

Sachgebiet Gehörschutz

Druckprüfung zur Bestimmung der Leckage von Gehörschutz-Otoplastiken

Stand: 14.12.2018

Diese Schrift dient der Information über die Verfahren zur Bestimmung der Leckage von Gehörschutz-Otoplastiken nach der Überdruckmethode, die meist von den Herstellern dieser Produkte angewendet werden.

Inhalt

1 Grundprinzip.....	1
2 Druckanstiegsmethode.....	2
2.1 Ablauf	3
2.2 Merkmale und Besonderheiten.....	3
2.3 Beispiele und graphische Darstellung... 	4
2.4 Beurteilungskriterien.....	4
3 Druckabfallmethode.....	5
3.1 Ablauf	5
3.2 Merkmale und Besonderheiten.....	5
3.3 Beispiele und graphische Darstellung... 	6
3.4 Beurteilung	6

1 Grundprinzip

Wie schematisch in Bild 1 gezeigt wird an die Otoplastik ein Schlauch angeschlossen, der mit einer Pumpe und einer Messsonde (Manometer) verbunden ist. Der Anschluss kann (wie im Bild) über den Schallkanal erfolgen. Dabei kann der Filter im Kanal verbleiben oder für die Dauer der Messung entfernt werden. Es gibt auch Otoplastiken mit einer Servicebohrung, die parallel zum Schallkanal verläuft, oder Full-Block-Otoplastiken, die gar keinen Kanal besitzen. In diesem Fall kann der Druckaufbau nur über einen in situ-Schlauch erreicht werden, der zwischen Otoplastik und Gehörgangswand geführt wird.

Mit Hilfe der Pumpe wird vor der Otoplastik (außerhalb des Ohres) ein Druck aufgebaut. Dieser Druck breitet sich durch den Kanal, an den die Pumpe angeschlossen wurde, durch die Otoplastik hindurch bis in Raum hinter der Otoplastik aus (Restvolumen des Gehörgangs bis zum Trommelfell). Mit der Messsonde wird verfolgt, wie sich der Druck zeitlich verändert bzw. welcher Maximalwert erreicht wird.

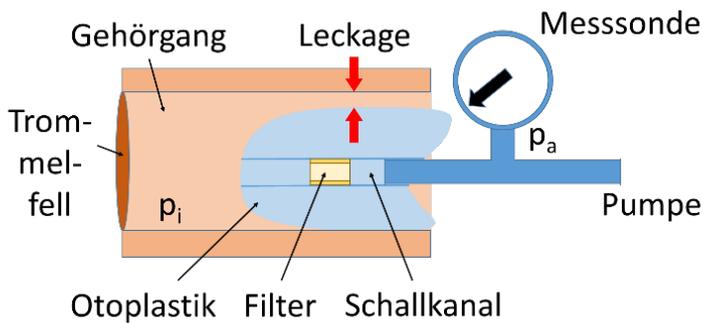


Bild 1: Prinzipieller Aufbau eines Gehörganges mit Otoplastik, Filter und Messsonde

Der Druckabfall nach Abschalten der Pumpe lässt sich als Leckrate messen, die als Druckänderung pro Zeiteinheit definiert ist. Der Zahlenwert der Leckrate hängt vom Systemdruck und vom Zeitpunkt der Bestimmung der Druckwerte nach Beginn der Messungen ab.

Ziel der Messung ist die Bestimmung der Dichtigkeit der Otoplastik im Gehörgang. Damit werden Leckagen festgestellt, die zwischen Gehörgangswand und Otoplastik-Oberfläche bestehen. Das konkrete Verhalten von Druckaufbau und -abfall wird aber auch durch die Art der Bohrung beeinflusst, an die der Druckschlauch angeschlossen wird.

Die Dichtigkeit wird aus dem Druckverlauf über der Zeit bestimmt. Dabei werden zwei Methoden angewendet. Beide nutzen Druckänderungen während der Prüfung zur Beurteilung. Bei der ersten Methode wird der Druckanstieg beim Druckaufbau ausgewertet. Bei der zweiten Methode wird ein Überdruck aufgebaut, und ausgewertet, wie schnell er nach Abschalten der Pumpe abfällt.

