

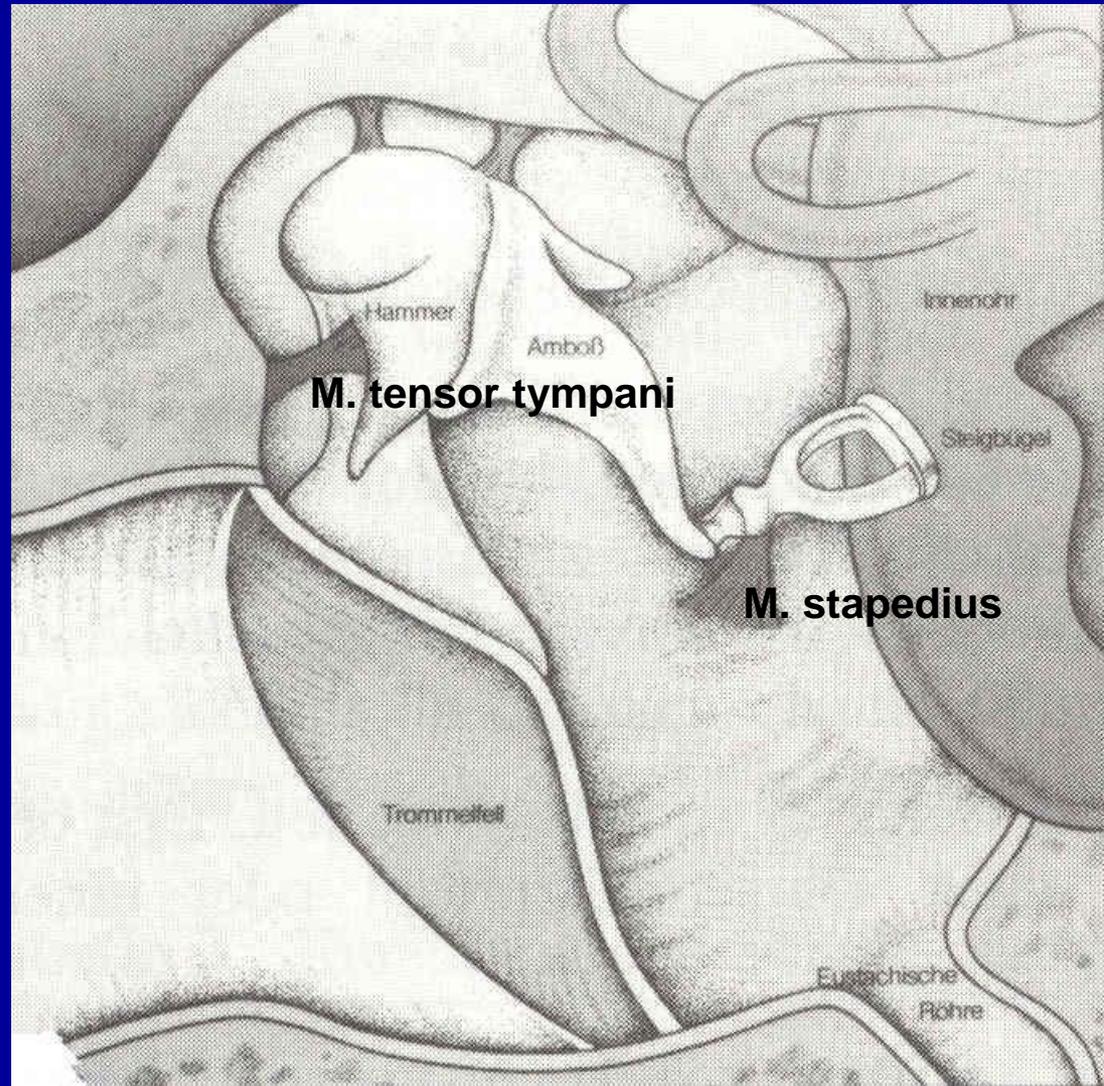
Impedanzmessung

Dr. med. Dr. rer. nat. R. Rödel



Mittelohr: Anpassung des akustischen Widerstandes vom Medium Luft auf die Perilymphe (Flüssigkeit) des Innenohres

Durch Schalldrucktransformation über Trommelfell und ovalem Fenster (Flächenverhältnis 17 : 1) sowie Hebelwirkung (Faktor 1,3) ergibt sich eine Verstärkung von ca. 22 dB. Bedingt durch Schallprotektion des runden Fensters (Verhinderung gleicher Phasen für beide Fenster) und Masse der Gehörknöchelchen ergibt sich für das Mittelohr eine Gesamtverstärkung von ca. 35 – 40 dB.

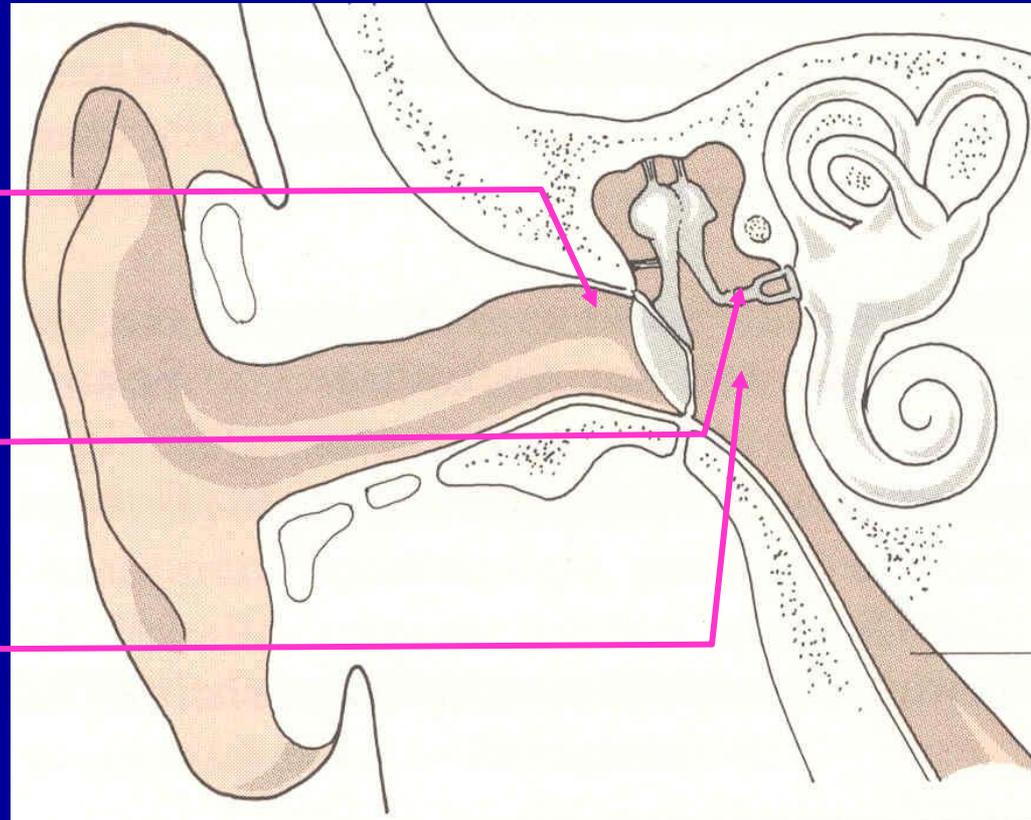


Beeinträchtigung der Schwingungsfähigkeit des Mittelohres führt zu einer **Schalleitungsschwerhörigkeit**

Physikalischer Trick, um Informationen über ein (schwingungsfähiges System) zu erhalten: **Störung des Systems** mit bekannten Randbedingungen, Ausmaß des veränderten Verhaltens gibt Information über das System.

Die Schwingungsfähigkeit des Mittelohres lässt sich beeinflussen durch:

- Änderung des Luftdruckes vor dem Trommelfell
- Physiologische Versteifung der Kette über Anspannung der Mittelohrmuskeln
- Änderung des Luftdruckes hinter dem Trommelfell

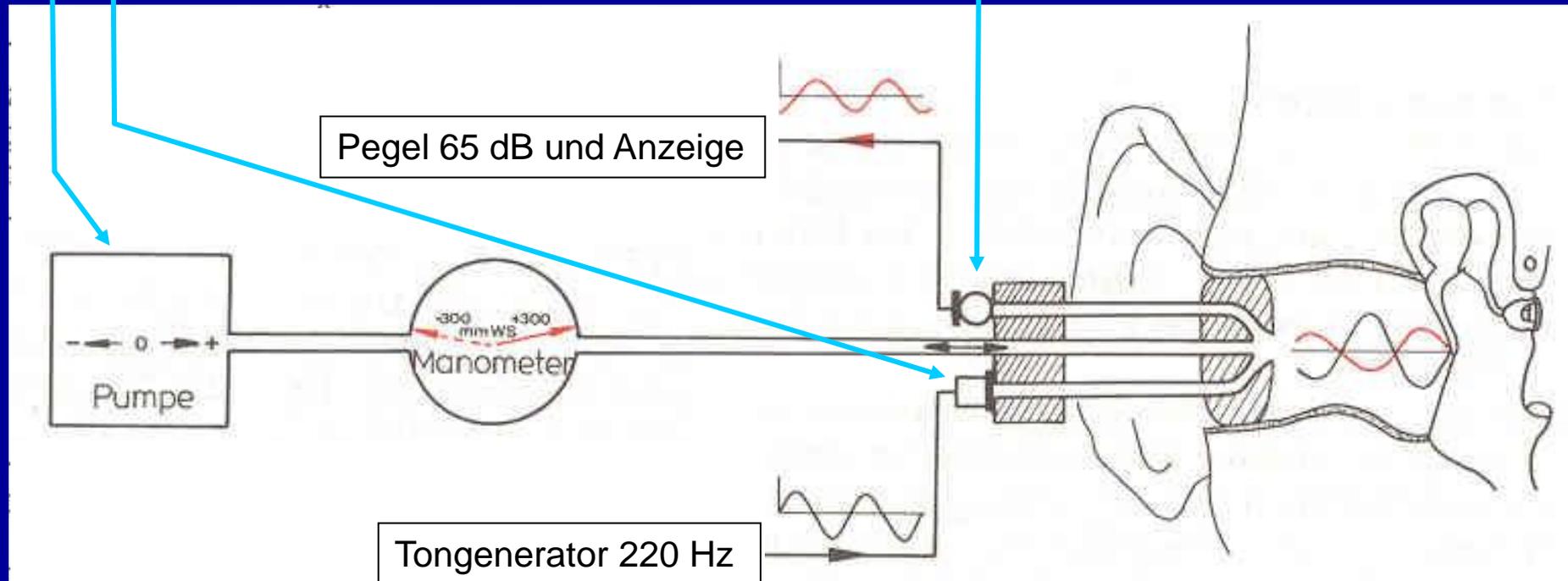


Die Sonde eines Impedanzmessgerätes hat drei Zuleitungen für:

Luftpumpe → Luftdruckänderung im äußeren Gehörgang

Lautsprecher → Beschallung des Trommelfells (Mittelohr)

Mikrophon → Erfassung des reflektierten Schalls



Impedanzaudiometrie

Hörprüfung mittels Messung des Schalleitungswiderstandes

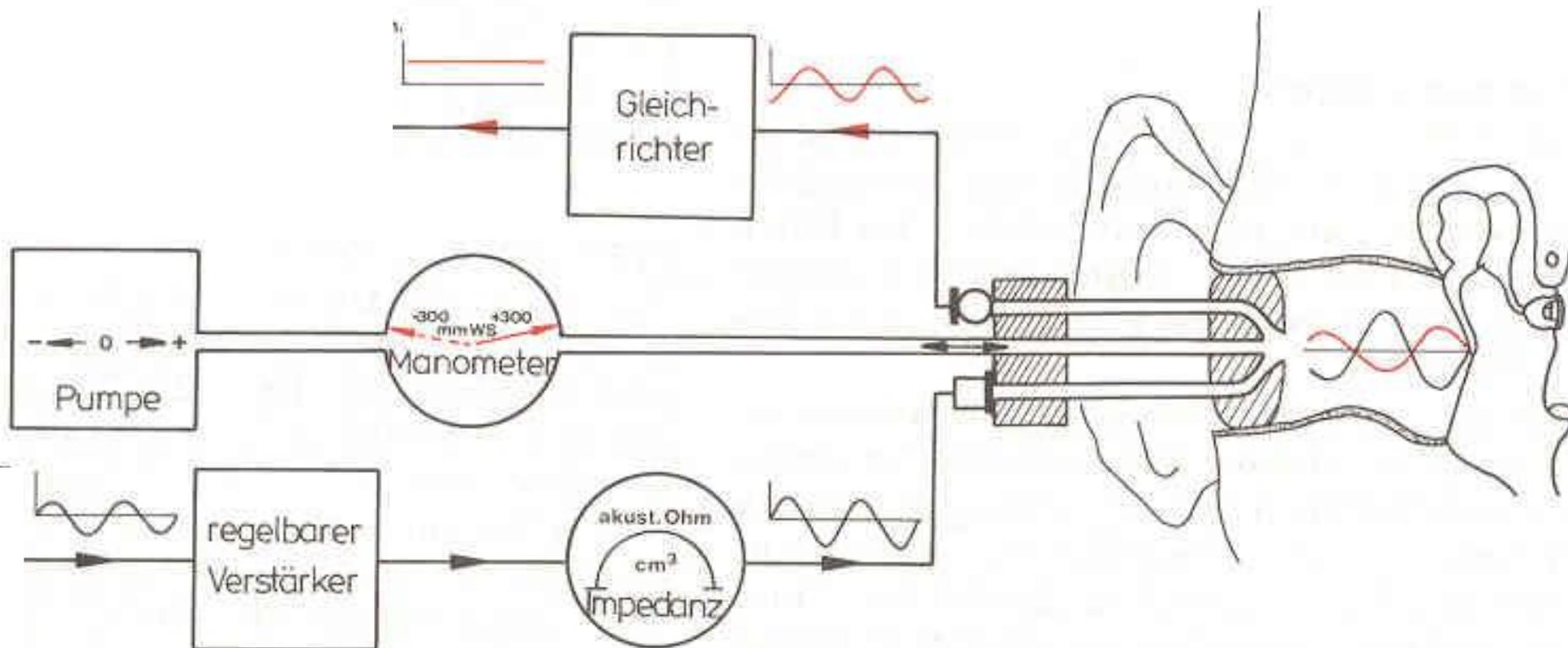
Impedanz = akustischer Widerstand

1. **Tympanometrie:** Prüfung der Schwingungsfähigkeit des Mittelohres
2. **Stapediusreflexmessung:** Messung der Impedanzänderung ausgelöst durch den akustikofazialen Reflex
3. **Tubenfunktion:** Messung der Impedanzänderung (oder Druckänderung) ausgelöst durch Druckänderungen im Mittelohr

