

2

Messung der OAE

2.1 Das Messverfahren

2.1.1 Filterung von Störeinflüssen

Die Schwierigkeit bei der Messung aller Arten von otoakustischen Emissionen (OAE) besteht darin, dass ein Signal nachgewiesen werden soll, das eine sehr kleine Amplitude aufweist und von Störeinflüssen überlagert ist, deren Amplitude im Allgemeinen weitaus größer ist als die des Nutzsignals.

Bei den evozierten OAE (EOAE) ist unter den Störeinflüssen in erster Linie der akustische Reiz zu nennen, dessen Schallpegel typischerweise um 60 dB größer ist als der des physiologischen Signals (Abb. 2.1). Dies entspricht einem Amplitudenverhältnis von 1 : 1000 (bzw. einem Intensitätsverhältnis von 1 : 1 000 000). Hinzu kommen externe Störgeräusche und die mit der Atmung,

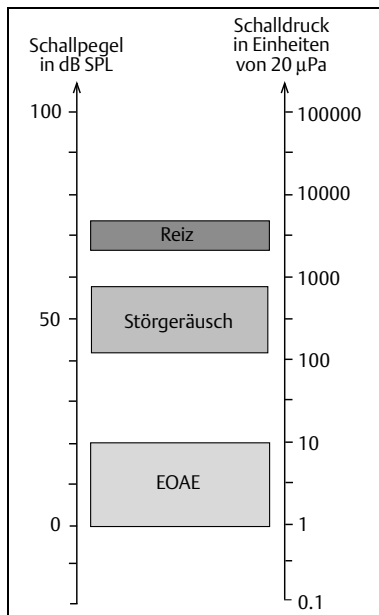


Abb. 2.1 Größenverhältnisse der Signalbeiträge, die bei der OAE-Messung eine Rolle spielen.

dem Blutkreislauf und der Muskelaktivität des Patienten verbundenen Geräusche. Solange zur Begrenzung der Störungen keine besonderen Maßnahmen ergriffen werden, übertreffen sie das OAE-Signal um etwa 40 dB (entsprechend einem Amplitudenverhältnis von 1 : 100 bzw. einem Intensitätsverhältnis von 1 : 10 000).

Ein Signal, das mit Störungen dieser Größenordnung verunreinigt ist, kann nur mithilfe besonderer Maßnahmen aus dem Störgeräuschkontext rekonstruiert werden. Die Methoden, die hierfür angewendet werden, beruhen auf der Vermeidung oder Reduzierung von Störungen und der Trennung von Nutz- und Störsignal. Sie werden bei der Messung der OAE mit vier Ansätzen umgesetzt:

- *Abschirmung* von Störgeräuschen (unterstützt durch Maßnahmen zur Begrenzung der vom Patienten verursachten Störungen)
- *Artefaktunterdrückung*
- *Signalmittelung*