Bild 2 zeigt je ein Beispiel für die Messung beim Druckaufbau und -abfall. Die blaue Kurve stellt jeweils den Verlauf des Drucks an der Messsonde (also außerhalb des Ohrkanals) dar. Für die Messung beim Druckaufbau ist der maximal erreichte Wert ausschlaggebend, während bei der Druckabfallmethode der Restdruck/Enddruck gemessen wird, der nach einer bestimmten Zeit nach Abschalten der Pumpe noch vorliegt.

Die dunkelgrauen Balken bzw. die grünen und roten Leuchtpunkte symbolisieren mögliche Anzeigeelemente eines Messgeräts. In beiden hier gezeigten Beispielen wird jeweils ca. 80 % des maximal möglichen Druckwertes erreicht, so dass die Anzeigen nicht den Vollausschlag zeigen.

Druck-Zeit-Verlauf

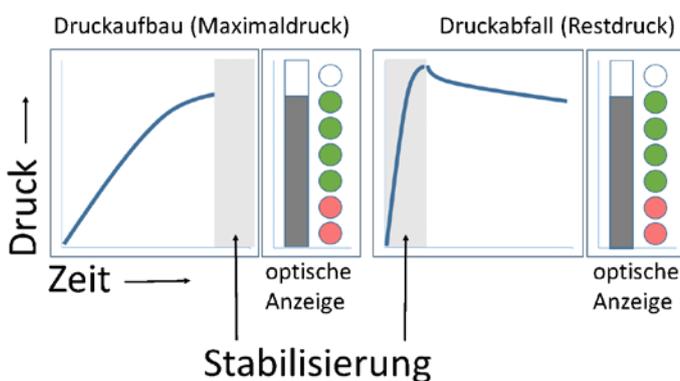


Bild 2: Druck-Zeit-Verlauf beim Druckaufbau und Druckabfall

2 Druckanstiegsmethode

2.1 Ablauf

Das Filterelement wird aus der Gehörschutz-Otoplastik entfernt. An dessen Stelle wird ein Adapter zum Anschluss des Druckschlauchs eingesetzt. Die Dichtigkeit der Übergänge Schlauch – Adapter – Otoplastikbohrung ist sicherzustellen. Der Druckschlauch wird mit dem anderen Ende am Messgerät (Pumpe, Drucksensor, Manometer, Anzeige) angeschlossen.

Danach wird die Gehörschutz-Otoplastik in den Gehörgang eingesetzt. Es ist darauf zu achten, dass der Schlauch die Otoplastik nicht aus dem Ohr herauszieht oder verkantet. Abgeknickte Schläuche können falsche Messergebnisse zur Folge haben.

Die Prüfung wird gestartet. Für eine fest vorgegebene Zeitdauer wird die Pumpe in Gang gesetzt. Bei einer dicht sitzenden Gehörschutz-Otoplastik steigt der Druck zügig an. Bei einer schlechtsitzenden Gehörschutz-Otoplastik entweicht während des Druckaufbaus die Luft durch die Leckage. Der maximal erreichte Druck fällt entsprechend geringer aus.

Zum Ende der Pumpdauer wird der erreichte Druck registriert und mit einem vorgegebenen Entscheidungswert verglichen. Die Pumpe wird ausgeschaltet und das Testergebnis wird als Prozentwert, Balkenanzeige oder Ampel (rot/grün) angezeigt.

Kopf- und Kieferbewegungen, Schlucken und Ähnliches können den Sitz der Gehörschutz-Otoplastik im Ohr verändern und zu Undichtigkeiten führen. Besonders Druckschwankungen im Gehörgang, z. B. durch Kaubewegungen oder Muskelanspannungen, sind zu vermeiden.

Eine Kalibrierung, die bei Drucksensoren einiger Systeme erforderlich ist, muss jährlich durchgeführt werden. Die Schläuche dieser Systeme dürfen nicht gekürzt werden.

2.2 Merkmale und Besonderheiten

- Bei Gehörschützern ohne Servicebohrung müssen einstellbare Ventile als Filter vor der Prüfung vollständig geöffnet werden. Nach Abschluss muss die erforderliche Dämmung am Ventil neu eingestellt werden.
- Bei Gehörschützern mit Servicebohrungen wird der Druck durch diese aufgebaut. Dazu müssen einstellbare Ventile als Filter vor der Prüfung geschlossen werden. Nach Abschluss muss die erforderliche Dämmung am Ventil neu eingestellt werden.
- Filterelemente begrenzen die Geschwindigkeit der Druckänderung. Bei mäßigen bis hohen Strömungswiderständen, Druckaufbau durch in situ-Schläuche, hochdämmende Filter oder Membranfilter sind häufiger Falschaussagen „Otoplastik sitzt dicht“ möglich.
- Die Druckmessung erfolgt meist vor Stabilisierung des erzielten Maximaldrucks (hellgrau unterlegter Bereich im Diagramm).
- Der 100 %-Wert (Messergebnis) entspricht nicht dem maximalen Pumpen- bzw. Verfahrensdruck. Der zur Entscheidung (Prüfschärfe) herangezogene Referenzdruck kann in weiten Bereichen variiert werden.