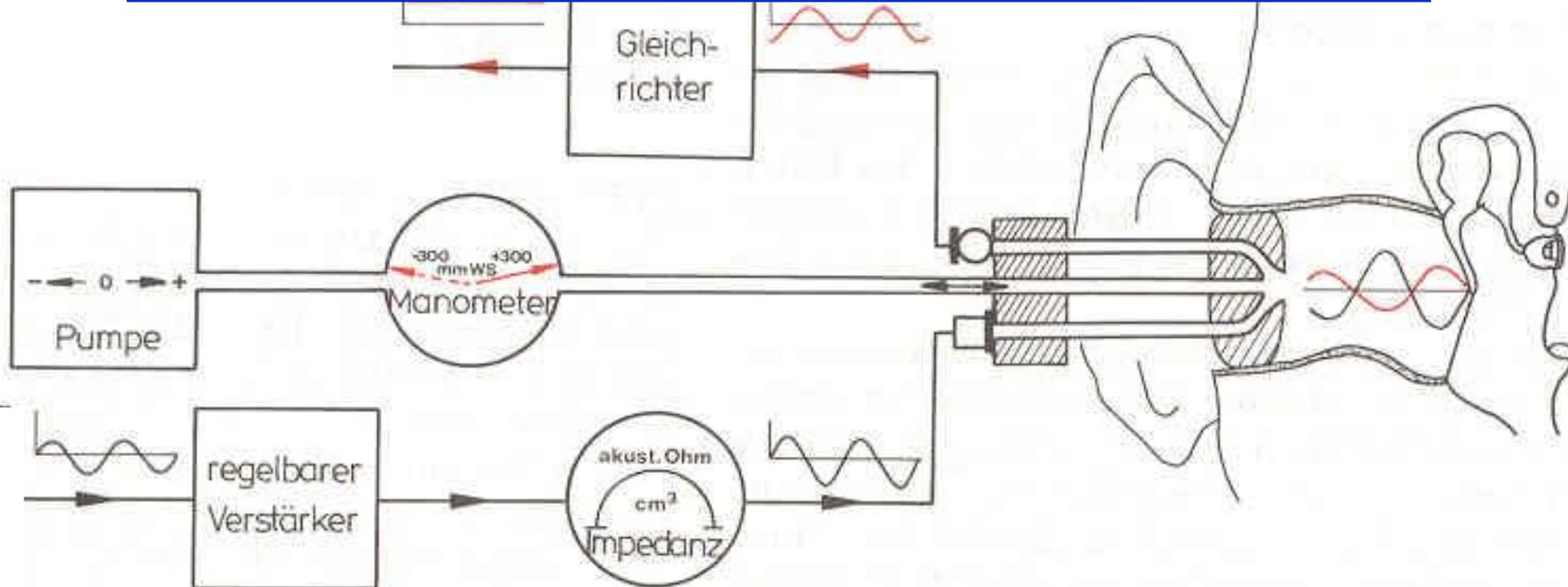
1. Tympanometrie

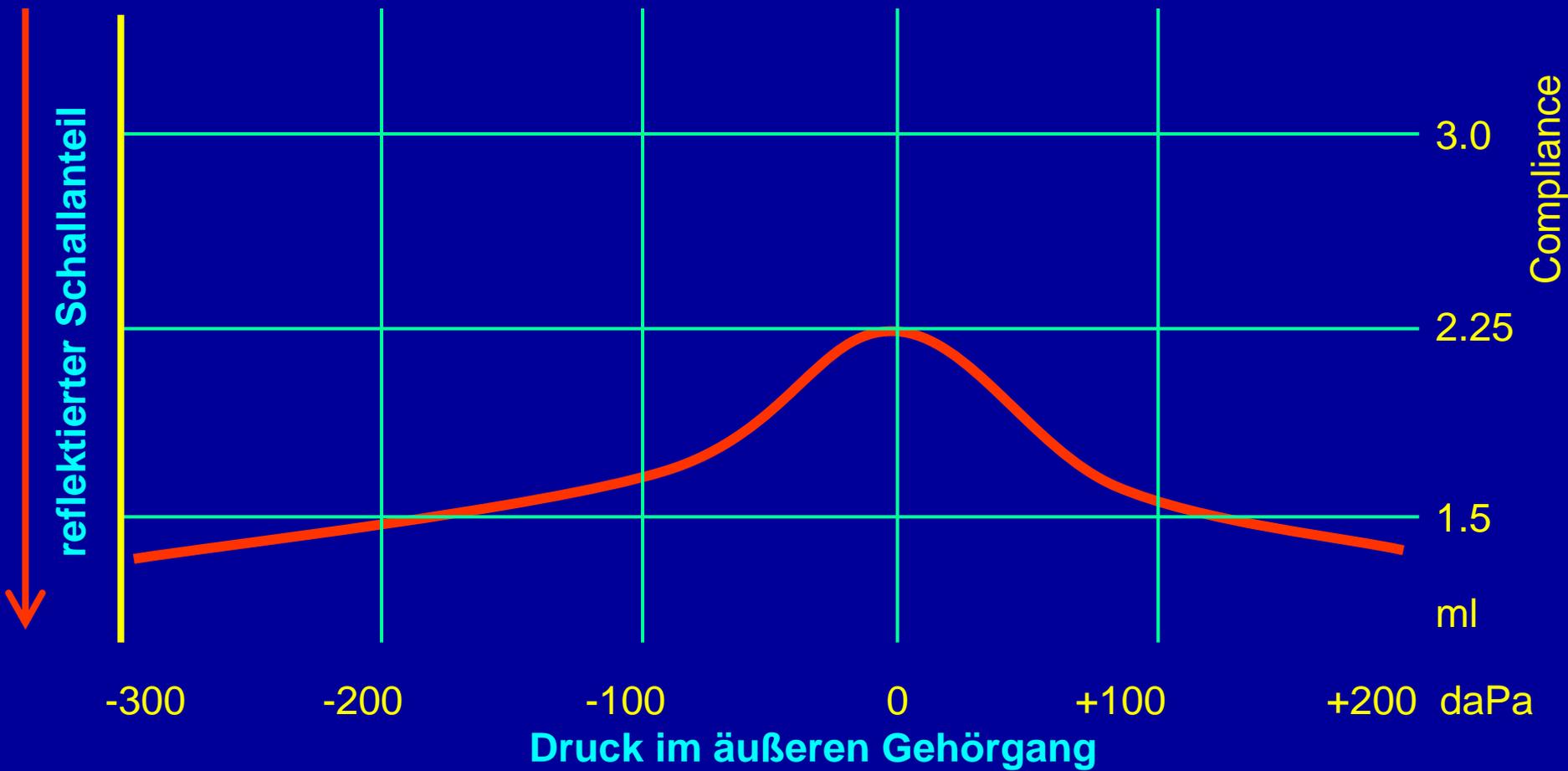
Tympanometrie:

- **Beschallung des Mittelohres bei unterschiedlichen Druckverhältnissen im äußeren Gehörgang**
- Messung der reflektierten Schallamplitude
- **Berechnung und Darstellung der Impedanz**



- Sonde luftdicht mit Stöpsel im Gehörgang plazieren
- **Druckaufbau** im Gehörgang (erfolgt automatisch bei luftdichtem Abschluß) bis Maximalwert von +200 daPa; durch den erhöhten Luftdruck wird das Trommelfell nach innen gedrückt, dadurch wird Trommelfellgehörknöchelchenapparat gespannt und **starr**
- Beginn der **Messung des reflektierten Schallanteils** → der zugeführte **Schall** wird am gespanntem Trommelfell und starrem Trommelfellgehörknöchelchenapparat **reflektiert**





Messvorgang bei der Tympanometrie:

- Sonde luftdicht mit Stöpsel im Gehörgang platzieren
- **Druckaufbau** im Gehörgang (erfolgt automatisch bei luftdichtem Abschluß) bis Maximalwert von +200 daPa; durch den erhöhten Luftdruck wird das Trommelfell nach innen gedrückt, dadurch wird **Trommelfellgehörknöchelchenapparat** gespannt und **starr**
- Beginn der **Messung des reflektierten Schallanteils** → der zugeführte Schall wird am gespanntem Trommelfell und starrem Trommelfellgehörknöchelchenapparat reflektiert
- Langsamer **Druckabbau** im Gehörgang: der Trommelfellgehörknöchelchenapparat kann ungehinderter schwingen, die zugeführte **Schallenergie** wird zunehmend absorbiert und weniger reflektiert
- Bei **Druckausgleich** (gleicher Luftdruck vor und hinter dem Trommelfell) kann der Trommelfellgehörknöchelchenapparat **optimal schwingen**, es wird maximale Schallenergie absorbiert und **minimaler Anteil reflektiert**
- weiterer **Druckabbau** im Gehörgang bis Minimalwert von - 300 daPa
- durch den verminderten Luftdruck wird das Trommelfell nach außen gezogen, dadurch wird der Trommelfellgehörknöchelchenapparat erneut gespannt und starr → der zugeführte Schall wird wieder stärker reflektiert

Großer Anteil von reflektiertem Schall:

starres, schlecht schwingendes System,
Schallenergie wird reflektiert

→ großer Widerstand (Impedanz)

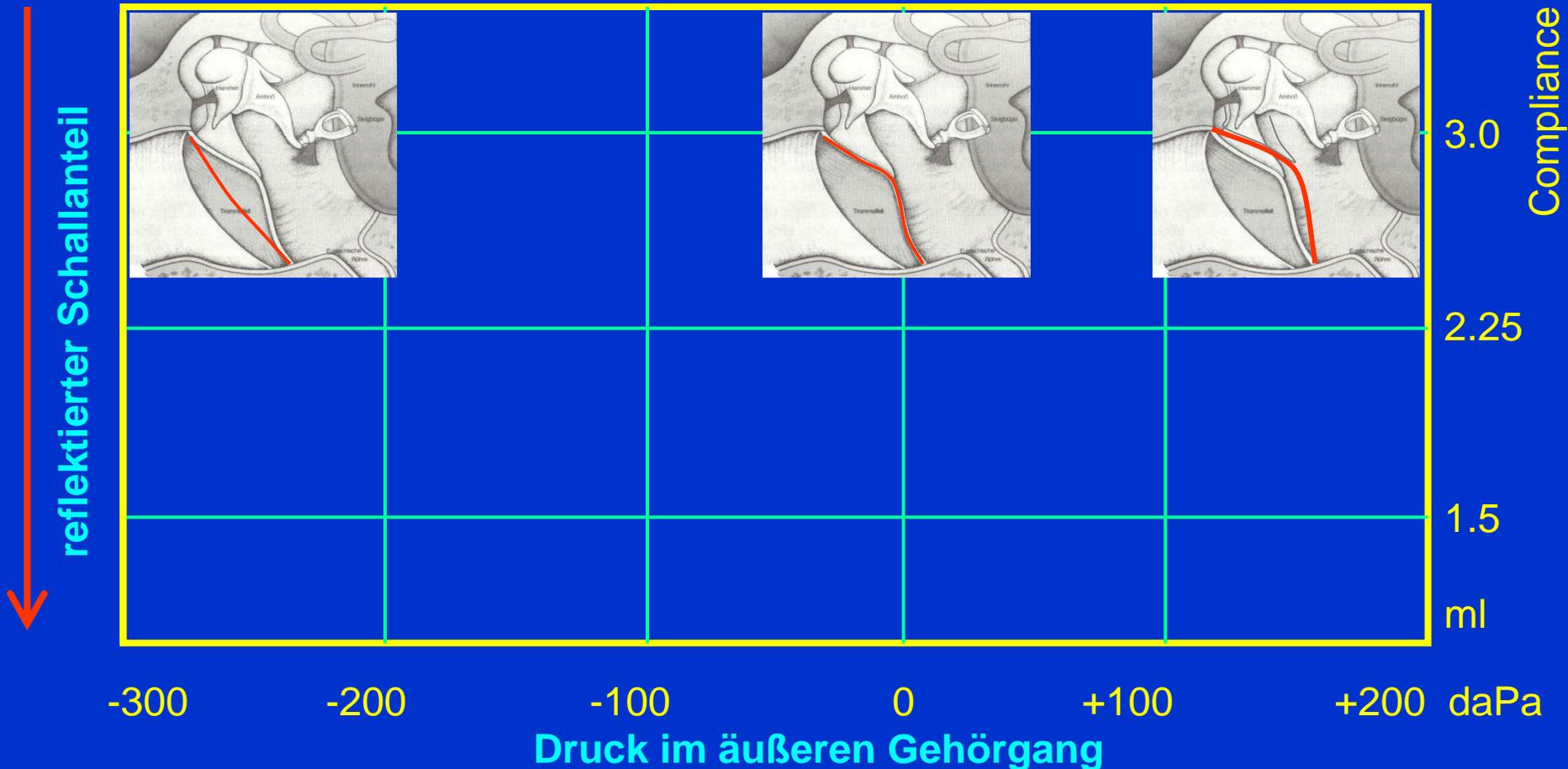
Kleiner Anteil von reflektiertem Schall:

elastisches, gut schwingendes System,
Schallenergie wird absorbiert

→ kleiner Widerstand (Impedanz)

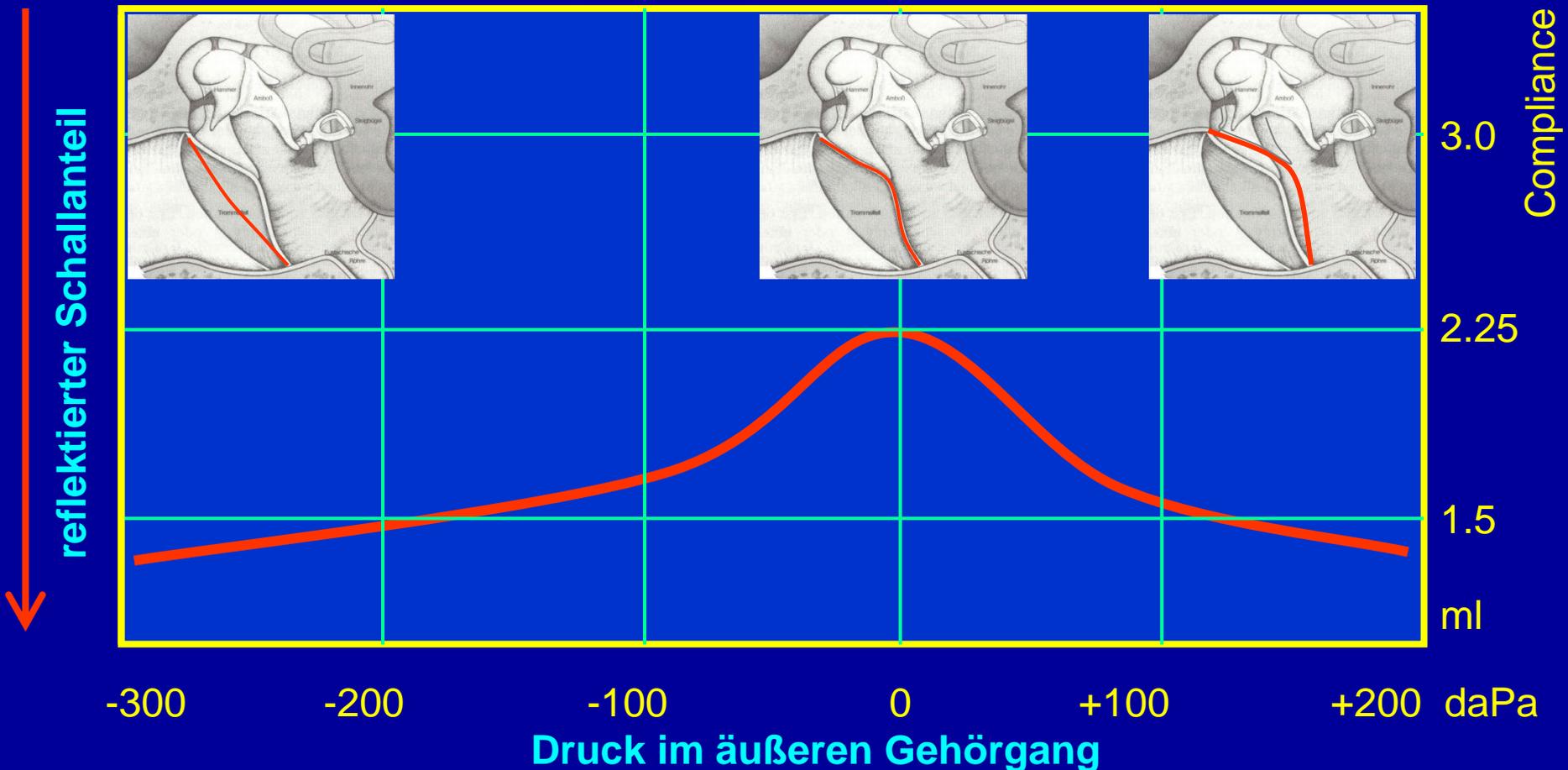
Normales Tympanogramm

Gleicher Luftdruck vor und hinter dem Trommelfell mit größter Schwingungsfähigkeit bei Atmosphärendruck als Zeichen einer optimalen Schallweiterleitung. Bei Über- und Unterdrucksituationen wird das Trommelfell aus seine physiologischen Schwingungsebene verschoben, wodurch sich die Schwingungsfähigkeit vermindert.



