

Müller-BBM GmbH  
Helmut-A.-Müller-Straße 1 - 5  
82152 Planegg bei München

Telefon +49(89)85602 0  
Telefax +49(89)85602 111

www.MuellerBBM.de

Dr.-Ing. Edwin Schorer  
Telefon +49(89)85602 188  
Edwin.Schorer@mbbm.com

21. Dezember 2021  
M147318/01 Version 1 ES/DNK

## **Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V.**

### **Entwicklung eines Prüfverfahrens für das Hören von Warnsignalen mit Gehörschutz im öffentlichen Straßenverkehr**

**Kurztitel:  
„Warnsignalhören Straßenverkehr“**

**Bericht Nr. M147318/01**

Auftraggeber:	DGUV – Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. Glinkastr. 40 10117 Berlin
Vorhabenskennzeichen:	FP 443 DE 123 382 489
Projektbeginn:	01.01.2020
Projektabschluss:	31.07.2021
Bearbeitet von:	Dr.-Ing. Edwin Schorer Dr. Sandra Dantscher Dipl.-Phys. Peter Sickert Dipl.-Ing. Michael Kogel Arne Renner
Berichtsumfang:	49 Seiten insgesamt, davon 34 Seiten Textteil und 15 Seiten Anhang

Müller-BBM GmbH  
HRB München 86143  
USt-IdNr. DE812167190

Geschäftsführer:  
Joachim Bittner, Walter Grotz,  
Dr. Carl-Christian Hantschk,  
Dr. Alexander Ropertz,  
Stefan Schierer, Elmar Schröder

## Kurzfassung

Bestimmte Tätigkeiten im öffentlichen Straßenraum, wie z. B. die Grünpflege an Straßen, Straßen- und Kanalreinigung oder Bauarbeiten können aus Gründen des Arbeitsschutzes das Tragen von Gehörschutz erfordern. Da bei diesen Tätigkeiten die Wahrnehmbarkeit von Warnsignalen (z. B. Autohupe, Martinshorn, Rückfahrtsignale) durch den Gehörschutz nicht vermindert werden darf, können nur solche Gehörschutzmittel ausgewählt und verwendet werden, die gemäß der IFA-Positivliste für das Warnsignalhören geeignet sind. In dem hier beschriebenen Forschungsvorhaben sollte ein Verfahren entwickelt werden, das die Durchführung einer individuellen Hörprobe für die Versicherten ermöglicht, die in den eingangs beschriebenen straßenverkehrsnahe Bereiche arbeiten, um so sicherzustellen, dass der ausgewählte Gehörschutz auch individuell geeignet ist.

Für Arbeitsplätze bzw. Tätigkeiten von Fahrzeugführern im öffentlichen Straßenverkehr mit Gehörschutz gemäß DGUV Information 212-673 ist ein Verfahren für eine individuelle Hörprobe beschrieben. Dieses Verfahren ist aber sehr zeit- und materialaufwändig (es werden zwei Fahrzeuge benötigt) und mit Lärmbelastungen für die Umgebung verbunden.

Aufbauend auf dem bereits für die individuelle Hörprobe für Lokrangierführer und Triebfahrzeugführer entwickelten Gehörschutztest soll ein einfach durchführbares Prüfverfahren für das Hören von Warnsignalen mit Gehörschutz im öffentlichen Straßenverkehr entwickelt werden, das die Durchführung einer individuellen Hörprobe mit geeigneten Warnsignalen und Arbeitsgeräuschen in üblichen Büroräumen ermöglicht. Das zu entwickelnde Verfahren soll die akustische Situation von Arbeitsplätzen im öffentlichen Straßenraum reproduzieren. Um den unterschiedlichen, bei Tätigkeiten im öffentlichen Straßenraum eingesetzten Gehörschutzmitteln Rechnung tragen zu können, soll die Präsentation der Prüfschalle sowohl über Lautsprecher (Freifeldverfahren für die Prüfung von Kapselgehörschützern oder Vollschutzausrüstungen, wie z. B. für das Arbeiten mit Motorsensen vorgeschrieben) und auch über Kopfhörer (Direktschallfeldverfahren zur Prüfung von Gehörschutzstöpseln und Otoplastiken) erfolgen können.

In dem erarbeiteten Verfahren werden beim Freifeldverfahren die Warnsignale und Störgeräusche dem Probanden in einem Prüfraum über zwei vor ihm befindliche Lautsprecher dargeboten. Um den akustischen Einfluss des Abhörtraums möglichst klein zu halten, wurde der Abstand zwischen Proband und Lautsprecher zu 1 m gewählt. Dies ermöglicht die Verwendung eines üblichen Büroraums ohne spezielle akustische Ausstattung als Abhörtraum für das Prüfverfahren. Die Warnsignale und Störgeräusche werden beidohrig abgehört. Dies ermöglicht zusammen mit einem stereophonen Aufnahmeverfahren für die Warnsignale und Störgeräusche eine räumliche und damit realitätsgetreue Wiedergabe und Beurteilung durch die ProbandInnen. Weiterhin entspricht auch das Tragen des Gehörschutzes bei diesem Verfahren 1:1 der realen Situation.

Beim Direktschallfeldverfahren werden die Testschalle dem Probanden/der Probandin über ein Paar Audiometrie-Kopfhörer dargeboten. Die Größe des Hohlraums unter den Hörmuscheln erlaubt diese Beschallung auch mit in den Gehörgang eingesetztem Stöpsel-Gehörschutz, sofern dieser nicht weit aus dem Ohrkanal herausstehende Bestandteile hat. Beim Direktschallverfahren werden an den Prüfraum keine besonderen akustischen Anforderungen gestellt.

Die Steuerung der Signaldarbietung, die Kommunikation mit dem Probanden und dem Versuchsleiter sowie die Speicherung und Auswertung der Probandenantworten wird mit einem Computerprogramm realisiert. Der Pegel der Warnsignale wird durch das Prüfprogramm variiert, während das jeweilige Störgeräusch mit einem Schalldruckpegel von maximal 83 dB(A) wiedergegeben wird und in der Lautstärke unverändert bleibt. Das Störgeräusch wird in zwei aufeinander folgenden Intervallen dargeboten. Das Warnsignal wird zufallsgesteuert im ersten oder im zweiten Intervall zugespielt. Der Proband hat lediglich zwei Antwortmöglichkeiten: „Warnsignal im 1. Intervall gehört“ oder „Warnsignal im 2. Intervall gehört“ (2AFC, „Two-Alternative-Forced-Choice“). Seine Antwort teilt der Proband mit Hilfe eines Eingabegeräts durch Drücken einer der beiden Antworttasten mit. Nach einer Eingewöhnungsphase mit einem sehr gut wahrnehmbaren Warnsignalpegel folgen 30 Abfragen, bei denen der Warnsignalpegel abhängig von der Probandenantwort variiert wird. Falls das Warnsignal in keinem der beiden Intervalle gehört werden konnte, weil der Warnsignalpegel unterhalb der Mithörschwelle (MHS) lag, antwortet der Proband mittels einer beliebigen der beiden Tasten. (Die Mithörschwelle ist derjenige Warnsignalpegel, bei dem das Warnsignal in einem gleichzeitig dargebotenen Störgeräusch in 50 % aller Fälle erkannt wird.) Auf eine richtige Antwort hin wird der Pegel des Warnsignals um eine Stufe erniedrigt, bei einer falschen Antwort um zwei Stufen erhöht (2Up-1Down-Methode, eine Stufe entspricht einem Pegelunterschied von 3 dB). Das Programm führt eine Plausibilitätsprüfung der gespeicherten Probandenantworten durch und ermittelt die Mithörschwelle der Warnsignale mit und ohne Gehörschutz aus dem Pegelverlauf der entsprechenden Versuchsdurchläufe. Ein Gehörschutz wird als geeignet für das Warnsignalhören beurteilt, wenn sich die Mithörschwelle mit Gehörschutz um nicht mehr als eine Pegelstufe gegenüber dem Versuch ohne Gehörschutz verändert.

Die für die Prüfmethode benötigten stereophonen Prüfschalle wurden zunächst mit Hilfe eines kopfbezogenen Aufnahmesystems im realen Betrieb bzw. Verkehr auf Baustellen, einem Betriebshof und an Straßen im Raum München aufgezeichnet. Aus dem aufgezeichneten Tonmaterial werden zwei Warnsignale und vier Hintergrundgeräusche, die für die meisten der zu betrachtenden gehörschutzpflichtigen Tätigkeiten im öffentlichen Straßenraum als repräsentativ gelten können, im Prüfprogramm verwendet.

Das Prüfsystem besteht aus einem Laptop-Computer mit zwei Lautsprechern für die Freifeldverfahren, einem Paar Audiometrie-Kopfhörer für das Direktschallfeldverfahren sowie dem Probanden-Antwortgerät. Als Prüfraum für die Freifeldmethode eignet sich entweder ein kleiner Büroraum mit mindestens 12 m<sup>2</sup> Grundfläche und schallabsorbierender Decke bzw. Teppichboden oder ein größerer möblierter Raum  $\geq 25$  m<sup>2</sup> ohne besondere akustische Maßnahmen. Der Fremdgeräuschpegel im Prüfraum sollte im Mittel  $L_{eq} = 45$  dB(A) nicht überschreiten.

Bei der Direktschallfeldmethode ist dank der Schalldämmung der Audiometrie-Kopfhörer ein höherer Fremdgeräuschpegel von im Mittel  $L_{eq} = 55$  dB(A) möglich, an den Prüfraum werden darüber hinaus keine besonderen Anforderungen gestellt.

Das Prüfprogramm StraLa-GS (Straßenlärm-Gehörschutz-Test) wurde mit Hilfe der Programmiersprache MAX erstellt, die eine grafische Programmieroberfläche bietet.

In Vorversuchen wurden zunächst die Mithörschwellen für eine Vielzahl von Warnsignal-/Störgeräusch-Kombinationen mit einer Einstellmethode von vier Versuchspersonen ermittelt. Diese Mithörschwellen wurden im Prüfprogramm hinterlegt, um den jeweiligen Warnsignalpegel im Hörtest im passenden Wertebereich platzieren zu können.

Die fertiggestellte Prüfsoftware wurde innerhalb der Fa. Müller-BBM GmbH zum Vergleich von einer Gruppe geübter Versuchspersonen, die an den Vorversuchen zur Programmentwicklung beteiligt war, und einer Gruppe ungeübter Versuchspersonen erstmals genutzt, die bislang noch keine Hörversuche gemacht hatte. Die Gruppe ungeübter Versuchspersonen kann hinsichtlich ihrer Erfahrung mit Hörversuchen als repräsentativ für die Zielgruppe des Prüfprogramms angesehen werden.

Es zeigte sich, dass alle geübten Probanden beide Gehörschützer bereits beim 1. Hörtest als geeignet für das Hören des Warnsignals ermittelt haben, während sich bei einer der ungeübten Versuchspersonen (VP) im 1. Test der Gehörschutz 1 als „ungeeignet“ erwies. Beim Gehörschutz 2 war das Ergebnis „ungeeignet“ im 1. Test sogar bei zwei von sechs VPn der Fall. Im 2. Durchgang des Hörtests wurde wiederum von einer der ungeübten Personen der Gehörschutz 1 als ungeeignet beurteilt, während GS 2 bereits bei allen ungeübten Personen „geeignet“ war. Im 3. Durchgang des Tests wurden schließlich beide Gehörschützer von allen Versuchspersonen als „geeignet“ beurteilt.

Aus diesem Ergebnis ist zu schließen, dass ein Teil der Personen, die mit der Hörsituation noch nicht vertraut sind, die für die Wahrnehmung leiser Warnsignale in einem Hintergrundgeräusch nötige Konzentration nicht sofort aufbringen kann. Offenbar erfolgt aber die Gewöhnung an die Versuchssituation recht schnell, denn bereits bei der ersten oder spätestens zweiten Wiederholung der Prüfung besteht kein Unterschied mehr in der Wahrnehmung geübter und vormals ungeübter ProbandInnen.

Das im Rahmen des Forschungsvorhabens FP 433 entwickelte und hier beschriebene computergestützte Prüfverfahren stellt eine deutlich einfacher durchzuführende Alternative für die individuelle Hörprobe für die mit gehörschutzpflichtigen Tätigkeiten im öffentlichen Straßenraum beschäftigten Versicherten dar als das in der DGUV Information 212-673 beschriebene Verfahren. Der zeitliche und organisatorische Aufwand ist beim programmgesteuerten Gehörschutztest gegenüber der Hörprobe gemäß o. g. DGUV Information deutlich verringert. Es besteht die Möglichkeit, den Gehörschutztest z. B. in eine wiederkehrende Eignungsuntersuchung oder auch in die arbeitsmedizinische Vorsorge einzugliedern.

Weder durch das beschriebene Verfahren noch durch die verwendeten Vorrichtungen und Geräte werden Schutzrechte am Vorhaben beteiligter oder nicht beteiligter Stellen berührt.

Die durch das Prüfprogramm StraLa-GS mögliche Variabilität des Hintergrundgeräuschs und die große Annäherung der akustischen Umgebung an die Realität erfordert in der ungewohnten Umgebung von den ProbandInnen allerdings eine recht hohe Aufmerksamkeit und Konzentration über die Laufdauer des Prüfprogramms, die ca. 10 min beträgt. Ggf. ist bei einem Teil der Probanden, welche die notwendige Konzentration aufgrund der für sie neuen und ungewohnten Hörsituation nicht sofort aufbringen können, eine Wiederholung des Gehörschutztests erforderlich, die frühestens nach einer Pause von ca. 10 min durchgeführt werden kann.

Die Umsetzung der Arbeitsergebnisse erfolgt durch die geplante Einführung des Laborverfahrens in den Mitgliedsbetrieben der Unfallversicherungsträger gemäß Abschnitt 1.3. Nach deren Beschlussfassung kann die Bereitstellung von Prüfapparaturen zeitnah erfolgen.