2.3 Beispiele und graphische Darstellung

Bild 3 illustriert Druckverlauf und Messergebnisse für zwei verschieden stark dämmende Filter und drei unterschiedliche Leckagen.

Prüfung während Druckaufbau		Verlauf bei dicht sitzender Otoplastik		Verlauf bei geringer Leckage (Druckaufbau)		Verlauf bei größerer Leckage (Druckaufbau)		Anmerkungen
Druckaufbau durch		Verlauf, optische Anzeige und Maximaldruck		Druckaufbau durch		Verlauf, optische Anzeige und Maximaldruck		
Niedrigdämmendes Filter								geringer bis mäßiger Strömungswiderstand der Filterbohrung, $p_i \sim p_a$
Hochdämmendes Filter								hoher Strömungswiderstand der Filterbohrung, $p_i \ll p_a$

Bild 3: Beispiele der Messung beim Druckaufbau für hoch- bzw. niedrigdämmende Filter und jeweils drei unterschiedlich große Leckagen

Der Druckaufbau wird bei niedrigdämmenden Filterelementen oder der Nutzung von Servicebohrungen mit geringen Strömungswiderständen nicht beeinflusst. Bei dicht sitzendem Gehörschutz entweicht keine Luft und der Druck wird rasch aufgebaut. Mit zunehmender Leckage entweicht die Luft schon während des Druckaufbaus. Bei großen Leckagen kann nur ein geringer oder kein Druck aufgebaut werden (obere Diagrammzeile).

Bei hochdämmenden Filterelementen oder Membranfiltern mit hohem Strömungswiderstand ist die Geschwindigkeit der Druckänderung begrenzt. Die Luft staut sich vor dem Filter, sie kann trotz Leckage nicht abfließen, was zu fehlerhaften Ergebnissen führt (untere Diagrammzeile). Damit das eingesetzte Filterelement die Dämmung bestimmt, darf die Leckrate der Otoplastik maximal 75 % der Leckrate des benutzten Filterelements betragen.

Bei einer Otoplastik ohne Filterelement und ohne Servicebohrung (Full-Block Otoplastik) erfolgt der Druckaufbau über einen in situ-Schlauch. Der Schlauch ist so dünn, dass er eine Wirkung wie ein mittel- bis hochdämmendes Filterelement hat. Um die Dichtigkeit der Otoplastik eindeutig beurteilen zu können, darf die Leckrate der Otoplastik maximal 75 % der Leckrate des in situ-Schlauchs betragen.

2.4 Beurteilungskriterien

Der erreichbare Maximaldruck hängt von der Leistung der Pumpe, der Pumpdauer und der Leckage der Otoplastik ab.

a. Otoplastik ohne Filter: Der Überdruck wird zwischen Otoplastik und Trommelfell erzeugt. Der Druckaufbau erfolgt über eine Servicebohrung oder alternativ über einen eingeführten in situ-Schlauch. Werden Drucksysteme über 20 mbar bis 30 mbar verwendet, müssen durch das Pumpen mindesten 25 % des Systemdrucks (Prüfdruck) erreicht werden. Bei einem niedrigeren Prüfdruck von 5 mbar müssen mindestens 4 mbar erreicht werden.

b. Otoplastik mit Filter: Die Funktionsfähigkeit des Filters sollte vor der eigentlichen Messung geprüft werden. Dazu kann die Otoplastik vorher im offenen Zustand geprüft werden. Bei einem verstopften Filterelement wird ein Überdruck erzeugt und so eine dichte Otoplastik vorgetäuscht.

Eine dichte Otoplastik kann auch vorgetäuscht werden, wenn sich die Luft vor dem Filterelement staut und deshalb nicht durch eine vorhandene Leckage entweichen kann (siehe Bild 3).

