

# Das OAE-Handbuch

Otoakustische Emissionen in der Praxis

Sebastian Hoth  
Katrin Neumann



Thieme





# Das OAE-Handbuch

Otoakustische Emissionen  
in der Praxis

Sebastian Hoth  
Katrin Neumann

66 Abbildungen

Georg Thieme Verlag  
Stuttgart · New York

## Die Autoren

Prof. Dr. rer. nat. Sebastian Hoth  
Leiter der Audiologie  
Univ.-HNO-Klinik  
Im Neuenheimer Feld 400  
69120 Heidelberg

Prof. Dr. med. Katrin Neumann  
Leiterin der Abt. Pädaudiologie  
Klinik für Phoniatrie und  
Pädaudiologie  
Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Theodor-Stern-Kai 7  
60590 Frankfurt/Main

### *Bibliographische Information - der Deutschen Nationalbibliothek*

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2006 Georg Thieme Verlag KG  
Rüdigerstraße 14  
D-70469 Stuttgart  
Telefon: + 49/07 11/89 31-0  
Unsere Homepage: [www.thieme.de](http://www.thieme.de)

Printed in Germany

Umschlaggestaltung: Thieme Verlagsgruppe  
Umschlaggrafik: Martina Berge, Erbach  
Satz: Mitterweger & Partner GmbH,  
Plankstadt, gesetzt auf 3B2  
Druck: Druckhaus Götz GmbH, Ludwigsburg

ISBN 3-13-142561-X  
ISBN 978-3-13-142561-4

**Wichtiger Hinweis:** Wie jede Wissenschaft ist die Medizin ständigen Entwicklungen unterworfen. Forschung und klinische Erfahrung erweitern unsere Erkenntnisse, insbesondere was Behandlung und medikamentöse Therapie anbelangt. Soweit in diesem Werk eine Dosierung oder eine Applikation erwähnt wird, darf der Leser zwar darauf vertrauen, dass Autoren, Herausgeber und Verlag große Sorgfalt darauf verwandt haben, dass diese Angabe **dem Wissensstand bei Fertigstellung des Werkes** entspricht.

Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag jedoch keine Gewähr übernommen werden. **Jeder Benutzer ist angehalten**, durch sorgfältige Prüfung der Beipackzettel der verwendeten Präparate und gegebenenfalls nach Konsultation eines Spezialisten festzustellen, ob die dort gegebene Empfehlung für Dosierungen oder die Beachtung von Kontraindikationen gegenüber der Angabe in diesem Buch abweicht. Eine solche Prüfung ist besonders wichtig bei selten verwendeten Präparaten oder solchen, die neu auf den Markt gebracht worden sind. **Jede Dosierung oder Applikation erfolgt auf eigene Gefahr des Benutzers.** Autoren und Verlag appellieren an jeden Benutzer, ihm etwa auffallende Ungenauigkeiten dem Verlag mitzuteilen.

Geschützte Warennamen (Warenzeichen) werden **nicht** besonders kenntlich gemacht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt. Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

## Einige Worte zuvor

Otoakustische Emissionen sind eigentlich gar nicht messbar, denn ihre Intensität ist zu klein und sie sind in zu hohem Maße von Störeinflüssen überlagert. Aus diesem Grund haben sie sich nach ihrer Postulierung durch *Thomas Gold* im Jahr 1948 ganze 30 Jahre lang dem experimentellen Nachweis entzogen. Aber ähnlich wie der Mount Everest heute von nahezu jedem wohlhabenden Touristen bestiegen werden kann, obwohl er vor der Erstbesteigung durch *Sir Edmund Hillary* als unbezwingbar galt oder ebenso wie das erste Klavierkonzert von *Tschaikowskij* heute zum Repertoire eines jeden Nachwuchspianisten gehört, obwohl es zu Lebzeiten des Komponisten von den großen Virtuosen seiner Zeit als unspielbar bezeichnet wurde – ebenso sind die Probleme bei der Messung der otoakustischen Emissionen seit der Pionierleistung von *David Kemp* im Jahr 1978 nicht nur gelöst, sondern scheinbar sogar verschwunden. Otoakustische Emissionen *sind* heute messbar – und zwar prinzipiell jederzeit und überall.