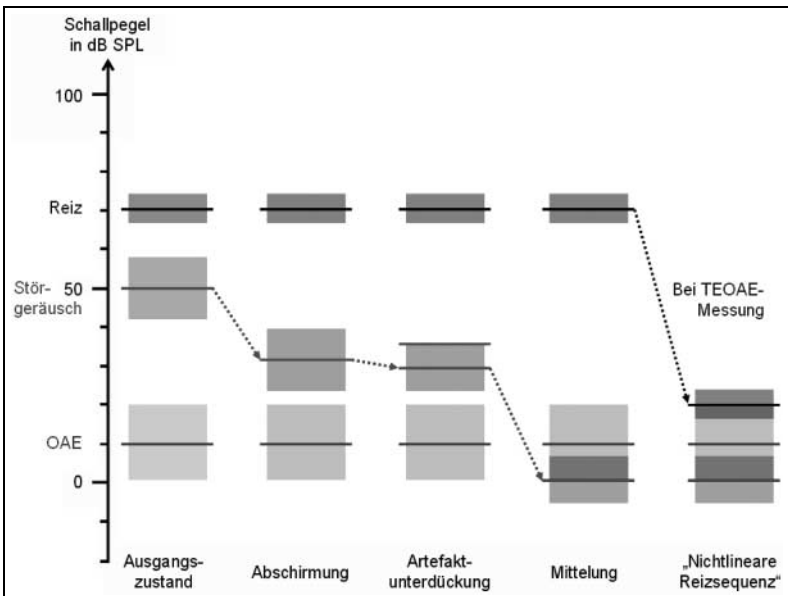


Abb. 2.2 Beeinflussung der Amplituden von Nutz- und Störsignal durch verschiedene Maßnahmen zur Verbesserung des Signal/Rausch-Verhältnisses (schematisch). Bis auf die „nichtlineare Reizsequenz“ gelten alle gezeigten Maßnahmen sowohl für die TEOAE als auch für die DPOAE.

- *Kompensation des Reizartefaktes* (bei den TEOAE) durch Verwendung einer hierfür geeigneten Gestaltung des akustischen Reizes.

Durch diese Maßnahmen lässt sich erreichen, dass die Amplitude des Nutzsignals die der Störeinflüsse übertrifft (Abb. 2.2).

Akustische Abschirmung

Durch eine akustische Abschirmung kann der Störgeräuschpegel im Gehörgangsrestvolumen um ca. 20 dB reduziert werden. Ein schalltoter Raum (*Camera silens*) für die Unterbringung von Patient, Messsonde und Verstärker ist sehr nützlich aber nicht notwendig. Soweit die Messapparatur Geräusche verursacht, sollte sie sich in ausreichender Entfernung vom Patienten befinden oder durch eine Stellwand von ihm getrennt sein.

Eine gute Abdichtung des Gehörgangs durch die Messsonde mit passenden Ohrstöpseln verhindert zusätzlich das Eindringen von Störschall (Abb. 2.3). Bei Messungen in geräuschvoller Umgebung (z. B. im Operationssaal oder auf der Intensivstation) kann das Prüffohr durch Aufsetzen eines Kopfhörers oder einer Gehörschutzkapsel zusätzlich abgeschirmt werden.

Bei der Lagerung des Patienten ist darauf zu achten, dass durch Bewegungen insbesondere des Kopfes auf der Unterlage keine Geräusche entstehen. Zumindest bei Erwachsenen sollte die Messung am bequem und ruhig sitzenden, nicht am liegenden Patienten durchgeführt werden. Die Anschlussleitung der Sonde und gegebenenfalls Sondenschläuche sind so zu verlegen, dass sie unbewegt und stabil liegen ohne festgehalten werden zu müssen (Rumpelgeräusche!).

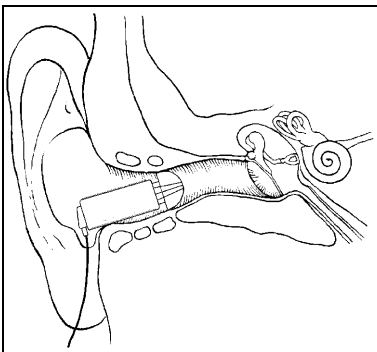


Abb. 2.3 Lage der Reiz- und Messsonde im Gehörgang.

Nach Ausschöpfung aller Möglichkeiten zur Reduktion externer Geräusche verbleibt im Gehörgangsrestvolumen ein durch nicht abschirmbare patienteneigene Geräusche (Atmung, Herzschlag, Blutkreislauf, Muskeln) verursachter Restpegel von 30–40 dB.

Artefaktunterdrückung

Für den Nachweis der otoakustischen Emission muss das akustische Signal im Gehörgang viele Male registriert und verwertet werden. Da es fast keinem Probanden oder Patienten möglich ist, während der gesamten Dauer der Messung unverändert ruhig zu bleiben, unterscheiden sich die einzelnen Signalabschnitte im allgemeinen in Hinblick auf ihren Anteil an Störeinflüssen.