Dr.-Ing. Edwin Schorer

Begleitende Forschungsleitung der DGUV:



Dr. rer. nat. Sandra Dantscher



Dipl.-Phys. Peter Sickert

## Executive Summary

Certain activities in the public road space, such as the maintenance of green areas on roads, street and sewer cleaning or construction work may require the wearing of hearing protection for reasons of occupational safety. As the perceptibility of warning signals (e.g. car horn, siren, reversing signals) must not be reduced by the hearing protector during these activities, only hearing protectors that are suitable for hearing warning signals according to the IFA positive list can be selected and used. In the research project described here, a procedure was to be developed that enables an individual hearing test to be carried out for insured persons working in the areas close to road traffic described at the beginning, in order to ensure that the hearing protection selected is also suitable for the individual.

For workplaces or activities in public road traffic with hearing protection according to DGUV Information 212-673, a procedure for an individual hearing test is described. However, this procedure is very time-consuming and material-intensive (two vehicles are needed) and is associated with noise pollution for the surrounding area.

Based on the hearing protection test already developed for the individual hearing test for locomotive drivers and shunting engine drivers, an easy-to-perform test procedure is to be developed for the hearing of warning signals with hearing protection in public road traffic, which enables the performance of an individual hearing test with suitable warning signals and working noises in normal office spaces. The method to be developed is to reproduce the acoustic situation of workplaces in public road traffic spaces. In order to be able to take into account the different hearing protection devices used for activities in public roads areas, it must be possible to present the test sounds both via loudspeakers (free-field method for testing earmuffs or full-protection equipment, as prescribed e.g. for working with power scythes) and via headphones (direct sound field method for testing earplugs and earmolds).

In the developed procedure both warning signals and interfering noise are presented to the subject in a test room via two loudspeakers placed in front of him. In order to keep the acoustic impact of the listening room to a minimum the distance between the test subject and the loudspeaker was chosen to be 1 m. Thus, any usual office room without special acoustic equipment can be used as listening room of the test procedure. Both warning signals and masking background noise are monitored binaurally. Together with a stereophonic recording for warning signals and masking noises, this enables a spatial and thus realistic reproduction and assessment by the test subject. Furthermore, the wearing of hearing protection corresponds 1:1 to the real situation.

In the direct sound field method, the test sounds are presented to the subject through a pair of audiometric headphones. The size of the cavity under the earcups allows this sound presentation with the earplug inserted into the ear canal, provided it does not have components protruding too far out of the ear canal. For the direct sound method, no special acoustic requirements apply to the test room.

For controlling the signal presentation, for the communication with the test subject and the experimenter as well as for the storage and the evaluation of the subject's responses a computer program is used. The level of the warning signals is varied by the test program while the respective background noise is reproduced with a sound pressure level of maximum 83 dB(A) and with constant level. The background noise is presented in two consecutive intervals. The warning signal is randomly added in the first or the second interval. There are only two answer options left to the test subject: "warning signal heard in the 1<sup>st</sup> interval" or "warning signal heard in the 2<sup>nd</sup> interval" (2AFC, „Two-Alternative-Forced-Choice“). The subject responds by pressing one of the two answer buttons on an input device. After a familiarisation phase with a high warning signal level 30 queries will follow with warning signal levels modified according to the subject's response. If the warning signal was not audible in either interval because the warning signal level was below the masked threshold (MHS) the subject answers by pressing any of the two buttons. (The masked threshold is the warning signal level at which the warning signal is recognised in 50 % of all cases with simultaneously presented background noise.) After a correct answer the warning signal level is decreased by one level step, after a wrong answer it is increased by two level steps (2Up-1Down-Method, one step corresponds to a level difference of 3 dB). A plausibility check is performed by the program for the recorded subject's answers and the masked threshold of the warning signals with and without hearing protection is determined from the level dependence of the respective test runs. A hearing protection device is deemed suitable for hearing warning signals if the masked threshold with hearing protection is not impaired by more than one level step compared to the test without hearing protection.

The stereophonic test sounds required for the testing method were recorded in real operation situations on construction sites, in a road maintenance depot and in the public road space around Munich with the aid of a head-related recording system. From the recorded sound material, two warning signals and four masking background noises are used in the test program which can be considered representative for most of the activities requiring hearing protection in public road areas.

The test system consists of a laptop computer with two loudspeakers for the free-field method, a pair of audiometric headphones for the direct sound field method and the input device for the subject's answer. A suitable test room for the free-field method can either be a small office room with an area of at least 12 m<sup>2</sup>, equipped with sound-absorbing ceiling or carpet floor, or a larger ( $\geq 25$  m<sup>2</sup>) furnished room without particular acoustic properties. The background noise level inside the test room should not exceed an average of  $L_{eq} = 45$  dB(A).

With the direct sound field method, thanks to the sound insulation of the audiometric headphones, a higher background noise level of  $L_{eq} = 55$  dB(A) on average is possible, and, beyond this, no special requirements are placed on the test room.

The test program StraLa-GS (Straßenlärm-Gehörschutz-Test – traffic noise hearing protection test) was written in the programming language MAX featuring a graphic programming interface.

In preliminary tests, the masked thresholds were first determined for a large number of warning signal/background noise combinations using an adjustment method with four test subjects. These masked threshold data were stored in the test program in order to be able to adjust the respective warning signal level to the appropriate value range during the listening test.

The finalised test software was used within the Müller-BBM GmbH for comparison purposes by a group of trained test persons involved in the preliminary tests during the program developing stage and by a group of untrained test subjects who had not performed any audio tests before. With regard to their experience with listening tests the group of inexperienced subjects can be regarded as representative for the test program's target group.

It was found out that all trained subjects determined both tested hearing protectors right in the 1<sup>st</sup> listening test as suitable for hearing warning signal while the hearing protector 1 proved to be unsuitable with one of the untrained subjects. For hearing protector 2, even two of six subjects produced the result "unsuitable". In the 2<sup>nd</sup> round of the hearing test, hearing protector 1 was again judged "unsuitable" by one of the untrained persons, while hearing protection 2 was already judged "suitable" by all six untrained persons. In the 3<sup>rd</sup> round of the test, both hearing protectors were finally rated as "suitable" by all test subjects.

From this result it can be concluded that, while they are not yet familiar with the hearing situation, some persons cannot immediately provide the concentration needed for the perception of soft warning signals within background noise. But, obviously, they become accustomed to the test situation quite quickly, because there is no longer any difference in the perception of trained and formerly untrained subjects after the first or, at the latest, second repetition of the test.

The computer-assisted test procedure developed within the framework of the FP 433 research project and described here is a much simpler alternative to the procedure described in DGUV Information 212-673 for the individual hearing test for insured persons engaged in activities requiring hearing protection in public road areas. The time and organisational effort required for the program-controlled hearing protection test is significantly reduced compared to the hearing test according to the above-mentioned DGUV information. It would be possible to integrate the hearing protection test, for example, into a recurring aptitude test.

Neither the process described here nor the devices and equipment used affect the property rights of parties involved or not involved in the project.

The variability of the background noise made possible by the StraLa-GS test programme and the close approximation of the acoustic environment to reality, however, require a high level of attention and concentration from the test subjects in the unfamiliar environment over the duration of the test programme, which is approx. 30 minutes. For some of the test subjects who cannot immediately summon up the necessary concentration due to the hearing situation which is new and unfamiliar to them, it may be necessary to repeat the hearing protection test – at the earliest after a break of approx. 10 minutes.

The implementation of the results will be carried out by the planned introduction of the laboratory procedure in the member companies of the Berufsgenossenschaften according to section 1.3. After their decision, the provision of test equipment can take place in a timely manner.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b>	<b>2</b>
<b>Executive Summary</b>	<b>6</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>11</b>
1.1 Aufgabe und Ziel	11
1.2 Erkenntnisstand zu Projektbeginn	11
1.3 Zielgruppen	12
<b>2 Prüfmethodik</b>	<b>13</b>
<b>3 Beschaffung der Prüfschalle</b>	<b>15</b>
3.1 Schallpegelmesser	15
3.2 Aufnahmesystem	16
3.3 Erfasste Geräuschquellen	17
<b>4 Prüf-Hardware</b>	<b>18</b>
<b>5 Prüf-Software</b>	<b>20</b>
5.1 Vorversuche	20
5.2 Repertoire der Warnsignale und Störgeräusche für das Prüfverfahren	23
5.3 Programmstruktur	24
<b>6 Erprobung des Prüfsystems</b>	<b>27</b>
6.1 Anordnung des Prüfsystems für das Freifeldverfahren	27
6.2 Anforderungen an den Prüfraum beim Freifeldverfahren	29
6.3 Anordnung des Prüfsystems für das Direktschallfeldverfahren	29
6.4 Anforderungen an den Prüfraum beim Direktschallfeldverfahren	30
6.5 Interner Anwendungstest	30
6.6 Validierung im externen Feldversuch	31
<b>7 Diskussion</b>	<b>32</b>
<b>8 Literaturverzeichnis</b>	<b>33</b>
<b>Anhang</b>	Prüfprogramm StraLa-GS: Tabelle der Störgeräusche Fotos einiger Störgeräuschquellen Flussdiagramme Beispiel eines Prüfprotokolls Ansagetexte

## 1 Einleitung

Bestimmte Tätigkeiten im öffentlichen Straßenraum, wie z. B. die Grünpflege an Straßen, Straßen- und Kanalreinigung oder Bauarbeiten können aus Gründen des Arbeitsschutzes das Tragen von Gehörschutz erfordern [1], [4]. Da bei diesen Tätigkeiten die Wahrnehmbarkeit von Warnsignalen (z. B. Autohupe, Martinshorn, Rückfahrsignale) durch den Gehörschutz nicht vermindert werden darf, können nur solche Gehörschutzmittel ausgewählt und verwendet werden, die gemäß der IFA-Positivliste für das Warnsignalhören geeignet sind [2]. In dem hier beschriebenen Forschungsvorhaben sollte ein Verfahren entwickelt werden, das die Durchführung einer individuellen Hörprobe für die Versicherten ermöglicht, die in den eingangs beschriebenen straßenverkehrsnahen Bereichen arbeiten, um so sicherzustellen, dass der ausgewählte Gehörschutz auch individuell geeignet ist.

### 1.1 Aufgabe und Ziel

Aufbauend auf dem für die individuelle Hörprobe für Lokrangierführer (Lrf) und Triebfahrzeugführer (Tf) entwickelten Gehörschutztest [3] soll ein einfach durchführbares Prüfverfahren für das Hören von Warnsignalen mit Gehörschutz im öffentlichen Straßenverkehr entwickelt werden, das die Durchführung einer individuellen Hörprobe mit geeigneten Warnsignalen und Arbeitsgeräuschen in üblichen Büroräumen (z. B. beim Arbeits- bzw. Verkehrsmediziner) ermöglicht. Das zu entwickelnde Verfahren soll die akustische Situation von Arbeitsplätzen im öffentlichen Straßenraum reproduzieren. Um den unterschiedlichen, bei Tätigkeiten im öffentlichen Straßenraum eingesetzten Gehörschutzmitteln Rechnung tragen zu können, muss die Präsentation der Prüfschalle sowohl über Lautsprecher als auch Kopfhörer erfolgen können.

### 1.2 Erkenntnisstand zu Projektbeginn

Beim Tragen von individuellem Gehörschutz kann die Signalwahrnehmbarkeit eingeschränkt sein. Dies ergibt sich aus der Dämmwirkung des jeweiligen Gehörschutzes. Für einen Gehörschutz, der die Pegel in allen Frequenzbändern gleich stark reduziert, ist keine Veränderung des Höreindruckes zu erwarten. Dagegen muss bei Produkten, welche z. B. die hochfrequenten Schallanteile stärker abschwächen als den tieferen Hörfrequenzbereich, mit einer Verschlechterung der Wahrnehmbarkeit von Warnsignalen gerechnet werden. Für die Arbeitsplätze bzw. Fahrzeugführer-Tätigkeiten im öffentlichen Straßenverkehr mit Gehörschutz gemäß DGUV Information 212-673 („*Empfehlung zur Benutzung von Gehörschützern durch Fahrzeugführer bei der Teilnahme am öffentlichen Straßenverkehr*“) [4] ist ein Verfahren für eine individuelle Hörprobe beschrieben. Der niedrigere Lärmpegel in Fahrzeugkabinen erfordert heute im Allgemeinen keine Benutzung von Gehörschutz mehr. Andererseits besteht Bedarf, auch andere am öffentlichen Straßenverkehr beteiligte Personen an ihren Arbeitsplätzen durch Gehörschutz geeignet schützen zu können. Das aktuelle Verfahren ist sehr zeit- und materialaufwändig (es werden zwei Fahrzeuge benötigt) und mit Lärmbelastungen für die Umgebung verbunden. Somit besteht Bedarf für ein universelles und einfaches Verfahren, welches die wichtigen Lärmarbeitsplätze im Straßenverkehrsraum außerhalb von Fahrzeugkabinen berücksichtigt.

Im Zusammenhang mit den Studien zum Gehörschutz für Fahrzeugführer im öffentlichen Straßenverkehr und für Eisenbahnfahrzeugführer wurde einschlägige Literatur gesichtet und ausgewertet, vgl. [7] bis [11]. Die Literaturliste ist am Ende des Dokumentes beigefügt.

## 1.3 Zielgruppen

Dieses Projekt ist Teil des Gesamtprojektes Erarbeitung einer DGUV Information: „Gehörschutz zur Verwendung im öffentlichen Straßenverkehr“ des Sachgebietes Gehörschutz im Fachbereich PSA, welches vom Themenfeld „Gehörschutz zur Verwendung im öffentlichen Straßenverkehr“ bearbeitet wird. Folgende Institutionen haben ein Interesse an dem Forschungsvorhaben:

- BG Verkehr
- BG Handel und Warenlogistik
- BG BAU
- BG ETEM
- SVLFG
- Alle Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand (Unfallkassen, GUV...)
- Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA)
- Sachgebiet „Gehörschutz“ der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV)

## 2 Prüfmethodik

Zur Prüfung der Wahrnehmbarkeit von Warnsignalen mit Gehörschutz sollte ein geeignetes Verfahren mit der Möglichkeit der Verwendung von Kopfhörern als Direkt-schallfeldverfahren (Prüfung von Gehörschutzstöpseln und Gehörschutz-Otoplastiken) oder für die Prüfung von Kapselgehörschützern bzw. Vollschutzausrüstungen (wie z. B. für das Arbeiten mit Motorsensen vorgeschrieben) unter Verwendung von Lautsprechern als sogenanntes Freifeldverfahren entwickelt werden. Letztere Variante ist als universelle Prüfmethode anzusehen, denn sie erlaubt die Prüfung aller Arten von Gehörschutzmitteln, z. B. auch von Gehörschutzstöpseln oder Otoplastiken mit Bestandteilen, die so weit aus dem Ohr herausstehen, so dass sie unter Kopfhörermuscheln keinen Platz finden.

