

Müller-BBM GmbH
Robert-Koch-Str. 11
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

12. August 2014
M102291/01 ES/WDN

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V.

Entwicklung eines Prüfverfahrens für das Hören von Warnsignalen mit Gehörschutz für Lokrangierführer und Triebfahrzeugführer

Bericht Nr. M102291/01

Auftraggeber:	DGUV – Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. Alte Heerstraße 111 53757 St. Augustin
Förderkennzeichen:	617.0 – FP-0355
Projektbeginn:	04.06.2013
Projektabschluss:	08.07.2014
Bearbeitet von:	Dr.-Ing. Edwin Schorer Dipl.-Ing. (FH) Eva-Maria Ascherl Dipl.-Ing. (FH) Michael Kogel
Berichtsumfang:	52 Seiten insgesamt, davon 44 Seiten Textteil und 8 Seiten Anhang

Zertifiziertes Qualitätsmanagementsystem nach ISO 9001
Akkreditiertes Prüflaboratorium nach ISO/IEC 17025

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

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

Kurzfassung

Bei Tätigkeiten im Eisenbahnbetrieb, die das Tragen von Gehörschutz erfordern, ist eine individuelle Hörprobe nach der Fachinformation BGI/GUV-I 5147 „Lärmschutzmaßnahmen für Triebfahrzeugführer und Lokrangierführer“ vorgeschrieben. Die Notwendigkeit der Gehörschutzbenutzung besteht vor allem für Lokrangierführer (Lrf). Diese Versicherten sind Triebfahrzeugführer (Tf), die Triebfahrzeuge über Funk fernsteuern und gleichzeitig als Rangierer im Gleisbereich außerhalb des Triebfahrzeugs tätig sind.

Die dabei eingesetzten Gehörschützer müssen ein ausreichendes Warnsignalhören ermöglichen. Zur Realisierung der Hörproben mit Typhonsignalen eines zweiten Triebfahrzeuges ist zuerst die entsprechende Hörweite zu ermitteln. Dies ist die Entfernung zwischen Signalgeber und dem Triebfahrzeug, bei der der Beschäftigte ohne Gehörschutz unter den vorliegenden Umgebungsbedingungen das Warnsignal gerade noch hört. Die eigentliche Hörprobe ist dann bei der Hörprobenentfernung ($= \text{Hörweite} * 0,9$) durchzuführen. Diese Methode zur Prüfung des Hörens von Warnsignalen mit Gehörschutz ist sehr aufwändig, weil eine bis zu 500 m lange, gerade Rangiergleisstrecke nötig ist, zwei Triebfahrzeuge benötigt werden und die häufige Signalgebung zu einer starken Lärmbelastung für benachbarte Wohn- und Arbeitsbereiche führt. Überdies erfordert dieses Prüfverfahren einen relativ großen zeitlichen Aufwand.

Vor diesem Hintergrund sollte ein alternatives, einfacher durchführbares Prüfverfahren für das Hören von Warnsignalen mit Gehörschutz entwickelt werden, um den Test nach BGI/GUV-I 5147 ersetzen zu können. Ziel des Projekts war die Erarbeitung eines Verfahrens für die individuelle Hörprobe, das „unter Laborbedingungen“ in Büroräumen mit geeigneten Signalen und Arbeitsgeräuschen, die über Lautsprecher wiedergegeben werden, durchgeführt werden kann. Das zu entwickelnde Verfahren soll die akustische Situation am Arbeitsplatz im Gleisbereich sicher reproduzieren.

In dem erarbeiteten Verfahren werden die Warnsignale und Störgeräusche dem Probanden in einem Prüfraum über zwei vor ihm befindliche Lautsprecher dargeboten. Um den akustischen Einfluss des Abhörraums 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 Abhörraum 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 Probanden. Weiterhin entspricht auch das Tragen des Gehörschutzes bei diesem Verfahren 1:1 der realen Situation.

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 dem in der Realität ermittelten Schallpegel 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 hohen 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 verschlechtert.

Die für die Prüfmethode benötigten stereophonen Prüfschalle wurden zunächst mit Hilfe eines kopfbezogenen Aufnahmesystems in der realen Situation auf sechs verschiedenen Triebfahrzeugen bei Betreiberfirmen an fünf deutschen Standorten aufgezeichnet. Aus dem aufgezeichneten Tonmaterial wurden 23 Warnsignale und 24 Hintergrundgeräusche extrahiert.

Das Prüfsystem besteht aus einem Laptop-Computer mit zwei angeschlossenen Lautsprechern sowie dem Probanden-Antwortgerät. Als Prüfraum eignet sich entweder ein kleiner Büroraum mit mindestens 12 m² Grundfläche und schallabsorbierender Decke bzw. Teppichboden oder ein größerer möblierter Raum ≥ 25 m² ohne besondere akustische Maßnahmen. Der Fremdgeräuschpegel im Prüfraum sollte im Mittel $L_{eq} = 45$ dB(A) nicht überschreiten.

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

In Vorversuchen wurden zunächst die Mithörschwellen für alle relevanten Warn-/Stör-signal-Kombinationen mit einer Einstellmethode von vier Versuchspersonen (VPn) 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 durchgeführt, die bislang noch keine Hörversuche gemacht hatte. Die Gruppe ungeübter Versuchspersonen kann hinsichtlich ihrer Erfahrung mit Hörversuchen als repräsentativ für die Zielgruppe des Prüfprogramms – Lokrangierführer bzw. Lokführer – angesehen werden.

Es zeigte sich, dass alle geübten Probanden beide geprüften Gehörschützer bereits beim 1. Hörtest als geeignet für das Hören des Warnsignals ermittelt haben, während bei einer der ungeübten Versuchspersonen sich der Gehörschutz 1 als ungeeignet erwies. Beim Gehörschutz 2 war das Ergebnis „ungeeignet“ sogar bei 2 von 5 VPn der Fall. Bei einer Wiederholung des Hörtests wurden jedoch auch von den ungeüb-

ten Personen beide Gehörschützer mit „100 % 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 lauten Hintergrundgeräusch nötige Konzentration nicht sofort aufbringen kann. Offenbar erfolgt aber die Gewöhnung an die Versuchssituation recht schnell, denn bereits bei der ersten Wiederholung der Prüfung besteht kein Unterschied mehr in der Wahrnehmung geübter und vormals ungeübter Probanden.

Im März 2014 erfolgte die Validierung der neu entwickelten Prüfmethode durch Vergleich mit der Hörprobe nach BGI/GUV-I 5147 auf dem Rangierbahnhof Nürnberg. Sechs Lokführer mit Qualifikation als Lrf unterzogen sich einer Hörprobe nach BGI/GUV-I 5147 auf der Lok und anschließend in einem Seminarsaal dem Hörtest mit dem Prüfprogramm RaLa-GS.

Der Vergleich der Ergebnisse zeigt eine geringere Erfolgsquote des neuen Verfahrens von 83 % im Vergleich zu 100 % bei der bisherigen Hörprobe nach BGI/GUV-I 5147, da 1 von 6 VPn den Test für beide geprüften Gehörschützer mit dem Ergebnis „ungeeignet“ abschloss. Da diese VP aber für beide eingesetzten Gehörschützer sehr hohe Mithörschwellen zeigte, kann man davon ausgehen, dass der Proband mit der Versuchsmethode grundsätzlich nicht zurechtkam und das Ergebnis nicht ursächlich mit dem speziellen Gehörschutztyp in Zusammenhang steht. Dies bestätigte die beim internen Anwendungstest gemachte Erfahrung, dass in Hörtests noch gänzlich unerfahrene Probanden beim allerersten Hörversuch aufgrund der neuen, ungewohnten Hörsituation die volle, für die Mithörschwellenbestimmung nötige, Konzentration noch nicht aufbringen können. Wie die ebenfalls im internen Anwendungstest dokumentierte Erfahrung zeigt, sind diese Anfangsschwierigkeiten aber bereits bei einer ersten Wiederholung des Tests überwunden. Bei den Validierungsmessungen in Nürnberg bestand jedoch die Möglichkeit der Versuchswiederholung nicht.

