fehlende Emissionen weisen auf eine Störung der funktionellen Integrität der Cochlea im überprüften Frequenzbereich hin.

Nach den ersten Messungen stellte sich heraus, dass die vom Gerätehersteller für die Humanmedizin empfohlene Latenzzeiteinstellung für die Messungen an Katzen nicht optimal war. Eine Verkürzung der Latenzzeit auf 1,5 ms ergab eine deutliche Verbesserung der Messergebnisse.

Bei den klinisch unauffälligen Katzen konnten in 85% der untersuchten Ohren sowohl TEOAE als auch DPOAE nachgewiesen werden. Die Amplituden der TEOAE lagen im Bereich von 11 bis 31 dB SPL mit einem Mittelwert von $20,6 \text{ dB SPL} \pm 4,9$. DPOAE waren in 92% der untersuchten Ohren nachweisbar. Messungen mit mehreren Messdurchgängen zeigten eine hohe Reproduzierbarkeit der Messergebnisse. In Vergleichsmessungen in Seiten- und Bauchlage konnte kein Einfluss auf die Messergebnisse nachgewiesen werden.

In der Gruppe der klinisch auffälligen Katzen konnten bei keinem der Tiere TEOAE aufgezeichnet werden. DPOAE waren bei einer Katze in einem Ohr nachzuweisen.

Bei den Messungen an Katzen post mortem waren bei mehreren Messungen innerhalb von 30 Minuten nach dem Exitus weder TEOAE noch DPOAE vorhanden.

In der Arbeit wurde gezeigt, dass die Messung evozierter otoakustischer Emissionen bei Katzen unter Praxisbedingungen durchführbar ist. Dieses diagnostische Verfahren ermöglicht es, die funktionelle Integrität der globalen Cochlea zu untersuchen und die Funktionsfähigkeit einzelner Frequenzbereiche der Cochlea zu überprüfen. Als objektives Untersuchungsverfahren bietet diese Methode eine Ergänzung zu der in der Tiermedizin etablierten Messung der BAEP.

7. SUMMARY

An evaluation of the clinical application of evoked oto-acoustic emissions in cats

This paper set out to examine whether measurements of evoked oto-acoustic emissions could be applied to veterinary practice.

Test measurements were carried out on 73 ears of 51 cats, using both transient evoked oto-acoustic emissions (TEOAE) and distortion product oto-acoustic emissions (DPOAE). Based on the results of a general examination and an otoscopy, the cats were divided into two groups: one comprising the normal cats, the other group containing those of some clinical concern with regard to hearing. In addition evoked oto-acoustic emissions were recorded from two cats euthanased shortly before.

For measurements of TEOAE a repetitive series of wide-band clicks with a frequency spectrum of 0.5 to 5 kHz and a volume of 80 dB SPL were beamed into the auditory canal of the anaesthetised cats using a special probe. The acoustic stimulus evoked emissions from functioning outer hair cells which were recorded by a microphone in the same probe.

To measure DPOAE two stimulus tones of differing frequencies, ranging between 1 and 6 kHz in a ratio of 1.2, were transmitted into the auditory canal (volume 70 dB SPL). They generate a so-called distortion effect in a third frequency on the stimulated sections of the cochlea, which the microphone pick up. The amplitude of DPOAE was recorded at the frequency $2f_1-f_2$.

Absence of response suggests malfunction in the frequency range of the stimulus tones. Consequently, this method facilitates frequency-specific examination of the cochlea.

After the initial measurements, it became clear that the recommended latency-time settings formulated for human medicine, did not yield optimal results when applied to cats. Reducing the latency-time to 1.5 milliseconds significantly improved the quality of the readings.

In 85% of the normal cats, both TEOAE and DPOAE were recorded. TEOAE amplitude was between 11 and 31 dB SPL (mean 20,6 dB SPL \pm 4,9). DPOAE were identified in 92% of the normal ears. Serial measurements demonstrated a low variability between the recordings. The position of the cats had no bearing on the outcome of the results.

None of the cats with an abnormal otoscopy examination registered TEOAE. DPOAE were detected only in one ear of one cat.

Post mortem readings from two cats, taken at various stages within 30 minutes of death, registered neither TEOAE nor DPOAE.

This paper showed conclusively, that measuring evoked oto-acoustic emissions in cats is perfectly feasible under practice conditions. This diagnostic procedure enables one to test cochlea function and frequency specific hearing.

As an objective examination-procedure, this method provides veterinary medicine with a supplementary option to the established measuring-practice of the BAEP.

8. LITERATURVERZEICHNIS

1. ARNOLD B, SCHORN K, STECKER M. Screeningprogramm zur Selektierung von Hörstörungen Neugeborener im Rahmen der Europäischen Gemeinschaft. *Otol Rhinol Laryngol* 1995; 74: 172-8
2. ASHMORE JF, MEECH RW. Ionic basis of membrane potential in outer hair cells of guinea pig cochlea. *Nature* 1986; 322: 368-71
3. BÖHME G, WELZL-MÜLLER K. Audiometrie: Hörprüfungen im Erwachsenen- und Kindesalter. – 4., überarb. und erg. Aufl. – Bern ... Seattle: Huber, 1998
4. BONFILS P, PIRON JP, UZIEL A, PUJOL U. A correlative study of evoked otoacoustic emissions properties and audiometric thresholds. *Arch Otorhinolaryngol* 1988; 245: 53-6
5. BROWNELL WE. Outer hair cell electromotility and otoacoustic emissions. *Ear Hear* 1990; 11: 82-92
6. BROWNELL WE, BADER CR, BERTRAND D, DE RIBAUPIERRE Y. Evoked mechanical responses of isolated cochlear outer hair cells. *Science* 1985; 227: 194-6
7. CAZALS Y, HORNER K. No change detected on distortion products in awake or anesthetized guinea pigs. *Acta Otolaryngol* 1987; 103: 572-7
8. DELB W, MERL E, ANDES CH, KOCH A. Der Einfluss der Sedierung auf otoakustische Emissionen. *Otol Rhinol Laryngol* 1994; 73: 315-9