Bei beiden Verfahren werden dem Probanden/der Probandin Warnsignale und Störgeräusche in einem Prüfraum über ein Paar Kopfhörer oder über zwei vor ihm befindliche Lautsprecher dargeboten. Um den akustischen Einfluss des Abhörraums möglichst gering zu halten, wird bei der Hörprüfung mit Lautsprechern der Abstand zwischen ProbandIn und Lautsprecher mit ca. 1 m gering gewählt und es werden für diesen Fall geeignete Lautsprecher (Nahfeld-Monitore) verwendet. Dies ermöglicht auch bei der Freifeldmethode die Verwendung eines üblichen Büroraums ohne spezielle akustische Ausstattung als Abhörraum für das Prüfverfahren, wie es als Anforderung für das zu entwickelnde Prüfverfahren formuliert wurde. Sowohl bei der Kopfhörer- als auch bei der Lautsprechermethode werden die Warnsignale und Störgeräusche beidohrig abgehört. Dies ermöglicht zusammen mit dem räumlichen Aufnahmeverfahren (OSS-Verfahren, optimales Stereo-System) für die Warnsignale und Störgeräusche eine räumliche und damit realitätsnahe Wiedergabe und Beurteilung durch die ProbandInnen.

Die Steuerung der Signaldarbietung, die Rückmeldung an den Probanden und den Versuchsleiter sowie die Speicherung und Auswertung der Probandenantworten wird mit einem Prüfprogramm realisiert, das auf einem Laptop-Computer läuft. Das Störgeräusch wird in zwei aufeinander folgenden Intervallen (Intervalldauer 1200 ms, Pausendauer 500 ms zwischen den Intervallen) dargeboten. Das Warnsignal (Dauer 1000 ms) wird zufallsgesteuert (zeitlich zentriert) im ersten oder im zweiten Intervall zugespielt. Die Darbietungsintervalle werden über das Probandeninterface auch optisch markiert. Beide Intervalle enthalten also das Störgeräusch, zusätzlich wird – jedoch nur bei einem der beiden Darbietungsintervalle – auch das Warnsignal präsentiert. Der Schallpegel des Warnsignals wird durch das Prüfsystem nach einem festgelegten Algorithmus variiert, während das jeweilige Störgeräusch realitätsnah mit Schallpegeln bis zu 83 dB(A) wiedergegeben wird und im Pegel unverändert bleibt. Der Proband/die Probandin hat die Aufgabe anzugeben, in welchem der beiden Darbietungsintervalle das Warnsignal gehört wurde, und hat daher lediglich zwei Antwortmöglichkeiten, „Warnsignal im 1. Intervall gehört“ oder „Warnsignal im 2. Intervall gehört“ („Two-Alternative-Forced-Choice“, kurz 2AFC-Methode [12], [13], [14]). Das Urteil über die Wahrnehmbarkeit der Warnsignale teilt der Proband/die Probandin mit Hilfe des Eingabegeräts (Probandeninterface) dem Prüfprogramm durch Knopfdruck mit. Das Prüfprogramm ermittelt die Mithörschwelle für die Warnsignale im Störgeräusch. Dabei wird die Messung zweimal durchgeführt – einmal mit

und einmal ohne Gehörschutz – und die Differenz der Mithörschwellen zwischen den beiden Situationen ausgewertet.

Die ersten fünf Darbietungspaare werden mit einem hohen Warnsignalpegel präsentiert, um den Probanden/die Probandin mit den Schallsignalen und der Versuchsmethode vertraut zu machen (Proberunde). Danach folgt nach einer Einschwingphase eine Abfolge von etwa 30 Abfragen, bei denen der Warnsignalpegel abhängig von der Probandenantwort variiert wird. Falls das Warnsignal in keinem der beiden Intervalle gehört werden konnte, weil der Warnsignalpegel unterhalb der Mithörschwelle (MHS) lag, antwortet der Proband mittels einer beliebigen der beiden Tasten. Auf eine richtige Antwort hin wird der Pegel des Warnsignals um eine Stufe erniedrigt, bei einer falschen Antwort um zwei Stufen erhöht (2Up-1Down-Methode). Das Programm führt eine Plausibilitätsprüfung der gespeicherten Probandenantworten durch (d. h. es wird überprüft, ob die Anzahl richtiger Antworten mit steigendem Warnsignalpegel ebenfalls ansteigt) und ermittelt die Mithörschwelle der Warnsignale mit und ohne Gehörschutz aus dem Pegelverlauf der entsprechenden Versuchsdurchläufe. Ein Gehörschutz wird als geeignet für das Warnsignalhören beurteilt, wenn sich die Mithörschwelle mit Gehörschutz um nicht mehr als eine Pegelstufe gegenüber dem Versuch ohne Gehörschutz verschlechtert.

Bei der Prüfung von Stöpsel-Gehörschutz mittels Kopfhörenderbietung ist im Unterschied zur Lautsprecherdarbietung die Filterfunktion und Richtwirkung des Kopfes und insbesondere der Ohrmuscheln (Außenohr-Übertragungsfunktion) nicht beteiligt. Aus diesem Grunde werden die Warn- und Störgeräusche vor der Darbietung mit der kopfbezogenen Übertragungsfunktion gefaltet, damit der Höreindruck dem der Lautsprecher-Darbietung entspricht. Hierzu wurden die standardisierten KEMAR-HRTF<sup>1</sup>-Funktionen [15] für 0° Einstrahlrichtung und 0° Erhebungswinkel verwendet, die Faltung wurde mittels einer Matlab-Routine durchgeführt.

Aus Gründen der eindeutigen Zuordnung gibt es zwei separate PC-Programme für die Durchführung der Gehörschutzprüfung mit Lautsprecher und mit Kopfhörer, „StraLa-GS Lautsprecher“ und „StraLa-GS Kopfhörer“.

---

<sup>1</sup> HRTF: Head Related Transfer Function – kopfbezogene Übertragungsfunktion

### 3 Beschaffung der Prüfschalle

Für die vorgesehene Prüfmethode gemäß Abschnitt 2 werden stereophone Prüfschalle benötigt, die für räumliche Wiedergabe geeignet sind. Da solche Prüfschalle nicht verfügbar waren, mussten sie zunächst mit Hilfe eines kopfbezogenen Aufnahmesystems in der realen Situation bei einer hinreichend repräsentativen Anzahl von Tätigkeiten in Ohrhöhe aufgezeichnet werden. Parallel wurden alle erfassten Schallquellen mit einem Präzisionsschallpegelmesser in Ohrhöhe der Bedien- bzw. Beobachtungsperson in Terzbandbreite vermessen, um objektive Schalldaten zu erhalten.

#### 3.1 Schallpegelmesser

Tabelle 1. Verwendeter Schallpegelmesser.

Beschreibung	Hersteller	Typ	Serien-Nr.
Präzisionsschallpegelmesser	Brüel & Kjaer	2260	2034388
Kondensatormikrofon	Brüel & Kjaer	4189	2791632
Kalibrator	Brüel & Kjaer	4231	1821237

Der Schallpegelmesser und der Kalibrator erfüllen die Anforderungen der Klasse 1 nach DIN EN 61672-1 [5] bzw. DIN EN 60942 [6]. Die Kalibrierung des Messgeräts wurde vor und nach den Messungen überprüft, Abweichungen wurden nicht festgestellt. Grundsätzlich werden die Messgeräte im Rahmen des Müller-BBM-eigenen Qualitätsmanagement-Systems regelmäßig kalibriert und überprüft.

Alle Luftschallmessungen wurden unter Verwendung eines Windschirms durchgeführt.

### 3.2 Aufnahmesystem

Die verwendete Variante des vom Erfinder Jürg Jecklin mit OSS (Optimales Stereo System) bezeichneten Aufzeichnungssystems [16] bestand aus den in Tabelle 2 aufgeführten Komponenten. Vor und nach den Messeinsätzen wurde das System im reflexionsarmen Raum der Fa. Müller-BBM GmbH kalibriert, Abweichungen wurden nicht festgestellt.

Tabelle 2. Komponenten des OSS-Aufnahmesystems.

Beschreibung	Hersteller	Typ	Serien-Nr.
Wave Recorder	ZOOM	H4n	00606859
Elektret-Mikrofon m. Kugelcharakteristik, 1 Paar	DPA	SMK4060	H89773, H89774
Jecklin-Scheibe, 18 mm MDF, mit zwei aufgesetzten Schaumstoff-Halbkugeln, $r = 8$ cm	Müller-BBM GmbH	---	---
Rückwärtige Reflexionsfläche, 3 mm HDF, mit 2 x 30 mm Melaminharzschaum-Auflage <sup>2</sup>	Müller-BBM GmbH	---	---



Abbildung 1. Ansicht des OSS-Aufnahmesystems auf Stativ, bestehend aus Wave-Recorder, Kopfnachbildung (gelb) aus offenporigem Schaumstoff mit akustischer Trennscheibe und zwei kalibrierten Elektret-Mikrofonen mit Kugelcharakteristik im Ohrabstand von 18 cm sowie einer rückwärtigen Reflexionsfläche (weiß) mit Absorptionsauflage aus Melaminharzschaum (wird nur bei Messungen in geschlossenen Räumen benötigt, im aktuellen Projekt nicht verwendet).

<sup>2</sup> Diese Reflexionsfläche ist nur für Aufnahmen in geschlossenen Räumen vorgesehen und wurde für die Messungen in diesem Projekt nicht verwendet.

### 3.3 Erfasste Geräuschquellen

An folgenden Orten wurden Fahrzeug- und Maschinengeräusche als Störgeräusch- und Warnsignalquellen aufgezeichnet und vermessen:

- Bauhof der Gemeinde Planegg bei München
- Kreuzung Garmischer Straße (Mittlerer Ring) – Tübinger Straße in München
- Autobahn A96 (München – Lindau), Höhe Gilching
- Wohngebiet Willibaldstraße, München-Hadern
- Baustelle 2019/2020 bei der Müller-BBM AG in Planegg

Mit Hilfe des in Abschnitt 3.2 erläuterten kopfbezogenen Messsystems wurden Warnsignale und Störgeräusche getrennt voneinander aufgenommen und gespeichert. Ziel war es, viele unterschiedliche Störgeräusche abhängig vom Betriebszustand der Maschinen sowie verkehrsspezifische Warnsignale aufzunehmen.

#### 3.3.1 Störgeräusche

Die aufgezeichneten und vermessenen, für Arbeiten im Straßenraum typischen Störgeräuschquellen sind in Tabelle A 1 im Anhang zusammengestellt. Die Abbildungen A 1 bis A 14 zeigen einige der Maschinen und Fahrzeuge, bei deren Betrieb die Störgeräusche erfasst wurden.

#### 3.3.2 Warnsignale

Folgende Warnsignale<sup>3</sup> wurden für die Prüfmethode zunächst als sicherheitsrelevant für alle Tätigkeiten im öffentlichen Straßenraum vorausgewählt:

- Martinshorn\_fern (Wechseltonsignal 450 Hz / 600 Hz mit Harmonischen, je 700 ms)
- Breitband-Rückfahrwarner (Rosa Rauschsignal 1 – 10 kHz, 380 ms ON, 400 ms OFF)
- Einzelton-Rückfahrwarner (Reintonsignal 1.400 Hz, 380 ms ON, 350 ms OFF)
- Martinshorn\_nah (Wechseltonsignal 400 Hz / 500 Hz mit Harmonischen, je 700 ms)
- Pkw-Zweiklanghupe (Zweitonsignal 325 Hz / 660 Hz mit Harmonischen, kurz-kurz-lang)
- Straßenbahnglocke (264 Hz Grundfrequenz mit Harmonischen, drei Schläge in Folge)

---

<sup>3</sup> Der zu Beginn des Projektes formulierte Wunsch, Rollgeräusche auch als Warnsignal zu verwenden, lässt sich mit der gewählten Prüfmethode nicht verwirklichen, weil ein breitbandiges, nicht gepulstes Warnsignal sich von einem breitbandigen, ebenfalls kontinuierlichen Störgeräusch nicht eindeutig genug abhebt.

## 4 Prüf-Hardware

Das Prüfsystem besteht aus einem Laptop-Computer mit zwei angeschlossenen Lautsprechern für das Freifeldverfahren (vgl. Abbildung 8) sowie dem Antwortgerät, siehe Abbildung 2. Im Antwortgerät ist außerdem der Wiedergabeverstärker für die Kopfhörer (Abbildung 3) integriert, d. h. beim Direktschallverfahren werden die Kopfhörer am Antwortgerät eingesteckt, die Lautsprecher werden in diesem Fall natürlich nicht benötigt (Abbildung 9).

Tabelle 3. Geräteliste zum Prüfsystem.