Folgende grundsätzliche Unterschiede bestehen zwischen der Hörprobe nach BGI/GUV und dem entwickelten alternativen, computerunterstützten Verfahren:

- Prüfumgebung: Die Hörprobe nach BGI/GUV-I 5147 findet auf der Lokomotive und damit für den Tf/Lrf in der üblichen, vertrauten Umgebung statt, während der Gehörschutztest mit RaLa-GS in einem Prüfraum erfolgt, was zunächst einer beruflichen Sondersituation entspricht, vergleichbar z. B. mit einem Besuch beim Betriebsarzt.
- Hintergrundgeräusch: Das bei der Hörprobe nach BGI/GUV-I 5147 verwendete Störgeräusch – Dieselmotor fest auf ca. $\frac{2}{3}$ der Nenndrehzahl – ist zeitlich unveränderlich, was nicht der realen Situation entspricht. Dagegen werden beim Gehörschutztest RaLa-GS mehrere unterschiedliche Störgeräusche verwendet, die sich während der Darbietungszeit entsprechend der Realität ändern können und auch unterschiedlich laut sein können.
- Prüfungsumfang: Dieser ist beim programmgesteuerten Gehörschutztest durch die verfügbaren Auswahlmöglichkeiten an Prüfszenarien, Störgeräuschen und Warnsignalen wesentlich größer als bei der Hörprobe nach BGI/GUV-I 5147. Dies ermöglicht die im Programm RaLa-GS realisierten Auswahloptionen der beiden auf Lrf bzw. Tf zugeschnittenen Prüfszenarien, die sich als Standard-

tests anbieten, als auch die einer im Detail hinsichtlich Triebfahrzeug, Einsatzfall und Warnsignal individuell konfigurierbaren, eingeschränkten Hörprobe. Durch die grundsätzliche Möglichkeit, weitere Warn-/Störsignal-Kombinationen aufzeichnen, einspeisen und verwenden zu können, ist eine hohe Flexibilität gegeben und auch eine künftige Anpassung an andere Prüfaufgaben zum Themenkreis Warnsignale möglich.

- Aufwand: Der zeitliche und organisatorische Aufwand ist beim programmgesteuerten Gehörschutztest gegenüber der Hörprobe nach BGI/GUV-I 5147 deutlich verringert. Es besteht die Möglichkeit, den Gehörschutztest z. B. in eine wiederkehrende Eignungsuntersuchung 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 mögliche Variabilität des Hintergrundgeräuschs und damit die große Annäherung der akustischen Umgebung an die Realität erfordert in der ungewohnten Umgebung vom Probanden eine deutlich höhere Aufmerksamkeit und Konzentration über eine längere Zeitdauer als bei der Hörprobe nach BGI/GUV-I 5147. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Gehörschutz den Hörtest nicht besteht, ist durch die etwas höheren Anforderungen an den Probanden größer als bei der Hörprobe nach BGI/GUV-I 5147. Ggf. ist bei einem Teil der Probanden, welche die erforderliche Konzentration aufgrund der für sie neuen und ungewohnten Hörsituation nicht sofort aufbringen können, nach einer kurzen Pause eine Wiederholung des Tests erforderlich.

Die Umsetzung der Arbeitsergebnisse erfolgt durch Einführung des Laborverfahrens in den Mitgliedsbetrieben der Eisenbahnunfallkasse und der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft. Nach deren Beschlussfassung kann die Bereitstellung von Prüfapparaturen innerhalb von ca. acht Wochen erfolgen.



Dr.-Ing. Edwin Schorer

Abstract

For working activities in railway operation, where the wearing of hearing protection is required, an individual hearing exercise according to BGI/GUV-I 5147 is mandatory. The necessity of using hearing protection is particularly relevant for shunting engine drivers (Lrf). These insurants are drivers of railcars operating railcars by remote radio control while simultaneously acting as a shunter in the track area outside the railcar.

Hearing protectors used in this process must allow sufficient hearing of warning signals. Prior to performing the hearing exercises with tyfon signals of a second railcar the appropriate range of audibility is to be determined. This means exactly the distance between signal generator and the railcar, at which, under the ambient conditions at hand, the warning signal is just audible for workers without hearing protection. The actual hearing exercise will then have to be done in the hearing test distance (= hearing range * 0,9). This procedure for testing the audibility of warning signals with hearing protection is very complex as a straight shunting track with a length of up to 500 m and two railcars are necessary while frequent signalling leads to a high noise load for the adjacent dwelling zones and working areas. Furthermore, this testing method is comparatively time-consuming.

Against this background an alternative, more conveniently realisable, testing method for the audibility of warning signals with hearing protectors should be developed in order to replace the test as described in BGI/GUV-I 5147. The aim of the project was the development of a procedure for individual audio tests that can be performed "under laboratory conditions" in office premises with suitable signals and working noise reproduced via loudspeakers. The new method shall provide a reliable reproduction of the acoustical situation at working places in track areas.

In the developed procedure both warning signals and interfering noise are presented to the proband in a testing room via two loudspeakers placed in front of him. In order to keep the acoustical impact of the monitor room to a minimum the distance between proband and loudspeaker was chosen to be 1 m. Thus, any customary office without special acoustic equipment can be used as monitor room of the testing method. Both warning signals and masking background noise are monitored binaurally. Together with stereophonic recording for warning signals and masking noise a spatial and consequently realistic reproduction and assessment by the probands is facilitated. Furthermore, the wearing of hearing protection is a 1:1 reflection of the real situation.

For controlling the signal presentation, for the communication with the proband and the test supervisor as well as for the storage and the evaluation of the subjects' responses a computer program shall be used. The level of the warning signals is variegated by the test program while the respective background noise is reproduced with the sound level as determined in reality with the loudness unchanged. 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 proband: "warning signal heard in the 1. interval" or "warning signal heard in the 2. interval" (2AFC, „Two-Alternative-Forced-Choice“). The subject responds by pressing one of the two answer buttons on an input device. After an adaptation phase with a high warning signal level 30 polls will follow with warning signal levels modified according to the proband's response. If the warning signal was not audible in neither interval because the warning signal level was below the masked threshold (MHS) the

proband answers by pressing any of the two buttons. After a correct answer the warning signal level is put down by one step, after a wrong answer it is scaled up by two steps (2Up-1Down-Method). A plausibility check is done by the program for the recorded probands' answers and the masked threshold of the warning signals with and without hearing protection is determined from the level course 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 one in tests without hearing protection.

The binaural test sounds required for the testing method were first recorded in real situations at six different railcars of operating companies at five sites in Germany with the aid of a head-related recording system. From the recorded sound material 24 warning signals and 24 masking background noises were extracted.

The testing system consists of a laptop computer with two connected loudspeakers and the input device for the proband's answer. A suitable test room can be either a small office room with an area of at least 12 m², equipped with sound-absorbing ceiling or carpeted floor or a larger (≥ 25 m²) 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).

The testing program RaLa-GS (Rangierlärm-Gehörschutz-Test – shunting noise hearing protection test) was written with the programming language MAX featuring a graphic programming interface.

In preliminary tests first the masked thresholds for all relevant warning signal/interference-combinations were determined setting the values of 4 test persons (VPn). These masked threshold data were stored in the testing program in order to be able to classify the respective warning signal level to the appropriate value range within the audio test.

The finalised test software was first 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 persons that had not performed audio tests before. The inexperienced group can be regarded as representative for the testing program's target group – shunting engine drivers (Lrf) respectively engine drivers (Tf).

It turned out that all trained subjects could identify both tested hearing protection sets right in the 1. audio test as suitable for the audibility of the warning signal while the hearing protection set 1 has proved unsuitable with one of the untrained probands. For hearing protection set 2 even 2 of 5 VPn had the finding "unsuitable". When the audio test was repeated, however, both hearing protection sets were judged to be "100 % suitable" by the untrained probands, too. From this result it can be concluded that, while they are not yet familiar with the hearing situation, some persons cannot show the concentration needed for the perception of quiet warning signals with loud background noise in an instant. But obviously, they adapt to the test situation quite quickly, as already in the first test retake there are no more differences noticeable between the perception of trained and formerly untrained probands.