9. DIELER R, SHEHATA-DIELER WE, KLAGGES T, MOSER LM. Intra- und interindividuelle Variabilität akustisch evozierter otoakustischer Emissionen – I. Transitorisch evozierte otoakustische Emissionen. *Otol Rhinol Laryngol* 1999; 78: 339-44
10. DREHER A, SUCKFÜLL M, SCHNEEWEIß S, SCHORN K. Zur Möglichkeit einer quantitativen und frequenzspezifischen Hörschwellenabschätzung mittels otoakustischer Emissionen. *Otol Rhinol Laryngol* 1997; 76: 2-7
11. ERNST A. *Audiometrie und Funktionsdiagnostik in der HNO*, - London ... Madras: Chapman and Hall, 1998
12. FAMULA TR, OBERBAUER AM, WILLIAMS DC. Gender effects in hearing loss in Dalmatians. *Prev Vet Med* 2001; 48: 15 - 24
13. FISCHER A, OBERMAIER G. Brainstem auditory-evoked potentials and neuropathologic correlates in 26 dogs with brain tumors. *J Vet Int Med*; 8: 363-9
14. FLOCK A, STRELIOFF D. Graded and nonlinear mechanical properties of sensory hairs in the mammalian hearing organ. *Nature* 1984; 310: 597-9
15. FRANKLIN DJ, MCCOY MJ, MARIN GK, LONSBURY-MARTIN BL. Test/Retest reliability of distortion-product and transiently evoked otoacoustic emissions. *Ear Hear* 1992; 13: 417-29
16. FRESE KA, REKER U, MAUNE S. Pseudoemissionen und falsch positive Befunde in der Messung transitorisch evozierter otoakustischer Emissionen (TEOAE). *Otol Rhinol Laryngol* 2001; 80: 734-9
17. GASKILL SA, BROWN AM. The behavior of the acoustic distortion product, $2f_1-f_2$, from the human ear and its relation to auditory sensitivity. *J Acoust Soc Am* 1990; 88: 821-39

18. GORGA MP, NEELY ST, BERGMAN B, BEAUCHAINE KL, KAMINSKI JR, PETERS J, JESTEADT W. Otoacoustic emissions from normal-hearing and hearing-impaired subjects: distortion product responses. *J Acoust Soc Am* 1993; 93: 2050-60
19. HAMERNIK RP, AHROON WA, JOCK BM, BENNETT JA. Noise-induced threshold shift dynamics measured with distortion-product otoacoustic emissions and auditory evoked potentials in chinchillas with inner hair cell deficient cochleas. *Hear Res* 1998; 118: 73-82
20. HARMS V. Physik für Mediziner und Pharmazeuten, 12. Auflage – Kiel: Harms, 1992
21. HAUSER R. Anwendung otoakustischer Emissionen. – 2., neu bearb. Auflage – Stuttgart: Enke, 1998
22. HAUSER R, PROBST R, HARRIS FP. Die klinische Anwendung otoakustischer Emissionen kochleärer Distorsionsprodukte. *Otol Rhinol Laryngol* 1991; 70: 123-31
23. HAUSER R, PROBST R, HARRIS FP, FREI F. Influence of general anesthesia on transiently evoked otoacoustic emissions in humans. *Ann. Otol Rhinol Laryngol* 1992; 101: 994-9
24. HESS H, SINOWATZ FRED. Histologie: Lehrbuch für medizinisch-technische Assistenten. – Deutscher Ärzteverlag Köln, 1986
25. HOSHINO M, UEDA H, NAKATA S. Long-Term Stability between Click-Evoked Otoacoustic Emissions and Distortion Produkt Otoacoustic Emissions in Guinea Pigs: A Comparison. *ORL* 1999; 61: 175-180
26. HOTH S, LENARZ T. Otoakustische Emissionen: Grundlagen und Anwendung. – 2., überarb. und erw. Aufl. – Stuttgart; New York: Thieme, 1997 / - S. 1, 5-13, 14-19, 23, 28, 77, 94, 102-114, 124

27. HOTZ MA, HARRIS FP, PROBST R. Otoacoustic emissions: an approach for monitoring aminoglycoside-induced ototoxicity. *Laryngoscope* 1994; 104: 1130-4
28. IWASAKI S, MIZUTA K, HOSHINO T. Tone burst-evoked otoacoustic emissions in cats with acoustic overstimulation and anoxia. *Hear Res* 1998; 118: 83-9
29. JURASCHKO K, MEYER-LINDENBERG A, NOLTE I, DISTL O. Analysis of systematic effects on congenital sensorineural deafness in German Dalmatian dogs. *Vet J* 2003; 166: 164-9
30. KEMP DT. Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. *J Acoust Soc Am* 1978; 64: 1386-91
31. KETTEMBEIL S, MANLEY GA, SIEGL E. Distortion-product otoacoustic emissions and their anaesthesia sensitivity in the European starling and the chicken. *Hear Res* 1995; 86: 47-62
32. KIM DO. Cochlear mechanics: implications of electrophysiological and acoustical observations. *Hear. Res.* 1980; 2: 297-317
33. KNÖPPEL-FRENZ A. Otoakustische Emissionen – Klinische Anwendung in der objektiven Hörprüfung. Rostock, Univ., Diss., 2000
34. LONSBURY-MARTIN BL, HARRIS FP, STAGNER BB, HAWKINS MD, MARTIN GK. Distortion product otoacoustic emissions in humans. I. Basic properties in normally hearing subjects. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1990; 147: 3-14
35. LONSBURY-MARTIN BL, MARTIN GK, PROBST R, COATS AC. Acoustic distortion products in rabbit ear canal. I. Basic features and physiological vulnerability. *Hear Res* 1987; 28: 173-89

36. LONSBURY-MARTIN BL, WHITEHEAD ML, MARTIN GK. Clinical applications of otoacoustic emissions. J Speech Hear Res 1991; 34: 964-81
37. MARTIN GK, OHLMS LA, HARRIS FP, FRANKLIN DJ, LONSBURY-MARTIN, BL. Distortion product emissions in humans: III. Influence of sensorineural hearing loss. Ann Otol 1990; 147: 30-42
38. NELSON DA, KIMBERLEY BP. Distortion-product emissions and auditory sensitivity in human ears with normal hearing and cochlear hearing loss. J Speech Hear Res 1992; 35: 1142-59
39. NICKEL R, SCHUMMER A, SEIFERLE E. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Bd. 1. Bewegungsapparat, 6. Auflage – Berlin; Hamburg: Parey, 1992 / - S. 144, 145, 146, 147, 181
40. NICKEL R, SCHUMMER A, SEIFERLE E. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Bd.4. Nervensystem, Sinnesorgane, endokrine Drüsen, 3. Auflage – Berlin; Hamburg: Parey, 1991 / - S. 446, 449 – 454, 457 – 463, 465 – 467
41. NORTON SJ, BARGONES JY, RUBEL EW. Development of otoacoustic emissions in gerbil: evidence for micromechanical changes underlying development of the place code. Hear Res 1991; 51: 73-91
42. PICKRELL JA, OEHME FW, CASH WC. Ototoxicity in dogs and cats. Semin Vet Med Surg (Small Anim) 1993; 8: 42 - 9
43. PRIEVE BA, RITZGERALD TS, SCHULTE LE. Basic characteristics of click-evoked otoacoustic emissions in infants and children. J Acoust Soc Am 1997; 102: 2860-70