Normales Tympanogramm

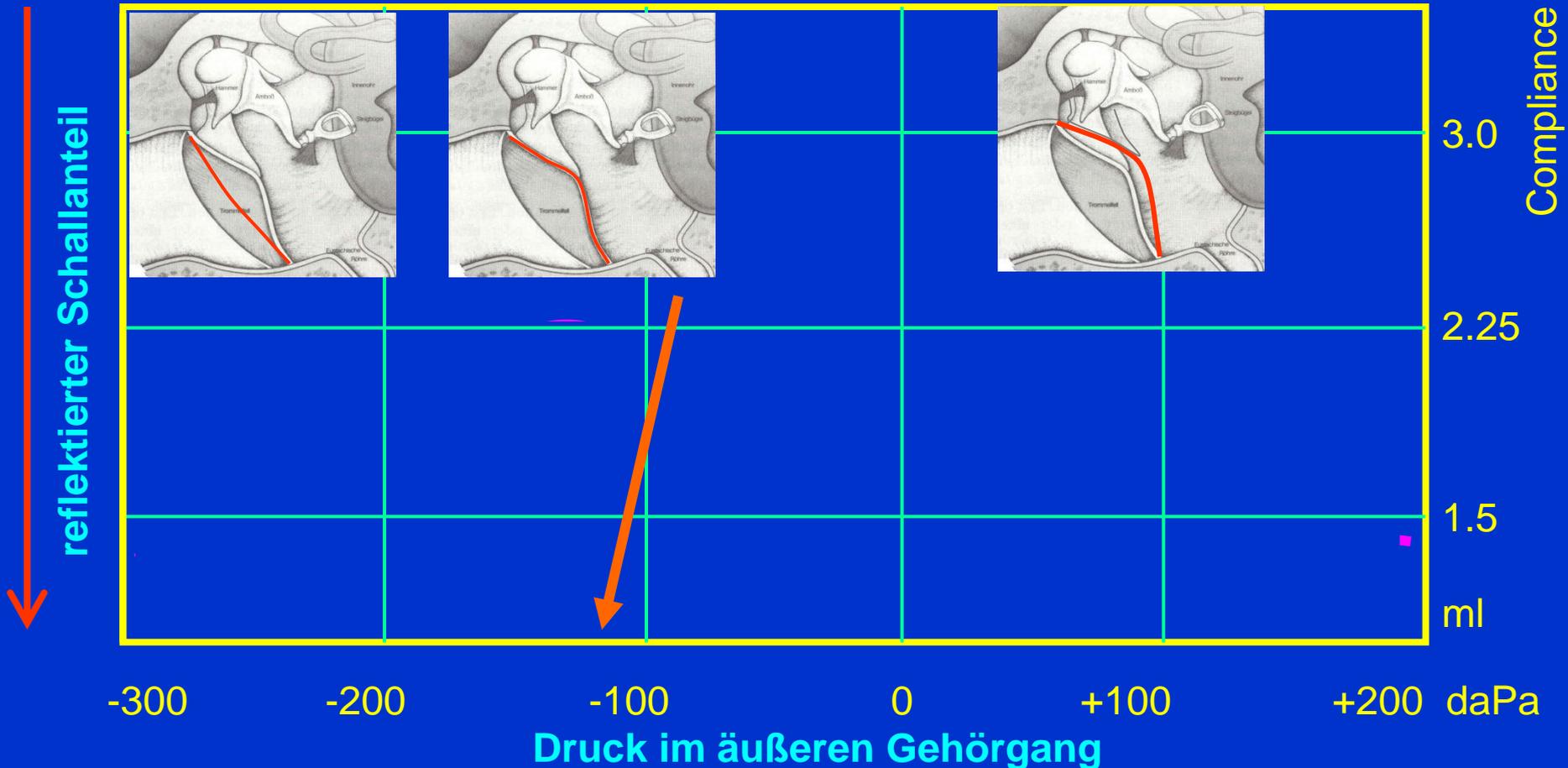
Gleicher Luftdruck vor und hinter dem Trommelfell mit größter Schwingungsfähigkeit bei Atmosphärendruck als Zeichen einer optimalen Schallweiterleitung. Bei Über- und Unterdrucksituationen wird das Trommelfell aus seine physiologischen Schwingungsebene verschoben, wodurch sich die Schwingungsfähigkeit vermindert.



Compliancemaximum im Unterdruckbereich

Unterdruck im Mittelohr, das Trommelfell ist nach innen eingezogen.

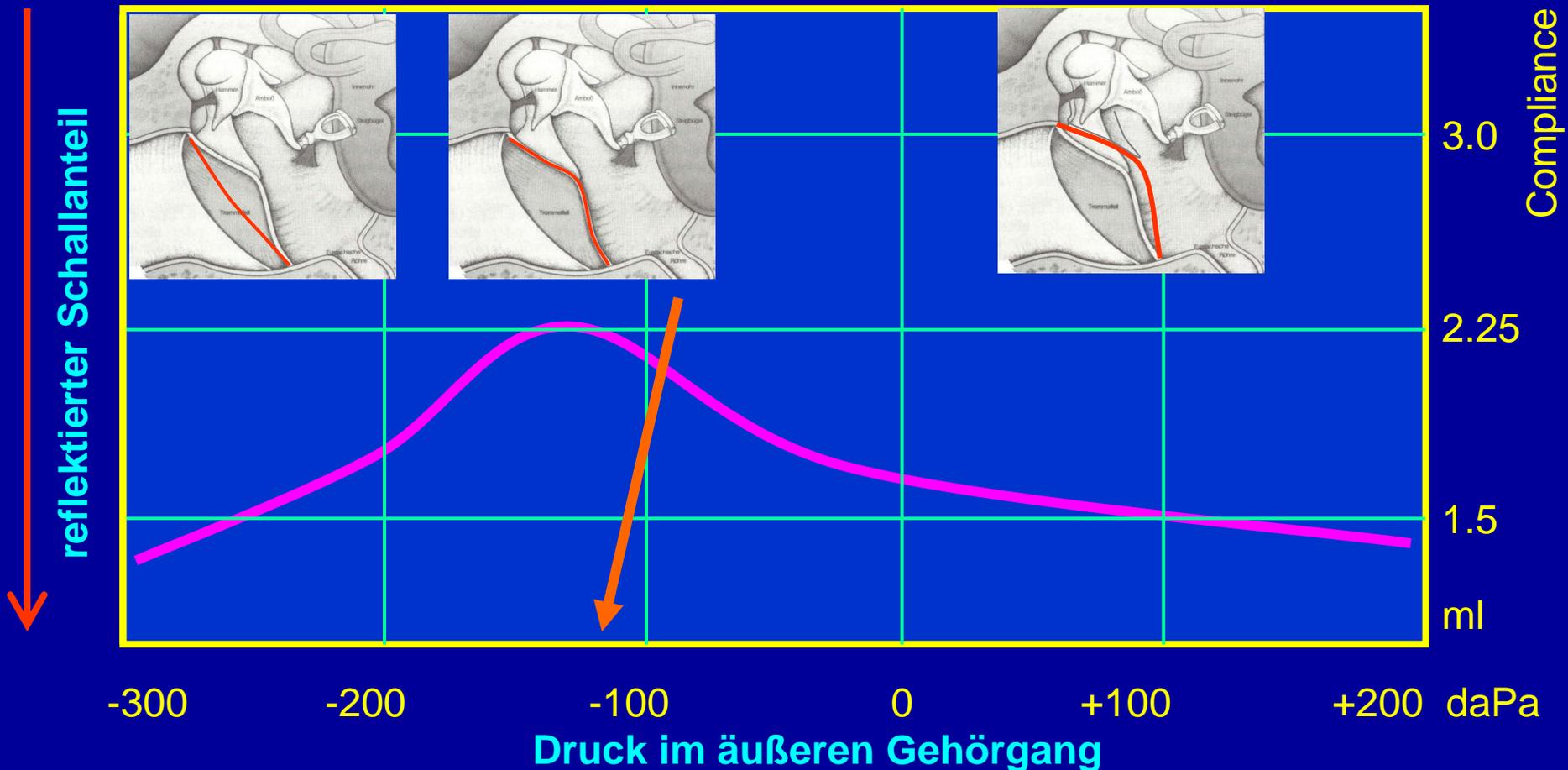
Durch Aufbau eines gleich starken Unterdruckes im Gehörgang wird das Trommelfell in seine physiologische Schwingungsebene zurückgezogen, in der optimale Schwingungsfähigkeit besteht.



Compliancemaximum im Unterdruckbereich

Unterdruck im Mittelohr, das Trommelfell ist nach innen eingezogen.

Durch Aufbau eines gleich starken Unterdruckes im Gehörgang wird das Trommelfell in seine physiologische Schwingungsebene zurückgezogen, in der optimale Schwingungsfähigkeit besteht.



Verlagerung des Compliancemaximums in den Unterdruckbereich bedingt durch:

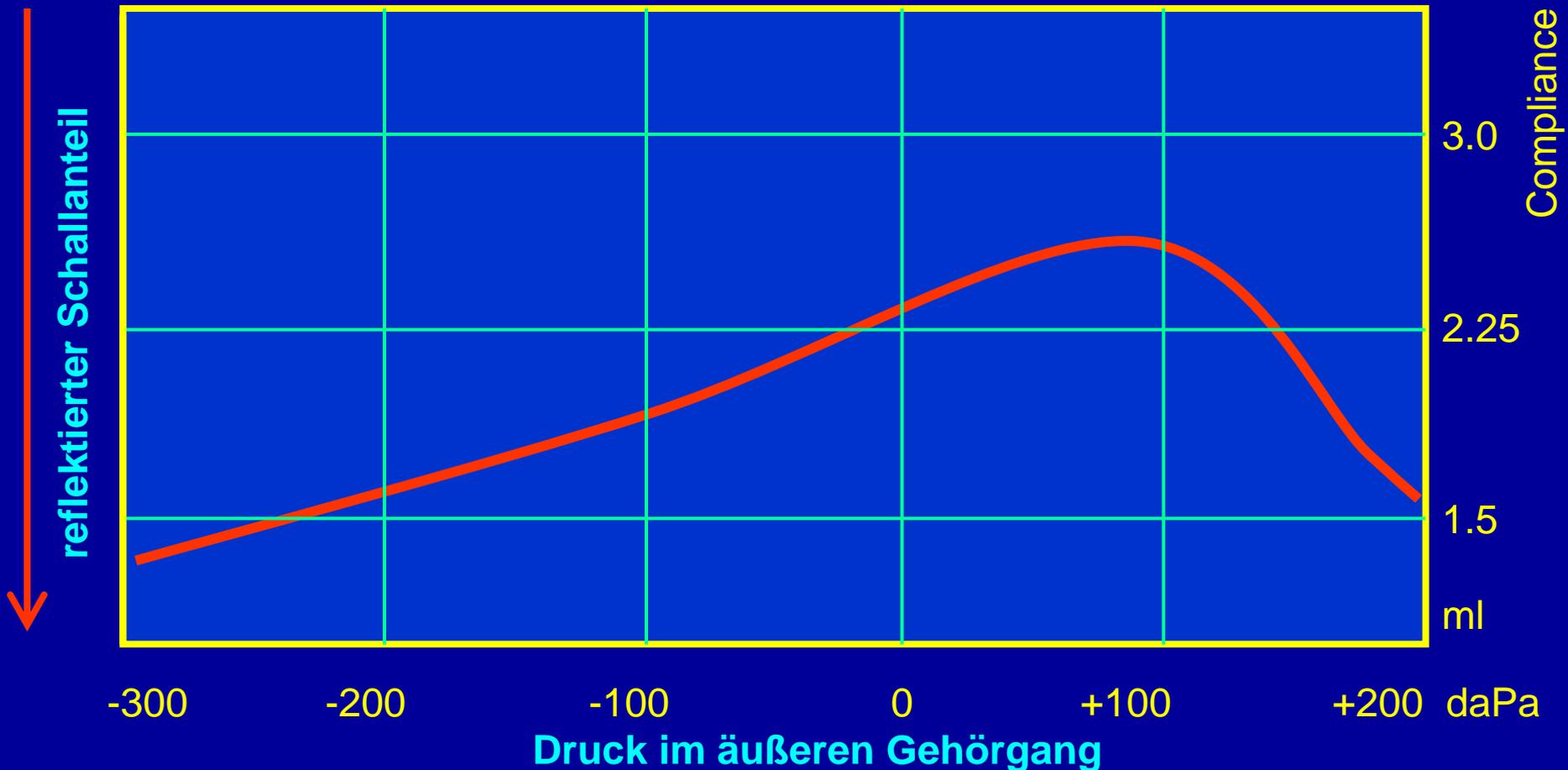
- Unterdrucksituation des Mittelohres (unzureichende Mittelohrbelüftung)
- evtl. Mittelohrprozess (Serotympanon)



Spiegelbildung, Patient nach vorne gebeugt

Compliancemaximum im Überdruckbereich

Im Mittelohr besteht ein Überdruck, das Trommelfell ist nach außen vorgewölbt. Durch Aufbau eines gleich starken Überdruckes im Gehörgang wird das Trommelfell in seine physiologische Schwingungsebene zurückgedrückt, in der optimale Schwingungsfähigkeit besteht.