In March 2014 the newly developed testing method was validated at the Nuremberg shunting yard by comparison with the hearing test according to BGI/GUV-I 5147.

six engine drivers, all qualified as shunting engine drivers (Lrf), underwent a hearing test according to BGI/GUV-I 5147 on the engine and subsequently did the audio test with the testing program RaLa-GS in a classroom.

Comparing the results shows a lower success rate of the new method with 83 % compared to 100 % of the previous test as in BGI/GUV-I 5147, since for 1 of 6 VPn both hearing protectors in the test came off as unsuitable. But, as this test person showed very high masked thresholds for both hearing protectors used it can be assumed that this very proband basically could not cope with the testing method and that there is no causal relationship between the findings and the particular type of hearing protection. This was backed by the experience gathered in the internal application test showing that probands who are completely unfamiliar with hearing tests are not able to attend their very first audio test with the full concentration required for the determination of the masked threshold. Already in the first test retake, however, these teething troubles are overcome, which is another finding of the internal application test. However, as for the validation measurements in Nuremberg, it was not possible to repeat the tests.

The following basic differences occur between the hearing exercise according to BGI/GUV and the developed alternative computer-aided procedure:

- Test environment: The hearing exercise according to BGI/GUV-I 5147 is done on the engine and thus in a normal, familiar environment, whereas the hearing protection test with RaLa-GS is performed in a testing room, which is a specific occupational situation, comparable with e.g. the consultation of the company physician.
- Interferences: The background noise used in the hearing exercises according to BGI/GUV-I 5147 – diesel engine constantly at $\frac{2}{3}$ of the nominal rotation speed – is time-invariant, which does not reflect the real situation. In contrast, several different interfering sounds are used in the RaLa-GS hearing protection test that may change during the performance time according to reality and that may also be in different intensities.
- Testing scope: Due to the available options for testing scenarios, background noise and warning signals the scope is significantly larger with the program-controlled hearing protection test than it is with the hearing test as described in BGI/GUV-I 5147. Consequently, the two options for testing scenarios tailored to the special needs of Lrf respectively Tf as implemented in the program RaLa-GS are facilitated, these options could in fact serve as standard tests. Furthermore, a hearing exercise can be individually configured in detail with regard to railcar type, case of operation and warning signal. With the general possibility to record, feed and use further warning signal/interference-combinations, high flexibility is given and future adaptations to other testing tasks within the warning signal issue are feasible.
- Time and effort: Time and organisational efforts are significantly reduced in the program-controlled hearing protection test compared to the hearing test as in BGI/GUV-I 5147. It is possible to integrate the hearing protection test into the routine screening by the company's physician.

The variability of the interference noise, as enabled by the testing program, and consequently the close approach of the acoustic environment to reality do require a considerably higher degree of attention and concentration over a longer period of time than it would be necessary in the hearing exercise according to BGI/GUV-I 5147. There is a greater chance than in the hearing test of BGI/GUV-I 5147 that a hearing protection system will not pass the audio test due to the slightly higher requirements on the proband's skills. It might happen that some probands will have to repeat the audio test after a short break if they cannot manifest the required concentration instantly in the new and unfamiliar hearing situation.

Résumé

Pour les activités dans les exploitations ferroviaires exigeant de porter une protection auditive, un test d'écoute individuel est prescrit selon BGI/GUV-I 5147. La nécessité d'utiliser une protection auditive est surtout donnée pour les agents de manœuvre de locomotives (Lrf). Ces assurés sont des agents de conduite (Tf) pouvant manœuvrer par radiocommande, depuis les voies, les véhicules moteurs.

Les protections auditives utilisées doivent assurer un niveau d'entente suffisant des signaux d'alarme. Afin de réaliser des tests d'écoute à l'aide du sifflet d'un deuxième véhicule moteur, il faut d'abord déterminer la portée du son correspondante, c'est-à-dire la distance maximale entre émetteur et véhicule moteur permettant l'audition du signal avertisseur sans protection auditive. Le test d'écoute doit être réalisé à la distance portée du son * 0,9. Cette méthode pour contrôler si l'on entend les signaux avertisseurs avec protection auditive est très coûteuse puisqu'il est nécessaire d'avoir à disposition une voie de triage droite d'une longueur allant jusqu'à 500 m et deux véhicules moteurs. De plus, l'utilisation fréquente de signaux mène à une exposition à des bruits assez forts dans les zones de résidence et de travail avoisinantes. Cette méthode de test est en outre très chronophage.

Dans ce contexte, une méthode alternative plus simple devait être développée pour tester l'audition de signaux avertisseurs avec protection auditive afin de pouvoir remplacer le test selon BGI/GUV 5147-I 5147. Le but du projet était d'élaborer une procédure pour le test d'écoute individuel qui puisse être réalisée « sous conditions laboratoires » dans un bureau, en utilisant des signaux appropriés et des bruits de travail émis par des haut-parleurs. La procédure à développer doit reproduire la situation acoustique au travail sur les voies de façon réaliste et fiable.

Au cours de la procédure ainsi élaborée, les signaux avertisseurs et les bruits de fond sont présentés au sujet de test à l'aide de deux haut-parleurs posés devant celui-ci. Afin de minimiser l'influence acoustique de la salle d'écoute, la distance choisie entre le sujet et les haut-parleurs est de 1 m. Cela permet d'utiliser un bureau normal comme salle d'écoute sans équipement acoustique spécial pour effectuer cette procédure de test. Les signaux avertisseurs et les bruits de fond sont écoutés avec les deux oreilles. L'utilisation d'une méthode d'enregistrement stéréophone pour les signaux avertisseurs et les bruits de fond permet un effet tridimensionnel et réaliste de la reproduction et de l'évaluation par le sujet. De plus, avec cette méthode, l'utilisation de la protection auditive correspond exactement à la situation réelle.

La commande de la présentation des signaux, la communication avec le sujet et l'investigateur ainsi que la sauvegarde et l'évaluation des réponses du sujet sont effectuées par l'ordinateur. Le niveau des signaux avertisseurs sera variée par le logiciel de test, tandis que le bruit de fond sera reproduit au même niveau acoustique enregistré en réalité et la puissance du son restera inchangée. Le bruit de fond est présenté en deux séquences consécutives. Le signal avertisseur est donné aléatoirement dans la première ou dans la deuxième séquence.

Le sujet n'a que deux possibilités de réponse : « Signal avertisseur entendu dans la première séquence » ou « Signal avertisseur entendu dans la deuxième séquence » (2AFC, *Two-Alternative-Forced-Choice*). Le sujet communique sa réponse à l'aide

d'une unité de saisie en appuyant sur une des deux touches de réponse. Après une phase d'accoutumance à un niveau de signal avertisseur élevé, 30 questions suivent au cours desquelles le niveau du signal avertisseur est varié en fonction de la réponse du sujet. Si le signal avertisseur n'a pu être entendu dans aucune des deux séquences, parce que le niveau de signal avertisseur était au-dessous du seuil de masquage (MHS), le sujet répond en appuyant sur n'importe laquelle des deux touches. Si la réponse est correcte, le niveau acoustique du signal avertisseur est abaissé d'un degré ; si la réponse est fautive, il est augmenté de deux degrés (méthode 2Up-1Down). Le programme effectue un test de plausibilité des réponses du sujet, et détermine le seuil de masquage des signaux avertisseurs avec et sans protection auditive à partir des essais réalisés. Une protection auditive est jugée appropriée pour l'audition des signaux avertisseurs si le seuil de masquage avec protection auditive ne se dégrade pas de plus d'un degré de niveau par rapport à l'essai sans protection auditive.