44. PRIEVE BA, RITZGERALD TS, SCHULTE LE, KEMP DT. Basic characteristics of distortion product otoacoustic emissions in infants and children. *J Acoust Soc Am* 1997; 102: 2871-9
45. PRIEVE BA, GORGA MP, NEELY ST. Click- and tone-burst-evoked otoacoustic emissions in normal-hearing and hearing-impaired ears. *J Acoust Soc Am* 1996; 99:3077-86
46. PRIEVE BA, GORGA MP, SCHMIDT A, NEELY S, PETERS J, SCHULTES L, JESTEADT W. Analysis of transient-evoked otoacoustic emissions in normal-hearing and hearing-impaired ears. *J Acoust Soc Am* 1993; 93: 3308-19
47. PROBST R. Das diagnostische Spektrum der OAE. *Otol Rhinol Laryngol* 2000; 79: 631-2
48. PROBST R, HAUSER R. Distortion product otoacoustic emissions in normal and hearing impaired ears. *Amer J Otolaryngol* 1990; 11: 236-43
49. PROBST R, HARRIS FP, HAUSER R. Clinical monitoring using otoacoustic emissions. *Br J Audiol* 1993; 27: 85-90
50. PROBST R, LONSBURY-MARTIN BL, MARTIN GK. A review of otoacoustic emissions. *J Acoust Soc Am* 1991; 89: 2027-67
51. PROBST R, LONSBURY-MARTIN BL, MARTIN GK, COATS C. Otoacoustic emissions in ears with hearing loss. *Amer J Otolaryngol* 1987; 8: 73-81
52. PRÖSCHEL U, EYSHOLDT U. Untersuchungen zur Spezifität und Sensitivität transienter click-evozierter otoakustischer Emissionen (TEOAE). *Otol Rhinol Laryngol* 1995; 74: 481-8

53. RHODE WS. Observations of the vibration of the basilar membrane in squirrel monkeys using the Mössbauer technique. *J Acoust Soc Am* 1971; 49: 1218+
54. ROEDE J, HARRIS FP, PROBST R, XU L. Repeatability of distortion product otoacoustic emissions in normally hearing humans. *Audiology* 1993; 32: 273-81
55. RÖDEL R, BREUER T. Evozierte otoakustische Emissionen und Mittelohrfunktion. *Otol Rhinol Laryngol* 1994; 73: 118-22
56. SCHEUNERT A, TRAUTMANN A. Lehrbuch der Veterinär-Physiologie, 7. Auflage – Berlin; Hamburg: Parey 1987
57. SCHIEBLER TH, SCHMIDT W. Lehrbuch der gesamten Anatomie des Menschen, 4. Auflage – Springer, 1987
58. SCHMIDT RF, THEWS G. Physiologie des Menschen, 24. Auflage – Berlin...Tokyo: Springer 1990
59. SHEHATA-DIELER WE, DIELER R, TEICHERT K, MOSER LM. Intra- und interindividuelle Variabilität akustisch evozierter otoakustischer Emissionen – II. Distorsionsprodukt-Emissionen. *Otol Rhinol Laryngol* 1999; 78: 345-50
60. SILBERNAGEL S, DESPOPOULOS A. Taschenatlas der Physiologie, 4. Auflage – Stuttgart; New York: Thieme; München: Dt. Taschenbuch-Verlag, 1991
61. SOCKALINGAM R, FILIPPICH L, CHARLES B, MURDOCH B. Cisplatin-induced ototoxicity and pharmacokinetics: preliminary findings in a dog model. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2002; 111: 745-50
62. SOCKALINGAM R, FILIPPICH L, SOMMERLAD S, MURDOCH B, CHARLES B. Transient-Evoked and 2F1-F2 Distortion Product Oto-Acoustic Emissions in Dogs: Preliminary Findings. *Audiol Neurootol* 1998; 3: 373-85

63. SOCKALINGAM R, FREEMAN S, CHERNY L, SOHMER H. Effect of High-Dose Cisplatin on Auditory Brainstem Responses and Otoacoustic Emissions in Laboratory Animals. *Am J Otol* 2000; 21: 521-527
64. STEINHAUSEN M. *Medizinische Physiologie*, 2. Auflage – Heidelberg; Verlag für Medizin Fischer
65. UEDA H, HATTORI T, SAWAKI M, NIWA H, YANAGITA N. The effect of furosemide on evoked otoacoustic emissions in guinea pigs. *Hear Res* 1992; 62: 199-205
66. WAGNER W, PLINKERT PK. The relationship between auditory threshold and evoked otoacoustic emissions. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 1999; 256: 177-188
67. WELZL-MÜLLER K, BÖHEIM K, STEPHAN K, SCHLÖGEL H, STADLMANN A, NEKHAM D. Optimierung des Hörscreenings mittels Transient evozierter otoakustischer Emissionen (TEOAE) bei Neugeborenen. *HNO* 1997; 45: 227-232
68. WILSON JP. Model for cochlear echoes and tinnitus based on an observed electrical correlate. *Hear Res* 1980; 2: 527-32
69. VINCK BM, VAN CAUWENBERGE PB, LEROY L, CORTHALS P. Sensitivity of transient evoked and distortion product otoacoustic emissions to the direct effects of noise on the human cochlea. *Audiology* 1999; 38: 44-52

8. ANHANG

Tabelle 25: Pegel, Messdauer, verworfene Sweeps und Amplitude (Latenzzeit-Einstellung: 1,5 ms) der TEOAE-Messung / Gruppe I, II

| Nr. | Pegel (dB) | Messzeit (sec) | verworfene Sweeps | TEOAE-Amplitude (dB) |
|--------------|-----------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 1 re | 78 | 38 | 2 | 17 |
| 2 li | 78 | 49 | 34 | 16 |
| 3 re | 77 | 45 | 16 | 14 |
| li | 77 | 42 | 6 | 20 |
| 4 re | 78 | 41 | 4 | 18 |
| 5 re | 79 | 42 | 9 | 23 |
| 6 re | 78 | 39 | 2 | 19 |
| 7 re | 78 | 46 | 23 | 10 |
| li | 78 | 46 | 19 | 12 |
| 8 re | 79 | 42 | 5 | 21 |
| 9 re | 80 | 46 | 24 | 13 |
| li | 77 | 50 | 33 | 12 |
| 10 re | 78 | 45 | 15 | 13 |
| li | 78 | 42 | 10 | 17 |
| 11 re | 79 | 53 | 37 | 15 |
| 12 re | 80 | 39 | 1 | 12 |
| li | 78 | 38 | 0 | 18 |
| 13 re | 80 | 44 | 13 | 21 |
| li | 79 | 39 | 0 | 18 |
| 14 re | 78 | 42 | 5 | 23 |
| li | 80 | 46 | 13 | 26 |
| 15 re | 80 | 63 | 67 | 11 |
| li | 78 | 52 | 32 | 12 |
| 16 re | 78 | 43 | 6 | 23 |
| li | 81 | 66 | 75 | 18 |
| 17 re | 83 | 43 | 8 | 28 |
| li | 81 | 42 | 5 | 29 |
| 18 re | 79 | 41 | 4 | 20 |
| li | 78 | 41 | 4 | 15 |
| 19 re | 79 | 62 | 64 | 22 |