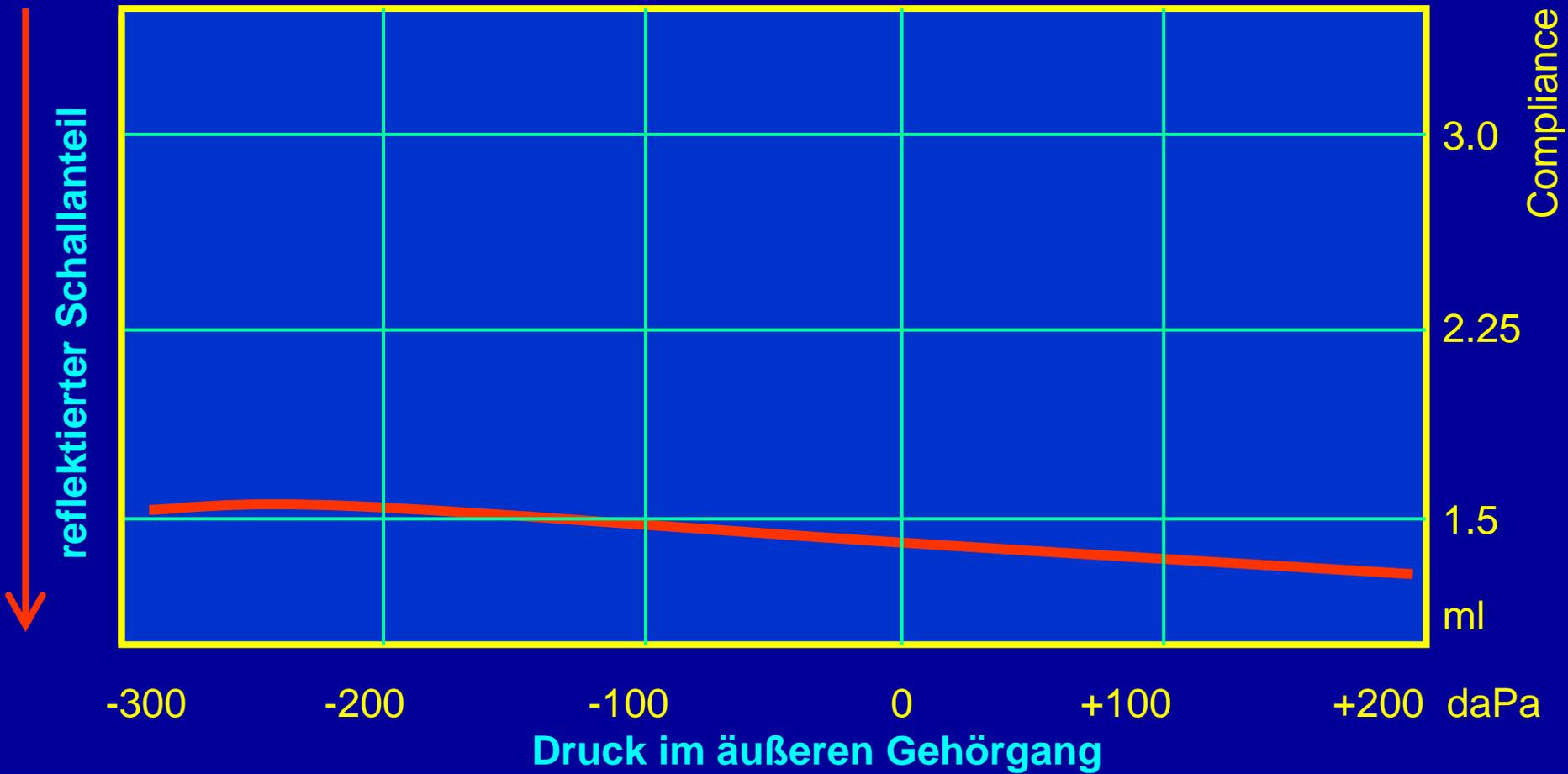
Verlagerung des Compliancemaximums in den Überdruckbereich, bedingt durch:

Pressversuch, Schneuzen

- „lautstarkes Mitteilungsbedürfnis der Untersuchungsperson (Kind)“
- vorübergehend
- **kein Krankheitswert**

Erniedrigte Compliance

Das Mittelohr ist ausgefüllt oder kaum schwingungsfähig, so dass die Trommelfellebene durch Über- oder Unterdruck nicht verändert werden kann. Flacher Kurvenverlauf, kein Compliancemaximum



Die **erniedrigte Compliance** kann bedingt sein durch

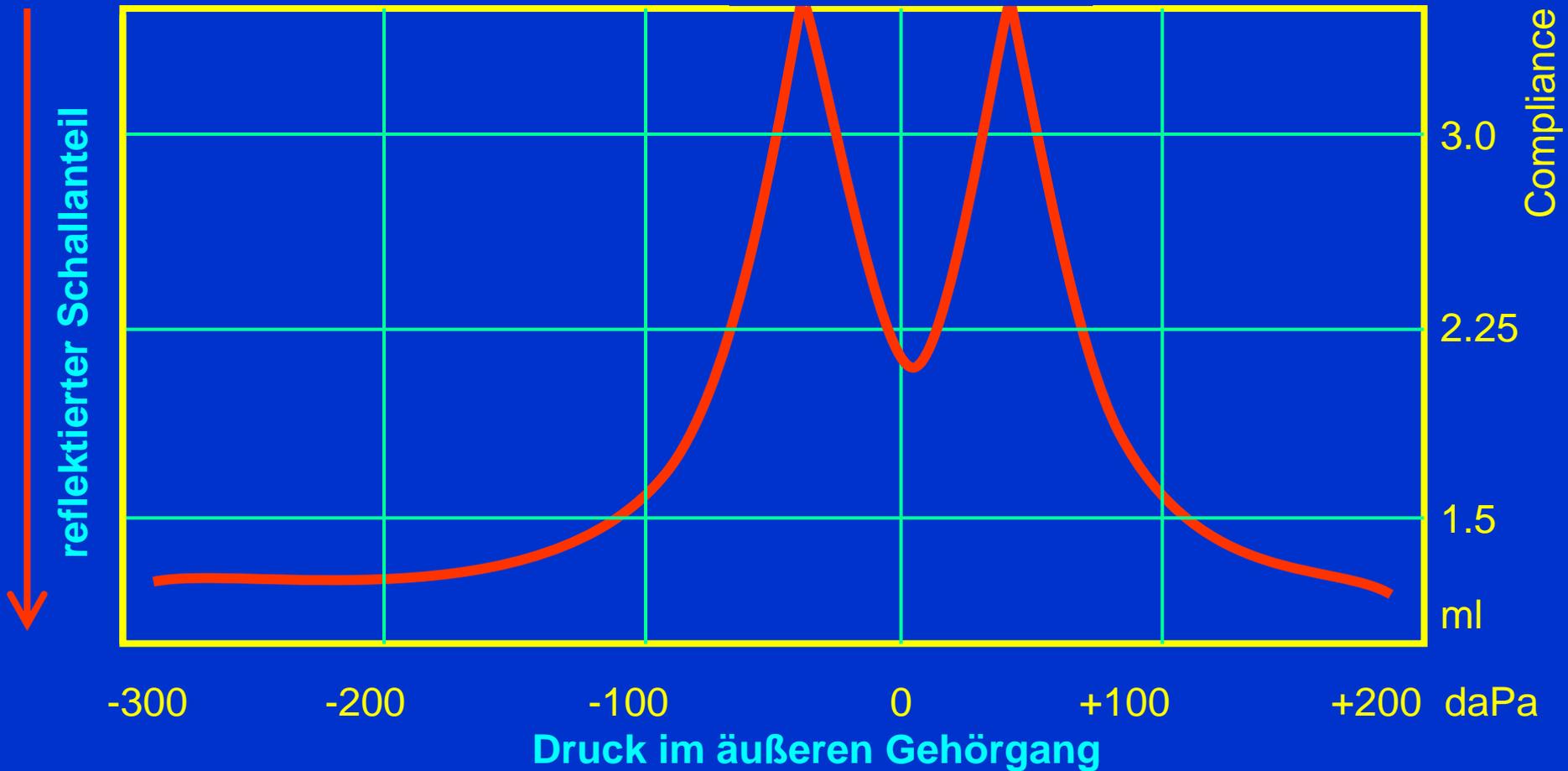
- fibröse, narbige Veränderung des Trommelfells
- Mittelohrprozess (z. B. Mukoserotympanon, Adhäsivprozess, Otitis media)

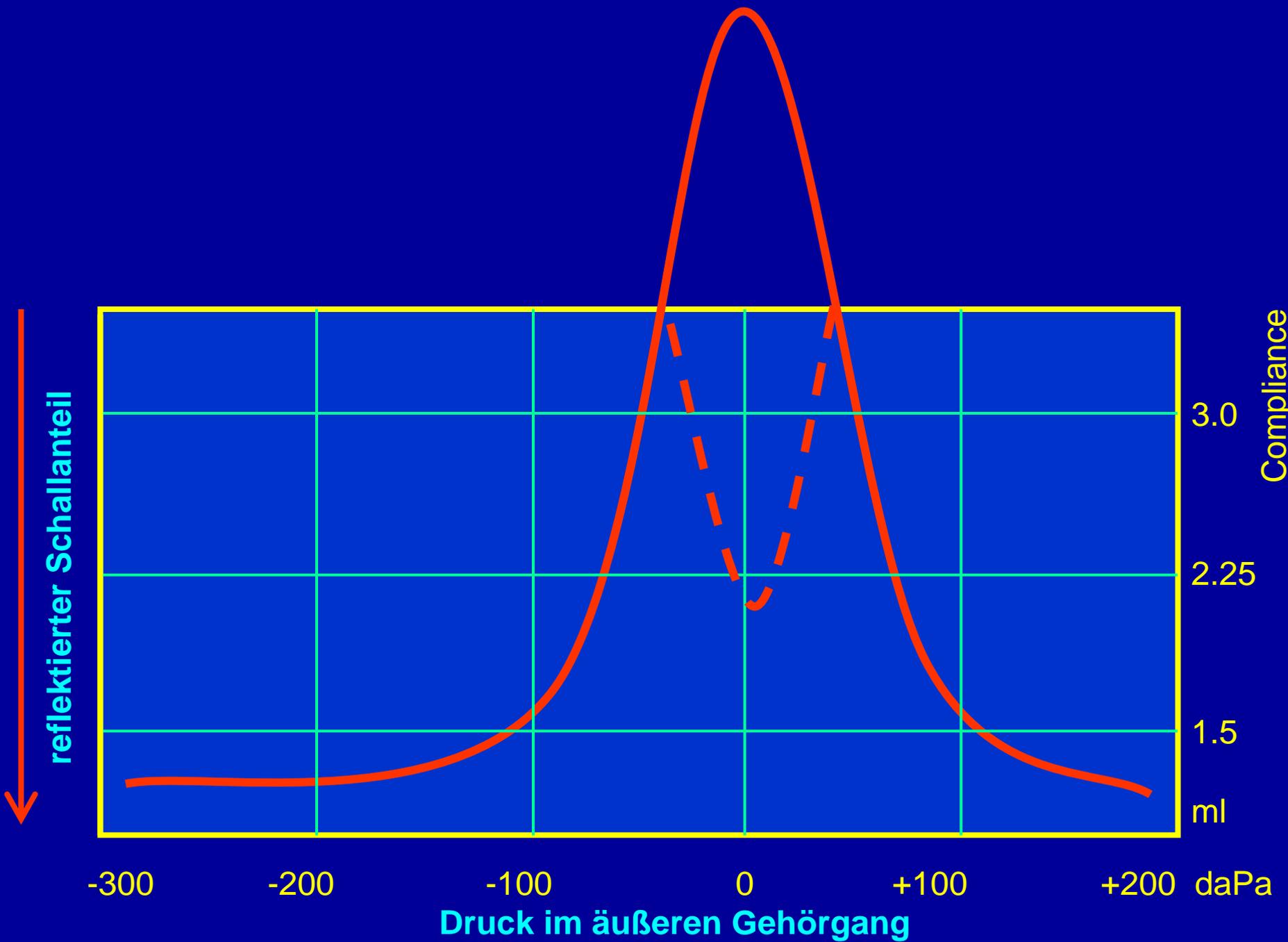


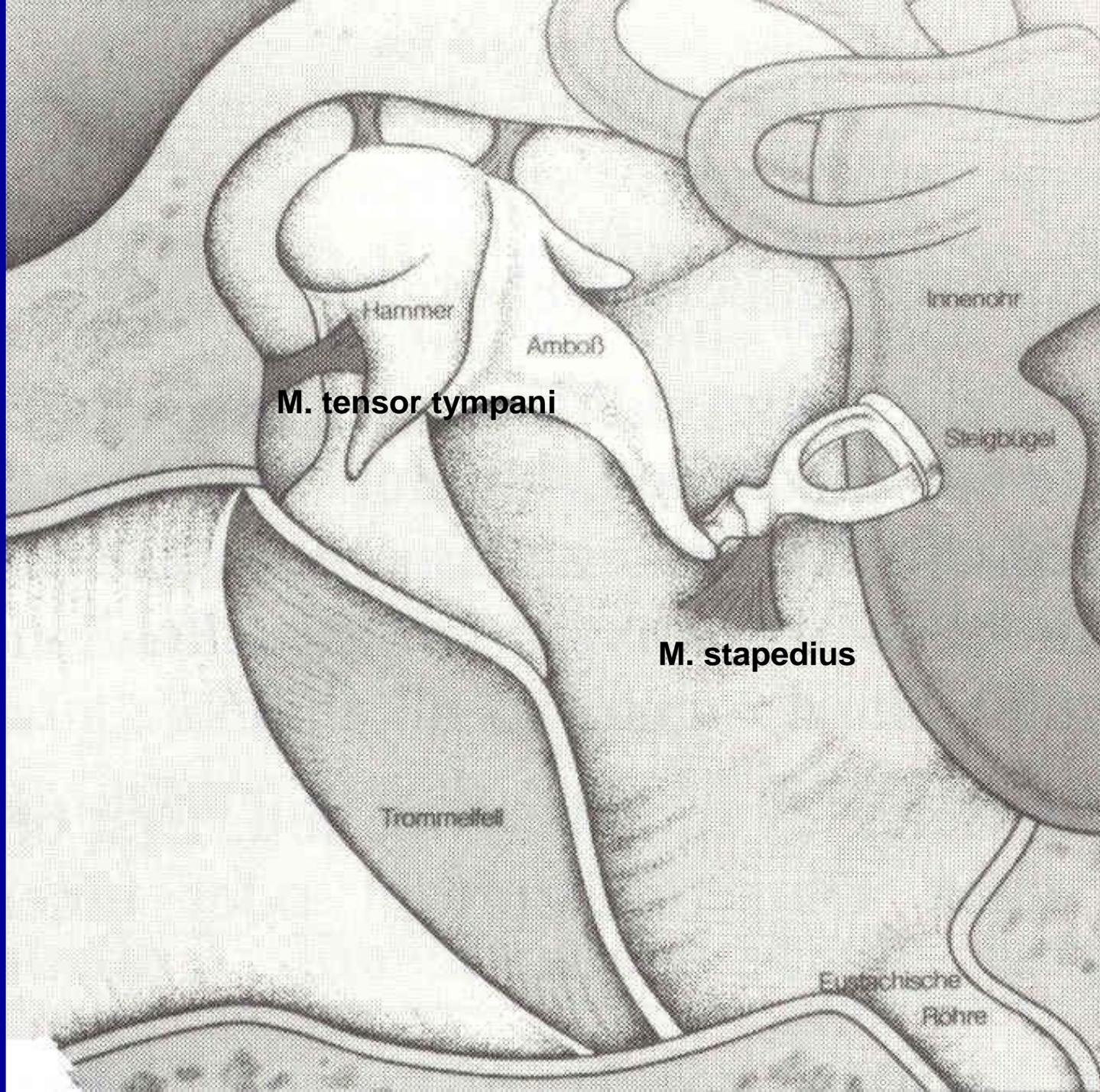
Adhäsivprozess

Überhöhte Compliance

Die Schwingungsfähigkeit ist abnorm erhöht durch fehlende, physiologische Dämpfung. Der überhöhte Kurvengipfel wird zur besseren Darstellung an der Oberkante des Rahmens gespiegelt.