Dennoch besteht keine Gewähr dafür, dass jeder Versuch, otoakustische Emissionen zu messen, gelingen muss. Die Schwierigkeiten des Signalnachweises bestehen prinzipiell bei jeder einzelnen Messung in etwas anderer Form. Der Anwender muss die Urfahrung des Entdeckers in kleinem Maßstab nachbilden. Er trifft immer wieder Bedingungen an, die den Signalnachweis erschweren oder verhindern. Es bestehen zahlreiche Fehlerquellen, die weder eindeutig erkennbar noch vollständig kontrollierbar sind. Zur Untersuchung der otoakustischen Emissionen beider Ohren eines Patienten gehören außer bei Screening-Geräten etwa 40 Handgriffe und Entscheidungen. Dem unerfahrenen Anwender der Methode unterlaufen Fehler, die weder für ihn noch für andere nachvollziehbar sein müssen und die mit zunehmender Erfahrung ohne erkennbaren Grund ausbleiben. Erst dann kommen die Einfachheit, Robustheit und Zuverlässigkeit, die zu Recht mit der Methode assoziiert werden, zum Tragen.

So wie für eine neue Funktionsprüfung die Anwendbarkeit, der diagnostische Nutzen und die Überlegenheit gegenüber früheren Tests erwiesen sind, verpflichtet ihre Verfügbarkeit zu ihrer Anwendung. Die otoakustischen Emissionen sind relativ schnell vom Experimentierfeld zum festen Bestandteil des audiometrischen Methodeninventars geworden. In einigen Bereichen, insbesondere bei der Früherkennung kindlicher Hörstörungen, spielen sie heute eine bislang unbesetzte Hauptrolle, in anderen ergänzen sie die etablierten Verfahren um ein leistungsfähiges differenzialdiagnostisch nutzbares Instrument. Die zu ihrer Anwendung notwendigen Kenntnisse sind in diesem Handbuch zusammengetragen. Dessen eher bescheidener Umfang macht deutlich, dass es sich um durchaus leicht erlernbare Grundlagen handelt.

Zur Fertigstellung dieses Buches haben viele Personen beigetragen. Zu ihnen zählen Frau Melanie Polzer, Frankfurt, Frau Katrin Gudmundsdottir, Heidelberg, und Herr Holger Rupp-Waibel, Heidelberg, sowie Frau Dr. Sabine Vogel und Herr Dr. Christian Urbanowicz vom Georg Thieme Verlag, Stuttgart. Ihnen allen sei an dieser Stelle für ihre Mitwirkung, Hilfe und Unterstützung herzlich gedankt.