Die Artefaktunterdrückung verbessert das Verhältnis der Amplituden von OAE und Störgeräusch (Signal/Rausch-Verhältnis) durch die Auswahl der am wenigsten gestörten Signalabschnitte. Ohne diese Maßnahme würde das Endergebnis ähnlich wie bei der Bildung des Mittelwertes aus Schulnoten sowohl von guten als auch von schlechten Teilergebnissen abhängen. Anders als bei der Mittelung von Schulnoten können aber hier ungünstige Einzelbeiträge weggelassen werden, um das Endergebnis günstig zu beeinflussen.

Die Artefaktunterdrückung bewirkt keine wirkliche Abschwächung des Störgeräusches, sondern eine Verbesserung der mittleren Qualität durch Unterbrechung der Messwerterfassung zu Zeiten ungünstiger Messbedingungen. Der hierfür zu entrichtende Preis besteht in der Verlängerung der Messzeit.

Ein Signalabschnitt wird definitionsgemäß als Artefakt bezeichnet, wenn die Amplitude mindestens eines seiner Messwerte eine willkürlich vorgegebene Grenze überschreitet (bzw. das Negative dieser Grenze unterschreitet).

Da die Größe des physiologischen Signals bei konstanten Reizbedingungen unveränderlich ist, werden durch die Verwerfung der Signalabschnitte mit großer Amplitude diejenigen mit einem günstigen Signal/Rausch-Verhältnis ausgewählt. Der Untersucher steuert die Effizienz der Auswahl durch die Festlegung einer geeigneten Amplitudengrenze:

- Eine sehr niedrig gelegte Grenze ist mit einer sehr kritischen Auslese der am wenigsten kontaminierten Signalabschnitte gleichbedeutend. Sie erhöht die Qualität des Ergebnisses, die Messung dauert aber sehr lange und es werden möglicherweise viele Signalabschnitte verworfen, die durchaus verwertbar sein könnten.

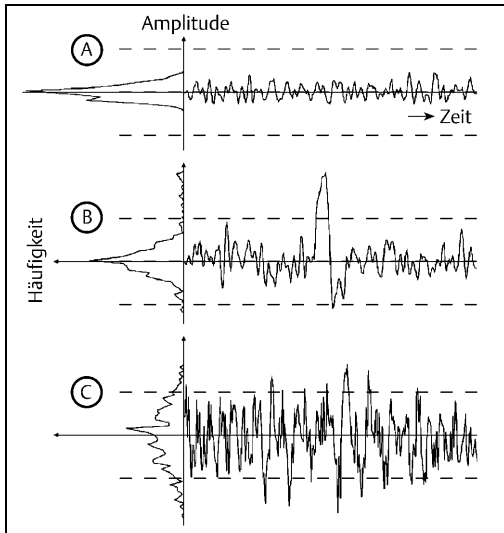


Abb. 2.4 Darstellung charakteristischer Zeitabschnitte des Mikrophonsignals und der zugehörigen Amplitudenhistogramme zur Demonstration von Wirkung und Handhabung der Artefaktunterdrückung. **A:** ruhige Bedingungen, Artefaktgrenze (gestrichelte Linie) eher zu hoch eingestellt; **B:** singuläre Störungen, sinnvoll eingestellte Artefaktgrenze; **C:** unruhiges Signal: Artefaktgrenze eher zu niedrig eingestellt.

- Eine sehr hoch gelegte Grenze hingegen arbeitet nach dem Prinzip „schnell und schlampig“.