Hammer

Amboß

Innenohr

M. tensor tympani

Steigbügel

M. stapedius

Trommelfell

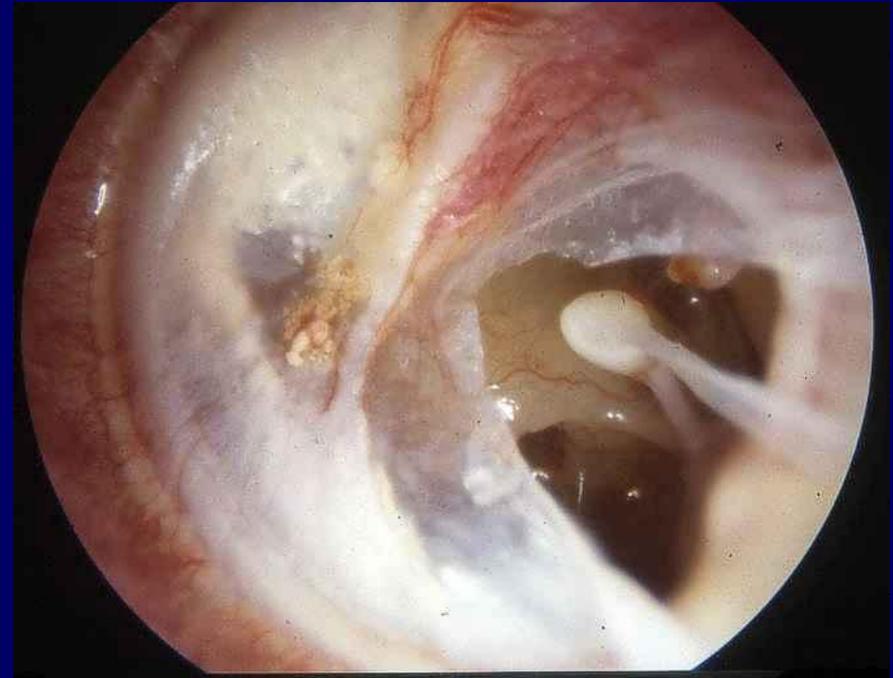
Eustachische
Röhre

Überhöhte Compliance kann bedingt sein durch:

- atrophische narbige Veränderungen des Trommelfells
- Mittelohrprozess (Kettenluxation)

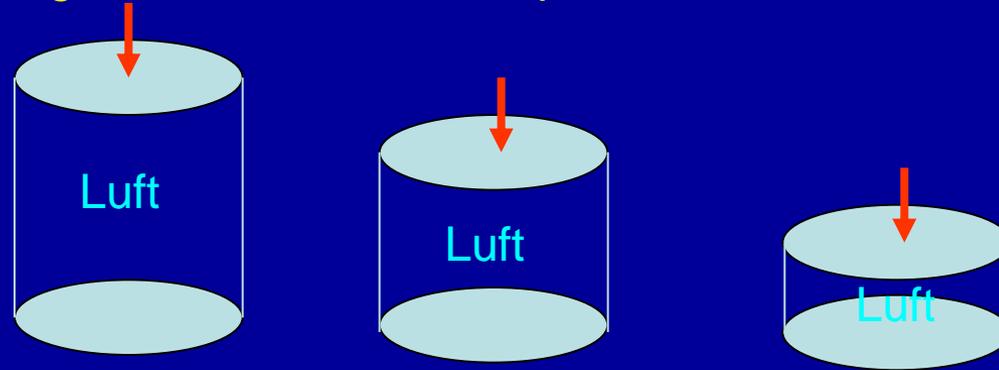


Atrophische Narbe in Pars tensa



Kettenunterbrechung bei perforiertem Trommelfell (keine Impedanzmessung möglich)

Compliance : Nachgiebigkeit, Maßeinheit in äquivalentem Luftvolumen



Energieaufnahme:	groß	mittel	klein
Steifheit:	klein	mittel	groß
Impedanz (Widerstand):	klein	mittel	groß

$$Z^2 = R^2 + (2 \pi M f - S / 2 \pi f)^2$$

Z = Impedanz ← Reaktanz

R = Resistanz (Reibungswiderstand)

M = Masse des Mittelohrsystems

f = Frequenz (Tonhöhe)

S = Steifheit

C = Compliance = 1 / S = Nachgiebigkeit

Das gesamte gemessene System hat eine Nachgiebigkeit (Compliance), die einem Luftvolumen von 2,3 ml entspricht

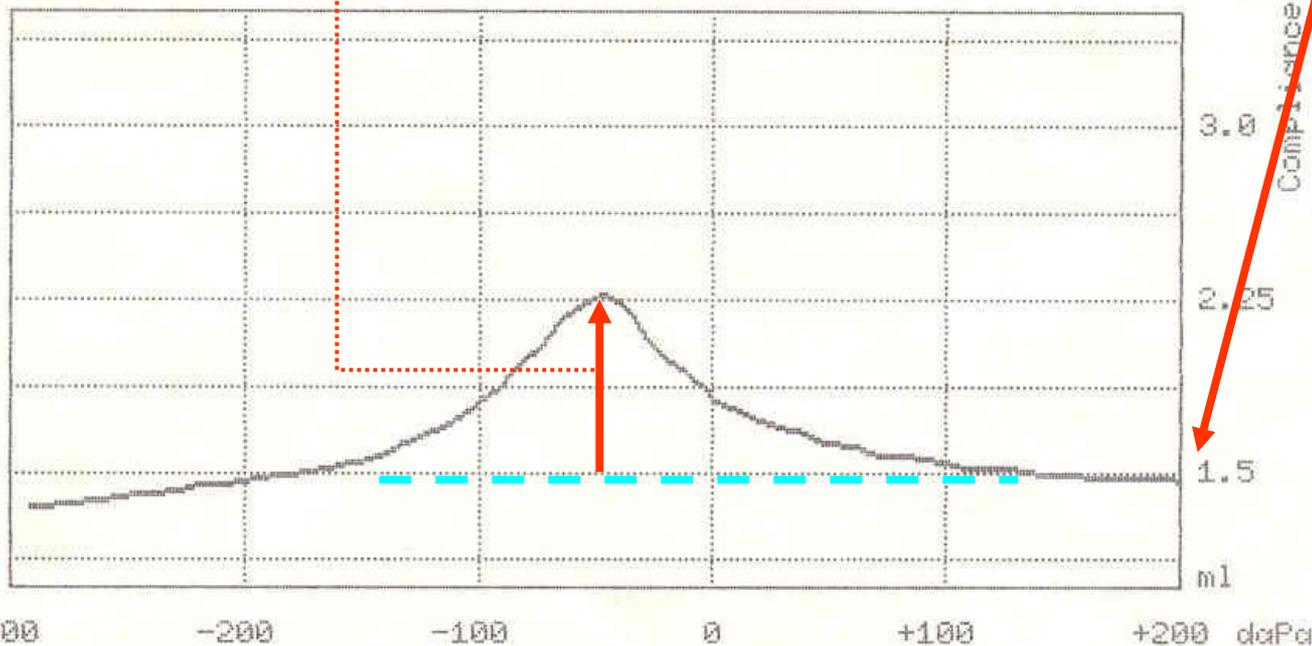
Die eigentliche Compliance des Mittelohres beträgt $2,25 - 1,5 = 0,75$ ml

Die Compliance des Mittelohres (0,75 ml) erreicht 49 % des äquivalenten Gehörgangsvolumens (1,5 ml)

Die Compliance des Gehörganges beträgt 1,5 ml.

Liegt die Sonde an der **Gehörgangswand**, liegt dieser Wert um 0,1 ml!

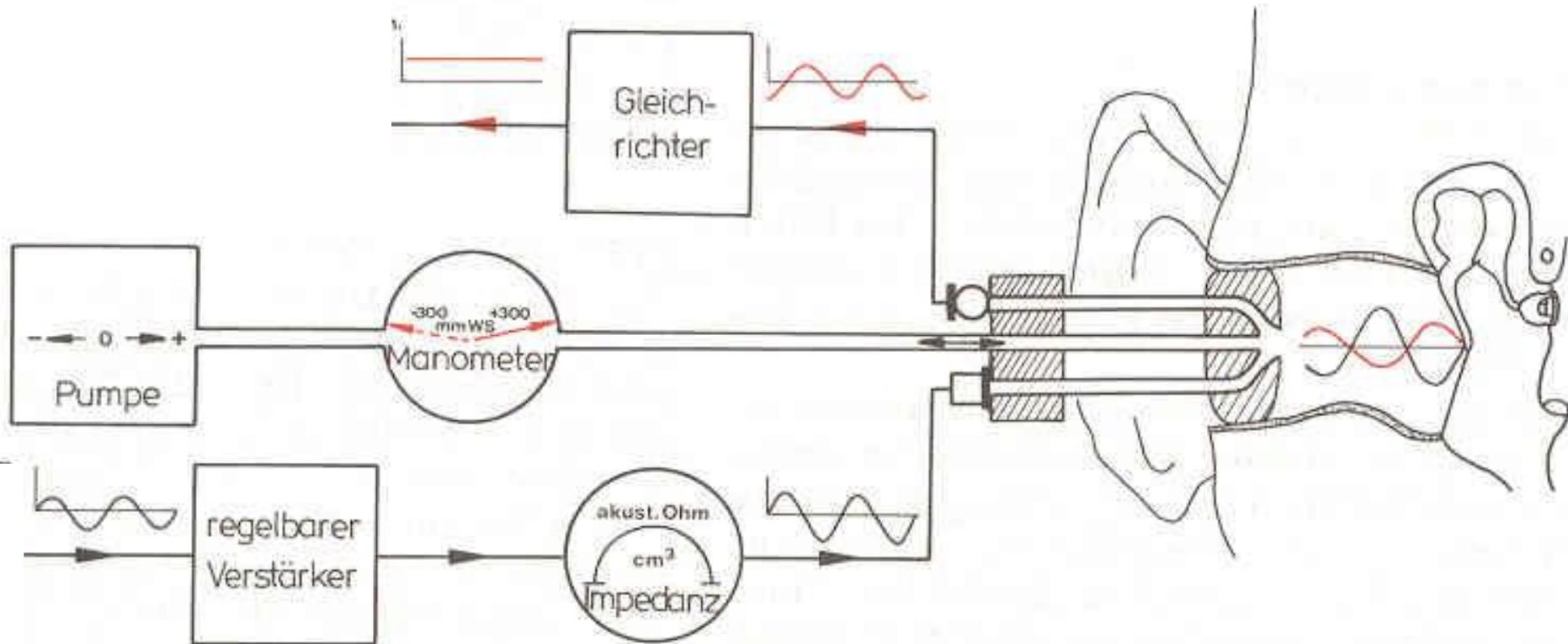
Ohrvol.: 2.3 ml Ausl.: 49 % Gr.Flexibilität: - 48 daPa



2. Stapediusreflexmessung

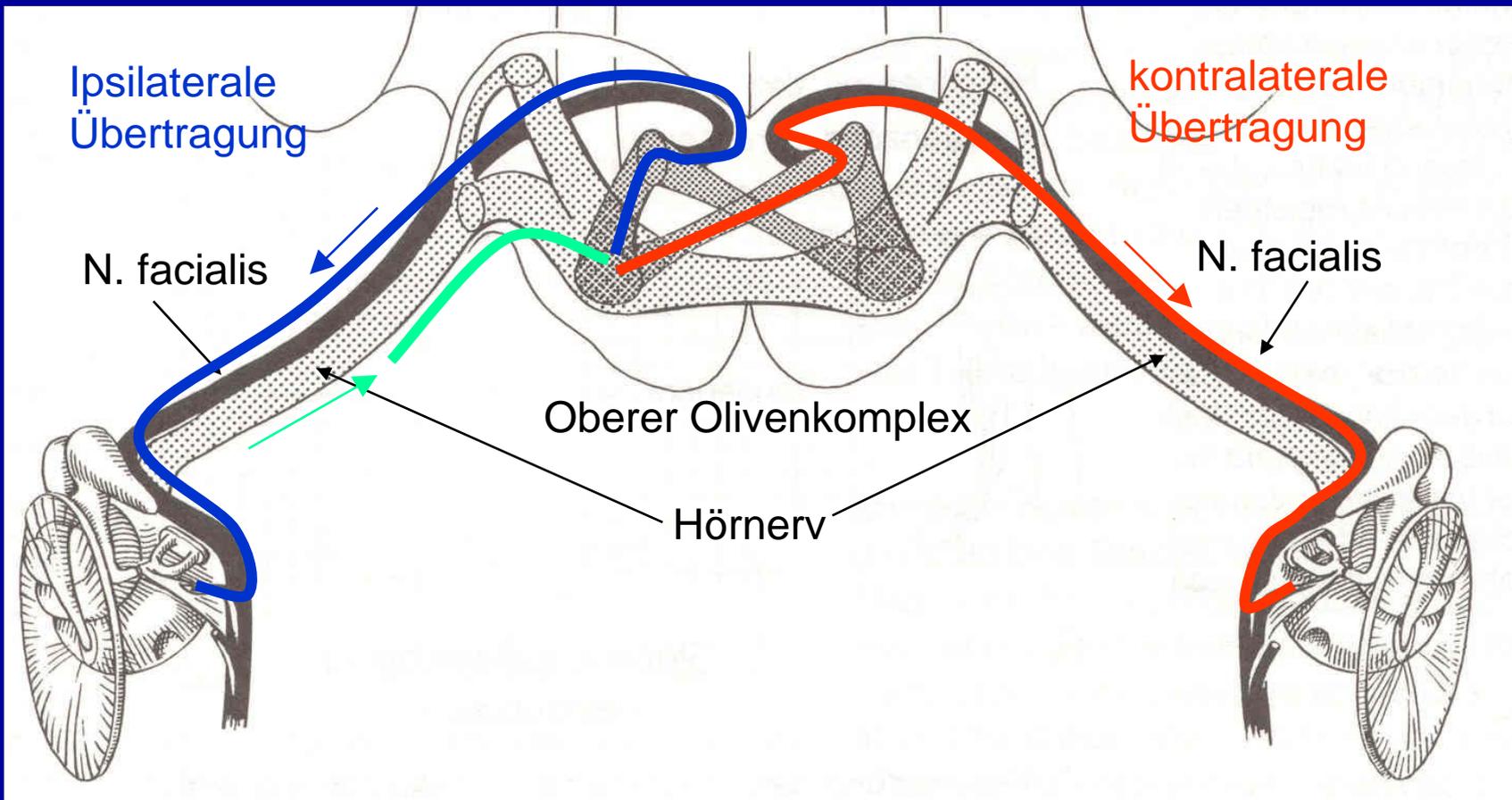
Stapediusreflexmessung:

- **Beschallung des Mittelohres bei ausgeglichenen Druckverhältnissen zwischen Gehörgang und Mittelohr (im Compliancemaximum)**
- Messung der reflektierten Schallamplitude (ändert sich wegen reflektorischer Verspannung der Gehörknöchelchenkette)
- **Berechnung und Darstellung der Impedanz**



Akustikofazialer Reflexbogen

Eine einseitige Erregung des Hörnervens wird auf den N. stapedius (Ast des N. facialis.) sowohl ipsi- als auch kontralateral übertragen



Die Auslösbarkeit des Stapediusreflexes hängt ab von:

Afferente Bahn

Mittelohr

Innenohr

Hörnerv

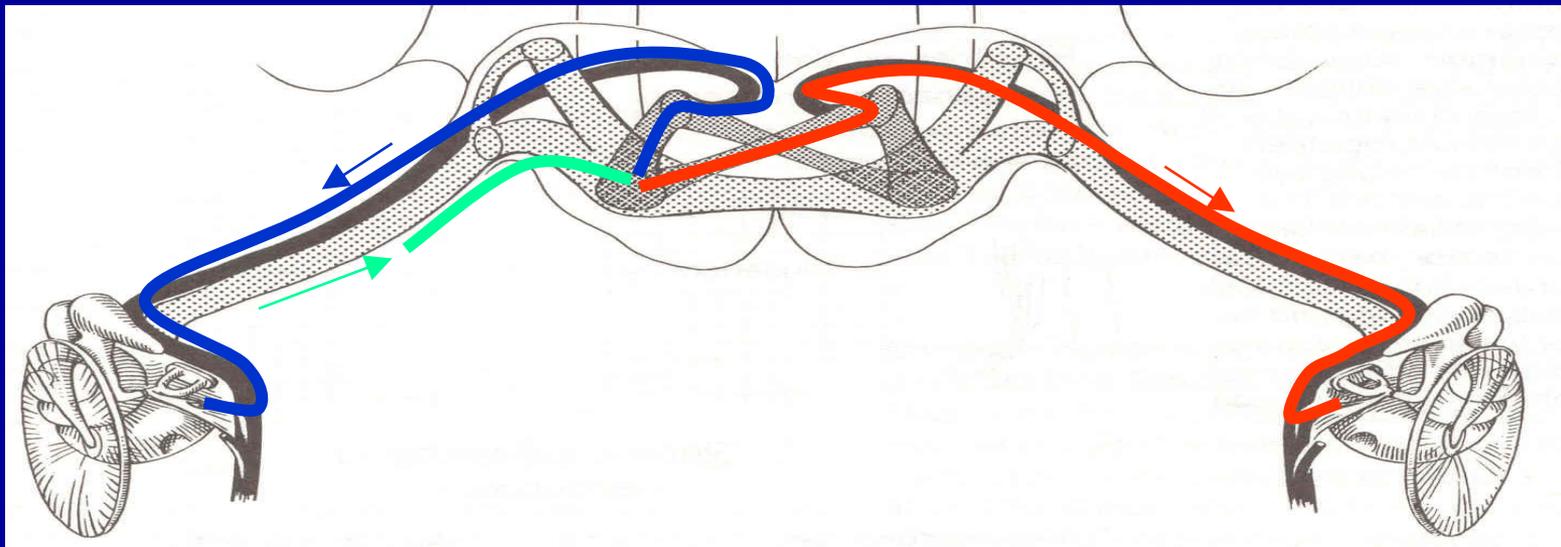
Hirnstammfunktion

Efferente Bahn

N. facialis

M. stapedius

Stapesbeweglichkeit



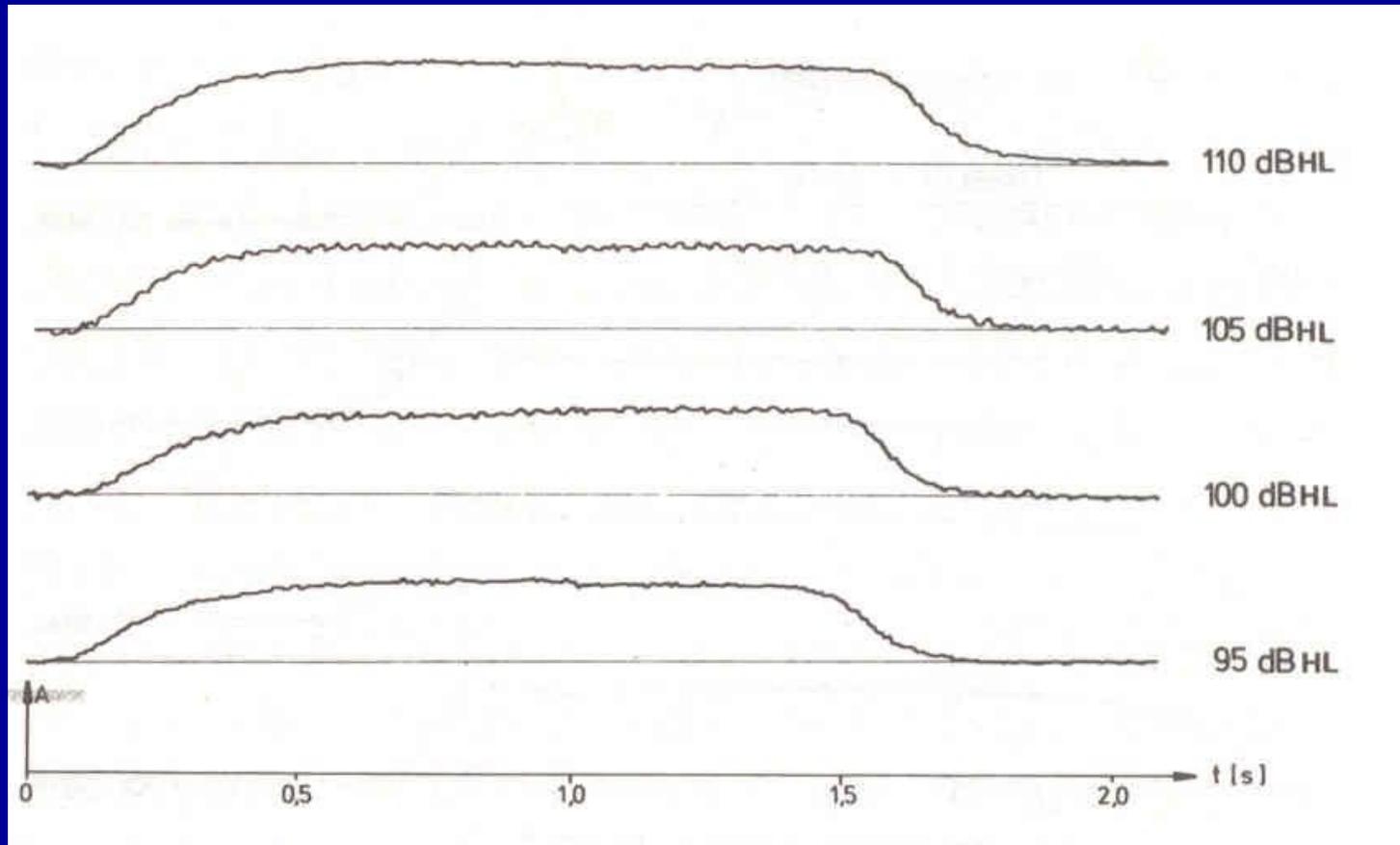
Messtechnik:

- Messung im Compliancemaximum
→ Druckausgleich vor/hinter Trommelfell erforderlich
- Sondenton 220 Hz (erfolgt automatisch)
- äußerer Gehörgang ist abgedichtet
- Reizdauer: 1 – 2 s
- Frequenz: 500 Hz bis 4 kHz
- Die Kontraktion des M. stapedius verursacht eine Verspannung der Kette und somit eine Erniedrigung der Compliance

Kontralaterale Beschallung:

- Auslösbarkeit des Reflexes > 80 dB
- Latenzzeit: 1 – 2 ms
- mit steigendem Reizpegel steigt Amplitude bis zur Sättigung (maximal Kontraktion des M. stapedius)

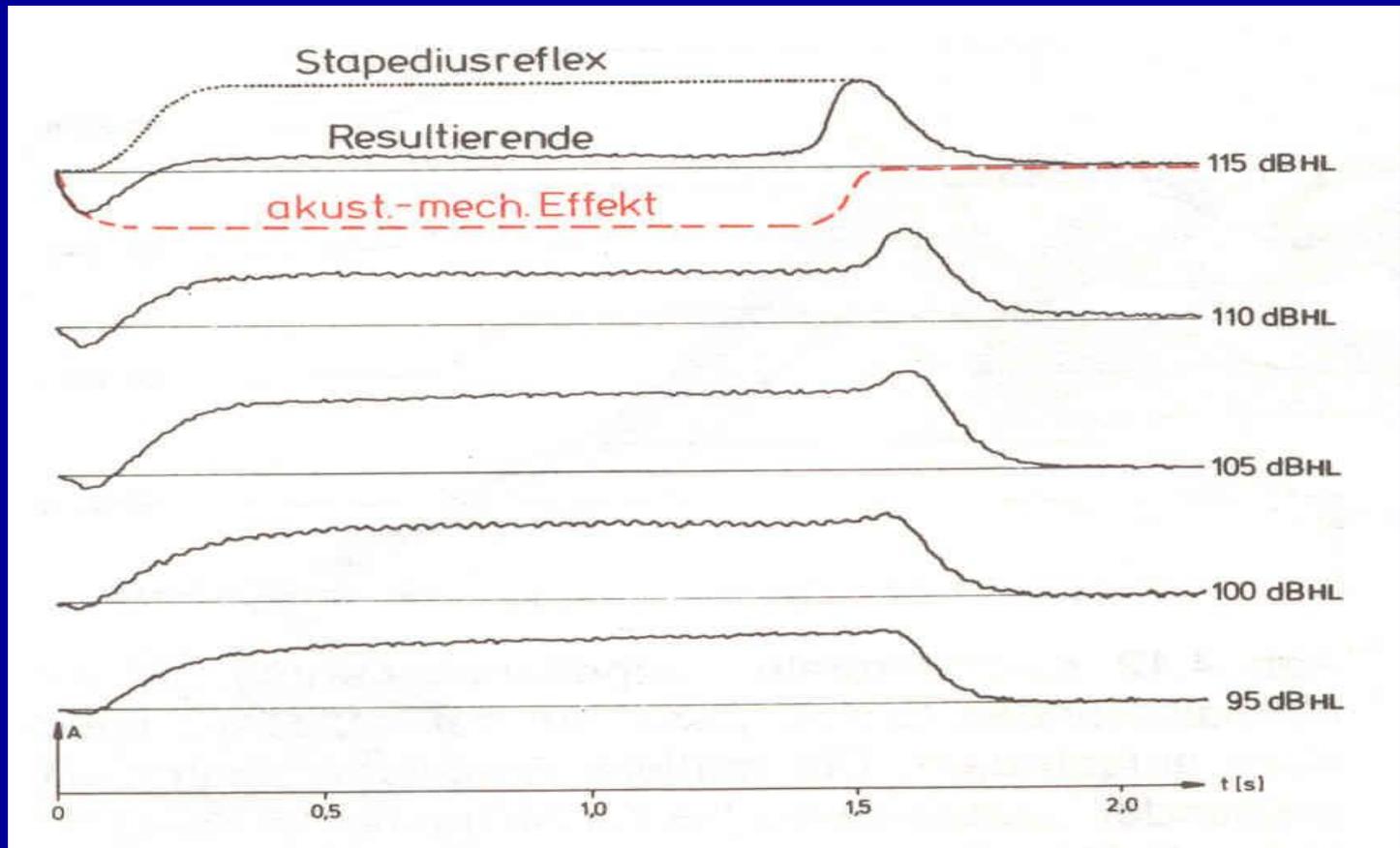
Compliance



Ipsilaterale Beschallung:

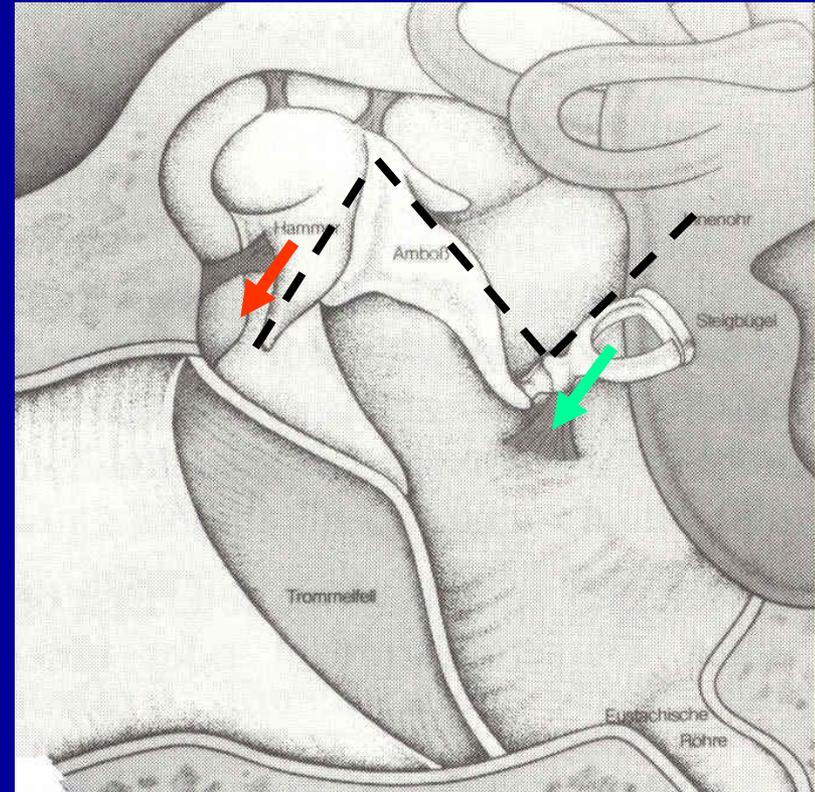
- Auslösbarkeit des Reflexes $> 70 - 80$ dB
- Latenzzeit: 1 ms
- mit steigendem Reizpegel macht sich der akustischmechanische Anteil bemerkbar (Tensor tympani-Reflex)

Compliance



Tensor tympani-Reflex

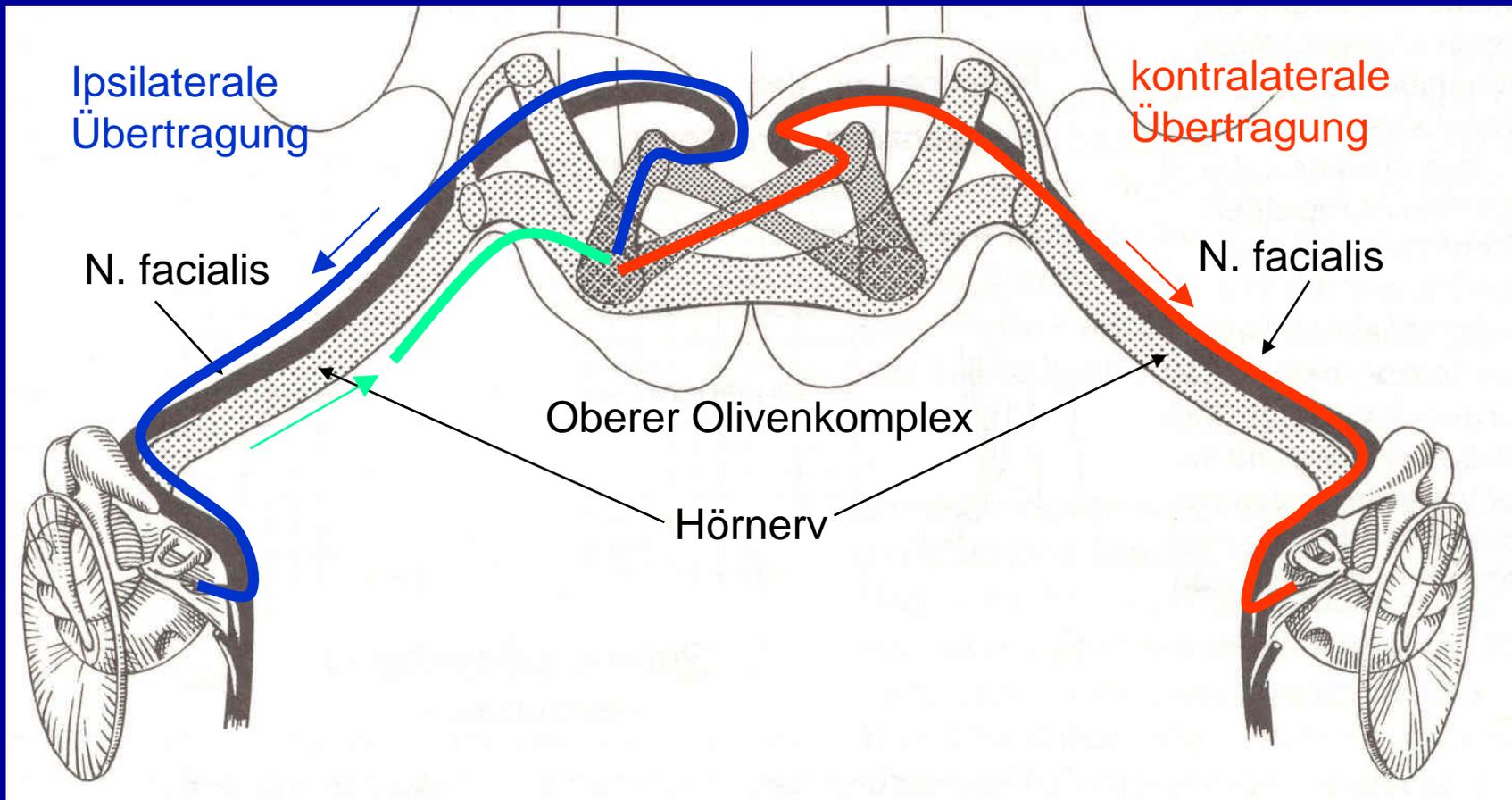
- Inverser Ausschlag (oberhalb 100 dB), Abnahme der Impedanz bzw. Erhöhung der Compliance
- Wirkt kräftemäßig dem Stapes entgegen: verhindert möglicherweise eine übermäßiges Herauskippen des Stapes aus dem ovalen Fenster
- Entsteht nur bei ipsilateraler Beschallung
- **Konsequenz für Otosklerose:**
 - bei kontralateraler Beschallung kein Reflex
 - bei ipsilateraler Beschallung inverser Reflex



Konsequenz für Otosklerose:

bei kontralateraler Beschallung kein Reflex

bei ipsilateraler Beschallung inverser Reflex



Stapediusreflex und Innenohrschwerhörigkeit:

Passt die frequenzabhängige Auslösbarkeit zum Audiogramm?