Frankfurt und Heidelberg,  
im Sommer 2006

*Katrin Neumann  
und Sebastian Hoth*

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Grundlagen</b> .....	1
1.1 Physiologischer Hintergrund .....	1
1.2 Einteilung der otoakustischen Emissionen .....	3
1.3 Diagnostische Bedeutung der otoakustischen Emissionen .....	4
<b>2 Messung der OAE</b> .....	5
2.1 Das Messverfahren .....	5
2.1.1 Filterung von Störeinflüssen .....	5
2.1.2 Durchführung der Messung .....	12
2.2 Neugeborenen-Hörscreening .....	15
2.2.1 Konnatale Hörstörungen .....	15
2.2.2 Screening-Verfahren zum Nachweis konnataler Hörstörungen .	17
2.2.3 OAE-Screening .....	28
2.2.4 DPOAE-Screening .....	31
2.3 Diagnostische Bestimmungsuntersuchungen .....	31
2.3.1 Messung von TEOAE .....	32
2.3.2 Messung von DPOAE .....	36
2.4 Messverfahren für spezielle Fragestellungen .....	39
2.4.1 Transitorisch evozierte otoakustische Emissionen .....	40
2.4.2 Distortion Product Otoacoustic Emissions .....	43
<b>3 Auswertung der OAE</b> .....	47
3.1 Screening-Untersuchungen .....	47
3.2 Diagnostische Bestimmungsuntersuchung .....	49
3.2.1 Auswertung der TEOAE .....	50
3.2.2 Auswertung der DPOAE .....	56
3.3 Auswertung bei speziellen Fragestellungen .....	58
3.3.1 TEOAE .....	59
3.3.2 DPOAE .....	61
<b>4 Audiologische Deutung der OAE</b> .....	63
4.1 Screening-Untersuchungen .....	64
4.2 Diagnostische Bestimmungsuntersuchung .....	68
4.3 Quantitative Auswertungen .....	76
4.3.1 Seitendifferenzen und Einfluss des Geschlechts .....	77
4.3.2 Frequenzabhängigkeit des Hörverlustes .....	78
4.3.3 Quantitative Rekonstruktion der Hörschwelle .....	82



4.4	Untersuchung spezieller Fragestellungen	86
4.4.1	Lärmschäden des Innenohres	87
4.4.2	OAE und Presbyakusis	89
4.4.3	OAE und ototoxische Substanzen	92
4.4.4	OAE und Hörsturz	97
4.4.5	OAE und Tinnitus	98
4.4.6	Auditorische Neuropathie	99
4.4.7	Neurale und zentrale Hörstörungen	104
4.4.8	Zusammenfassende Wertung	104
<b>5</b>	<b>Fallbeispiele</b>	<b>107</b>
5.1	Vollständige EOAE	107
5.2	OAE beim Säugling	109
5.3	Einfluss spontaner OAE	110
5.4	Presbyakusis	111
5.5	Hoher permanenter Störgeräuschpegel	111
5.6	Ungünstige Sondenlage	113
5.7	TEOAE-Messung ohne Emissionen	115
5.8	Reizartefakt	115
5.9	Schallleitungsschwerhörigkeit	115
5.10	Innenohrschwerhörigkeit	118
5.11	Hörsturz	120
5.12	Akustikusneurinom	123
5.13	Meningeom	123
5.14	Neurofibromatose II	125
5.15	Psychogene Hörstörung	125
<b>Literatur</b>		<b>130</b>
<b>Register</b>		<b>141</b>

# 1

## Grundlagen

Das Ziel der Audiometrie besteht darin, die Funktion des Hörsystems möglichst vollständig zu erfassen und Funktionsdefizite möglichst lückenlos zu erkennen und quantitativ zu beschreiben. Wird zu dem hiermit definierten Zweck eine mit dem Hörvorgang einhergehende und für ihn relevante physikalische Größe messtechnisch erfasst, so spricht man von objektiver Audiometrie – in Abgrenzung zu den psychoakustischen Methoden der subjektiven Audiometrie. Nach Möglichkeit möchte der Untersucher *alle* relevanten funktionellen Parameter des Gehörs erfassen: die Empfindlichkeit (Hörschwelle), das Intensitäts-, Frequenz- und Zeitauflösungsvermögen, die sprachliche Diskriminationsleistung und das akustische Lokalisationsvermögen. Weiterhin sollte die Untersuchung Information darüber erteilen, ob der Reiz bewusst wahrgenommen wurde und in welchem Teil des Hörsystems gegebenenfalls ein Funktionsdefizit vorliegt. Trotz der Vielfalt der heute verfügbaren Untersuchungsmethoden wird weder die subjektive noch die objektive Audiometrie diesen hohen Ansprüchen in vollem Umfang gerecht. Insbesondere entzieht sich der bewusste Hörvorgang bei den in der heutigen praktischen Audiometrie angewendeten Methoden dem objektiven Nachweis. Hingegen ist das differenzialdiagnostische Potenzial der objektiven Verfahren in ihrer Gesamtheit ganz beachtlich, da die einzelnen Methoden für definierte anatomische Strukturen und funktionelle Einheiten spezifisch sind.