Les sons d'essai stéréophones requis pour cette méthode ont été enregistrés à l'aide d'un système d'enregistrement relatif à la tête, en situation réelle, sur 6 véhicules moteurs différents, chez des sociétés d'exploitation sur 5 sites différents en Allemagne. 24 signaux avertisseurs et 24 bruits de fond ont ensuite été extraits des enregistrements.

Le système d'essai consiste en un ordinateur portable avec deux haut-parleurs raccordés à celui-ci, et une unité de saisie des réponses du sujet. Pour la salle d'essai, on envisagera un petit bureau d'une superficie d'au moins 12 m² muni d'un plafond absorbant ou d'une moquette, ou bien une salle meublée de plus de 25 m² sans traitement acoustique particulier. Le niveau du bruit de fond dans la salle d'essai ne doit pas dépasser la valeur moyenne de $L_{eq} = 45$ dB(A).

Le programme de test RALa-GS (*Rangierlärm-Gehörschutz-Test*, test de protection auditive sur bruit de manœuvre) a été élaboré dans le langage informatique MAX.

Dans les essais préliminaires réalisés avec 4 personnes, les seuils de masquage ont d'abord été déterminés pour toutes les combinaisons signal avertisseur/bruit de fond pertinentes. Ces seuils de masquage ont été intégrés dans le programme d'essai, afin de pouvoir placer le niveau du signal avertisseur dans un champ de valeurs approprié.

Le logiciel de test finalisé a été utilisé dans la société Müller-BBM GmbH à des fins de comparaison entre un groupe de sujets exercés qui avaient déjà participé aux essais préliminaires, et un groupe de personnes inexercées qui n'avaient jamais participé à un test d'écoute. Le groupe des sujets inexercés peut être considéré comme représentatif du groupe-cible du logiciel de test, à savoir les agents de manœuvre de locomotives (Lrf) et les conducteurs de locomotive (Tf).

Les résultats sont les suivants. Les réponses des sujets exercés, lors du premier test, ont indiqué comme « appropriées » les deux protections auditives. Parmi les 5 sujets inexercés, la protection auditive 1 s'est montrée inappropriée une fois, et la protection auditive 2 deux fois. Après répétition du test d'écoute, les deux protections auditives ont été jugées « appropriées » à 100 %, même par les personnes inexercées. On peut conclure de ce résultat qu'une partie des personnes qui ne connaissaient pas encore la situation d'écoute n'arrivaient pas à se concentrer sur la perception de

signaux avertisseurs faibles lors d'un fort bruit de fond. Visiblement, l'accoutumance à la situation d'essai se fait assez vite, car dès la première répétition de l'essai, il n'y avait plus de différences dans la perception entre les sujets exercés et ceux qui étaient inexercés auparavant.

La validation de la nouvelle méthode de test a été réalisée en mars 2014 par comparaison avec le test d'écoute selon BGI/GUV-I 5147 sur la gare de triage de Nuremberg. Six conducteurs de locomotives à qualification Lrf ont été soumis à un test d'écoute selon BGI/GUV-I 5147 dans une locomotive, puis à un test d'écoute utilisant le logiciel de test RaLa-GS dans une salle de classe.

La comparaison des résultats montre un taux de réussite plus faible avec la nouvelle procédure : 83 %, contre 100 % pour le test d'écoute selon BGI/GUV-I 5147 ; pour l'un des 6 sujets, les deux protections auditives se sont montrées inappropriées. Etant donné que cette personne montrait des seuils de masquage très élevés pour les deux protections auditives testées, on peut supposer que ce sujet ne maîtrisait pas la méthode d'essai et que ce résultat n'est pas lié à ce type de protection auditive particulier. Cela est confirmé par l'expérience faite au cours du test d'application interne à Müller-BBM : les sujets complètement inexercés n'arrivent pas à se concentrer suffisamment lors du premier test à cause de la situation d'écoute inhabituelle. Cependant, les difficultés initiales sont surmontées dès la première répétition du test. A l'occasion des mesures de validation à Nuremberg, la possibilité de répéter l'essai n'était pas donnée.

Les principales différences entre le test d'écoute selon BGI/GUV-I 5147 et la méthode alternative développée, assistée par ordinateur, sont les suivantes.

- Environnement d'essai : le test d'écoute selon BGI/GUV-I 5147 a lieu en locomotive et donc, pour le Tf/Lrf, dans un environnement habituel et familier, tandis que le test de la protection auditive par RaLa-GS se déroule dans une salle d'essai, ce qui correspond à une situation professionnelle particulière, comparable p. ex. à la consultation du médecin d'entreprise.
- Bruit de fond : le bruit de fond utilisé lors du test d'écoute selon BGI/GUV-I 5147 — moteur diesel fixé sur env. 2/3 du régime nominal – est invariable dans le temps, ce qui ne correspond pas à la situation réelle. Cependant, le test de protection auditive RaLaGS utilise plusieurs bruits différents, qui peuvent varier aussi en volume au cours du test, comme c'est le cas dans la réalité.
- Périmètre du test : le test de protection auditive commandé par programme couvre un périmètre beaucoup plus vaste que celui du test selon BGI/GUV-I 5147, grâce aux possibilités de choix en scénarios de test, en bruits et signaux avertisseurs. Les options de choix des deux scénarios de test adaptées au Lrf ou au Tf permettent de proposer non seulement un test en tant que test standard, mais aussi un test d'écoute individualisé à configurer en détail selon le type de véhicule moteur, de signal avertisseur, et selon le cas d'utilisation. La possibilité d'enregistrer et d'intégrer d'autres combinaisons signal avertisseur/bruit de fond dans le programme offre une haute flexibilité et permet aussi une adaptation future à d'autres tâches de test dans le cadre des signaux avertisseurs.

- Investissement : le temps investi et l'effort d'organisation du test de protection auditive commandé par programme sont nettement inférieurs à ceux du test selon BGI/GUV-I 5147. Il est possible d'intégrer le test de protection auditive dans les examens de routine du médecin d'entreprise.

La variabilité du bruit de fond dans le programme de test, qui permet un fort rapprochement à l'environnement acoustique réel, exige un degré d'attention et de concentration beaucoup plus élevé et plus long du sujet dans un environnement inhabituel par rapport au test d'écoute selon BGI/GUV-I 5147. Le cas échéant, il peut être nécessaire de répéter le test après une brève pause avec les sujets n'ayant pas immédiatement atteint le niveau de concentration requis.

Resumen

Para aquellos trabajos en relación al servicio ferroviario para los que se exige el uso de protección auditiva, es obligatorio realizar un test de audición individual según BGI/GUV-I 5147. La necesidad de uso de equipos de protección auditiva existe sobre todo para los maquinistas de locomotoras de maniobras (Lrf). A este grupo de personas aseguradas pertenecen los maquinistas ferroviarios que controlan las locomotoras a control remoto y al mismo tiempo trabajan como maquinistas de locomotoras de maniobras en las vías, fuera de la locomotora.

Los dispositivos de protección auditiva deben permitir la suficiente percepción acústica de señales de aviso. Para la realización del test de audición con toques de sirena de una segunda locomotora, en primer lugar se debe determinar la distancia que corresponde al alcance del oído. Esta es la distancia entre la fuente de la señal y la locomotora, en la cual el empleado, bajo las circunstancias dadas en el caso y sin utilizar protección auditiva, apenas logra oír la señal de aviso. El test de audición propiamente dicho debe efectuarse entonces a la distancia de test de audición (= distancia alcance del oído * 0,9). Este método para examinar el grado de audición de señales de aviso utilizando protección auditiva es muy laborioso debido a que requiere de un tramo de vía de maniobras de hasta 500 metros de largo y dos locomotoras, y a que además, por la frecuente repetición de las señales de aviso, conduce a una contaminación acústica importante en viviendas y lugares de trabajo adyacentes. Además, este procedimiento de prueba requiere mucho tiempo.