Bei einem Hörverlust bis zu ca. 50 dB steigt die Reflexschwelle nicht an für Tonreize < 2 kHz (Metzrecruitment)

Konsequenz für Tief-Mitteltonbereich:

normale Reflexschwelle: Hörverlust 0 – 50 dB

Reflexschwelle angehoben bei intaktem Mittelohr: **Hörverlust > 50 dB**

Voraussetzung: Mittelohr intakt (gesamte Schallenergie erreicht das Innenohr)

Stapediusreflex und Mittelohrschwerhörigkeit:

Eine Schalleitungskomponente von > 30 dB kann dazu führen, dass die Leistungsgrenze des Impedanzmessgerätes erreicht ist (80 dB + 30 dB)

Konsequenz:

Reflex kann mittelohrbedingt nicht auslösbar sein

Otosklerose:

Ausfall des Stapediusreflexes nicht immer nachweisbar
Tympanometrie kann normalen Kurvenverlauf haben

Voraussetzung: restliche afferenten und efferenten Bahnen sind intakt

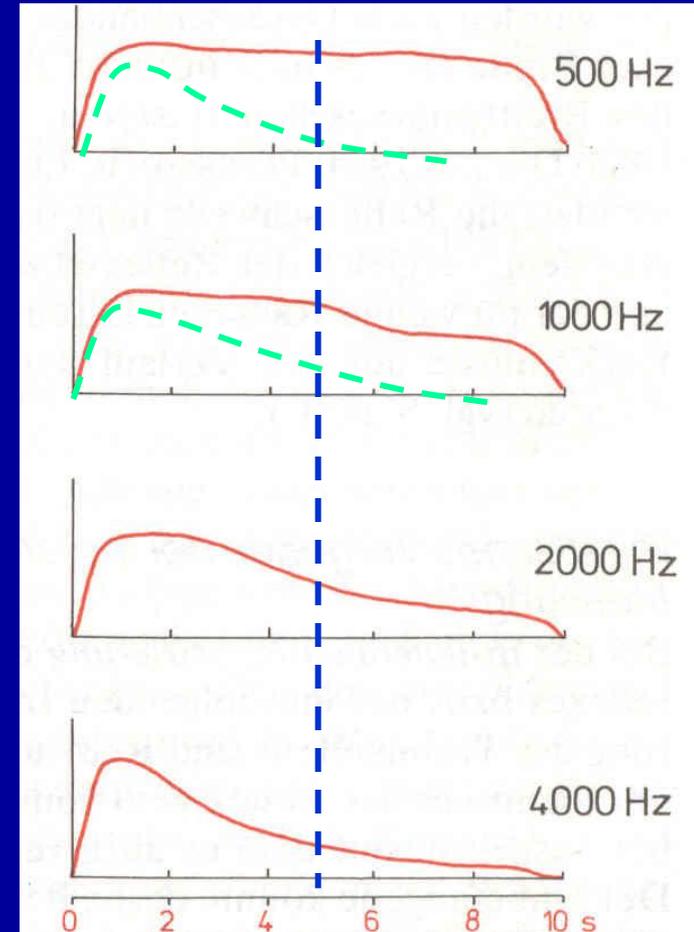
Stapediusreflex und neurale Schwerhörigkeit

Frequenzabhängiger Abfall der Amplitude der Compliance durch **physiologisch** neurale Ermüdung nach **10 s** Tondauer auf:

500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
≈ 80 %	33 %	50 %	0%

Bei **neuraler** Hörermüdung bei **5 s** Tondauer:

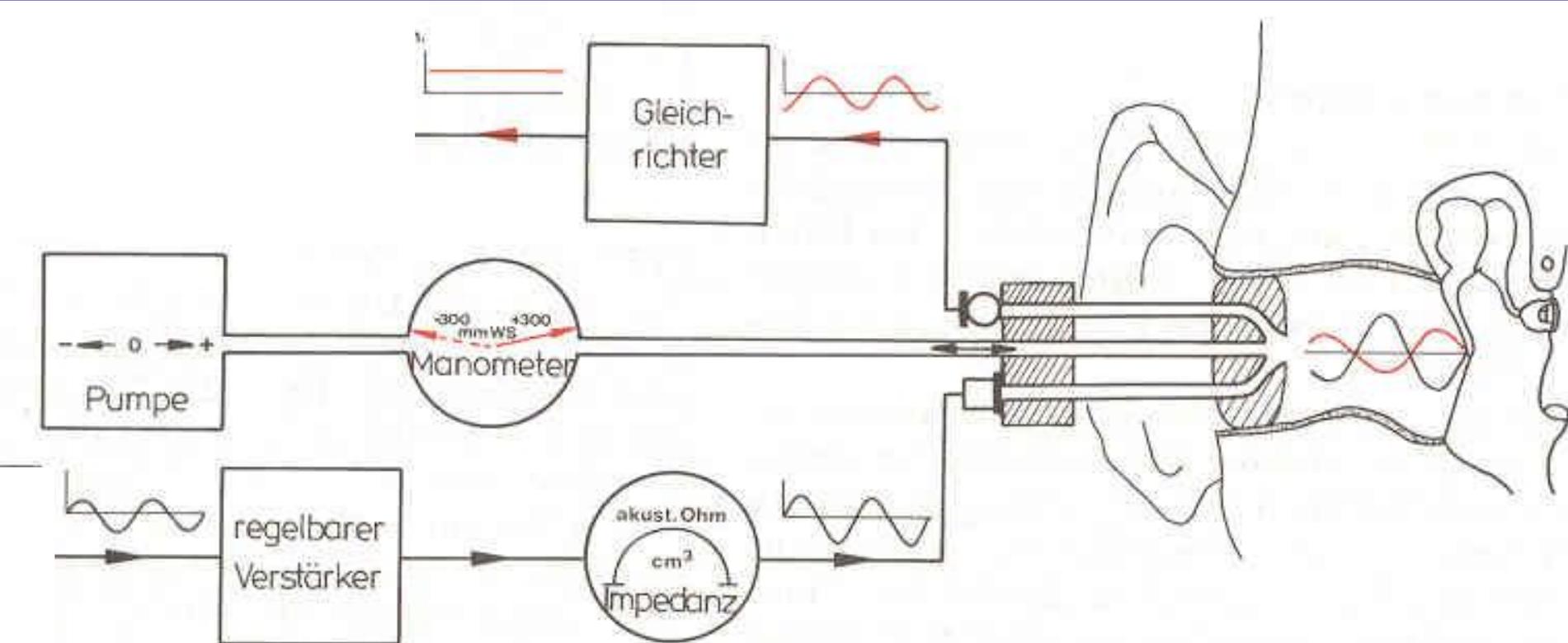
500 Hz	1000 Hz
67 %	50 %



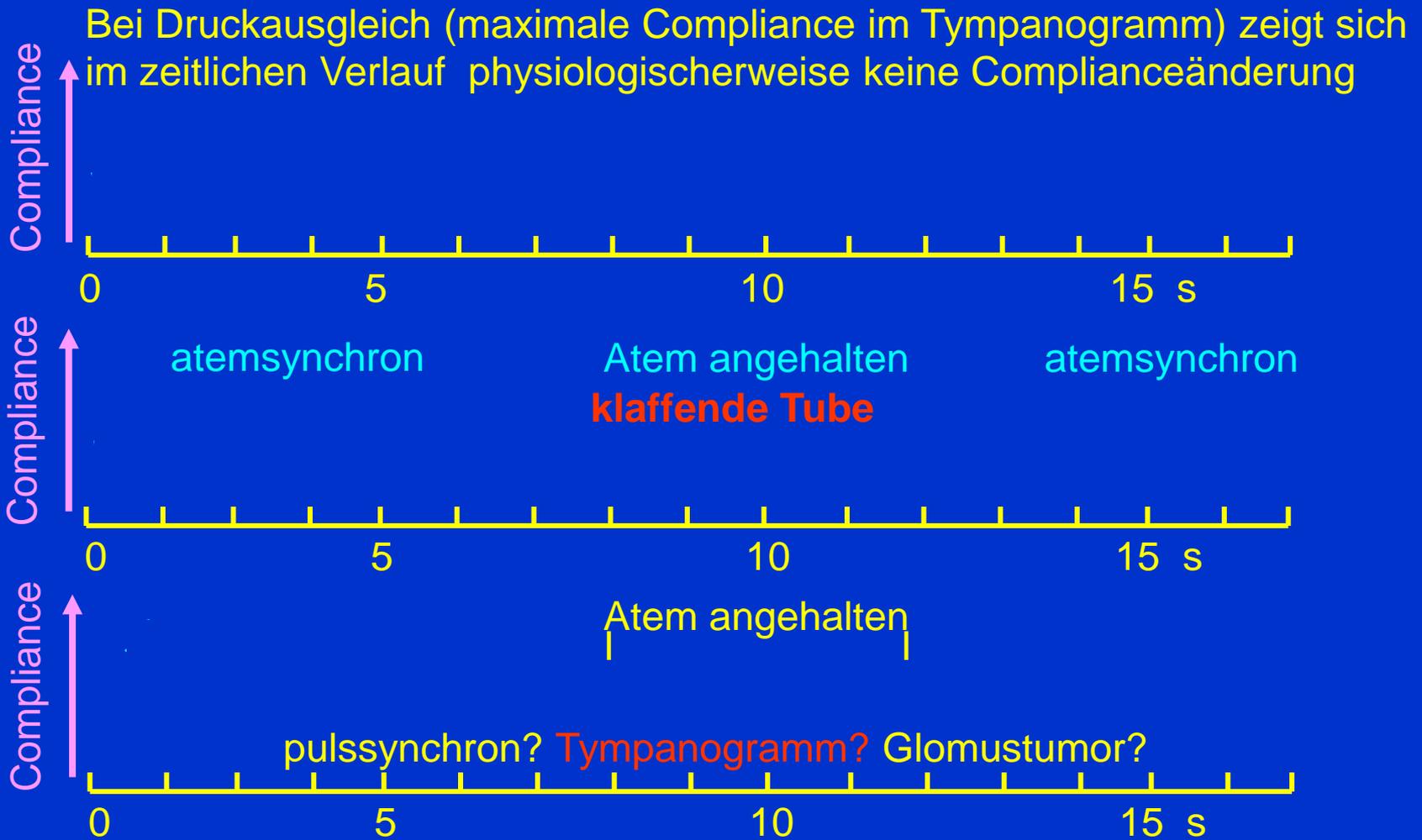
3. Tubenfunktion

Tubenfunktion bei geschlossenem Trommelfell:

- **Beschallung des Mittelohres bei ausgeglichenen Druckverhältnissen zwischen Gehörgang und Mittelohr (im Compliancemaximum)**
- Messung der reflektierten Schallamplitude (ändert sich wegen Druckänderung im Mittelohr und dadurch Verspannung des Mittelohres beim Schluck- oder Pressversuch)
- **Berechnung und Darstellung der Impedanz**

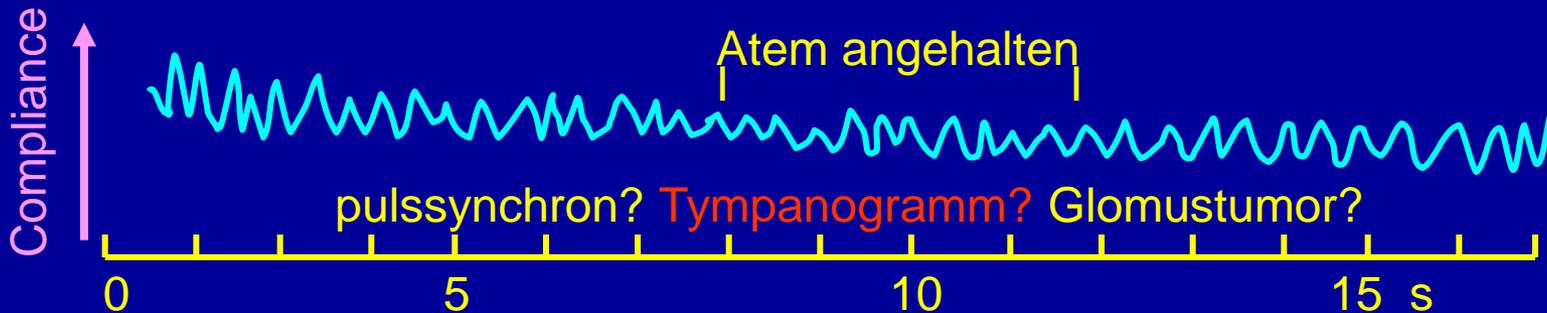
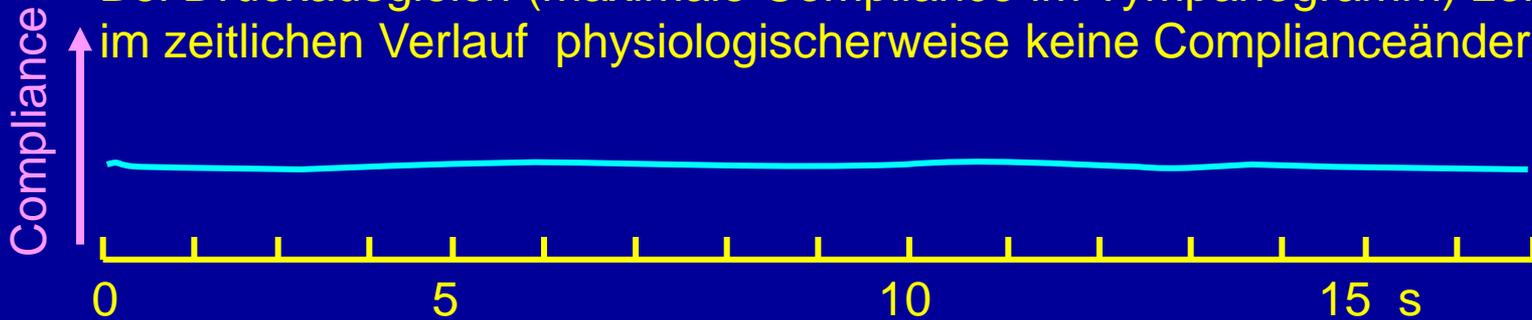


Tubenfunktion bei intaktem Trommelfell:



Tubenfunktion bei intaktem Trommelfell:

Bei Druckausgleich (maximale Compliance im Tympanogramm) zeigt sich im zeitlichen Verlauf physiologischerweise keine Complianceänderung