### 1.1 Physiologischer Hintergrund

Bei geeigneter Reizung kann eine Vielzahl akustischer und elektrischer Reaktionen des Hörsystems ausgelöst und registriert werden.

Die akustischen Reizantworten oder evozierten otoakustischen Emissionen (EOAE) entstehen als Nebenprodukt der nichtlinearen aktiven Verstärkung des Schallsignals durch die äußeren Haarsinneszellen (*outer hair cells*, OHC) des Innenohres. Diese Sinneszellen besitzen die Fähigkeit zu aktiven Kontraktionen und Elongationen. Molekularbiologische Basis der Haarzellenmotilität ist die Aktion eines spannungsabhängigen Proteins in der Zellmembran der OHC, das wegen seiner Fähigkeit zur Erzeugung sehr schneller Bewegungen den Namen *Prestin* erhalten hat (*Dallos und Fakler 2002, Sziklai et al. 2003*). Durch ihre Bewegungen vergrößern die äußeren Haarzellen an einem eng umgrenzten und durch das frequenzabhängige Maximum der Wanderwelle festgelegten

Ort die Amplitude schwacher Schallsignale und erhöhen damit die Sensibilität und das Frequenzauflösungsvermögen des Gehörs.

Aktive Verstärkung bedeutet, dass dem Schallsignal Energie zugeführt wird.

Die OHC erleichtern dem Gehör den Nachweis des Schallsignals nur bei niedrigen Reizpegeln durch aktive Vorgänge. Dies hat zur Folge, dass die Signalverarbeitung des Innenohres von der Stärke des Eingangssignals abhängt. Ein solches Verhalten wird als nichtlinear bezeichnet. Zudem ist die für die Nichtlinearität ursächliche Haarzellaktivität auf den auf die Reizfrequenz abgestimmten Ort der Basilarmembran begrenzt; abseits dieses Ortes ist die Arbeitsweise von der Reizstärke weniger abhängig und somit weitgehend linear.

Nichtlineare Verstärkung bedeutet, dass die Verarbeitung des Schallsignals nicht von seiner Frequenz und seiner Intensität unabhängig ist.

Der Ort der besten Frequenzabstimmung wird durch seine Nichtlinearität und Aktivität zum Ausgangspunkt einer Wanderwelle (retrograde Wanderwelle), für deren Ausbreitung innerhalb der Kochlea (Hörschnecke) dieselben Gesetze gelten wie für die durch den Reiz ausgelöste primäre (anterograde) Wanderwelle. Dadurch gelangt die sekundäre Welle zum ovalen Fenster, von wo sie über die Gehörknöchelchen durch das Mittelohr übertragen und vom Trommelfell in den äußeren Gehörgang abgestrahlt wird. Hier kann sie mit einer geeigneten Messsonde als Schallsignal aufgezeichnet werden, soweit die Trennung vom Hintergrundgeräusch und dem gegebenenfalls anwesenden akustischen Reiz gelingt. Die Zusammenhänge zwischen Haarzellaktivität, Nichtlinearität, Hörschwelle, Frequenzauflösungsvermögen und OAE sind in Abb. 1.1 veranschaulicht.

Die Aktivität der äußeren Haarsinneszellen ...			
... verstärkt den Schall	... erzeugt eine sekundäre Wanderwelle	... ist auf niedrige Reizpegel begrenzt	... ist auf einen engen Frequenzbereich begrenzt
→ erhöhte Empfindlichkeit	→ TEOAE	→ Nichtlinearität	→ bessere Frequenzauflösung
→ niedrige Hörschwelle		→ Verzerrungen	
		→ DPOAE	

Abb. 1.1 Zusammenhänge zwischen Haarzellaktivität, Hörschwelle, Nichtlinearität, Frequenzauflösungsvermögen und OAE.