| | | | | |
|--------------|----|----|----|----|
| 20 re | 77 | 39 | 3 | 22 |
| 21 re | 78 | 45 | 13 | 18 |
| 22 re | 78 | 41 | 4 | 28 |
| li | 78 | 39 | 2 | 14 |
| 23 re | 77 | 42 | 4 | 12 |
| li | 78 | 42 | 5 | 13 |
| 24 re | 78 | 42 | 6 | 25 |
| li | 78 | 56 | 52 | 28 |
| 25 re | 78 | 46 | 20 | 21 |
| li | 79 | 43 | 7 | 20 |
| 26 re | 78 | 42 | 4 | 28 |
| li | 79 | 43 | 7 | 25 |
| 27 re | 80 | 44 | 12 | 22 |
| 28 re | 79 | 45 | 12 | 22 |
| li | 78 | 40 | 2 | 12 |
| 29 re | 78 | 41 | 4 | 11 |
| li | 78 | 44 | 11 | 13 |
| 30 re | 79 | 44 | 13 | 11 |
| li | 80 | 43 | 8 | 10 |
| 31 re | 80 | 54 | 45 | 22 |
| li | 78 | 44 | 14 | 21 |
| 32 re | 80 | 47 | 23 | 21 |
| li | 80 | 46 | 19 | 21 |
| 33 re | 78 | 41 | 7 | 23 |
| li | 80 | 42 | 7 | 21 |
| 34 re | 80 | 49 | 27 | 25 |
| li | 77 | 38 | 0 | 19 |
| 35 re | 80 | 38 | 0 | 20 |
| li | 80 | 40 | 2 | 20 |
| 36 re | 80 | 52 | 37 | 26 |
| 37 re | 78 | 40 | 4 | 25 |
| 38 re | 81 | 43 | 8 | 18 |
| li | 80 | 47 | 20 | 19 |
| 39 re | 80 | 41 | 4 | 13 |
| li | 80 | 42 | 7 | 15 |
| 40 re | 80 | 42 | 6 | 22 |
| li | 81 | 47 | 23 | 24 |
| 41 re | 81 | 51 | 31 | 28 |

| | | | | |
|--------------|----|----|----|----|
| li | 80 | 46 | 18 | 27 |
| 42 re | 80 | 41 | 4 | 20 |
| li | 80 | 43 | 12 | 22 |
| 43 re | 79 | 47 | 23 | 15 |
| li | 80 | 44 | 17 | 14 |
| 44 re | 81 | 42 | 4 | 28 |
| li | 81 | 49 | 4 | 26 |
| 45 re | 80 | 48 | 25 | 31 |
| li | 80 | 51 | 35 | 28 |
| 47 re | 81 | 39 | 2 | 23 |
| li | 81 | 49 | 25 | 18 |
| 49 re | 80 | 43 | 11 | 22 |
| li | 80 | 45 | 13 | 22 |
| 50 re | 80 | 38 | 1 | 26 |
| li | 80 | 42 | 4 | 20 |
| 51 re | 79 | 43 | 6 | 13 |
| li | 80 | 41 | 4 | 14 |

Legende:

re: rechts; li: links; dB: Dezibel; sec: Sekunden

Tabelle 26: Dauer der TEOAE in ms bei einer Latenzzeit von 1,5 ms / Gruppe I

| Nr. | Dauer in ms | |
|-----|-------------|------------|
| | Rechtes Ohr | Linkes Ohr |
| 1 | 4 | - |
| 2 | - | 5 |
| 4 | 5 | - |
| 5 | 9 | - |
| 6 | 7 | - |
| 8 | 9 | - |
| 9 | 3 | 0 |
| 10 | 5 | 5 |
| 11 | 6 | - |
| 12 | 5 | 7 |
| 13 | 8 | 6 |
| 14 | 15 | 13 |
| 15 | 0 | 0 |
| 16 | 7 | 5 |
| 17 | 7 | 9 |
| 18 | 6 | 5 |
| 19 | 7 | - |
| 20 | 8 | - |
| 21 | 5 | - |
| 22 | 6 | 5 |
| 23 | 5 | 5 |
| 24 | 9 | 7 |
| 25 | 6 | 7 |
| 26 | 10 | 10 |
| 27 | 11 | - |
| 28 | 8 | 0 |
| 31 | 8 | 8 |
| 32 | 6 | 6 |
| 33 | 9 | 7 |
| 34 | 8 | 6 |
| 35 | 13 | 11 |
| 36 | 10 | - |
| 37 | 7 | - |
| 38 | 5 | 5 |

| | | |
|-----------|----|----|
| 39 | 4 | 5 |
| 40 | 8 | 8 |
| 41 | 9 | 7 |
| 42 | 7 | 10 |
| 44 | 12 | 9 |
| 45 | 10 | 11 |
| 47 | 5 | 6 |
| 49 | 7 | 8 |
| 50 | 8 | 7 |

Legende:

ms: Millisekunden; -: nicht gemessen

Tabelle 27: Störabstand der DPOAE in dB / Gruppe I, II, III

| Nr. | Frequenz f_2 in kHz | | | | | | | | |
|--------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| | 1 | 1.3 | 1.6 | 2 | 2.5 | 3.2 | 4 | 5 | 6 |
| 1 re | 6,0 | 10,4 | 17,7 | 12,6 | 25,1 | 28,6 | 35,6 | 15,1 | 34,8 |
| 2 li | -0,4 | -7,3 | 4,4 | 19,8 | 23,1 | 23,0 | 26,8 | 26,0 | 16,1 |
| 3 re | -5,4 | -8,7 | -14,5 | -1,3 | 3,1 | 1,6 | 0,3 | 2,3 | 5,1 |
| li | -3,6 | -8,0 | -11,3 | -3,9 | -6,4 | -2,8 | -1,7 | -4,3 | 5,9 |
| 4 re | 4,6 | 10,3 | 13,2 | 26,5 | 28,4 | 32,0 | 42,1 | 28,6 | 35,7 |
| 5 re | 27,0 | 29,0 | 34,2 | 34,6 | 35,5 | 34,5 | 34,6 | 34,0 | 39,4 |
| 6 re | 3,0 | 12,6 | 29,5 | 26,7 | 35,8 | 31,4 | 35,6 | 20,9 | 43,4 |
| 7 re | -8,2 | 2,7 | -11,6 | -12,2 | -6,4 | 1,9 | -8,1 | -0,3 | -1,3 |
| li | -5,5 | -8,9 | -23,8 | -1,7 | -14,1 | -5,2 | -10,5 | -10,2 | -3,9 |
| 8 re | 25,1 | 24,8 | 31,1 | 40,4 | 35,9 | 40,2 | 42,1 | 42,9 | 48,2 |
| 9 re | 0,9 | -3,1 | -1,8 | -8,9 | 3,6 | -1,3 | -0,5 | 5,5 | 5,0 |
| li | -7,8 | -2,8 | -4,7 | -4,6 | -8,0 | -4,6 | -3,5 | -3,2 | -11,7 |
| 10 re | -5,8 | 2,7 | 21,3 | 9,0 | 23,4 | 22,6 | 30,3 | 18,9 | 35,9 |
| li | 21,7 | 17,9 | 38,6 | 32,4 | 38,1 | 24,9 | 39,4 | 32,0 | 46,5 |
| 11 re | -7,6 | -6,7 | 1,7 | 17,1 | 26,7 | 22,9 | 33,2 | 20,6 | 24,4 |
| 12 re | 1,7 | 7,2 | 13,1 | 10,9 | 6,1 | 13,8 | 25,4 | 30,8 | 30,8 |
| li | 16,9 | 14,5 | 19,6 | 23,3 | 20,5 | 39,7 | 38,2 | 38,6 | 33,7 |
| 13 re | 24,2 | 29,9 | 28,2 | 21,4 | 35,3 | 37,1 | 41,4 | 34,7 | 42,3 |
| li | 17,9 | 15,0 | 27,6 | 29,4 | 34,4 | 43,1 | 35,9 | 30,2 | 40,1 |
| 14 re | 31,1 | 28,8 | 36,9 | 36,5 | 27,8 | 30,2 | 34,9 | 37,6 | 38,7 |
| li | 24,8 | 32,6 | 41,5 | 42,0 | 40,2 | 35,2 | 31,5 | 36,1 | 41,8 |
| 15 re | -3,7 | -10,0 | -2,1 | -11,1 | -10,5 | -2,6 | -2,7 | 0,6 | 0,6 |
| li | -3,8 | -6,4 | -5,6 | -2,8 | 2,5 | -5,2 | -0,4 | 2,6 | -12,2 |
| 16 re | 18,7 | 22,0 | 26,5 | 28,6 | 31,1 | 15,2 | 36,5 | 34,1 | 34,6 |
| 17 re | 21,3 | 27,0 | 32,9 | 40,2 | 39,6 | 42,7 | 47,7 | 47,2 | 50,6 |
| li | 14,5 | 18,4 | 37,3 | 36,8 | 48,1 | 37,4 | 40,2 | 30,6 | 49,8 |
| 18 re | 18,9 | 17,6 | 32,9 | 35,6 | 37,8 | 35,8 | 42,9 | 44,4 | 48,0 |
| li | 18,8 | 15,0 | 30,4 | 37,3 | 36,3 | 35,6 | 42,4 | 43,5 | 44,5 |
| 19 re | 22,4 | 35,1 | 38,3 | 35,1 | 41,1 | 38,0 | 42,0 | 41,3 | 33,5 |
| 20 re | 19,3 | 21,3 | 32,8 | 33,8 | 37,8 | 40,3 | 37,5 | 38,1 | 50,1 |
| 21 re | 20,5 | 29,4 | 19,5 | 27,3 | 31,9 | 26,2 | 38,2 | 34,5 | 35,7 |
| 22 re | 19,0 | 25,9 | 35,2 | 25,3 | 37,2 | 32,3 | 29,4 | 31,9 | 41,2 |
| li | 0,6 | -18,9 | 0,5 | -11,2 | 12,7 | 19,7 | 18,1 | 0,6 | 19,1 |
| 23 re | 18,2 | 11,2 | 23,3 | 18,1 | 22,5 | 30,4 | 25,8 | 24,9 | 34,8 |