Eine wertvolle Hilfe bei der Abwägung zwischen guter Qualität und großem Zeitbedarf leistet das Amplituden- oder Pegelhistogramm, welches die individuelle statistische Verteilung des Geräuschpegels im Gehörgang wiedergibt (Abb. 2.4). Es empfiehlt sich, die Artefaktsschranke knapp unter den oberen Rand der glockenförmigen Verteilung zu legen, sodass nur ungewöhnlich große Amplituden und Abweichungen vom Normalzustand zur Verwerfung des Signalabschnitts führen.

Die Unterdrückung von Artefakten muss den individuellen Bedingungen angepasst werden.

Signalmittelung

Den entscheidenden Beitrag zur Verbesserung des Signal/Rausch-Verhältnisses und damit zur Darstellung des Nutzsignals leistet die Signalmittelung. Sie beruht auf der mehrmaligen Registrierung gleichwertiger, aber wegen des Zufallscharakters des Störgeräusches niemals identischer Signalabschnitte.

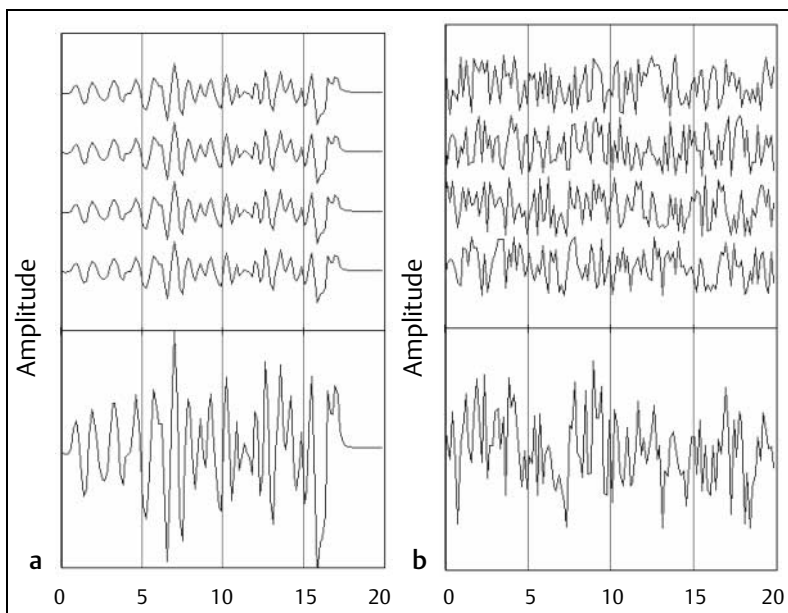


Abb. 2.5 Durch die Summation von mehreren Signalabschnitten, die aus OAE und Rauschen zusammengesetzt sind, verbessert sich das Signal/Rausch-Verhältnis, da die Amplitude der Emission (a) in stärkerem Maße zunimmt als die des Rauschens (b).

Weil das unveränderliche OAE-Signal in allen registrierten Abschnitten dieselbe Gestalt hat, verhält es sich bei Summation prinzipiell anders als das stochastische Rauschen: Das Nutzsignal nimmt streng proportional zur Zahl der Additionen zu, das Störgeräusch hingegen wächst unter bestimmten Voraussetzungen proportional zur Wurzel aus der Zahl der Additionen (Abb. 2.5). Bei Verarbeitung von vier Registrierungen vervierfacht sich somit die Amplitude der OAE, während die Amplitude des Störgeräusches sich lediglich verdoppelt. Auf diese Weise wird die *relative* Amplitude des Restrauschens mit steigender Zahl von Mittelungen immer kleiner und es gelingt schließlich, die allen Signalabschnitten gemeinsamen Anteile herauszuarbeiten.

Es ist wichtig zu betonen, dass die Mittelung lediglich das *Verhältnis* der Amplituden von Signal und Rauschen beeinflusst: Während der Summation nimmt die Amplitude des Störsignals langsamer zu als die des Nutzsignals (Abb. 2.6). Die Division der summierten Kurve durch die Zahl der Summationen normiert die Amplituden auf kleinere und auch bei unterschiedlicher Zahl von