## 1.2 Einteilung der otoakustischen Emissionen

Die auf die beschriebene Weise entstehenden otoakustischen Emissionen (OAE) treten auf:

- ohne akustischen Reiz (*spontane OAE*, SOAE)
- ausgelöst bzw. *evoziert* durch einen akustischen Reiz (EOAE)
- als getriggerte oder *synchronisierte spontane Emissionen* (SSOAE).

Unter den EOAE besteht eine weitere Unterteilung, die sich primär am methodischen Vorgehen zu ihrer Messung orientiert:

- poststimulatorische, *nach* einem akustischen Reiz auftretende verzögerte Emissionen (*transitorisch evozierte OAE*, TEOAE)
- perstimulatorische, *während* der akustischen Stimulation auftretende OAE.

Zur Auslösung der perstimulatorischen OAE werden ausschließlich Sinusdauertöne verwendet:

- Besteht der Reiz aus einem einzigen Ton, so entstehen die *Stimulusfrequenz-Emissionen* (SFOAE), deren Frequenz mit der des Reizes übereinstimmt.
- Bei Reizung mit zwei Tönen entstehen neben den SFOAE die *otoakustischen Distorsionsprodukte* (*distortion product otoacoustic emissions*, DPOAE), deren Frequenz sich von den Frequenzen der Reiztöne unterscheidet.

Die Systematik aller genannten OAE-Typen ist in Abb. 1.2 gezeigt.

Diagnostisch genutzt werden nahezu ausschließlich die TEOAE und die DPOAE, da spontane OAE auch bei normalhörenden Ohren bei weitem nicht immer anzutreffen sind und weil die Messung der SFOAE mit besonderen Schwierigkeiten verbunden ist. Gelegentlich kommt aber den SOAE durchaus praktische Bedeutung zu, da sie erstens als SSOAE die evozierten OAE beeinflussen und zweitens in seltenen Fällen großer Amplitude mit subjektiv hörbaren Ohrgeräuschen einhergehen.

Otoakustische Emissionen (OAE)			
Spontane otoakustische Emissionen (SOAE)	Evozierte otoakustische Emissionen (EOAE)		
	Poststimulatorische OAE	Perstimulatorische OAE	
	Transitorisch evozierte OAE (TEOAE)	Stimulusfrequenz-Emissionen (SFOAE)	Otoakustische Distorsionsprodukte (DPOAE)

Abb. 1.2 Einteilung und Nomenklatur der verschiedenen Formen von OAE.

### 1.3 Diagnostische Bedeutung der otoakustischen Emissionen

Die audiologische Bedeutung der OAE beruht darauf, dass die Funktion der äußeren Haarzellen bei nahezu allen klinisch relevanten Funktionsstörungen des Innenohres beeinträchtigt ist und sich dieses Funktionsdefizit unmittelbar in den OAE widerspiegelt: Eine verringerte Aktivität der OHC führt zu einer Abnahme der OAE-Amplitude und zu einer Anhebung der Hörschwelle. Allerdings darf umgekehrt nicht aus jeder Auffälligkeit der OAE auf einen Haarzellschaden geschlossen werden, da auch die Funktion des Mittelohres wesentlich in das Untersuchungsergebnis eingeht. Insofern erlaubt nur ein *normaler* OAE-Befund einen eindeutigen Rückschluss auf die Innenohrfunktion.

Durch ein Funktionsdefizit der äußeren Haarzellen gehen nicht nur die OAE verloren, sondern das betroffene Ohr büßt auch einen Teil seiner Empfindlichkeit, seiner Dynamikkompression und seines Frequenzselektionsvermögens ein. Die Folge sind eine erhöhte Hörschwelle, ein verringerter Dynamikbereich und eine schlechtere Diskrimination insbesondere von Sprache. Inwiefern durch Haarzellschäden auch das Zeitauflösungsvermögen des Gehörs beeinträchtigt wird, kann heute noch nicht mit Sicherheit gesagt werden.