Beschreibung	Hersteller	Typ
Notebook Personal Computer m. I5-Prozessor	z. B. HP	z. B. 250-G8
Aktiver Nahfeld-Monitorlautsprecher, 1 Paar	Behringer	B2031A
Elektrodynamischer Kopfhörer, 10 Ohm	HOLMCO Holmberg GmbH & CO. KG	PD-81
Ton- und Netzkabelsatz	Müller-BBM GmbH	--
Probanden-Antwortgerät mit KH-Verstärker	Müller-BBM GmbH	M147318
Prüf-Programm StraLa-GS Lautsprecher	Müller-BBM GmbH	V1.0
Prüf-Programm StraLa-GS Kopfhörer	Müller-BBM GmbH	V1.0



Abbildung 2. Antwortgerät (Probanden-Interface), mit dem der Proband/die Probandin während des Hörversuchs nach der Schallpräsentation angibt, ob er das Warnsignal im ersten oder im zweiten Darbietungsintervall gehört hat. Die Lampen leuchten während der Schalldarbietung im ersten bzw. zweiten Intervall. Im Antwortgerät ist außerdem der Wiedergabeverstärker für die Kopfhörer integriert.

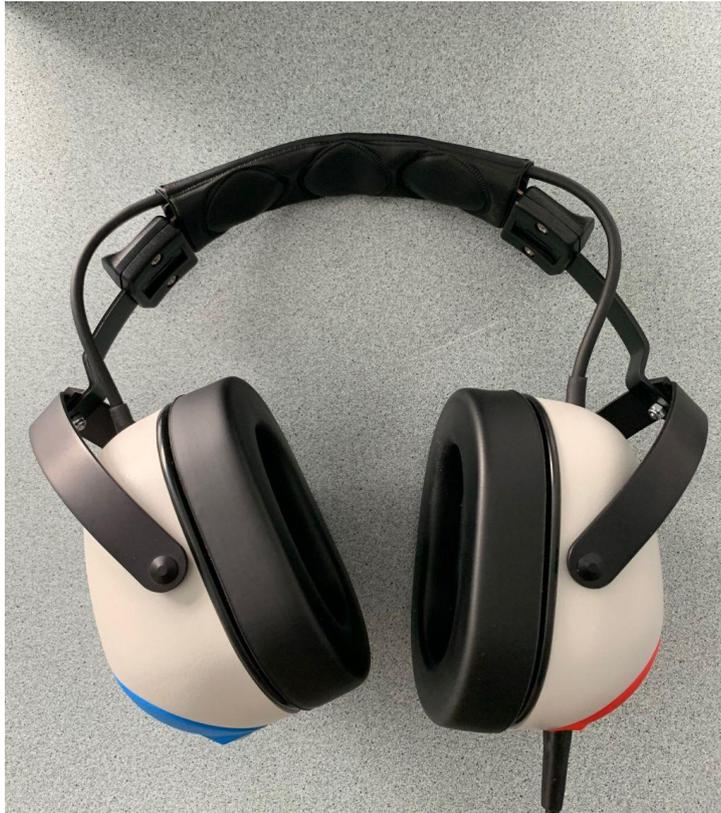


Abbildung 3. Ansicht der verwendeten Audiometrie-Kopfhörer HOLMCO PD-81 (8103B, supra-aural, geschlossen), Innenvolumen zur Aufnahme von aus dem Ohrkanal ragender Teile von Gehörschutz-Stöpseln rechts unten sichtbar.

## 5 Prüf-Software

Das Prüfprogramm StraLa-GS (Straßenlärm-Gehörschutz-Test) wurde mit Hilfe der Programmiersprache MAX der Fa. Cycling'74 erstellt. MAX wurde für Musik- und Multimedia-Anwendungen geschaffen und hat eine grafische Programmieroberfläche. Es wurde die Version MAX6.1 verwendet.

### 5.1 Vorversuche

Neben dem eigentlichen Prüfprogramm wurde ein weiteres Programm-Modul erstellt, um in Vorversuchen die Mithörschwelle (MHS) für alle vorkommenden Warnsignal-Störgeräusch-Kombinationen mit Hilfe der Einstellmethode vorab bestimmen sowie evtl. weniger geeignete Warnsignale und Störgeräusche ermitteln zu können. Die Mithörschwelle ist derjenige Warnsignalpegel, bei dem das Warnsignal in einem gleichzeitig dargebotenen Störgeräusch in 50 % aller Fälle erkannt wird. Ein Erwartungswert für diese Mithörschwellen muss im Prüfprogramm hinterlegt werden, um den jeweiligen Warnsignalpegel im Hörtest im passenden Wertebereich platzieren zu können.

Als Warnsignale für die Vorversuche (vgl. Abschnitt 3.3.2) wurden solche ausgewählt, die für alle Zielgruppen von im Straßenraum Tätigen relevant sind. Aus der Gesamtheit der erfassten Störgeräusche (s. Tabelle A 1) wurden fünf Geräusche nach folgenden Gesichtspunkten ausgewählt:

- Schalldruckpegel > 85dB(A) in der Realität, so dass beim Einsatz Gehörschutz erforderlich ist,
- Geräusche mit und ohne tonale Anteile sollten vertreten sein,
- aus den Gewerken „Gartenbau“, „Straßen- und Kanalreinigung“ sowie „Baustellen“ sollte jeweils mindestens ein Geräusch vertreten sein.

Für die Vorversuche wurden die vier in Tabelle A 1 markierten Störgeräusche sowie der Bau-Kompressor (Schallquelle Nr. 10 in Tabelle A 1) ausgewählt.

In den Vorversuchen konnte die Versuchsperson für ein gegebenes Hintergrundgeräusch das jeweilige Warnsignal über einen Software-Pegelsteller auf dem Bildschirm zwischen den Schalldarbietungen so lange verändern, bis das Warnsignal im Störgeräusch gerade noch hörbar war. Durch Knopfdruck wurde die gefundene Pegeleinstellung gespeichert. Die Schalldarbietung konnte vor der Urteilsabgabe beliebig oft wiederholt werden.

Die Vorversuche wurden von jeder Versuchsperson je dreimal sowohl im Freifeldverfahren mit Lautsprecherdarbietung (ohne und mit Helm-Kapselgehörschutz „Honeywell Clarity C3H“) als auch im Direktschallfeldverfahren mit Kopfhörerdarbietung (ohne und mit Gehörschutz-Stöpsel „3M 1261“) durchgeführt. Bis auf die Art der Antworteingabe entsprach die Versuchsanordnung derjenigen des endgültigen Prüfprogramms gemäß Abbildung 7 und Abbildung 8 in Abschnitt 6.1. Der Clarity C3H ist einer der wenigen in der Positivliste [2] aufgeführten Helm-Kapselgehörschützer mit Signalhörbarkeitskennzeichen (erfüllt W, X, S, V und E<sub>3</sub>). Der 3M 1261 ist ein Gehörschutzstöpsel mit einem Griffstiel, der unter den Hörmuscheln des Audiometrie-Kopfhörers PD-81 Platz findet.

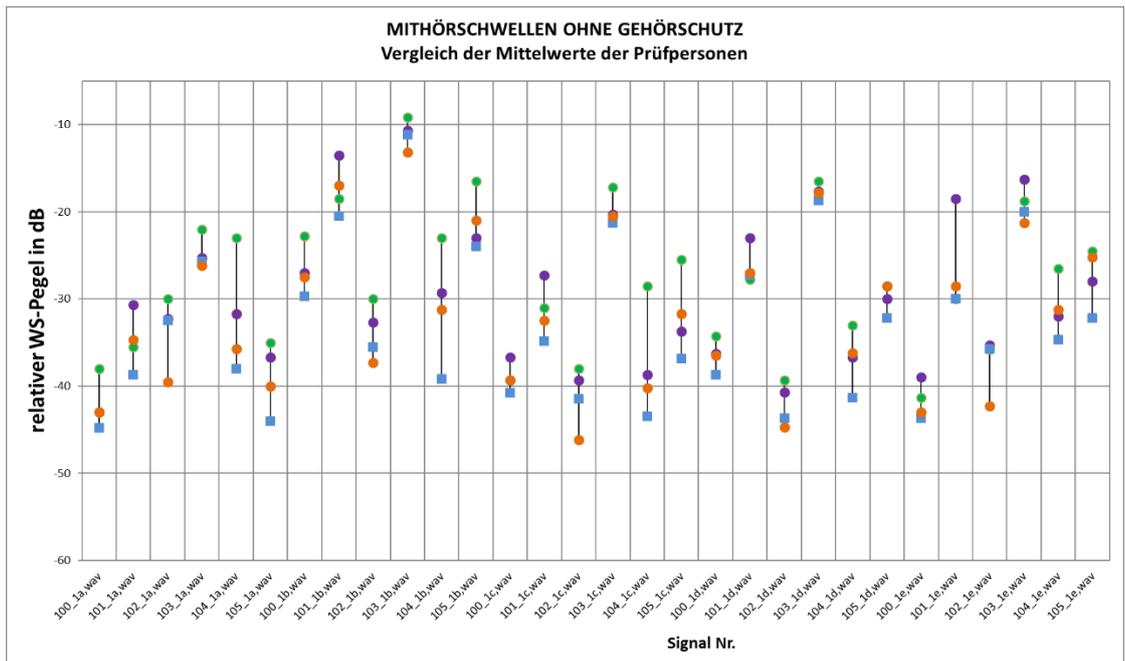


Abbildung 4. Beispiel für Mittelwerte der Mithörschwellen für vier Versuchspersonen (farbige Symbole) ohne Gehörschutz für 30 Warnsignal/Störgeräusch-Kombinationen im Vorversuch, Freifeldverfahren.

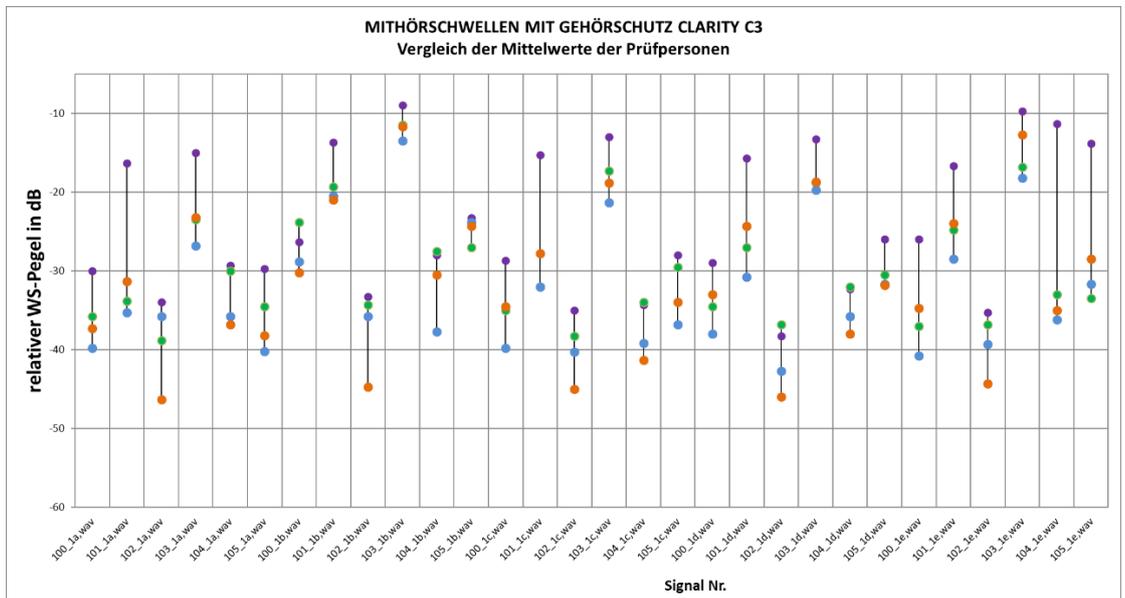


Abbildung 5. Beispiel für Mittelwerte der Mithörschwellen für vier Versuchspersonen (farbige Symbole) mit Helm-Kapsel-Gehörschutz Honeywell „Clarity C3H“ für 30 Warnsignal/Störgeräusch-Kombinationen im Vorversuch, Freifeldverfahren.

Die Abbildungen 4 und 5 zeigen für den Freifeldversuch die Mittelwerte der jeweils drei Einstellungen für jede der vier Versuchspersonen für 30 Warnsignal-/Störgeräusch-Kombinationen, die sowohl ohne Gehörschutz als auch mit dem Helm-Kapselgehörschutz Clarity C3H ermittelt wurden. An der x-Achse ist die Kurzbezeichnung der Warnsignal-/Störgeräuschkombination aufgetragen, an der y-Achse steht der relative Warnsignalpegel bzgl. des möglichen Maximalpegels der Versuchseinrichtung.

Die Kurzbezeichnung an der x-Achse kann mit folgender Tabelle 4 den Warnsignalen und Störgeräuschen zugeordnet werden:

Tabelle 4. Codierung der Warnsignale und Störgeräusche in den Abbildungen 4 und 5.

<b>Warnsignale</b>	<b>Störgeräusche (Nr. in Tabelle A 1)</b>
<b>100_1</b> Martinshorn_fern	<b>a</b> Kehrmachine (Nr. 12)
<b>101_1</b> Breitband-Rückfahrwarner	<b>b</b> Kettensäge (Nr. 18)
<b>102_1</b> Einzelton-Rückfahrwarner	<b>c</b> Rüttelplatte (Nr. 25)
<b>103_1</b> Martinshorn_nah	<b>d</b> Ampelstart innerstädtisch (Nr. 1)
<b>104_1</b> Pkw-Zweiklanghupe	<b>e</b> Kompressor (Nr. 10)
<b>105_1</b> Straßenbahnglocke	----

Die jeweiligen Einstellungen der Mithörschwelle von vier Versuchspersonen (Mittelwerte von drei Einstellungen) sind durch farbige Punkte markiert. Es ist zu erkennen, dass die Schwellenwerte über einen Pegelbereich von 10 bis 20 dB streuen, mit Gehörschutz sind die Streuungen i. A. etwas größer als ohne Gehörschutz. Im Hinblick auf eine möglichst hohe Messgenauigkeit des Prüfverfahrens muss der Pegel-Variationsbereich der Warnsignale möglichst nah um die zu erwartende Mithörschwelle herum zentriert werden. Deshalb wurden unter Berücksichtigung aller Vorversuchsergebnisse die Kombinationen aus Warnsignal und Störgeräusch mit den geringsten Mithörschwellenstreuungen zwischen den Versuchspersonen für das zu entwickelnde Testprogramm ausgewählt.