| | | | | | | | | | |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| li | 1,5 | -3,9 | 10,5 | 16,6 | 21,0 | 18,3 | 28,2 | 33,7 | 27,3 |
| 24 re | 19,9 | 21,0 | 36,9 | 38,1 | 43,6 | 38,2 | 36,2 | 38,2 | 47,2 |
| li | 18,8 | 17,7 | 37,4 | 44,6 | 43,3 | 44,0 | 37,6 | 44,7 | 50,7 |
| 25 re | 23,6 | 33,0 | 40,3 | 42,1 | 37,5 | 36,0 | 45,3 | 30,3 | 47,2 |
| li | 26,2 | 18,0 | 34,4 | 29,1 | 33,3 | 35,5 | 48,9 | 29,9 | 39,5 |
| 26 re | 20,3 | 22,2 | 35,5 | 35,6 | 34,5 | 22,3 | 33,1 | 36,0 | 41,4 |
| li | 25,5 | 26,8 | 31,6 | 28,5 | 28,1 | 31,3 | 34,3 | 38,1 | 39,1 |
| 27 re | 22,0 | 23,6 | 35,5 | 38,7 | 41,2 | 41,8 | 38,9 | 38,8 | 40,0 |
| 28 re | 25,3 | 26,6 | 33,6 | 33,1 | 22,6 | 34,8 | 41,3 | 39,6 | 52,8 |
| li | -10,5 | -16,6 | 5,0 | 8,8 | 13,1 | 10,0 | 9,1 | 15,2 | 21,0 |
| 29 re | -1,5 | -14,9 | 2,2 | -5,6 | -1,7 | -8,8 | -0,8 | -6,8 | -16,1 |
| li | 18,6 | 21,6 | 35,5 | 26,0 | 34,1 | 32,7 | 27,3 | 24,2 | 36,4 |
| 30 re | -14,6 | -20,0 | 2,8 | -15,2 | -8,2 | 2,1 | -2,8 | 1,9 | -2,9 |
| li | -6,4 | -21,0 | -0,5 | 0,3 | 6,2 | 6,4 | 7,7 | -3,6 | 5,6 |
| 31 re | 21,2 | 28,2 | 33,2 | 34,8 | 40,7 | 37,2 | 36,5 | 32,9 | 31,0 |
| li | 22,4 | 19,9 | 38,8 | 30,4 | 42,1 | 42,0 | 36,9 | 36,3 | 33,0 |
| 32 re | 24,2 | 19,1 | 28,4 | 32,9 | 36,9 | 28,8 | 13,6 | 24,5 | 38,4 |
| li | 23,7 | 24,3 | 28,2 | 35,9 | 34,5 | 34,1 | 24,4 | 32,1 | 39,9 |
| 33 re | 14,1 | 14,2 | 34,8 | 28,7 | 42,0 | 40,5 | 41,1 | 35,6 | 54,1 |
| li | 18,1 | 23,8 | 33,2 | 25,5 | 33,5 | 26,9 | 39,4 | 32,8 | 43,3 |
| 34 re | 19,8 | 19,6 | 28,9 | 20,1 | 19,1 | 22,6 | 21,6 | 16,1 | 34,7 |
| li | 15,9 | 6,7 | 19,1 | 20,1 | 26,9 | 20,7 | 30,1 | 20,8 | 27,4 |
| 35 re | 7,2 | 0,8 | 20,0 | 27,4 | 21,4 | 15,4 | 13,4 | 17,4 | 23,8 |
| li | 15,4 | 18,0 | 30,4 | 16,9 | 22,9 | 8,7 | 10,8 | 19,2 | 34,6 |
| 36 re | 17,3 | 25,8 | 29,4 | 36,5 | 41,8 | 47,0 | 49,0 | 36,8 | 48,5 |
| 37 re | 20,7 | 22,0 | 31,3 | 37,8 | 42,5 | 46,2 | 38,5 | 29,3 | 52,2 |
| 38 re | -10,6 | -4,8 | 3,7 | 15,7 | 28,6 | 18,5 | 32,5 | 37,5 | 44,9 |
| li | 14,0 | 16,7 | 32,2 | 32,8 | 27,3 | 24,7 | 2,6 | 25,3 | 40,5 |
| 39 re | -0,8 | -2,8 | 1,6 | 7,1 | 16,6 | 24,1 | 22,8 | -3,8 | 25,8 |
| li | 12,4 | 17,2 | 28,4 | 18,9 | 20,6 | 26,0 | 17,5 | 15,5 | 25,6 |
| 40 re | 28,8 | 38,2 | 40,9 | 36,5 | 44,2 | 32,9 | 39,7 | 27,3 | 45,7 |
| li | 26,7 | 37,3 | 42,7 | 42,7 | 31,3 | 18,6 | 45,7 | 40,0 | 48,7 |
| 41 re | 21,9 | 30,6 | 43,3 | 42,5 | 45,2 | 41,7 | 42,8 | 37,1 | 49,9 |
| li | 16,2 | 33,8 | 40,1 | 34,5 | 37,7 | 38,7 | 40,7 | 34,8 | 45,8 |
| 42 re | 15,5 | 22,9 | 31,0 | 29,4 | 28,4 | 33,4 | 24,9 | 23,6 | 35,7 |
| li | 19,7 | 23,0 | 34,8 | 35,8 | 37,3 | 27,3 | 20,4 | 8,0 | 39,1 |
| 43 re | -10,5 | -6,1 | -1,4 | -21,3 | -0,7 | -4,1 | 10,7 | 4,0 | 18,4 |
| li | -5,8 | -1,6 | -10,1 | -3,3 | -10,9 | -12,5 | -5,5 | 3,5 | 5,8 |

| | | | | | | | | | |
|--------------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|
| 44 re | 20,9 | 17,4 | 31,0 | 26,4 | 22,5 | 30,6 | 30,3 | 41,6 | 38,4 |
| li | 19,4 | 16,8 | 40,0 | 35,6 | 28,3 | 32,2 | 39,1 | 43,8 | 38,5 |
| 45 re | 18,6 | 24,7 | 38,3 | 42,2 | 40,2 | 43,0 | 40,0 | 30,7 | 50,3 |
| li | 22,1 | 25,4 | 44,4 | 43,3 | 45,0 | 43,9 | 39,2 | 28,7 | 50,1 |
| 46 li | 4,8 | 16,2 | -6,5 | -2,6 | -3,2 | -10,9 | -2,0 | -0,3 | -10,4 |
| 47 re | 11,4 | 7,0 | 15,2 | 20,3 | 16,5 | 25,4 | 33,1 | 29,2 | 10,4 |
| li | 9,5 | 8,2 | 13,7 | 9,6 | 26,1 | 22,9 | 25,4 | 23,6 | 17,1 |
| 48 re | -3,0 | -13,5 | 2,5 | -4,4 | -0,4 | 5,6 | -8,0 | 2,3 | 21,1 |
| 49 re | 11,4 | 32,9 | 33,7 | 40,7 | 43,1 | 42,5 | 41,1 | 42,7 | 51,1 |
| li | 19,1 | 22,8 | 36,0 | 42,7 | 47,3 | 43,6 | 38,2 | 47,7 | 44,0 |
| 50 re | 23,9 | 32,8 | 38,0 | 37,6 | 42,9 | 37,6 | 39,0 | 38,9 | 41,1 |
| li | 15,3 | 15,2 | 31,1 | 33,5 | 29,0 | 28,1 | 34,7 | 36,6 | 39,9 |
| 51 re | 1,4 | -8,5 | -1,0 | -0,8 | 2,7 | -3,5 | -15,1 | 1,9 | -1,3 |
| li | -2,4 | -14,0 | -10,2 | -5,7 | 0,5 | -3,1 | -8,0 | -0,8 | 4,7 |

Legende:

dB: Dezibel ; kHz: Kilohertz ; re: rechts ; li: links

Tabelle 28: Amplitude der DPOAE in dB / Gruppe I, II, III

| Nr. | Frequenz f_2 in kHz | | | | | | | | |
|--------------|-----------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 1.3 | 1.6 | 2 | 2.5 | 3.2 | 4 | 5 | 6 |
| 1 re | 6,4 | 9,0 | 13,6 | 9,3 | 15,2 | 18,3 | 26,4 | 8,1 | 34,2 |
| 2 li | 5,4 | -2,4 | 11,2 | 11,1 | 15,2 | 13,9 | 13,9 | 16,8 | 10,2 |
| 3 re | 8,1 | -5,8 | -11,3 | -6,7 | -5,3 | -8,4 | -10,7 | -10,4 | -8,9 |
| li | 15,6 | 1,4 | -8,0 | -3,0 | -11,4 | -3,5 | 2,5 | 3,9 | 5,4 |
| 4 re | 2,6 | 9,2 | 12,6 | 19,6 | 21,6 | 24,2 | 32,3 | 19,4 | 28,8 |
| 5 re | 28,7 | 30,1 | 29,9 | 32,7 | 28,4 | 28,0 | 26,1 | 27,1 | 32,3 |
| 6 re | 10,9 | 22,6 | 26,6 | 27,7 | 27,7 | 22,4 | 30,2 | 21,2 | 37,8 |
| 7 re | -9,9 | -3,0 | -17,8 | -20,7 | -14,7 | -9,4 | -7,0 | 5,6 | -1,5 |
| li | 4,7 | -0,4 | -15,5 | 0,5 | 15,2 | -9,5 | -13,6 | -17,9 | -10,3 |
| 8 re | 24,9 | 27,3 | 30,4 | 34,6 | 28,9 | 31,0 | 34,9 | 40,7 | 42,1 |
| 9 re | 5,6 | 10,9 | 0,7 | -11,8 | -5,1 | -6,0 | -7,6 | 2,9 | -0,1 |
| li | 7,9 | 6,6 | -5,8 | -8,7 | -13,3 | -8,3 | -10,3 | -8,2 | -15,9 |
| 10 re | -4,5 | 10,9 | 17,0 | 11,3 | 19,1 | 16,5 | 23,6 | 17,1 | 29,8 |
| li | 23,8 | 27,5 | 31,1 | 33,6 | 29,9 | 19,8 | 36,3 | 29,7 | 42,7 |
| 11 re | 0,7 | 3,7 | 6,8 | 13,7 | 19,7 | 22,9 | 29,4 | 21,5 | 20,4 |
| 12 re | -2,7 | 4,9 | 4,6 | 2,0 | -5,4 | 4,3 | 13,4 | 22,1 | 24,5 |
| li | 17,0 | 20,1 | 14,4 | 17,0 | 10,7 | 24,8 | 31,8 | 34,6 | 29,8 |
| 13 re | 24,7 | 28,1 | 26,7 | 24,2 | 27,4 | 28,0 | 30,5 | 27,5 | 39,1 |
| li | 17,6 | 20,5 | 23,7 | 24,3 | 29,2 | 28,5 | 30,6 | 24,3 | 35,6 |
| 14 re | 30,3 | 32,9 | 31,8 | 31,5 | 20,5 | 20,8 | 25,5 | 32,2 | 32,0 |
| li | 29,2 | 31,5 | 34,5 | 37,1 | 32,0 | 26,7 | 22,7 | 30,9 | 33,4 |
| 15 re | -2,2 | -6,0 | -2,0 | -6,5 | -15,5 | -7,5 | -6,2 | 2,7 | -1,1 |
| li | -3,1 | -7,3 | -9,9 | -6,3 | -5,4 | -12,9 | -6,6 | -1,2 | -16,9 |
| 16 re | 21,5 | 21,8 | 22,5 | 23,9 | 24,1 | 8,6 | 29,7 | 29,7 | 29,4 |
| 17 re | 22,7 | 26,8 | 27,4 | 33,5 | 32,3 | 35,1 | 40,7 | 41,8 | 44,7 |
| li | 20,3 | 26,6 | 30,4 | 32,9 | 36,8 | 32,0 | 37,2 | 33,0 | 34,8 |
| 18 re | 21,2 | 21,4 | 25,1 | 30,0 | 32,2 | 26,9 | 36,3 | 39,5 | 38,9 |
| li | 17,3 | 20,4 | 24,2 | 28,7 | 26,1 | 23,9 | 36,6 | 42,5 | 37,6 |
| 19 re | 21,5 | 28,9 | 32,1 | 29,4 | 29,4 | 33,7 | 34,2 | 33,5 | 29,1 |
| 20 re | 25,9 | 24,8 | 28,3 | 25,3 | 30,7 | 36,0 | 31,0 | 33,7 | 42,9 |
| 21 re | 22,4 | 25,3 | 25,0 | 22,0 | 26,4 | 19,6 | 30,1 | 32,8 | 36,0 |
| 22 re | 18,8 | 29,4 | 27,9 | 21,3 | 25,1 | 26,2 | 26,2 | 28,0 | 35,4 |
| li | -1,5 | -8,6 | -4,2 | -14,5 | 3,4 | 10,8 | 10,4 | -2,0 | 17,9 |
| 23 re | 16,8 | 15,3 | 18,4 | 12,0 | 14,1 | 23,7 | 18,3 | 22,1 | 26,8 |

| | | | | | | | | | |
|--------------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| li | -2,1 | 4,6 | 3,7 | 8,7 | 12,9 | 9,5 | 17,6 | 26,2 | 18,7 |
| 24 re | 26,5 | 26,3 | 30,8 | 33,7 | 34,2 | 34,1 | 28,0 | 34,0 | 42,0 |
| li | 26,0 | 25,4 | 30,0 | 35,2 | 34,8 | 37,7 | 35,6 | 43,0 | 45,8 |
| 25 re | 26,9 | 27,9 | 34,2 | 34,5 | 26,4 | 27,3 | 34,7 | 30,9 | 42,7 |
| li | 22,7 | 26,4 | 29,5 | 26,0 | 22,8 | 27,5 | 37,6 | 26,6 | 36,1 |
| 26 re | 22,8 | 26,7 | 28,0 | 28,5 | 26,2 | 16,0 | 31,8 | 33,9 | 35,3 |
| li | 26,4 | 28,2 | 25,8 | 20,3 | 21,5 | 19,8 | 27,6 | 34,2 | 35,1 |
| 27 re | 21,7 | 25,4 | 29,2 | 34,1 | 34,4 | 30,4 | 31,0 | 36,9 | 30,9 |
| 28 re | 25,4 | 27,4 | 28,1 | 24,1 | 15,7 | 27,5 | 35,5 | 33,6 | 43,0 |
| li | -9,0 | -11,1 | 1,4 | -0,3 | 2,3 | 2,0 | -0,9 | 9,9 | 15,3 |
| 29 re | 4,5 | -3,7 | -1,9 | -5,1 | -6,0 | -13,6 | -5,1 | -5,7 | -16,8 |
| li | 23,1 | 26,6 | 28,3 | 17,5 | 25,7 | 27,6 | 24,4 | 26,8 | 34,0 |
| 30 re | -7,4 | -7,1 | -2,6 | -13,7 | -14,2 | -6,6 | -6,9 | 3,6 | -6,5 |
| li | -3,5 | -25,4 | -5,9 | -6,6 | -1,8 | -2,6 | 3,4 | 2,9 | 5,3 |
| 31 re | 24,1 | 26,6 | 28,1 | 25,9 | 32,1 | 31,9 | 33,4 | 34,4 | 30,0 |
| li | 25,0 | 25,7 | 29,7 | 25,1 | 29,5 | 33,7 | 31,2 | 32,4 | 30,5 |
| 32 re | 24,3 | 24,0 | 23,6 | 28,0 | 29,4 | 25,8 | 19,8 | 26,8 | 39,1 |
| li | 20,0 | 24,9 | 24,7 | 26,2 | 26,4 | 27,3 | 19,0 | 28,8 | 37,2 |
| 33 re | 25,5 | 20,1 | 31,9 | 28,1 | 32,3 | 34,3 | 36,1 | 34,7 | 45,9 |
| li | 25,9 | 27,9 | 30,0 | 27,2 | 26,8 | 23,7 | 34,7 | 27,9 | 41,3 |
| 34 re | 24,2 | 25,3 | 25,4 | 22,7 | 10,7 | 14,6 | 15,7 | 16,1 | 30,8 |
| li | 11,7 | 15,0 | 10,7 | 19,1 | 20,2 | 14,4 | 22,3 | 14,5 | 22,2 |
| 35 re | 3,8 | 8,2 | 13,4 | 20,7 | 13,2 | 6,3 | 8,6 | 13,1 | 19,2 |
| li | 14,2 | 20,4 | 24,1 | 20,1 | 14,5 | 4,0 | 9,1 | 16,5 | 29,3 |
| 36 re | 18,5 | 21,6 | 27,6 | 33,9 | 33,2 | 40,2 | 44,1 | 35,6 | 47,7 |
| 37 re | 23,5 | 24,6 | 26,3 | 32,4 | 34,1 | 40,6 | 33,3 | 29,8 | 47,7 |
| 38 re | -5,8 | 2,8 | 5,2 | 12,3 | 22,6 | 10,1 | 23,7 | 31,4 | 39,4 |
| li | 12,2 | 21,6 | 23,1 | 27,5 | 20,6 | 20,8 | 6,4 | 25,4 | 39,1 |
| 39 re | 1,9 | -3,4 | -3,3 | -0,3 | 10,0 | 17,1 | 18,6 | 10,3 | 24,7 |
| li | 12,2 | 18,5 | 21,9 | 11,4 | 15,7 | 20,2 | 14,2 | 20,8 | 25,8 |
| 40 re | 33,9 | 34,8 | 35,4 | 38,2 | 32,9 | 25,5 | 32,2 | 22,8 | 39,1 |
| li | 34,2 | 34,9 | 37,4 | 36,8 | 25,6 | 13,1 | 37,1 | 37,7 | 41,4 |
| 41 re | 28,2 | 32,4 | 34,0 | 36,3 | 33,8 | 35,0 | 37,7 | 38,6 | 47,5 |
| li | 26,3 | 32,5 | 34,2 | 35,7 | 31,6 | 32,1 | 38,2 | 40,1 | 46,1 |
| 42 re | 19,5 | 25,7 | 25,7 | 26,0 | 24,5 | 23,9 | 21,1 | 21,1 | 35,5 |
| li | 20,4 | 23,0 | 26,9 | 27,7 | 29,1 | 26,2 | 18,3 | 13,4 | 38,6 |
| 43 re | -9,5 | -7,5 | -7,8 | -12,7 | -7,2 | -12,6 | -0,3 | 1,3 | 15,6 |
| li | 0,8 | -7,5 | -9,6 | -7,1 | 16,6 | -20,9 | -8,7 | 1,1 | 3,7 |