Con ese trasfondo, se encargó el desarrollo de un procedimiento para realizar el test de audición de señales de aviso utilizando protección auditiva, con el fin de reemplazar el test de audición según BGI/GUV 5147-I 5147. El objetivo del proyecto fue el desarrollo de un procedimiento para un test de audición individual, que pueda llevarse a cabo bajo "condiciones de laboratorio", es decir, en oficinas, utilizando señales y ruidos de trabajo adecuados, reproducidos por altavoces. El procedimiento a desarrollar debía reproducir fielmente la situación acústica en el lugar de trabajo original, es decir, en el ámbito de las vías de ferrocarril.

En el procedimiento desarrollado, las señales de aviso y los ruidos interferentes son presentados a la persona de prueba en una sala de ensayo, por medio de dos altavoces colocados delante de ella. Para reducir en lo posible la influencia de la acústica de la sala receptora, la distancia entre la persona de prueba y los altavoces es de un metro. Esto hace que cualquier oficina común, sin acondicionamiento acústico alguno, sirva de sala receptora del test. Las señales de prueba y ruidos interferentes se presentan a ambos oídos de la persona de prueba. De esto modo, junto con un procedimiento de grabación en estéreo de las señales de aviso y los ruidos interferentes, se logra que la situación sea espacial y con ello real para la representación y la evaluación por parte de las personas de prueba. Además, también el hecho de que se esté utilizando protección auditiva en este procedimiento corresponde plenamente a la situación real.

El control de la representación de las señales, la comunicación entre el sistema y la persona de prueba y el experimentador así como también el almacenamiento y la evaluación de las respuestas de la persona de prueba se realiza mediante un programa informático.

El programa de prueba varía el nivel de las señales de aviso, mientras que el ruido de interferencia respectivo se representa con el nivel acústico determinado en la realidad y no varía en su volumen. El ruido de interferencia se representa en dos intervalos sucesivos. La señal de aviso se agrega en forma aleatoria, en el primer o en el segundo intervalo. La persona de prueba tiene dos opciones para su respuesta: "he oído la señal de aviso en el primer intervalo" o "he oído la señal de aviso en el segundo intervalo" (2AFC, „Two-Alternative-Forced-Choice“). La persona de prueba comunica su respuesta al sistema mediante un dispositivo de entrada, presionando una de las dos teclas de respuesta. Tras un período de adaptación con un nivel alto de la señal de aviso se realizan 30 consultas, en las cuales el nivel de la señal de aviso varía en función de las repuestas dadas por la persona de prueba. En el caso de que la señal de aviso no haya sido percibida en ninguno de ambos intervalos debido a que el nivel acústico de la señal fuera inferior al umbral de enmascaramiento, la persona de prueba responde pulsando cualquiera de las dos teclas. Como reacción a una respuesta correcta, el nivel acústico de la señal de aviso es elevado un escalón, mientras que una respuesta incorrecta conduce a una elevación de dos escalones (método 2Up-2 Down). El programa lleva a cabo un control de veracidad en base a las respuestas de las personas de prueba almacenadas y determina un umbral de enmascaramiento para las señales de aviso con y sin protección auditiva utilizando el trazado de los niveles producido durante las correspondientes tandas de la prueba. Un producto de protección auditiva es considerado apto para la percepción de señales de aviso si el umbral de enmascaramiento con protección auditiva no se diferencia por más de un escalón comparado con el test sin protección auditiva.

Los sonidos estereofónicos que se requieren para este procedimiento de prueba han sido registrados en primer lugar mediante un sistema de grabación binaural, en la situación real utilizando seis tipos de locomotora de empresas operadoras en cinco localidades alemanas. De todo el material registrado han sido extraído 24 señales de aviso y 24 sonidos de fondo.

El sistema de prueba consiste en un ordenador portátil con dos altavoces más el dispositivo de respuesta de la persona de prueba. Como sala de ensayo se puede utilizar una oficina pequeña de 12 m² con y un techo absorbente o suelo alfombrado o una sala más grande ≥ 25 m² amueblada sin medidas acústicas instaladas. El nivel de ruido de fondo no deberá superar en un promedio el valor de $L_{eq} = 45$ dB(A).

El programa de prueba RaLa-GS (Rangierlärm-Gehörschutz-Test, test de protección auditiva contra el ruido producido durante los procedimientos de maniobra) ha sido elaborado en el lenguaje de programación MAX, el cual ofrece una superficie de programación gráfica.

Durante las pruebas preliminares fueron determinadas, usando un método de regulación, los umbrales de enmascaramiento para todas las combinaciones de señales de aviso y de interferencia relevantes para cuatro personas de prueba (VPn). Estos umbrales de enmascaramiento fueron almacenados en el programa de prueba para poder después colocar el nivel de la señal de aviso correspondiente dentro del rango de valores adecuado durante el test de audición.

Una vez terminado, el software de prueba fue aplicado dentro de la empresa Müller-BBM GmbH, a título comparativo por un grupo de personas ya

experimentadas, que habían participado en las pruebas preliminares durante el desarrollo del sistema, y por otro grupo de personals que aún no habían participado en pruebas auditivas. El grupo de personas sin experiencia puede considerarse representativo del grupo destinatario del programa de prueba – los maquinistas de locomotora y los maquinistas de locomotora de maniobras.

La prueba mostró que todas las personas de prueba con experiencia previa clasificaron a ambos modelos de protección auditiva como adecuados para permitir la percepción auditiva de la señal de aviso, mientras que para una de las personas sin experiencia previa, el modelo 1 resultó ser inadecuado. En el caso del modelo 2, el resultado fue “inadecuado” incluso para dos de las cinco personas. Una repetición del test de audición dió como resultado que también las personas sin experiencia previa calificaron ambos modelos como “adecuados al cien por cien”. Este resultado lleva a la conclusión de que una parte de las personas que no se han familiarizado con la situación auditiva no es capaz de reunir de inmediato la concentración necesaria para la detección de señales de aviso de bajo volumen en el contexto de un alto nivel de ruido de fondo. Evidentemente, la habituación a la situación experimental se produce rápidamente, dado que en la primera repetición de la prueba ya no se produce diferencia alguna entre las personas con y sin experiencia previa.

En el mes de marzo del 2014 se realizó la validación del nuevo método de prueba desarrollado mediante su comparación con el test de audición según BGI/GUV-I 5147 en la estación ferroviaria de clasificación de Nuremberg. Seis maquinistas con la cualificación de Lrf (maquinista de locomotora de maniobras) se sometieron primero a un test de audición según BGI/GUV-I 5147 sobre la locomotora y a continuación a un test con el programa RaLa-GS, dentro de un aula.

La comparación de los resultados demuestra una tasa de éxito inferior para el procedimiento nuevo, alcanzando éste el 83 % en comparación a la prueba precedente según BGI/GUV-I 5147 que alcanzó el 100 %. Este resultado se debe al hecho de que una de las seis personas de prueba (VPn) concluyó la prueba con el resultado “inadecuado”. Del hecho de que esta persona demostró tener unos umbrales de enmascaramiento muy altos para ambos modelos de protección auditiva, se desprende que esta persona de prueba no logró familiarizarse suficientemente con el método de prueba y que por ello el resultado no tenga conexión causal con el modelo de protección auditiva específico en cuestión. Este hecho reafirma la experiencia vivida en las pruebas internas de la aplicación, que demostró que las personas que no cuentan con experiencia en los test de audición aún no pueden reunir la concentración necesaria para la determinación del umbral de enmascaramiento en el primer test de audición, debido a la nueva situación acústica a la que no están acostumbrados.

Tal como lo demuestra otra experiencia vivida en las pruebas internas de la aplicación, estas dificultades iniciales se superan ya en la primera repetición del test. En el contexto de las mediciones de validación de Nuremberg no fue posible repetir el test.

Entre el test de audición según BGI/GUV-I 5147 y el procedimiento alternativo basado en un programa informático se dan las siguientes diferencias:

- Ambiente de la prueba: el test de audición según BGI/GUV-I 5147 tiene lugar sobre la locomotora y con ello en el ambiente laboral habitual y familiar del

maquinista (Tf/Lrf), mientras que el test de sistemas de protección auditiva con el programa RaLa-GS tiene lugar en una sala de prueba, lo cual en el primer momento corresponde a una situación profesional especial que se puede comparar, por ejemplo, con una consulta al médico de empresa.