3 Druckabfallmethode

3.1 Ablauf

Das Filterelement wird aus der Gehörschutz-Otoplastik entfernt. An dessen Stelle wird ein Adapter zum Anschluss des Druckschlauchs eingesetzt. Die Dichtigkeit der Übergänge Schlauch – Adapter – Otoplastikbohrung ist sicherzustellen. Der Druckschlauch wird mit dem anderen Ende am Messgerät (Pumpe, Drucksensor, Manometer, Anzeige) angeschlossen.

Danach wird die Gehörschutz-Otoplastik in den Gehörgang eingesetzt. Es ist darauf zu achten, dass der Schlauch die Otoplastik nicht aus dem Ohr herauszieht oder verkantet. Abgeknickte Schläuche können falsche Messergebnisse zur Folge haben.

Mit dem Starten der Prüfung wird die Pumpe in Gang gesetzt. Nach dem Stabilisieren des Drucks (meist nur wenige Sekunden) wird der Druckschlauch verschlossen und der zeitliche Verlauf des Drucks (am Manometer) beobachtet.

Bei einer dicht sitzenden Gehörschutz-Otoplastik bleibt der aufgebaute Druck nahezu konstant. Bei einer schlechtsitzenden Gehörschutz-Otoplastik entweicht die Luft durch die Leckage und der Druck fällt während der Beobachtungsdauer ab.

Nach Ablauf der vorgegebenen Beobachtungsdauer (meist 5 s) wird der Restdruck ermittelt und mit einem vorgegebenen Entscheidungswert verglichen. Das Ergebnis wird als Prozentwert, Restdruckwert oder Ampel (rot/grün) angezeigt.

Kopf- und Kieferbewegungen, Schlucken und Ähnliches können den Sitz der Gehörschutz-Otoplastik im Ohr verändern und zu Undichtigkeiten führen. Besonders Druckschwankungen im Gehörgang, z. B. durch Kaubewegungen oder Muskelanspannungen, sind zu vermeiden.

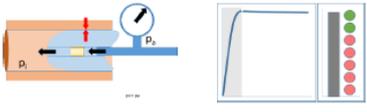
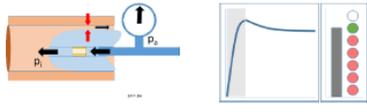
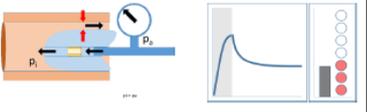
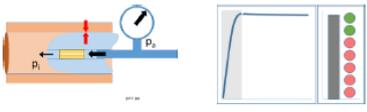
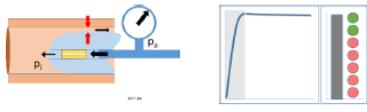
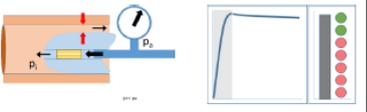
Eine Kalibrierung des Drucksensors ist bei diesen Systemen nicht erforderlich.

3.2 Merkmale und Besonderheiten

- Der Verlauf der Druckaufbauphase (hellgrau unterlegter Bereich im Diagramm) wird in den überwiegenden Fällen nicht angezeigt. Der Messvorgang startet nach abgeschlossenem Druckaufbau (Stabilisierung des Drucks).
- Filterelemente begrenzen die Geschwindigkeit der Druckänderung. Bei mäßigen bis hohen Strömungswiderständen, Druckaufbau durch in situ-Schläuche, hochdämmenden Filtern oder Membranfiltern sind häufiger Falschaussagen „Otoplastik sitzt dicht“ möglich.
- Ermittelt wird der Restdruck nach Ablauf einer vorgegebenen Messdauer (z. B. 5 s).
- Messdauer und Restdruck können zur Einstellung der „Prüfschärfe“ in weiten Bereichen variiert werden.

3.3 Beispiele und graphische Darstellung

Bild 4 illustriert Druckverlauf und Messergebnisse für zwei verschieden stark dämmende Filter und drei unterschiedliche Leckagen.