## 5.2 Repertoire der Warnsignale und Störgeräusche für das Prüfverfahren

Von den zunächst ausgewählten sechs Warnsignalen gemäß Abschnitt 3.3.2 erwiesen sich in den Vorversuchen das Signal des Breitband-Rückfahrwarners, das Martinshorn\_fern, die Pkw-Zweiklanghupe und die Straßenbahnglocke aufgrund recht großer inter-individueller Streuungen der Mithörschwellen als weniger geeignet für eine Verwendung im Standardtest. Somit verblieben folgende zwei Warnsignale für die Verwendung im Prüfverfahren:

- Martinshorn\_nah (Wechseltonsignal 400 Hz / 500 Hz mit Harmonischen, je 700 ms)
- Einzelton-Rückfahrwarner (Reintonsignal 1.400 Hz, 380 ms ON, 350 ms OFF)

Von den in den Vorversuchen verwendeten Störerschallen erwies sich das Betriebsgeräusch des Kompressors (Schallquelle Nr. 10 in Tabelle A 1 im Anhang) ebenfalls als weniger geeignet, woraus folgende vier Störgeräusche für die Verwendung im Prüfverfahren resultierten:

- Ampelstart innerstädtisch (Schallquelle Nr. 1 in Tabelle A 1 im Anhang)
- Kehmaschine MAN-Büssing (Schallquelle Nr. 12 in Tabelle A 1)
- Motorsäge Husqvarna (Schallquelle Nr. 18 in Tabelle A 1)
- Rüttelplatte Wacker-Neuson (Schallquelle Nr. 25 in Tabelle A 1)

Alle Kombinationen der genannten zwei Warnsignale und vier Störgeräusche werden im Prüfprogramm verwendet und mehrfach dargeboten.

Da diese Schallquellen in der Realität zum Teil A-Schalldruckpegel am Ohr von über 100 dB(A) erzeugen, im Prüfverfahren aber auch bei der Schalldarbietung ohne Gehörschutz gehörgefährdende Schallpegel vermieden werden müssen, wurden die Wiedergabepegel der Störschalle auf maximal 83 dB(A) skaliert (vgl. Tabelle A 1, letzte Spalte).

## 5.3 Programmstruktur

### 5.3.1 Beschreibung des Prüfprogramms StraLa-GS

Nach dem Start des Programms werden zunächst allgemeine Daten zur Prüfdurchführung abgefragt, siehe hierzu Abbildung A 15 im Anhang. Dies sind die Namen der mit der Prüfdurchführung beauftragten Person (Versuchsleiter) und des Probanden/der Probandin sowie die Typen der zur Prüfung kommenden Gehörschutzmittel. Ein oder zwei Gehörschutzmodelle können in einem Durchgang geprüft werden, zur Vereinfachung des Prüfvorgangs können bei einer gewünschten Wiederholung des Tests die eingegebenen allgemeinen Daten mit einem Klick ohne erneute Eingabe übernommen werden.

Nach der Dateneingabe beginnt der automatische Testablauf. Zuerst erfolgt eine Ansage an die Versuchsperson, in welcher der bevorstehende Testablauf und die von der Versuchsperson erforderlichen Aktionen erläutert werden. Bei wiederholter Verwendung des Prüfprogramms durch dieselbe Versuchsperson kann diese Ansage per Vorauswahl innerhalb der Dateneingabe übersprungen werden.

Der erste Prüfdurchlauf erfolgt ohne Einsatz eines Gehörschutzmittels. In einem kurzen Probedurchlauf werden einige Warnsignale und Störgeräusche abgespielt. Der Pegel der Warnsignale ist dabei zwar variabel, liegt aber in jedem Fall deutlich oberhalb der Mithörschwelle. Wird dieser Probedurchlauf nicht bestanden – als Kriterium gilt eine Mindestquote von 55 % richtig erkannter Hörbeispiele – erfolgt eine Wiederholung des Probedurchlaufs. Erfüllt der Proband wiederum nicht die Mindestanforderung, wird der Test angehalten und ein Hinweis für den Versuchsleiter am Bildschirm ausgegeben. Andernfalls beginnt der Haupttest ebenso wie nach ohne Wiederholung bestandenem erstem Probedurchlauf mit der Ermittlung der Mithörschwelle nach dem weiter unten detailliert beschriebenen Verfahren, siehe Abbildung A 16.

Nach der Einschwingphase, welche ebenfalls mit Warnsignalpegeln deutlich oberhalb der Mithörschwelle beginnt, erfolgt eine sukzessive Verringerung des Warnsignalpegels solange, bis dieser auf dem Niveau der Mithörschwelle liegt. Danach werden alle folgenden Antworten der Versuchsperson registriert und zur Auswertung herangezogen. Die eingestellten Pegelwerte dieser Antworten werden einer selektiven Mittelwertbildung unterzogen. Die Mittelwertbildung ist notwendig, weil, bedingt durch die Prüfmethodik, der Pegel des Warnsignals nach jeder Antwort des Probanden um eine Stufe bei einer richtigen Antwort beziehungsweise um zwei Stufen im Fall einer falschen Antwort geändert wird. Die eingestellten Pegel pendeln also mit der Schrittweite der Pegelstufen (3 dB) um die exakte Mithörschwelle herum, für eine genaue Bestimmung ist daher die Mittelung dieser pendelnden Pegelinstellungen des Programms nötig. Die Selektion dient dazu, einzelne von der Mehrzahl der Antworten abweichende „Ausreißer“, zum Beispiel durch kurze Unachtsamkeit oder Ablenkung oder auch „falsches Raten“, weil das Warnsignal unter der Mithörschwelle lag, nicht in die Mittelwertbildung einzubeziehen, da diese das Messergebnis verfälschen. Dazu werden nur die Pegelwerte berücksichtigt, auf welche mindestens 10 % der Antworten (also wenigstens drei von 30 Antworten) entfallen. Dieses so errechnete selektive Mittel stellt die Mithörschwelle für die Prüfung ohne Gehörschutz dar und wird gespeichert und protokolliert.

Anschließend erfolgt eine Ansage an den Probanden mit der Aufforderung, den ersten Gehörschutztyp einzusetzen. Das Verfahren zur Ermittlung der Mithörschwelle wird erneut nach demselben Verfahren durchgeführt, allerdings ist nun kein Probendurchlauf mehr erforderlich. Das auf diese Weise errechnete selektive Mittel für die Prüfung mit dem ersten Gehörschutzmittel wird wiederum gespeichert und protokolliert.

Im Anschluss erfolgt ein Vergleich der gespeicherten Mithörschwelle für den ersten Gehörschutztyp mit der gespeicherten Mithörschwelle für den Durchgang ohne Gehörschutz. Liegt der Differenzbetrag beider Schwellen um nicht mehr als eine Stufe auseinander (dies entspricht der durchschnittlichen menschlichen Amplituden-Unterschiedsschwelle ohne Direktvergleich von 3 dB), ist der Gehörschutz geeignet, andernfalls ist er nicht geeignet. Dieses Berechnungsergebnis wird angezeigt und protokolliert. Zusätzlich wird bei einem nur knapp nicht bestandenen Vergleich (ein Unterschied von nicht mehr als 1,1 Pegelstufen) ein zusätzlicher Hinweis für den Versuchsleiter am Bildschirm ausgegeben.

Liegt das Ergebnis der Prüfung ohne Gehörschutz oberhalb der im Programm genutzten Stufe 3,5 (gleichbedeutend mit einem Warnsignalpegel von 4,5 dB oberhalb der durchschnittlichen Mithörschwelle), wird für den Versuchsleiter ebenfalls ein Hinweis auf ein ungewöhnlich hohes Pegelniveau am Bildschirm angezeigt. Aufgrund der Erkenntnisse aus den Vorversuchen wurde das Prüfprogramm so ausgelegt, dass es die Warnsignale in sieben Pegelstufen (Stufe 0 als niedrigste Pegelstufe bis Stufe 6 als höchstmöglicher Pegelstufe) mit jeweils 3 dB Pegelunterschied zur nächsthöheren oder niedrigeren Stufe darbieten kann. Der Absolutpegel der Stufe 2 wurde so gewählt, dass er der durchschnittlichen Mithörschwelle des Warnsignals der jeweiligen Stör-/Warnsignalkombination entspricht. Stufe 1 spielt demzufolge das Warnsignal um 3 dB leiser ab als Stufe 2, Stufe 3 um 3 dB lauter, Stufe 4 um 6 dB lauter etc. Gemäß den Vorversuchen liegen die meisten Antworten aller Probanden um die Stufe 2. Ein Mittelwert eines Probanden der Stufe 3,5 oder höher bedeutet also eine im Durchschnitt um 4,5 dB höhere PegelEinstellung für gleiche Hörbarkeit des Warnsignals, gewissermaßen eine Anhebung der persönlichen Mithörschwelle der Versuchsperson. In der Regel liegt die Ursache hierfür in einer noch fehlenden Vertrautheit der Versuchsperson mit der Hörsituation während des Tests. Nach einer Gewöhnungsphase wird bei einer Test-Wiederholung in der Regel keine Erhöhung der MHS mehr festgestellt werden. Wenn sich eine erhöhte MHS jedoch wiederholt bestätigt, könnte auch eine verminderte Hörfähigkeit des Probanden vorliegen, deren Ursache ggf. medizinisch weiter nachgegangen werden kann.

Ist im Versuchsablauf der Test eines zweiten Gehörschutztyps vorgesehen, erfolgt erneut eine Ansage an den Probanden mit der Aufforderung, den aufgesetzten Gehörschutz gegen das zweite Modell zu tauschen. Danach wird wiederum, entsprechend der Prüfung mit dem ersten Gehörschutztyp, die Mithörschwelle ermittelt und die Berechnung des selektiven Mittels vorgenommen. Erneut wird der Vergleich mit dem gespeicherten Ergebnis der Prüfung ohne Gehörschutzmittel durchgeführt und das Ergebnis protokolliert.

Im Anschluss daran oder wenn nur ein Gehörschutztyp geprüft wird, erfolgt die Mitteilung an die Versuchsperson, dass der Test beendet ist. Nun können die während des Programmlaufs gespeicherten Ergebnisse noch als Prüfprotokoll in Form einer Text-Datei auf dem PC gespeichert und, falls gewünscht, ausgedruckt werden. Dazu ist die Eingabe eines Dateinamens für die Protokolldatei durch den Versuchsleiter erforderlich. Ein Beispiel für ein Prüfprotokoll ist im Anhang auf S. 13 dargestellt. Nach der Speicherung des Protokolls startet das Programm wieder die Abfrage der allgemeinen Daten zur Prüfdurchführung, wie eingangs beschrieben. Das Prüfprogramm befindet sich nun wieder im selben Zustand wie unmittelbar nach dem initialen Aufruf des Programms.

### 5.3.2 Detaillierte Beschreibung des Programmablaufs zur Ermittlung der Mithörschwelle

Die Ermittlung der Mithörschwelle, vgl. Abbildung A 17, startet mit einer Einschwingphase, beginnend mit einem Warnsignalpegel deutlich oberhalb der Mithörschwelle (12 dB). Nach einer richtigen Antwort des Probanden wird der Pegel des Warnsignals sukzessive solange verringert, bis der Proband eine falsche Antwort eingibt. Dies ist der erste Umkehrpunkt des Verfahrens. Nun wird der Warnsignalpegel wiederum um eine Stufe (entsprechend 3 dB) erhöht. Ist die Antwort der Versuchsperson nach Abspielen mit diesem Pegel falsch, wird der Warnsignalpegel für den nächsten Abspielvorgang erneut um eine Stufe (3 dB) solange erhöht, bis eine richtige Antwort erfolgt. Beim folgenden Abspielvorgang bleibt der Warnsignalpegel zunächst unverändert. Ist auch die zweite Antwort in Folge richtig, ist nun der zweite Umkehrpunkt der Einschwingphase erreicht, der Pegel des Warnsignals wird wieder um eine Stufe verringert. Der beschriebene Ablauf setzt sich fort, bis erneut eine falsche Antwort erfolgt. Dies ist der dritte Umkehrpunkt, der Warnsignalpegel wird wieder solange erhöht, bis zweimal aufeinanderfolgend eine richtige Antwort gegeben wird. Damit beginnt die Auswertephase, der eigentliche Test zur Mithörschwellenermittlung. (Die Erfassung der Umkehrpunkte dient ausschließlich zur Ermittlung des Startzeitpunkts der Auswertephase, geht aber sonst in keiner Weise in die Auswertung zur Mithörschwellebestimmung ein). Es werden 30 Abspielvorgänge nacheinander gestartet. Bei jeder richtigen Antwort wird für den folgenden Abspielvorgang der Warnsignalpegel um eine Stufe verringert, bei einer falschen Antwort der Pegel um zwei Stufen erhöht. Jedes Mal findet noch eine Limitierungsprüfung statt, denn bei Erreichen der niedrigsten oder höchsten einstellbaren Pegelstufe verbleibt der Warnsignalpegel für den nächsten Abspielvorgang auf diesem Niveau. Nach dem 30. Abspielvorgang ist das Ende der Aufzeichnungsphase erreicht und die Auswertung, wie oben beschrieben, kann durchgeführt werden.

Betätigt die Versuchsperson – bewusst entgegen ihrem Höreindruck – nach jeder Schalldarbietung ausschließlich immer dieselbe der beiden Antworttasten, so wird nach der 12. Antwort dieser Art der Test abgebrochen und die Versuchsperson per Ansage darüber informiert. Danach startet ein erneuter Testdurchlauf, da davon ausgegangen wird, dass die Versuchsperson nun keinen weiteren Täuschungsversuch mehr unternimmt.