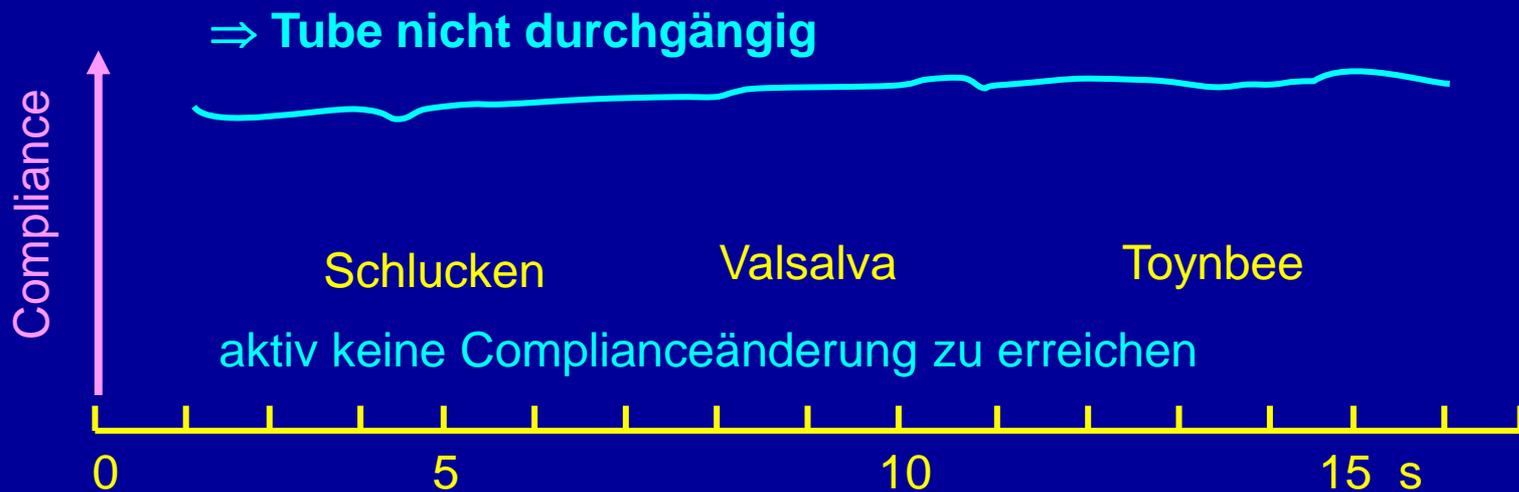
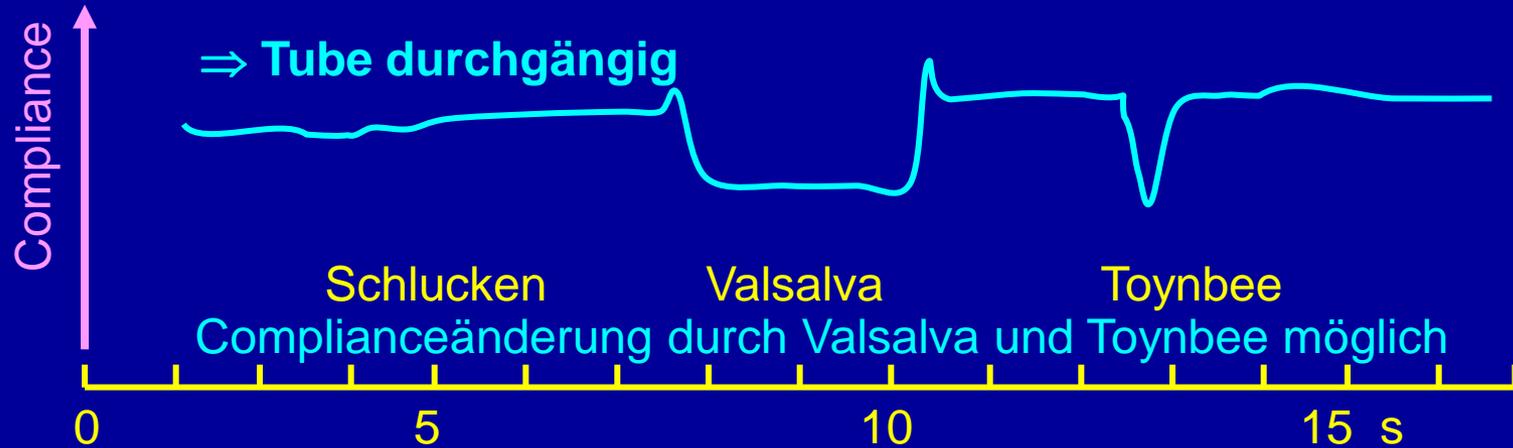
Tubenfunktion bei intaktem Trommelfell:

Bei Schluck- oder Pressversuchen zeigt sich im zeitlichen Verlauf physiologischerweise eine **Complianceänderung**, in dem **Luftdruckänderungen im Mittelohr wie beim Tympanogramm die Reflektionseigenschaften am Trommelfell ändern**



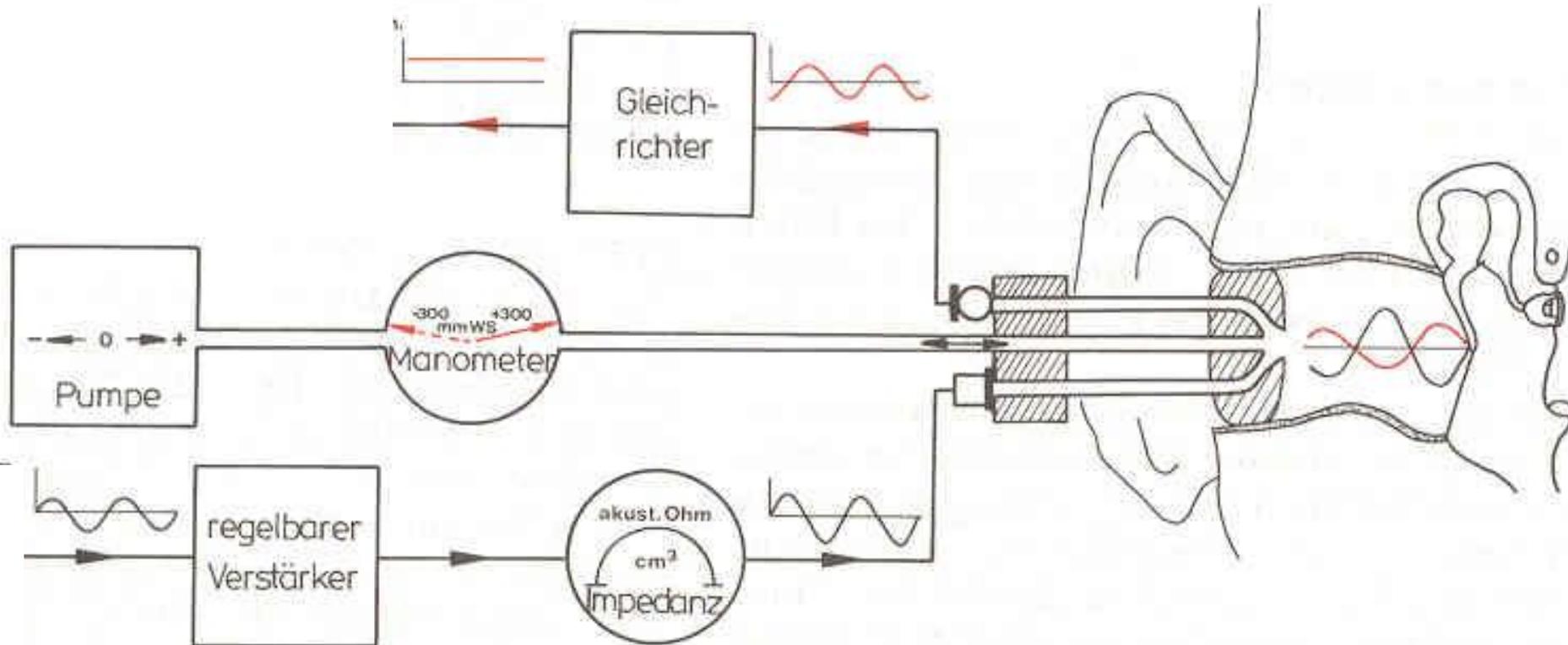
Tubenfunktion bei intaktem Trommelfell:

Bei Schluck- oder Pressversuchen zeigt sich im zeitlichen Verlauf physiologischerweise eine **Complianceänderung**, in dem **Luftdruckänderungen im Mittelohr wie beim Tympanogramm die Reflektionseigenschaften am Trommelfell ändern**



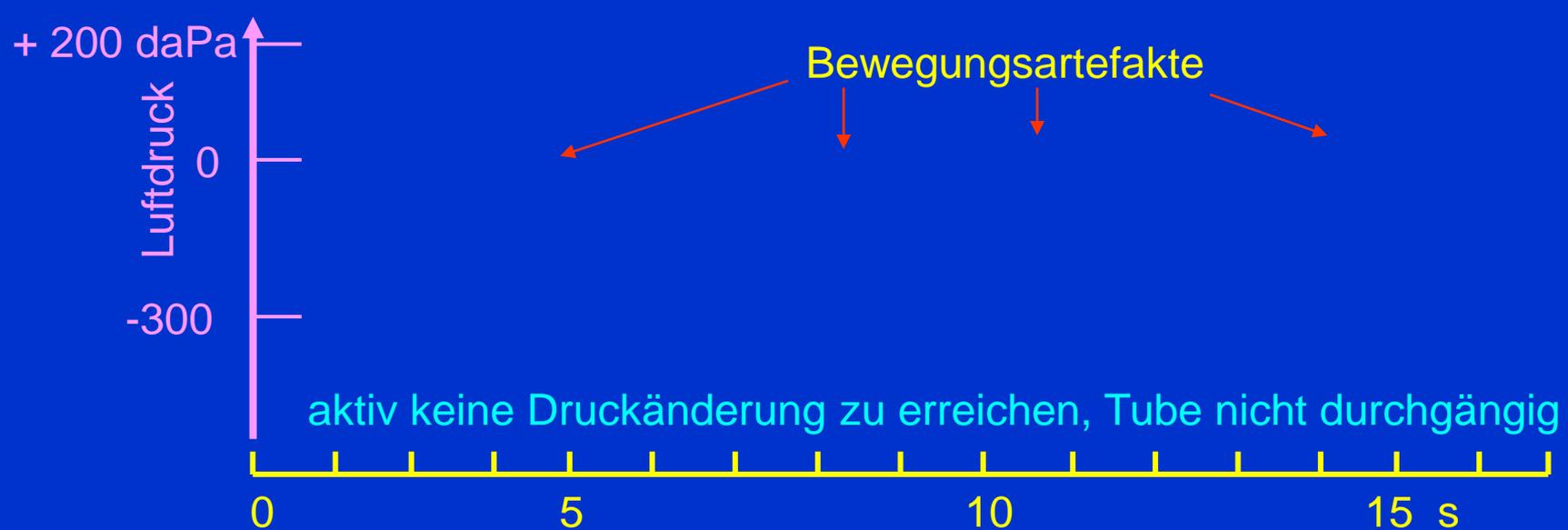
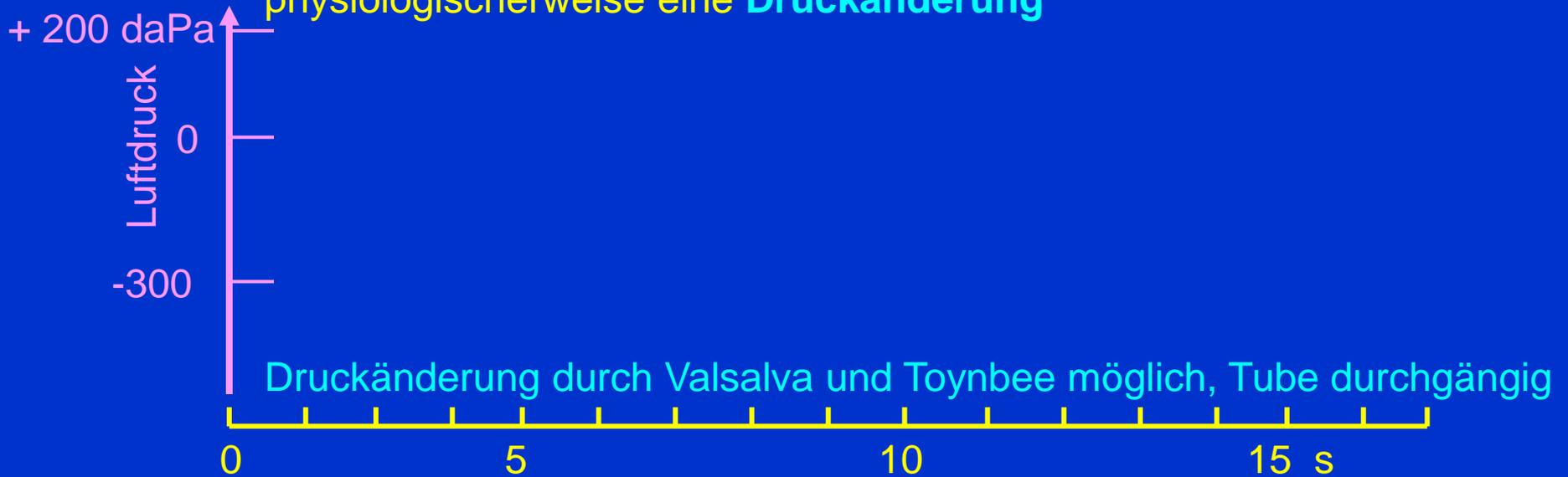
Tubenfunktion bei perforiertem Trommelfell:

- **Keine Beschallung des Mittelohres, sondern direkte Messung des Luftdrucks im äußeren Gehörgang (= Luftdruck im Mittelohr wegen Perforation)**
- Messung der Luftdruckänderung (ändert sich wegen Druckänderung im Mittelohr beim Schluck- oder Pressversuch)
- **Darstellung der Luftdruckänderung**



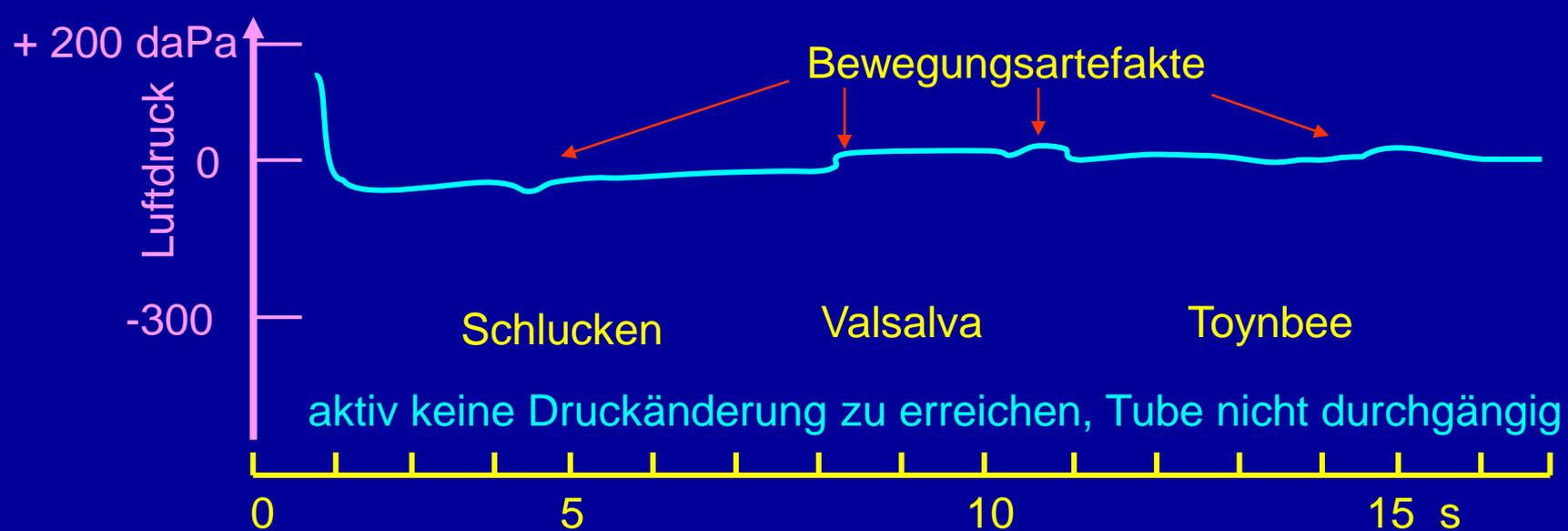
Tubenfunktion bei perforiertem Trommelfell: Keine Compliance- messung möglich. Initial Druckaufbau durch das Gerät (+ 200 daPa)

Bei Schluck- oder Pressversuchen zeigt sich im zeitlichen Verlauf physiologischerweise eine **Druckänderung**



Tubenfunktion bei perforiertem Trommelfell: Keine Compliance- messung möglich. Initial Druckaufbau durch das Gerät (+ 200 daPa)

Bei Schluck- oder Pressversuchen zeigt sich im zeitlichen Verlauf physiologischerweise eine **Druckänderung**



Ist das Paukenröhrchen durchgängig?



Tympanometrie:

ja: falls kein Druckaufbau möglich ist

nein: Tympanogramm mit Gipfel oder flachem Kurvenverlauf

Gute Zeiten, schlechte Zeiten?