Prüfung während Druckabfall		Verlauf bei dicht sitzender Otoplastik (Druckabfall)	Verlauf bei geringer Leckage (Druckabfall)	Verlauf bei größerer Leckage (Druckabfall)	Anmerkungen
Druckaufbau durch	Verlauf, optische Anzeige und Restdruck	Druckaufbau durch	Verlauf, optische Anzeige und Restdruck	Druckaufbau durch	Verlauf, optische Anzeige und Restdruck
Niedrigdämmendes Filter				geringer bis mäßiger Strömungswiderstand der Filterbohrung, $p_1 \sim p_2$	
Hochdämmendes Filter				hoher Strömungswiderstand der Filterbohrung, $p_1 \ll p_2$	

Quelle: Weiß, Rainer (2016) Studie zur Wirksamkeit von Funktionsüberprüfungen für Otoplastiken (BGHM, unveröffentlicht)

Bild 4: Beispiele der Messung beim Druckabfall für hoch- bzw. niedrigdämmende Filter und jeweils drei unterschiedlich große Leckagen

Der Druckabfall wird bei niedrigdämmenden Filterelementen oder der Nutzung von Servicebohrungen mit geringen Strömungswiderständen nicht beeinflusst. Bei dicht sitzendem Gehörschutz entweicht keine Luft und der Überdruck bleibt über längere Zeit erhalten. Mit zunehmender Leckage entweicht die Luft schneller und der Druck sinkt während der Messdauer schneller ab. Bei großen Leckagen kann nur ein geringer oder kein Druck aufgebaut werden. Der Überdruck reicht dann für die Beobachtung des Druckabfalls nicht aus (obere Diagrammzeile).

Bei hochdämmenden Filterelementen oder Membranfiltern mit hohem Strömungswiderstand ist die Geschwindigkeit der Druckänderung begrenzt. Die Luft staut sich vor dem Filter, der Überdruck kann trotz Leckage nicht abgebaut werden. Die Verzögerung führt zu fehlerhaften Ergebnissen (untere Diagrammzeile). Damit das eingesetzte Filterelement die Dämmung bestimmt, darf die Leckrate der Otoplastik maximal 75 % der Leckrate des benutzten Filterelements betragen.

Bei einer Otoplastik ohne Filterelement und ohne Servicebohrung (Full-Block Otoplastik) erfolgt der Druckaufbau über einen in situ-Schlauch. Der Schlauch ist so dünn, dass er eine Wirkung wie ein mittel- bis hochdämmendes Filterelement hat. Um die Dichtigkeit der Otoplastik eindeutig beurteilen zu können, darf die Leckrate der Otoplastik maximal 75 % der Leckrate des in situ-Schlauchs betragen.

3.4 Beurteilung

- Eine Otoplastik ohne Filterelement oder mit Servicebohrung (Druckaufbau erfolgt über die Servicebohrung) ist dicht, wenn der Restdruck nach 5 s auf nicht weniger als 25 % des Prüfdrucks abgesunken ist.
- Falls die Messung durch das Filterelement erfolgen muss, muss der Strömungswiderstand des Filterelements bekannt sein.

Niedrigdämmende Filterelemente haben zwar größere Öffnungen, aber der Überdruck kann nicht abgebaut werden, wenn die Otoplastik dicht im Ohr sitzt.

Geht der Druck hinter der Otoplastik (am Ohr) schnell zurück, weil sie undicht ist, sinkt der Druck auf der Messseite dementsprechend schnell. Es wird der tatsächliche Wert des Drucks hinter der Otoplastik angezeigt.

Bei **hochdämmenden Filterelementen** wird die Luft so geblockt, dass der Druck lange bestehen bleibt und ein korrekter Messwert erst nach einer längeren Zeit bestimmt werden kann.

Mögliche Lösung: Einbringen einer Servicebohrung und Verschließen des Filters. Dann fließt die Luft schnell ab und der Zeitverlauf des Druckabfalls oder der Restdruck nach einer bestimmten Zeit entspricht dem Druck zwischen Otoplastik und Trommelfell.

Kann das Filterelement ohne Gefahr einer Beschädigung aus der Otoplastik entfernt und wiedereingesetzt werden, sollte die Druckmessung durch den Schallkanal erfolgen. Die Bohrungsdurchmesser sind hier ausreichend groß.

Bildnachweis:

Die Bilder wurden freundlicherweise zur Verfügung gestellt von:

Rainer Weiß (ehemals BGHM)

Herausgeber

Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
Fax: 030 13001-6132
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de

Sachgebiet „Gehörschutz“
im Fachbereich „Persönliche Schutzausrüstungen“
der DGUV > www.dguv.de Webcode: d25049

An der Erarbeitung dieses Dokuments haben mitgewirkt:

- 3M Deutschland GmbH
- Lärm- und Gehörschutz Consult Peter Sickert (LGC-PS)