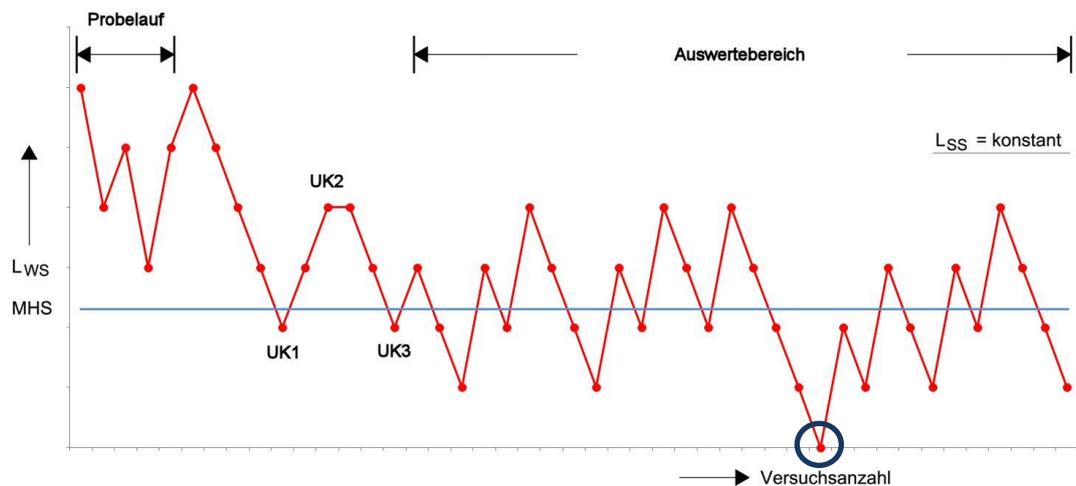


Abbildung 6. Schematische Darstellung der 2AFC-Mithörschwellen-Ermittlung mit der 2Up-1Down-Methode zur Veränderung des Warnsignalpegels  $L_{ws}$  bei konstantem Störgeräuschpegel  $L_{ss}$ . UK1 bis UK3: Umkehrpunkte während der Einschwingphase zwischen Probelauf und Auswertebereich. Mit der ersten richtigen Antwort nach dem UK3 beginnt die Auswertephase des Prüfprogramms. Der mit einem blauen Kreis markierte Wert (Ausreißer) wird bei der selektiven Mittelung zur Mithörschwellenermittlung nicht berücksichtigt.

## 6 Erprobung des Prüfsystems

### 6.1 Anordnung des Prüfsystems für das Freifeldverfahren

Für die Prüfung von Kapselgehörschutz oder kombinierten Schutzausrüstungen (z. B. Helm-Visier-Gehörschutz für Arbeiten mit Motorsensen oder -sägen) muss die Darbietung der Prüfschalle mit Lautsprechern erfolgen. Hierfür ist das Freifeldverfahren vorgesehen. Abbildung 7 zeigt schematisch die Anordnung des Prüfsystems für das Freifeldverfahren auf einem üblichen Schreibtisch mit den Abständen der Lautsprecher vom Probanden/von der Probandin, die mit  $\pm 10\%$  eingehalten werden sollen. Die Zentren der Lautsprecherboxen sollen sich auf Probanden-Ohrhöhe befinden, wozu bei einer üblichen Tischhöhe von 70 bis 80 cm zwei 15 cm hohe Sockel zur erhöhten Aufstellung der Lautsprecher verwendet werden, siehe Abbildung 8.

Bei der Anwendung des Gehörschutztests für Lokrangierführer (RaLa-GS, [3]) wurde die Erfahrung gemacht, dass der Versuchsleiter sich z. B. aufgrund beengter Raumverhältnisse häufig nicht, wie in Abbildung 7 gezeigt, gegenüber der Versuchsperson befindet, sondern von der Probandenseite des Tisches aus die erforderlichen Eingaben macht, das Prüfprogramm startet und dann für die Dauer des Tests den Raum verlässt. In diesem Fall ist die Bildschirmanzeige des Laptop-Computers zur Versuchsperson hin orientiert, wie in den Abbildungen 8 und 9 dargestellt. Aus diesem Grund gibt es auf dem Bildschirm während des Versuchslaufs keinerlei Darstellungen oder Anzeigen zu den Schalldarbietungen oder zum Prüfverlauf, die vom Probanden/der Probandin als Hinweis für eine richtige Antwortstrategie genutzt werden könnten.

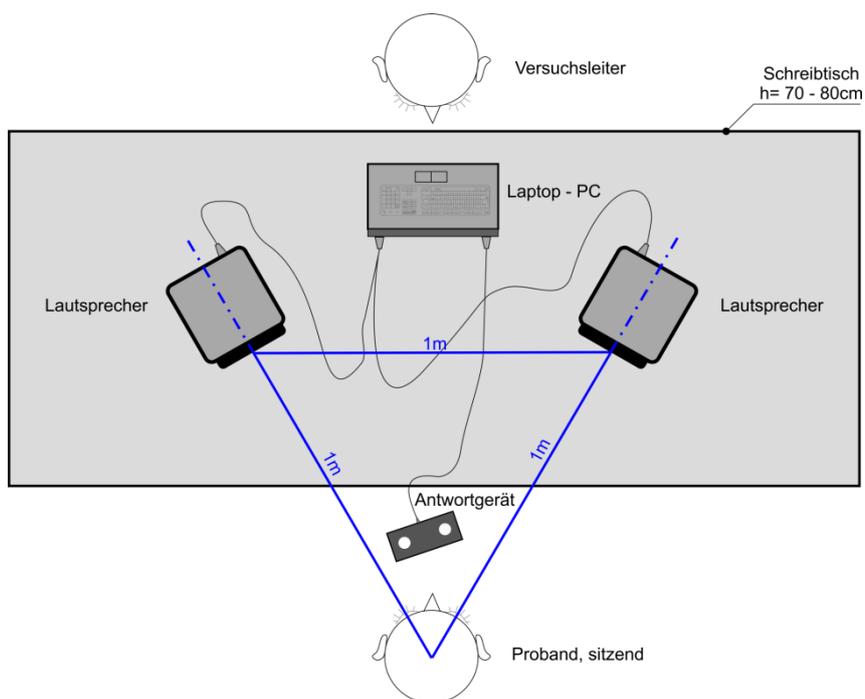


Abbildung 7. Aufstellung des Prüfsystems für das Freifeldverfahren auf einem Tisch im Prüfraum, schematische Darstellung. Die Position des Versuchsleiters ist optional.



Abbildung 8. Ansicht des Prüfsystems „StraLa-GS Lautsprecher“ im Einsatz (Freifeldverfahren zur Prüfung von Kapsel-Gehörschutz).

## 6.2 Anforderungen an den Prüfraum beim Freifeldverfahren

Hörversuche wurden erfolgreich in drei verschiedenen Räumen der Müller-BBM GmbH in Planegg durchgeführt. Die raumakustischen Parameter dieser Räume sind in der folgenden Tabelle 5 zusammengestellt:

Tabelle 5. Abmessungen und raumakustische Parameter der erprobten Prüfräume.

Raum	Grundfläche $S, \text{ m}^2$	Raumvolumen $V, \text{ m}^3$	Nachhallzeit $T_N, \text{ s}$	Absorptionsfläche $A, \text{ m}^2$	Hallradius $r_H, \text{ m}$
Müller-BBM, Besprechung 517, BA5	40	107	0,35	48	<b>1,0</b>
Müller-BBM, Prüfraum 514, BA5	15,4	41	0,28	24	<b>0,7</b>
Müller-BBM, Büro 328, BA2	12	32	0,26	20	<b>0,64</b>

Der sogenannte Hallradius  $r_H$  ist in der Raumakustik derjenige Abstand von einer kugelförmig abstrahlenden Schallquelle, bei dem das von der Quelle abgestrahlte direkte Schallfeld den gleichen Pegel hat wie das diffuse Schallfeld im Raum. Im Fall des Prüfsystems gemäß Abbildung 7 ergibt sich aus dem Lautsprecherabstand von 1 m zum Probanden und der Pegeldifferenz von 6 dB zwischen der gerichteten Schallabstrahlung der Lautsprecher und dem diffusen Schallfeld im Raum (bei Abwesenheit einer Störgeräuschquelle) theoretisch ein mindestens erforderlicher Hallradius von 0,5 m, wenn man sicherstellen will, dass das direkte Schallfeld der Lautsprecher an der Probandenposition überwiegt und damit die Ortbarkeit der Signale aus dem Lautsprecher gewährleistet ist.

Bei der Auswahl des Prüfraums zur Aufstellung des Prüfsystems und Durchführung des Gehörschutztests wird empfohlen, einen Hallradius  $r_H = 0,6 \text{ m}$  nicht zu unterschreiten, um die Probanden nicht durch merklichen Raumnachhall zu irritieren. Dies erfordert folgende Mindestausstattung für die Eignung als Prüfraum:

**A: Kleiner Prüfraum:** Mindest-Grundfläche  $12 \text{ m}^2$  mit entweder schallabsorbierender Decke und/oder Teppichboden. Möblierung mit Bücher- bzw. Ordner-Regalen, gepolsterte Stühle und Vorhänge erhöhen die Schallabsorption und sind von Vorteil.

**B: Großer Prüfraum:** Ab einer Grundfläche von  $\geq 25 \text{ m}^2$  sind bei üblicher und nicht zu spärlicher Möblierung für die Nutzung als Prüfraum keine speziellen raumakustischen Maßnahmen notwendig, um das o. g. Kriterium des Hallradius einzuhalten.

Der Fremdgeräuschpegel im Prüfraum sollte einen mittleren Dauerschallpegel von  $45 \text{ dB(A)}$  nicht überschreiten.

## 6.3 Anordnung des Prüfsystems für das Direktschallfeldverfahren

Für die Prüfung von Gehörschutzstöpseln kann die Darbietung der Prüfschalle mit Kopfhörern erfolgen, sofern der Gehörschutz keine sehr weit aus dem Gehörgang herausragenden Teile aufweist (z. B. längere Stiele zum Herausziehen der Stöpsel, die nicht im Hohlraum der Kopfhörermuschel, vgl. Abbildung 3, Platz finden). Hierfür ist das Direktschallfeldverfahren vorgesehen. Die Abbildung 9 zeigt dieses Kopfhörerverfahren im Einsatz.



Abbildung 9. Ansicht des Prüfsystems „StraLa-GS Kopfhörer“ im Einsatz (Direktschallfeldverfahren zur Prüfung von Stöpsel-Gehörschutz).

#### 6.4 Anforderungen an den Prüfraum beim Direktschallfeldverfahren

Der verwendete Audiometrie-Kopfhörer HOLMCO PD-81, der vom geschlossenen Typ ist und ein mittleres Schalldämm-Maß von etwa 15 dB aufweist, ermöglicht die Durchführung des Prüfverfahrens weitgehend unabhängig von der Akustik des jeweiligen Prüfraums. Der Fremdgeräuschpegel im Prüfraum sollte jedoch einen mittleren Dauerschallpegel von 55 dB(A) nicht überschreiten. Darüber hinaus werden an den Prüfraum für das Direktschallverfahren keine besonderen akustischen Anforderungen gestellt.

#### 6.5 Interner Anwendungstest

Nach der Fertigstellung der Prüfsoftware wurde der Gehörschutztest mit einer Gruppe von vier geübten Versuchspersonen, die an den Vorversuchen zur Programmentwicklung beteiligt waren, erstmals verwendet. Zum Vergleich wurde derselbe Test mit einer Kollegengruppe von sechs ungeübten Versuchspersonen durchgeführt, die bislang keine Kenntnis von dem Projekt hatten und auch noch keine Hörversuche gemacht hatten. Diese Gruppe ungeübter Versuchspersonen kann hinsichtlich ihrer Erfahrung mit Hörversuchen als repräsentativ für die Zielgruppe des Prüfprogramms angesehen werden. In Tabelle 6 sind die Versuchsergebnisse zusammengestellt.

Tabelle 6. Durchführung des Prüfprogramms StraLa-GS mit der Direktschallfeldmethode (Schalldarbietung mittels Kopfhörer, Prüfung GS 1) und mit der Freifeldmethode (Schalldarbietung mittels Lautsprecher, Prüfung GS 2). Ergebnisse für die Eignung zweier Gehörschutzmittel (GS) einer in Hörtests geübten (4 VPn) und einer ungeübten Gruppe (6 VPn) von Versuchspersonen.

GS 1: Gehörschutz-Stöpsel 3M 1261; GS 2: Helm-Kapsel-Gehörschutz Honeywell Clarity C3H.

Schalldarbietung über		Kopfhörer	Lautsprecher
Versuchsdurchgang		GS 1 geeignet?	GS 2 geeignet?
4 geübte VPn,	1. Test	100 %	100 %
6 ungeübte VPn,	1. Test	83 %	68 %
6 ungeübte VPn,	2. Test	83 %	100 %
6 ungeübte VPn,	3. Test	100 %	100 %

Tabelle 6 zeigt, dass alle geübten Probanden beide Gehörschützer bereits beim 1. Hörtest als geeignet für das Hören des Warnsignals ermittelt haben, während sich bei einer der ungeübten Versuchspersonen im 1. Test der Gehörschutz 1 als „ungeeignet“ erwies. Beim Gehörschutz 2 war das Ergebnis „ungeeignet“ im 1. Test sogar bei zwei von sechs VPn der Fall. Im 2. Durchgang des Hörtests wurde wiederum von einer der ungeübten Personen der Gehörschutz 1 als ungeeignet beurteilt, während GS 2 bereits bei allen ungeübten Personen „geeignet“ war. Im 3. Durchgang des Tests wurden schließlich beide Gehörschützer mit „100 % geeignet“ beurteilt. Jeder Durchgang umfasste eine Prüfung ohne und eine Prüfung mit Gehörschutz.

Nach ihrer Erfahrung mit dem Gehörschutztest befragt, sagten fast alle Versuchspersonen, dass sie den Versuchsteil mit Gehörschutz schwieriger fanden als den Teil ohne Gehörschutz. Dies hängt vermutlich mit dem durch den Gehörschutz deutlich reduzierten Schallpegel zusammen, der – anders als in der Realität bei Arbeiten mit Gehörschutz - um 60 dB(A) am Ohr beträgt.