| | | | | | | | | | |
|--------------|------|------|-------|------|------|-------|-------|------|------|
| 44 re | 25,3 | 21,7 | 22,7 | 24,2 | 16,9 | 21,7 | 22,3 | 38,2 | 32,1 |
| li | 21,8 | 19,1 | 31,4 | 26,9 | 20,2 | 23,6 | 29,4 | 36,5 | 32,6 |
| 45 re | 24,7 | 31,1 | 32,2 | 38,0 | 33,7 | 37,1 | 34,2 | 30,2 | 46,3 |
| li | 29,3 | 32,6 | 37,0 | 35,6 | 37,4 | 37,5 | 31,8 | 26,0 | 47,7 |
| 46 li | 5,0 | -4,8 | -10,9 | -4,8 | -9,9 | -16,8 | -6,8 | 3,4 | -8,5 |
| 47 re | 11,6 | 9,1 | 15,6 | 16,1 | 10,9 | 23,7 | 32,0 | 32,3 | 11,1 |
| li | 9,1 | 12,4 | 16,6 | 8,2 | 17,7 | 23,6 | 28,7 | 29,5 | 16,3 |
| 48 re | -4,6 | -3,4 | -5,0 | -7,8 | -8,6 | -5,0 | -10,9 | 0,6 | 17,6 |
| 49 re | 18,2 | 30,8 | 28,6 | 33,5 | 34,0 | 35,9 | 32,7 | 40,8 | 44,7 |
| li | 22,2 | 23,5 | 28,8 | 35,3 | 36,5 | 37,1 | 30,7 | 45,9 | 40,6 |
| 50 re | 26,9 | 33,5 | 32,1 | 34,8 | 32,7 | 29,8 | 30,9 | 33,6 | 35,8 |
| li | 16,1 | 24,3 | 26,5 | 27,1 | 21,3 | 19,3 | 27,2 | 29,3 | 32,3 |
| 51 re | 3,4 | -5,0 | -5,2 | 0,2 | -3,2 | -11,5 | -21,7 | -2,8 | -6,4 |
| li | 5,7 | -2,0 | -12,2 | -4,7 | -6,4 | -11,3 | -17,1 | -2,3 | -2,3 |

Legende:

dB: Dezibel ; kHz: Kilohertz ; re: rechts ; li: links

LEBENS LAUF

Angaben zur Person

Name: Ewald
Vorname: Julia
Geburtsdatum: 11. April 1974
Geburtsort: Bremen
Familienstand: ledig
Adresse: Hollerallee 61
28209 Bremen
Staatsangehörigkeit: deutsch

Ausbildung

1980 – 1984 Grundschule an der Carl-Schurz-Straße, Bremen
1984 – 1993 Kippenberg-Gymnasium, Bremen
Juni 1993 Abitur, Kippenberg-Gymnasium, Bremen
1993 – 1999 Studium im Fachbereich Tiermedizin, Ludwig-Maximilians-Universität München
Abschluss am 27. August 1999

Berufliche Tätigkeit

Februar 2000 – September 2001 Assistenz in der Gemeinschaftspraxis Dr. med. vet. Herbert Lukaß / Dr. med. vet. Jens Koopmann in Bremen

DANKSAGUNG

Bei Frau Priv.-Doz. Dr. med. vet. Andrea Fischer bedanke ich mich herzlich für die hilfreiche und freundliche Unterstützung bei der Planung und Ausführung dieser Arbeit.

Ganz besonders danke ich Herrn Dr. med. vet. Herbert Lukaß, der den Anstoß zu dieser Arbeit lieferte, für die freundliche und tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung meiner Untersuchungen.

Der Gemeinschaftspraxis Dr. med. vet. Herbert Lukaß / Dr. med. vet. Jens Koopmann danke ich für die Bereitstellung der Patienten und Räumlichkeiten.

Für die Bereitstellung der Geräte und die Beratung bei technischen Fragen danke ich der Firma Hortmann in Neckartenzlingen (jetzt: GN Otometrics in Münster).

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Dr. Johannes Büschel für seine freundliche Hilfe bei den Vorbereitungen zu dieser Arbeit.

Nicht zuletzt danke ich meinen Eltern und meinem Freund für ihre zuverlässige und tatkräftige Unterstützung.