- Ruido de fondo: el ruido de interferencia utilizado según BGI/GUV-I 5147 – un motor diésel andando constantemente con alrededor de $\frac{2}{3}$ de la velocidad de giro nominal – no varía en el tiempo, lo cual no corresponde a la situación real. En cambio, para el test de sistemas de protección auditiva con el programa RaLa-GS, se emplean distintas interferencias que pueden ser adaptadas en tiempo e intensidad en correspondencia con la realidad.
- Envergadura de la prueba: ésta es considerablemente mayor en el test de sistemas de protección auditiva con el programa RaLa-GS, gracias a las posibilidades de selección entre diferentes escenarios de prueba, interferencias y señales de aviso. El programa RaLa-GS permite ejecutar pruebas como las realizadas para los dos escenarios de prueba para Lrf (maquinista de locomotora de maniobras) y Tf (maquinista de locomotora), las cuales se ofrecen como pruebas estándar, como así también configurar pruebas individualizadas en función al tipo del locomotora, tipo de operación y señal de aviso. Gracias a que en principio exista la posibilidad de registrar, ingresar y utilizar combinaciones adicionales de señales de aviso o de interferencia, el sistema cuenta con un alto grado de flexibilidad y la posibilidad de poder ser adaptado a otras tareas de test dentro de la temática de señales de aviso.
- Volumen de trabajo: el volumen de tiempo y organización requerido en el caso del test de sistemas de protección auditiva con el programa RaLa-GS es significativamente inferior al requerido por el test de audición según BGI/GUV-I 5147. Existe la posibilidad de integrar el test en la revisión periódica por el médico de empresa.

Las posibilidades de variación del sonido de fondo que ofrece el programa de prueba y con ello el mayor acercamiento del ambiente acústico a la realidad, exigen a la persona de prueba mantener un nivel de atención y concentración superior y por más tiempo que durante el test de audición según BGI/GUV-I 5147. La probabilidad de que un modelo de protección auditiva no apruebe el test es mayor que en el test de audición según BGI/GUV-I 5147. En el caso dado puede ser necesario para algunas de las personas de prueba repetir el test tras un pequeño descanso si les cuesta reunir la concentración necesaria de inmediato en la nueva situación acústica.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	2
Abstract 6	
Résumé 10	
Resumen	14
1 Einleitung	19
1.1 Aufgabe und Ziel	20
1.2 Erkenntnisstand zu Projektbeginn	20
1.3 Zielsetzung und Zielgruppen	21
2 Prüfmethodik	22
3 Beschaffung der Prüfschalle	23
3.1 Aufnahmesystem	23
3.2 Erfasste Lokomotiven und Einsatzfälle	24
3.3 Repertoire der Warnsignale und Störgeräusche	29
4 Prüf-Hardware	30
5 Prüf-Software	31
5.1 Vorversuche	31
5.2 Programmstruktur	33
6 Erprobung des Prüfsystems	37
6.1 Anordnung des Prüfsystems	37
6.2 Anforderungen an den Prüfraum	38
6.3 Interner Anwendungstest	39
6.4 Validierung durch Vergleich mit der Methode nach BGI/GUV-I 5147	39
7 Diskussion	42
8 Literaturverzeichnis	43
Anhang	Prüfprogramm RaLa-GS: Tabelle der Warnsignale und Störgeräusche Flussdiagramme

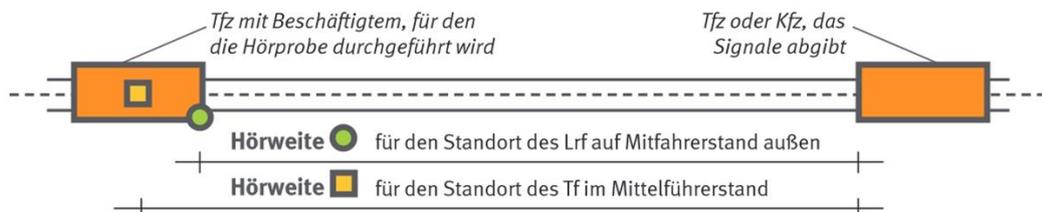
1 Einleitung

Derzeit ist bei Tätigkeiten im Eisenbahnbetrieb, die das Tragen von Gehörschutz erfordern, eine individuelle Hörprobe nach der Fachinformation BGI/GUV-I 5147 „Lärmschutzmaßnahmen für Triebfahrzeugführer und Lokrangierführer“ [1] vorgeschrieben. Die Notwendigkeit der Gehörschutzbenutzung besteht vor allem für Lokrangierführer (Lrf). Diese Versicherten sind Triebfahrzeugführer (Tf), die Triebfahrzeuge über Funk fernsteuern und gleichzeitig als Rangierer im Gleisbereich außerhalb des Triebfahrzeugs tätig sind.

Die dabei eingesetzten Gehörschützer müssen ein ausreichendes Warnsignalhören ermöglichen, was zum einen durch eine rechnerische Vorauswahl durch das Institut für Arbeitsschutz (IFA) [7] und zum anderen durch eine Hörprobe am Arbeitsplatz nachgewiesen werden muss. Zur Realisierung der Hörproben mit Typhonsignalen eines zweiten Triebfahrzeuges oder alternativ mit Hupsignalen eines Kfz ist zuerst die entsprechende Hörweite zu ermitteln. Die Hörweite ist die Entfernung zwischen Signalgeber und dem Triebfahrzeug, bei der der Beschäftigte ohne Gehörschutz unter den vorliegenden Umgebungsbedingungen das Warnsignal gerade noch hört. Die eigentliche Hörprobe ist dann bei der Hörprobenentfernung (= Hörweite * 0,9) durchzuführen. Die beschriebene Methode zur Prüfung des Hörens von Warnsignalen mit Gehörschutz ist sehr aufwändig, weil z. B. bis zu 500 m lange, gerade Rangiergleise nötig sind, zwei Triebfahrzeuge benötigt werden und die häufige Signalgebung zu einer starken Lärmbelastung für benachbarte Wohn- und Arbeitsbereiche führt. Überdies erfordert diese Prüfverfahren einen relativ großen zeitlichen Aufwand.

Ermitteln der individuellen Hörweite

(das ist die Entfernung, bei der der Beschäftigte ohne Gehörschutz das Typhon- oder Hupsignal gerade noch hört)



Festlegen der Hörprobenentfernung

(das ist die Entfernung, bei der die Hörprobe für den Beschäftigten ohne und mit Gehörschutz durchzuführen ist)



Abbildung 1. Schematische Darstellung aus [1] zur Durchführung der Hörprobe gemäß BGI/GUV-I 5147. Oben: Ermitteln der Hörweite, bei der das Warnsignal ohne Gehörschutz eben noch wahrgenommen wird. Unten: Durchführung der Hörprobe mit Gehörschutz bei 90 % der Hörweite (Hörprobenentfernung).

1.1 Aufgabe und Ziel

Vor diesem Hintergrund soll ein alternatives, einfacher durchführbares Prüfverfahren für das Hören von Warnsignalen mit Gehörschutz entwickelt werden, um den Test nach BGI/GUV-I 5147 ersetzen zu können. Ziel des Projekts ist die Erarbeitung eines Verfahrens für die individuelle Hörprobe, das „unter Laborbedingungen“ in Büroräumen (z. B. beim Arbeits- bzw. Verkehrsmediziner) mit geeigneten Signalen und Arbeitsgeräuschen, die über Lautsprecher wiedergegeben werden, durchgeführt werden kann. Das zu entwickelnde Verfahren soll die akustische Situation am Arbeitsplatz im Gleisbereich sicher reproduzieren.