Aus diesen Aussagen und den Ergebnissen in Tabelle 6 ist zu schließen, dass ein Teil der Personen, die mit der Hörsituation noch nicht vertraut sind, die für die Wahrnehmung leiser Warnsignale in einem Hintergrundgeräusch nötige Konzentration nicht sofort aufbringen kann. Offenbar erfolgt aber die Gewöhnung an die Versuchssituation recht schnell, denn bereits bei der ersten oder spätestens zweiten Wiederholung der Prüfung besteht kein Unterschied mehr in der Wahrnehmung geübter und vormals ungeübter ProbandInnen. Einmal erworben, ist der Trainingseffekt auch nach Tagen und Wochen noch vorhanden.

## 6.6 Validierung im externen Feldversuch

Eine externe Validierung des Prüfverfahrens, z. B. im Rahmen einer Durchführung bei einem Mitgliedsbetrieb einer der Unfallversicherungsträger nach Abschnitt 1.3 war pandemiebedingt nicht möglich.

## 7 Diskussion

Das im Rahmen des Forschungsvorhabens FP 433 entwickelte und hier beschriebene computergestützte Prüfverfahren stellt eine deutlich einfacher durchzuführende Alternative für die individuelle Hörprobe für die mit gehörschutzpflichtigen Tätigkeiten im öffentlichen Straßenraum beschäftigten Versicherten dar als das in [4] beschriebene Verfahren. Der zeitliche und organisatorische Aufwand ist beim programmgesteuerten Gehörschutztest gegenüber der Hörprobe gemäß DGUV Information 212-673 deutlich verringert. Es besteht die Möglichkeit, den Gehörschutztest z. B. in eine wiederkehrende Eignungsuntersuchung oder auch in die arbeitsmedizinische Vorsorge einzugliedern.

Weder durch das beschriebene Verfahren noch durch die verwendeten Vorrichtungen und Geräte werden Schutzrechte am Vorhaben beteiligter oder nicht beteiligter Stellen berührt.

Die durch das Prüfprogramm StraLa-GS mögliche Variabilität des Hintergrundgeräuschs und die große Annäherung der akustischen Umgebung an die Realität erfordert in der ungewohnten Umgebung von den ProbandInnen allerdings eine recht hohe Aufmerksamkeit und Konzentration über die Laufdauer des Prüfprogramms, die ca. 10 min beträgt. Ggf. ist bei einem Teil der Probanden, welche die notwendige Konzentration aufgrund der für sie neuen und ungewohnten Hörsituation nicht sofort aufbringen können, eine Wiederholung des Gehörschutztests erforderlich, die frühestens nach einer Pause von ca. 10 min durchgeführt werden kann.

Die Umsetzung der Arbeitsergebnisse erfolgt durch die geplante Einführung des Laborverfahrens in den Mitgliedsbetrieben der Unfallversicherungsträger gemäß Abschnitt 1.3. Nach deren Beschlussfassung kann die Bereitstellung von Prüfapparaturen zeitnah erfolgen.

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] Pfeiffer, B. H.; Hoormann, H.-J.; Liedtke, M.: Lärmarbeitsplätze in und auf Fahrzeugen im öffentlichen Straßenverkehr. BIA-Report 5/97. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA, Sankt Augustin 1997.
- [2] Dantscher, S. und Wolff, A.: Gehörschützer – Positivliste, IFA-Handbuch, 420 210/1.  
[https://www.ifa-handbuchdigital.de/ce/gehorschuetzer-positivliste/\\_sid/MIUY-222765-OmJ3/detail.html](https://www.ifa-handbuchdigital.de/ce/gehorschuetzer-positivliste/_sid/MIUY-222765-OmJ3/detail.html)
- [3] DGUV e.V., Entwicklung eines Prüfverfahrens für das Hören von Warnsignalen mit Gehörschutz für Lokrangierführer und Triebfahrzeugführer. Müller-BBM Bericht Nr. M102291/01 vom 12.08.2014.
- [4] DGUV Information 212-673: Empfehlungen zur Benutzung von Gehörschützern durch Fahrzeugführer bei der Teilnahme am öffentlichen | DGUV Informationen | Regelwerk | DGUV Publikationen.
- [5] DIN EN 61672-1: Elektroakustik. Schallpegelmesser. Teil 1: Anforderungen. 2014-07.
- [6] DIN EN IEC 60942: Elektroakustik. Schallkalibratoren. 2018-07.
- [7] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations- Arbeitsschutzverordnung – LärmVibrations-ArbSchV) vom 6. März 2007. BGBl. I 2007, S. 261 – 277, zuletzt geändert durch Art. 3 V v. 21.07.2021 | 3115.
- [8] DIN EN ISO 7731: Ergonomie – Gefahrensignale für öffentliche Bereiche und Arbeitsstätten – Akustische Gefahrensignale. Beuth, Berlin 2008.
- [9] DGUV Regel 112-194, Benutzung von Gehörschutz | DGUV Regeln | Regelwerk | DGUV Publikationen
- [10] Paulsen, R.: Lärmschutz für Eisenbahnfahrzeugführer und Lokrangierführer. IFA-Report 7/2011. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin 2011. [www.dguv.de/ifa](http://www.dguv.de/ifa), Webcode d123913.
- [11] Fachinformation (UVB und VBG): Lärmschutzmaßnahmen für Triebfahrzeugführer und Lokrangierführer,  
[https://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere/Branchen/OePNV\\_und\\_Bahnen/Laermschutzmassnahmen\\_fuer\\_Triebfahrzeugfuehrer\\_und\\_Lokrangierfuehrer\\_BGI\\_GUV\\_I\\_5147\\_VBG\\_Fachinformation.html](https://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere/Branchen/OePNV_und_Bahnen/Laermschutzmassnahmen_fuer_Triebfahrzeugfuehrer_und_Lokrangierfuehrer_BGI_GUV_I_5147_VBG_Fachinformation.html).
- [12] Kollmeier, B., Sieben, U.: Messgenauigkeit von adaptiven AFC-Verfahren, Fortschritte der Akustik – DAGA 1984.
- [13] Kollmeier, B., Gilkey, R. H., Sieben, U. K.: Adaptive staircase techniques in psychoacoustics: A0, comparison of human data and a mathematical model. J Acoust. Soc. Am., 83: 1852-1862, 1988.
- [14] Otto, S.: Vergleichende Simulation adaptiver psychometrischer Verfahren zur Schätzung von Wahrnehmungsschwellen. Magisterarbeit im Fachgebiet Audio-kommunikation, TU Berlin, 2008.

- [15] Gardner, W. G. and Martin, K. D., HRTF measurement of a KEMAR. J Acoust. Soc. Am., 97: 3907-3908, 1995.
- [16] Michael Dickreiter et al.: Handbuch der Tonstudioteknik, 8. Auflage, Verlag de Gruyter, 2014.

## **Anhang**

**Prüfprogramm StraLa-GS:  
Tabelle der Störgeräusche,  
Fotos einiger Störgeräuschquellen,  
Flussdiagramme,  
Beispiel eines Prüfprotokolls,  
Ansagetexte**

Tabelle A 1. Liste der erfassten Störgeräuschquellen. Im Einsatz gemessener A-bewerteter Schalldruckpegel am Ohr des Bedieners bzw. Beobachters; fett: ortsbezogene Beurteilungspegel über 85 dB(A). Grau hinterlegt die für den Standardtest ausgewählten Störgeräusche mit dem im Test benutzten Darbietungspegel.

Nr.	Störgeräuschquelle	Schalldruckpegel am Ohr, $L_{eq}$ in dB(A)	Darbietungsschallpegel am Ohr, $L_{eq}$ in dB(A)
1	Ampelstart_innerstädtisch	83,0	83
2	Autobahn-Lärm_120km/h	76,5	
3	Autobahn-Lärm_140km/h	81,5	
4	Autokran_Klaas_K27-32TSR_Stützen ausfahren	72,3	
5	Autokran_Klaas_K27-32TSR_Ausleger aufstellen	76,2	
6	Autokran_Klaas_K27-32TSR_Winde zieht	77,8	
7	Bagger_Komatsu_PC88MR_Arbeit außen	77,1	
8	Heckenschere_Stihl_HS81R_Arbeit Vollgas	<b>96,6</b>	
9	Hochentaster_Motorsense_Stihl_KM130R_Arbeit Vollgas	<b>101,5</b>	
10	Kompressor_Atlas_Copco	84,9	
11	Kehrmaschine_MAN_Büssing_Arbeit_1m_hinter_Fahrzeug	<b>94,2</b>	
12	Kehrmaschine_MAN_Büssing_Arbeit_1m_neben_Führerhaus	<b>85,5</b>	81
13	Kehrmaschine_Schmidt_Swingo 200_Arbeit_im_Führerhaus	75,6	
14	Laubbläser_Stihl_BG86C_Arbeit Vollgas	<b>93,5</b>	
15	Laubbläser_Stihl_BG86C_Arbeit_Intervallblasen	<b>93,8</b>	
16	Laubbläser_Stihl_BR500_Arbeit Vollgas	<b>90,1</b>	
17	Laubbläser_Stihl_SH86_Arbeit Vollgas	<b>90,9</b>	
18	Motorsäge_Husqvarna_135_Arbeit Vollgas	<b>106,6</b>	83
19	Motorsäge_Stihl_MS200T_Arbeit Vollgas	<b>108,8</b>	
20	Müllabfuhr_MAN_Leeren_120L_KS-tonne	80,8	
21	Müllabfuhr_Daimler-Benz_Leeren_GMB_KS-tonne_Pressen	76,9	
22	Radlader_Kramer_Allrad_Leerlauf_hoch_außen	77,5	
23	Rasenmäher_John_Deere_JX90_Arbeit Vollgas	<b>87,2</b>	
24	Rasenmäher_John_Deere_JX90_Leerlauf hoch	78,4	
25	Rüttelplatte_Wacker-Neuson_DPU6555Heh_Arbeit	<b>99,2</b>	80
26	Trennschleifer_Makita_EK6101-2_Arbeit Vollgas	<b>105,5</b>	
27	Wildkrautbürste_AS-Motor_AS50_Arbeit Vollgas	<b>86,6</b>	
28	Winterdienst_Hansa_APZ1003_Fahrt_o_Last_im_Führerhaus	71,9	
29	Winterdienst_Hansa_APZ1003_Schneeräumen_im_Führerhaus	74,8	
30	Winterdienst_Unimog_U290_Leerlauf außen	82,1	
31	Winterdienst_Unimog_U290_Fahrt_o_Last_im_Führerhaus	72,4	



Abbildung A 1. Autokran Klaas K27-32TSR, Schallquellen Nr. 4, 5 und 6.



Abbildung A 2. Bagger Komatsu PC88MR, Schallquelle Nr. 7.



Abbildung A 3. Hochentaster/Motorsense Stihl KM130R, Schallquelle Nr. 9.



Abbildung A 4. Kehmaschine MAN-Büssing, Schallquellen Nr. 11 und 12.



Abbildung A 5. Laubbläser Stihl BG86C, Schallquellen Nr. 14 und 15.



Abbildung A 6. Laubbläser Stihl BR500, Schallquelle Nr. 16.

\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\147\M\147318\M147318\_01\_Ber\_1D.DOCX:21. 12. 2021



Abbildung A 7. Motorsäge Husqvarna 135, Schallquelle Nr. 18.



Abbildung A 8. Motorsäge Stihl MS200T, Schallquelle Nr. 19.

\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\147\M147318\M147318\_01\_Ber\_1D.DOCX:21. 12. 2021



Abbildung A 9. Rasenmäher John Deere JX90, Schallquellen Nr. 23 und 24.



Abbildung A 10. Rüttelplatte Wacker-Neuson DPU 6555 Heh, Schallquelle Nr. 25.

\\S-muc-fs01\allefirmen\W-Proj\147\M147318\M147318\_01\_Ber\_1D.DOCX:21. 12. 2021



Abbildung A 11. Trennschleifer Makita EK6101-2, Schallquelle Nr. 26.



Abbildung A 12. Wildkrautbürste AS-Motor AS50, Schallquelle Nr. 27.



Abbildung A 13. Winterdienst Hansa APZ1003, Schallquellen Nr. 28 und 29.



Abbildung A 14. Winterdienst Unimog U290, Schallquellen Nr. 30 und 31.

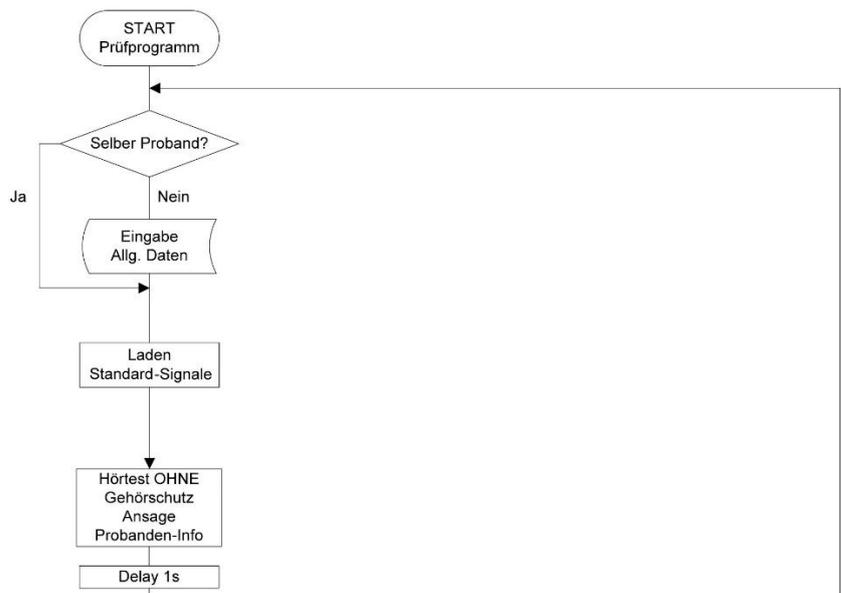


Abbildung A 15. Prüfprogramm StraLa-GS: Nach der Eingabe der Probanden-Daten beginnt der erste Durchlauf des Tests ohne Gehörschutz mit einer Ansage zur Unterweisung des Probanden zum Testablauf, vgl. Ansagetext Anhang S. 13.