#### Interindividuelle Variabilität

Neben dem Hörvermögen tragen folgende Faktoren zu einer *großen interindividuellen Variabilität* der OAE bei:

- Alter und Geschlecht des Probanden
- Eigenschaften des Gehörgangs
- Mechanische Eigenschaften der Basilarmembran
- Unregelmäßigkeiten im Aufbau des Corti-Organ
- Eigenschaften der Haarzellen
- Überlagerung mehrerer OAE-Quellen
- Spontane Aktivität.

#### Intraindividuelle Variabilität

Die *intraindividuelle* Variabilität der OAE ist nur sehr klein, d. h. die OAE eines Ohres sind weitgehend konstant, solange die Hörleistung unverändert ist. Den größten Beitrag zur intraindividuellen Variabilität leisten die nicht konstanten externen Störeinflüsse. Darüber hinaus bewirkt die efferente Steuerung der äußeren Haarzellen in nicht genau bekannter Weise aber sicherlich nur in geringem Maße eine Abhängigkeit der OAE von Umgebungsgeräuschen, Vigilanz und Aufmerksamkeit.

# 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,

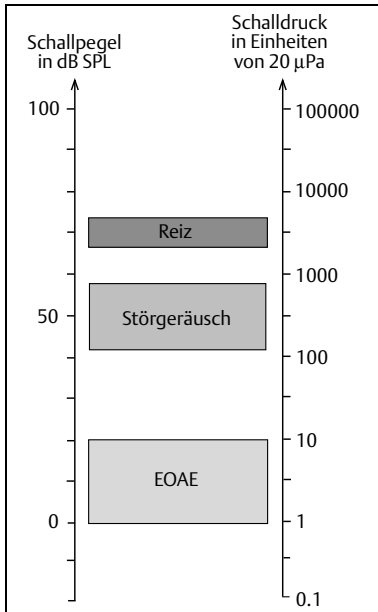


Abb. 2.1 Größenverhältnisse der Signalbeiträge, die bei der OAE-Messung eine Rolle spielen.

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 Störgeräuschhintergrund 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*

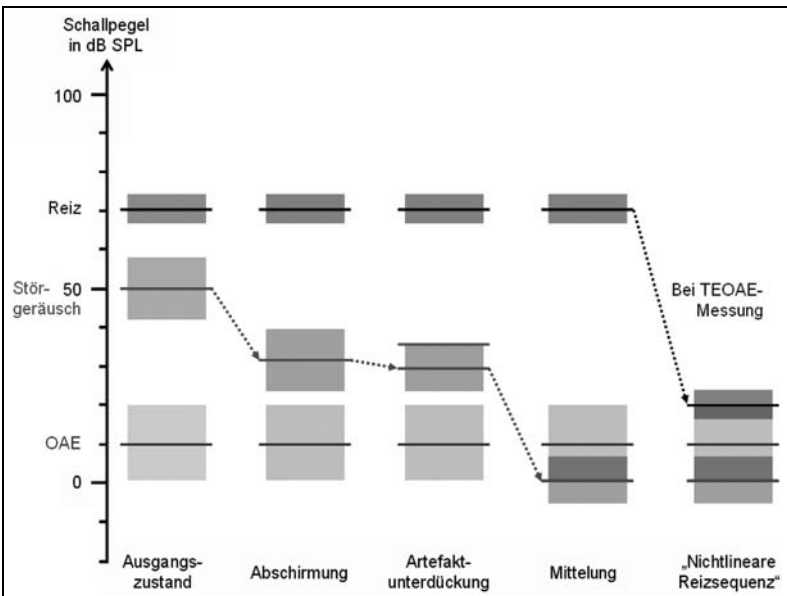


Abb. 2.2 Beeinflussung der Amplituden von Nutz- und Störsignal durch verschiedene Maßnahmen zur Verbesserung des Signal/Rausch-Verhältnisses (schematisch). Bis auf die „nichtlineare Reizsequenz“ gelten alle gezeigten Maßnahmen sowohl für die TEOAE als auch für die DPOAE.