Aufgrund der universellen Einsetzbarkeit der vorgesehenen Prüfmethode wurde noch während der Projektlaufzeit beschlossen, die abbildbaren Prüfumgebungen neben der „Rangierfahrt auf dem Mitfahrerstand“ um die des Triebfahrzeugführers (Tf) bei „Streckenfahrt im Führerstand“ zu erweitern sowie neben den Warnsignalen „Typhon“ und „Autohupe“ weitere ggf. relevante Signale wie z. B. Trillerpfeife, Sprechfunk, SIFA (Sicherheitsfahrerschaltung) ins Prüfprogramm mit aufzunehmen.

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 ist bei Produkten, welche die hochfrequenten Schallanteile stärker abschwächen, mit einer Verschlechterung der Wahrnehmbarkeit zu rechnen. Für die Arbeitsplätze des Lokrangierführers ist eine Hörprobe durchzuführen. Im Zusammenhang mit den Studien „*Lärmschutz für Eisenbahnfahrzeugführer und Lokrangierführer*“ [3], „*Gehörschutz für Eisenbahnfahrzeugführer und Lokrangierführer*“ [4] sowie der Fachinformation „*Lärmschutzmaßnahmen für Triebfahrzeugführer und Lokrangierführer*“ [1] wurde die entsprechende Literatur gesichtet und ausgewertet. Die Literaturliste dazu ist in Abschnitt 8 enthalten.

1.3 Zielsetzung und Zielgruppen

Dieses Projekt ist Teil eines Gesamtprojektes des Sachgebietes Gehörschutz im Fachbereich PSA "Evaluierung der Auswahlkriterien für Gehörschutz bezüglich Sprachverständlichkeit und Signalthörbarkeit", das auch andere Arbeitsbereiche und Signalsituationen (z. B. Gehörschutz für Fahrzeugführer im öffentlichen Straßenverkehr oder für den Gleisoberbau) umfasst. Folgende Institutionen waren an dem Vorhaben beteiligt:

- Sachgebiet „Bahnen (spurgeführte Verkehrssysteme)“ im Fachbereich „Verkehr und Landschaft“ der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV)
- Sachgebiet „Gehörschutz“ im Fachbereich „Persönliche Schutzausrüstungen“ der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV)
- Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin
- VBG, Präventionsfeld ÖPNV/Bahnen, Hamburg
- Eisenbahn-Unfallkasse (EUK), Frankfurt am Main
- Eisenbahn-Bundesamt (EBA), Bonn
- LEA, Gesellschaft für Landeseisenbahnaufsicht mbH (LEA), Hannover
- Landesbevollmächtigter für Bahnaufsicht des Freistaates Sachsen (LfB), Dresden

2 Prüfmethodik

Zur Prüfung der Wahrnehmbarkeit von Warnsignalen ohne und mit Gehörschutz wird in dem hier zu beschreibenden Projekt ein sogenanntes Freifeldverfahren angewendet, d. h. im Gegensatz zu anderen audiometrischen Verfahren, die mit einer Schallwiedergabe über Kopfhörer arbeiten, werden die Warnsignale und Störgeräusche dem Probanden in einem Prüfraum über zwei vor ihm befindliche Lautsprecher dargeboten. Um den akustischen Einfluss des Abhörums möglichst klein zu halten, wird bei der Hörprüfung der Abstand zwischen Proband und Lautsprecher mit ca. 1 m gering gewählt und für diesen Fall geeignete Lautsprecher (Nahfeld-Monitore) verwendet. Dies ermöglicht die Verwendung eines üblichen Büroraums ohne spezielle akustische Ausstattung als Abhörums für das Prüfverfahren, wie es der Anforderung für das zu entwickelnde Prüfverfahren entspricht. 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 Probanden. Weiterhin entspricht auch das Tragen des Gehörschutzes bei diesem Verfahren 1:1 der realen Situation.

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. Der Schallpegel der Warnsignale wird durch das Prüfprogramm innerhalb der vorgewählten Stufung variiert, während das jeweilige Störgeräusch mit dem in der Realität ermittelten Schallpegel wiedergegeben wird und in der Lautstärke unverändert bleibt. 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. Der Proband hat lediglich zwei Antwortmöglichkeiten: „Warnsignal im 1. Intervall gehört“ oder „Warnsignal im 2. Intervall gehört“ („Two-Alternative-Forced-Choice“, kurz 2AFC-Methode [13], [14], [15]). Seine Antwort teilt der Proband mit Hilfe eines Eingabegeräts (Probanden-Interface) durch Drücken einer der beiden Antworttasten mit. Die ersten fünf Darbietungspaare werden mit einem hohen Warnsignalpegel präsentiert, um den Probanden mit den Schallsignalen und der Versuchsmethode vertraut zu machen (Proberunde). Danach folgt nach einer Einschwingphase eine Abfolge von 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 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.

3 Beschaffung der Prüfschalle

Für die vorgesehene Freifeld-Prüfmethode gemäß Abschnitt 2 werden stereophone Prüfschalle benötigt, die für Lautsprecherwiedergabe geeignet sind. Da solche Prüfschalle nicht verfügbar waren, mussten sie zunächst mit Hilfe eines kopfbezogenen Aufnahmesystems in der realen Situation auf einer hinreichend repräsentativen Anzahl von Rangierlokomotiven aufgezeichnet werden.

3.1 Aufnahmesystem

Die verwendete Variante des vom Erfinder Jürg Jecklin mit OSS (Optimales Stereo System) bezeichneten Aufzeichnungssystems [16] bestand aus den in Tabelle 1 aufgeführten Komponenten. Vor und nach den Messeinsätzen wurde das System im reflexionsarmen Raum der Fa. Müller-BBM GmbH kalibriert, Abweichungen wurden nicht festgestellt.

Tabelle 1. Komponenten des OSS-Aufnahmesystems.

Beschreibung	Hersteller	Typ	Serien-Nr.
Wave Recorder	ZOOM	H4n	00304255
Elektret-Mikrofon m. Kugelcharakteristik, 1 Paar	DPA	SMK4060	H67891, H67892
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	Müller-BBM GmbH	---	---



Abbildung 2. 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.

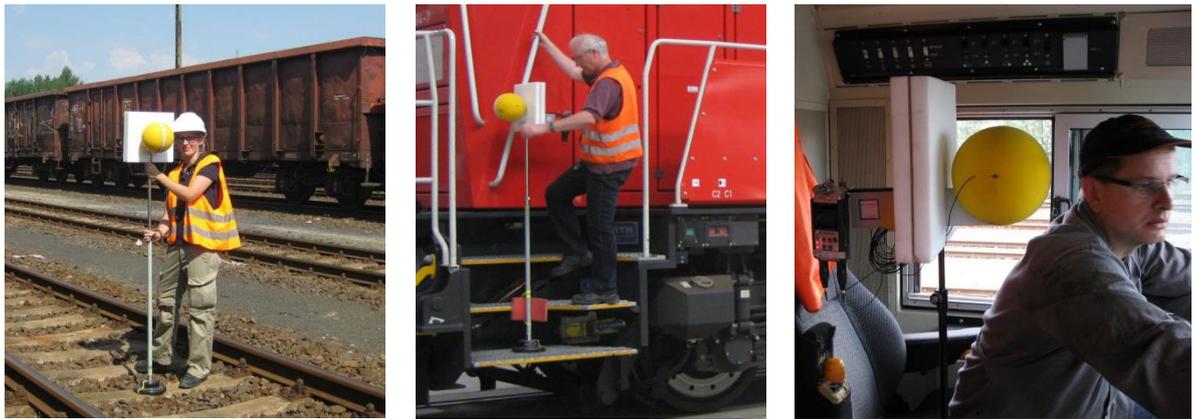


Abbildung 3. Einsatz des OSS-Schallaufzeichnungssystems bei der Aufnahme von Fahrzeug-Warnsignalen im Gleisbereich (Bild links), auf der Lok außen im Bereich des Mitfahrersstands bzw. Rangiertritts (Bild Mitte) sowie im Führerstand innen (Bild rechts).