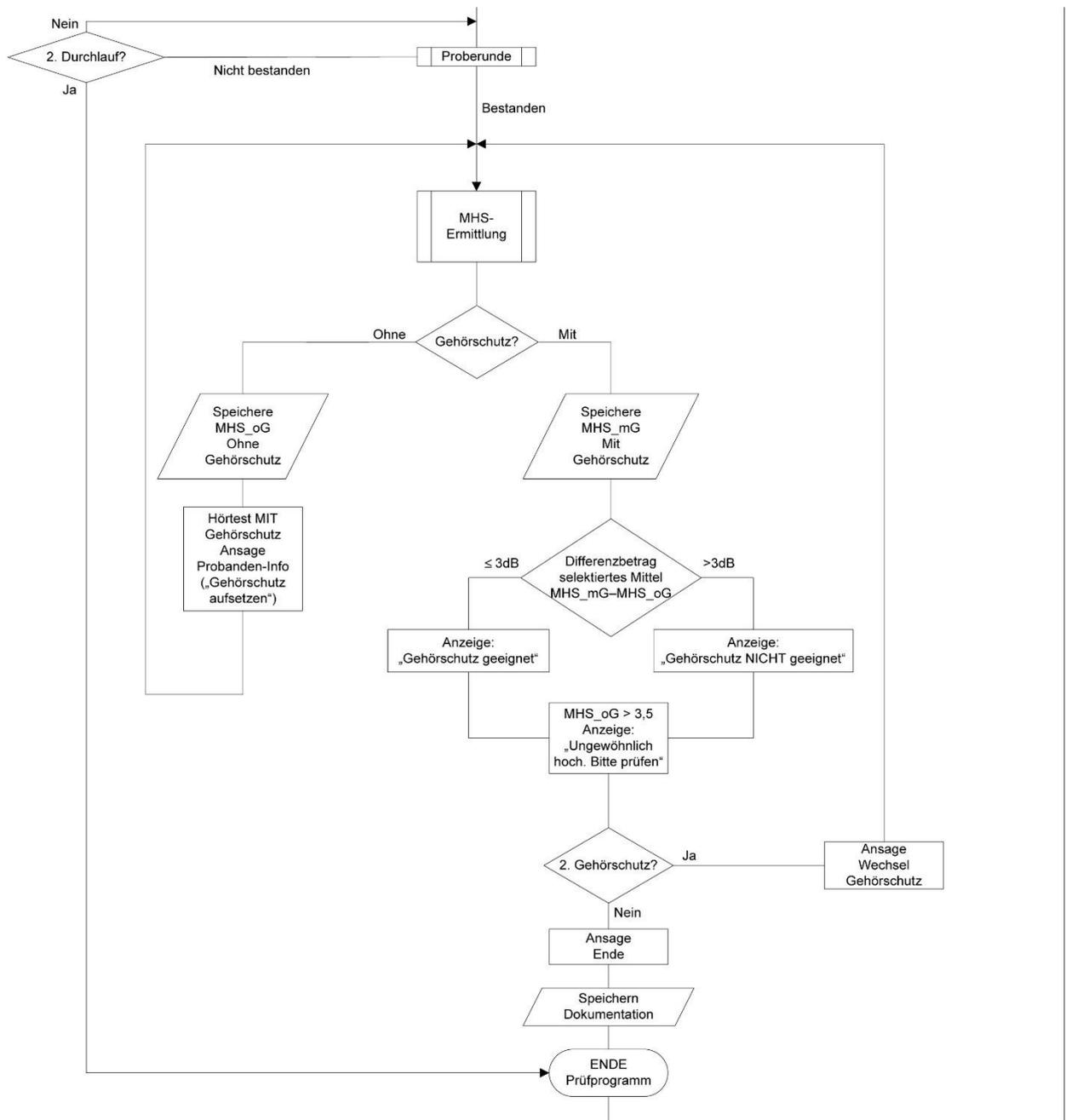


Abbildung A 16. Prüfprogramm StraLa-GS, Ablauf der Tests: Nach erfolgreichem Durchlaufen einer Proberunde zur Verständniskontrolle mit deutlich überschwelligen Warnsignalpegeln schließen sich zwei oder drei Programmdurchläufe – ohne, mit 1. Gehörschutz und ggf. mit 2. Gehörschutz – an. Bei jedem Durchgang wird das Unterprogramm MHS zur Mithörschwellen-Ermittlung (siehe Abbildung A 17) durchlaufen. Abspeichern und Ausgabe der Ergebnisdaten bilden den Programmabschluss.

\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\147\147318\M147318\_01\_Ber\_1D.DOCX:21. 12. 2021

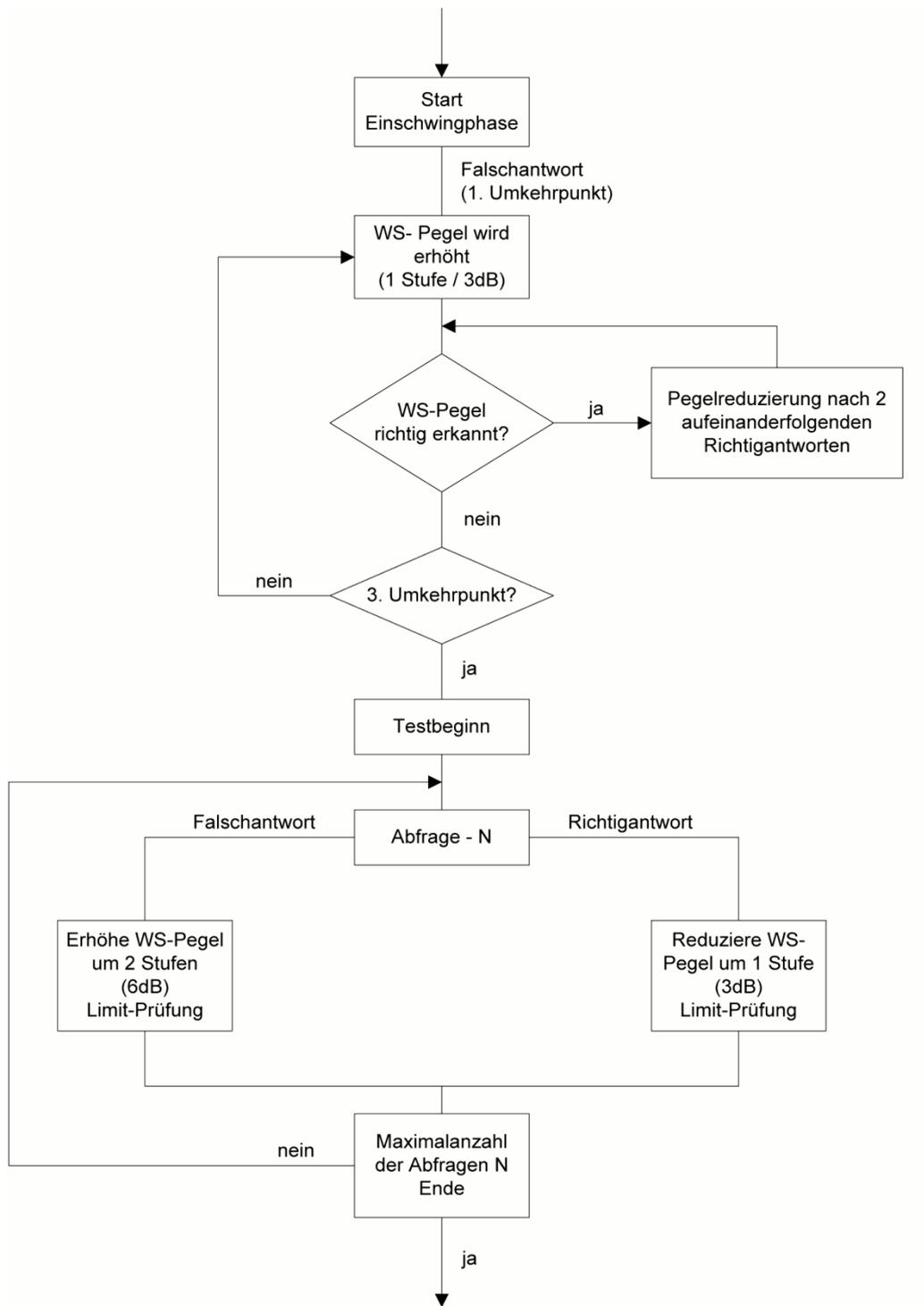


Abbildung A 17. Prüfprogramm StraLa-GS, Unterprogramm zur Ermittlung der Mithörschwelle: In der Einschwingphase erfolgt zunächst eine Annäherung vom deutlich überschwelligen Pegelbereich des Warnsignals in den Bereich der Mithörschwelle. Die eigentliche Mithörschwelenermittlung umfasst  $N = 30$  Schallpräsentationen bzw. Abfragen.

**Prüfprogramm StraLa-GS, Beispiel eines Prüfprotokolls:**

Prüfprotokoll : MBBM Prüfprogramm StraLa-GS V1.0 Kopfhörer

Datum der Prüfung : 4 20 2021

Uhrzeit : 7 44 18

Vorname/Name der Testperson : Max Mustermann

Geburtsdatum : xx.xx.xxxx

Beruf/Tätigkeit : Techniker

Beschäftigt bei Firma : MBBM

Vorname/Name des Prüfers : Fritz Checker

Gehörschutzmodell 1 : 3M 1261

Gehörschutzmodell 2 : nn

Ausgewähltes Prüfzenario : Standardtest

Warnsignaldatei: 121

Störsignaldatei: 1002

Proberunde Gestartet

Proberunde Beendet

Neue Sequenz gestartet

OHNE Gehörschutz

Sequenznummer : 1

1 . Sequenz ist beendet

PrzStufen : 36.667 23.333 30.000 6.667 3.333 0.000 0.000

Selektierter Mittelwert : 0.870

Mittel aller MHS Stufen : 1.080

-----  
Resultat :

-----  
Neue Sequenz gestartet

MIT Gehörschutz

Sequenznummer : 2

2 . Sequenz ist beendet

PrzStufen : 46.667 26.667 23.333 3.333 0.000 0.000 0.000

Selektierter Mittelwert : 0.759

Mittel aller MHS Stufen : 0.833

-----  
Resultat : Der Gehörschutz ist geeignet

-----  
ENDE ENDE ENDE ENDE

\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\147\M147318\M147318\_01\_Ber\_1D.DOCX:21. 12. 2021

## **Ansagetexte im Prüfprogramm StraLa-GS Lautsprecher / StraLa-GS Kopfhörer:**

*OhneGHS.wav:*

Herzlich willkommen beim Gehörschutztest.

Dieser Test prüft, ob Ihr Gehörschutz geeignet ist, um Ihr Gehör am Arbeitsplatz möglichst gut zu schützen, ohne dabei die Hörbarkeit von Warnsignalen zu verschlechtern.

Im Test hören Sie zweimal nacheinander ein kurzes, typisches Hintergrundgeräusch aus Ihrer Arbeitsumgebung. Dies kann sich beispielsweise so anhören:

<<Ampelstart>> <<Kehrmaschine>>

In einem der beiden Geräusche wird zusätzlich ein Warnsignal zu hören sein. Isoliert klingen die beiden vorkommenden Warnsignale so:

<<Martinshorn\_nah>> <<Rückfahrwarner>>

Im Test wird eines dieser Warnsignale zu einem der beiden kurz hintereinander abgespielten Hintergrundgeräusche zugespielt.

<<Ampelstart plus Martinshorn\_nah>>

<< Ampelstart ohne Martinshorn>>

Ihre Aufgabe besteht darin, durch Drücken der Taste 1 oder 2 auf dem Antwortgerät mitzuteilen, ob Sie das Warnsignal im ersten oder im zweiten Abschnitt gehört haben.

Bitte lassen Sie sich nicht beunruhigen, nicht immer wird das Warnsignal für Sie hörbar sein. Der Test sieht vor, dass Sie nicht alle Warnsignale hören können.

Wenn Sie kein Warnsignal gehört haben, drücken Sie eine beliebige Taste, um mit dem Test fortzufahren.

Die beiden roten Lampen auf dem Antwortgerät signalisieren, dass gerade Geräusche abgespielt werden. Bitte antworten Sie erst nach dem Ende der Geräuscharbeitung, wenn keine der beiden Lampen mehr leuchtet.

Der erste Teil des Tests wird zunächst ohne Gehörschutz durchgeführt.

Bitte setzen Sie sich bequem hin und konzentrieren sich. Wenn Sie bereit sind, starten Sie den Hörtest durch Drücken einer beliebigen Antworttaste.

*EndeGHS1.wav:*

Vielen Dank. Die Messung mit dem 1. Gehörschutz ist nun beendet. Setzen Sie jetzt Ihren weiteren Gehörschutz ein. Sobald Sie bereit sind, starten Sie wieder durch Drücken einer beliebigen Antwort-Taste.

*EndeTest.wav:*

Der Hörtest ist jetzt abgeschlossen. Sie können Ihren Gehörschutz abnehmen. Vielen Dank für Ihre Mitarbeit.

*GHSauf:*

Vielen Dank. Die Messung ohne Gehörschutz ist nun beendet. Setzen Sie jetzt Ihren Gehörschutz ein. Sobald Sie bereit sind, starten sie den 2ten Versuchsteil durch Drücken einer beliebigen Antwort-Taste.

*NoEntry.wav / OhneGHS\_kurz.wav:*

Herzlich willkommen beim Gehörschutztest.

Wenn Sie bereit sind, starten Sie den Test durch Drücken einer beliebigen Antwort-Taste.

*TestAbbruch.wav:*

Der Hörtest wird abgebrochen. Für den weiteren Fortgang verständigen Sie bitte den Versuchsleiter.

*Test-Abbruch wegen wiederholter Nutzung der gleichen Taste:*

Wegen der wiederholten Betätigung der immer gleichen Antworttaste wird der Hörtest abgebrochen. Nehmen Sie jetzt Ihren Gehörschutz ab, der Hörtest startet in wenigen Sekunden erneut.