3.2 Erfasste Lokomotiven und Einsatzfälle

Es konnten fünf Eisenbahnbetriebe für Messungen gewonnen werden. Anhand der zur Verfügung stehenden Lokomotiven wurde ein breites Spektrum an unterschiedlichen Warn- und Störsignalen für die Prüfmethode im Büroraum gesammelt. Bei den sechs erfassten Triebfahrzeugen handelt es sich um drei TSI-konforme Loks (BR 261, G 6, BR 1001), zwei nicht TSI-konforme Loks (BR 228, Class 66) und um einen Diesel-Triebwagen vom Typ Regio Shuttle (RS 1).

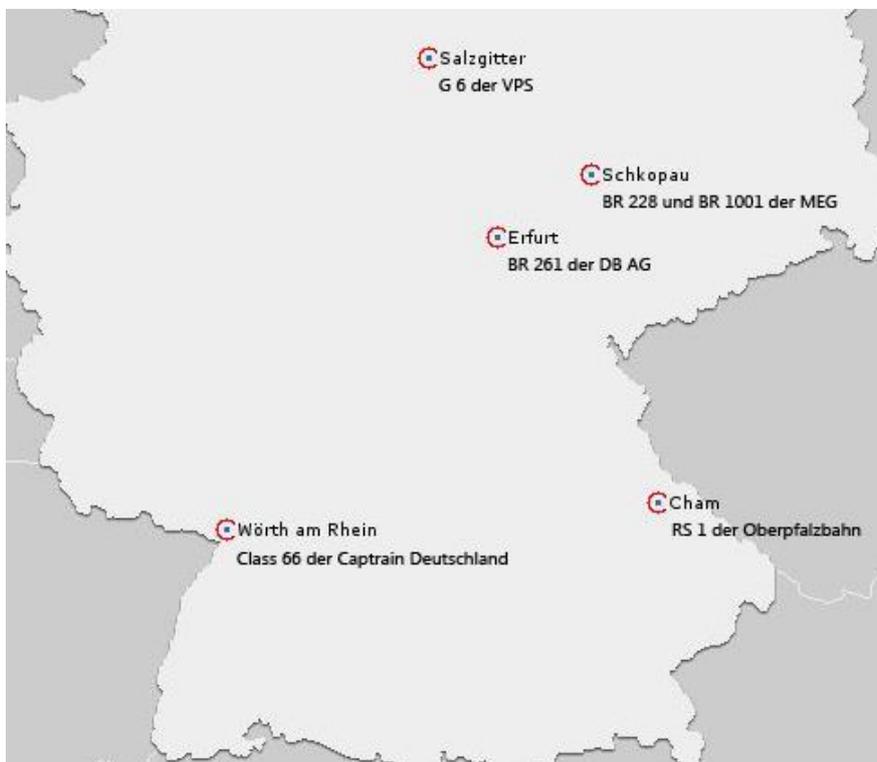


Abbildung 4. Übersicht der Ausgangsstandorte und der dort erfassten Triebfahrzeuge der teilnehmenden Betriebe.

Mit Hilfe des in Abschnitt 3.1 erläuterten kopfbezogenen Messsystems wurden Warn- und Störsignale getrennt voneinander aufgenommen und gespeichert. Ziel war es, viele unterschiedliche Störgeräusche abhängig vom jeweiligen Fahrzustand der Lokomotive sowie lokspezifische Warnsignale aufzunehmen. Zusätzlich wurden bei vier Triebfahrzeugen (BR 228, BR 1001, BR 261, RS 1) Innen- bzw. Außenschallpegel exemplarisch vermessen. Die Messdaten werden in einem separaten Bericht für die betreffenden Betreiber nachgereicht.

Folgende Warnsignale wurden für die Prüfmethode als sicherheitsrelevant spezifiziert:

- Typhon (hoch, tief und Mischklang)
- PKW-Hupe
- Trillerpfeife
- Sprechfunk
- PZB- und SIFA-Signal

Störgeräusche wurden sowohl im Führerstand als auch auf dem Mitfahrerstand außen bei unterschiedlichen Lastzuständen aufgezeichnet. Das Diesellaufgeräusch bei Leerlaufdrehzahl und bei $\frac{2}{3}$ der Nenndrehzahl wurde ebenfalls aufgenommen. Aus zeitlichen oder technischen Gründen konnten nicht an jedem Standort alle Warnsignale aufgenommen werden. Im Folgenden wurden deshalb fünf Standard-Warnsignale definiert (siehe Abschnitt 3.3).

3.2.1 BR 228 und BR 1001 bei der MEG

Die Mitteldeutsche Eisenbahn GmbH (MEG) stellte zwei Triebfahrzeuge für die Untersuchung zur Verfügung. Bei der BR 228 handelt es sich um ein durch zwei Dieselmotoren angetriebenes Fahrzeug. Diese Lokomotive verfügt über keinen außenliegenden Mitfahrerstand. Der etwa 60-minütige Umlauf von Böhlen nach Espenhain wurde im Führerstand begleitet.

Die Zug-Daten der Hin- und Rückfahrt waren wie folgt:

Hinfahrt: Zug-Nr. 99680, Zug-Gewicht 1013 t, 122 Achsen, Zug-Länge 450 m.

Rückfahrt: Zug-Nr. 99681, Zug-Gewicht 277 t, 24 Achsen, Zug-Länge 87 m.

In Espenhain konnten zu den auf der Strecke gewonnenen Warn- und Störsignalen im Führerstand Außenaufnahmen vom fahrzeugeigenen Typhonsignal in ca. 50 m Entfernung aufgezeichnet werden.



Abbildung 5. BR 228 der MEG (früher V 180 der DR).

Die vermessene BR 1001 ist eine auf Hybridantrieb umgebaute, ursprünglich dieselhydraulische Lokomotive vom Typ V 100. Schallaufzeichnungen wurden ausschließlich im elektrischen Fahrbetrieb (mit stehendem und laufendem Dieselgenerator) durchgeführt. Dieses Triebfahrzeug wurde bei Rangierarbeiten im Werksbereich Böhlen sowohl im Führerstand als auch außen auf dem Mitfahrerstand (rechts vorne beim Dieselgenerator) begleitet.



Abbildung 6. Hybridlok BR 1001 der MEG (auf Basis der früheren V 100 der DR).

3.2.2 BR 261 bei der DB Schenker Rail AG

Begleitet wurde die BR 261 der DB Schenker Rail AG auf der Rangierfahrt von Erfurt nach Arnstadt und zurück. Auf dieser Rangierfahrt konnten Warn- und Störsignale mit unterschiedlichen Lastzuständen im Führer- und auf dem Mitfahrerstand aufgezeichnet werden. Zusätzlich wurden die Signale des fahrzeugeigenen Typhons in Fahrtrichtung mit ca. 50 m Abstand vor der stehenden Lok aufgenommen.



Abbildung 7. Voith Gravita 10 BB der DB AG (BR 261).

3.2.3 G 6 bei den Verkehrsbetrieben Peine Salzgitter

Vor Beginn der Rangierfahrt konnten bereits in Salzgitter am Betriebsbahnhof Typhonsignale in ca. 50 m Entfernung, Trillerpfeife und der Sprechfunk außen aufgezeichnet werden. Während der Fahrt wurden fahrzeugspezifische Signale im Führerstand und Störgeräusche am Mitfahrerstand aufgezeichnet. Eine PZB-Einrichtung ist bei der G 6 nicht vorhanden. Zusätzlich zum fahrzeugeigenen Typhon war es möglich, ein Typhonsignal eines weiteren Fahrzeugs im Führerstand (inkl. Schalldämmung durch Führerstandswand / Fenster) zu erfassen.



Abbildung 8. Vossloh G 6 der VPS.

3.2.4 Class 66 bei der Captrain Deutschland

Das bei Captrain Deutschland erfasste Triebfahrzeug führt Streckenfahrten im Güterfernverkehr durch. Der begleitete Zug hatte eine Länge von 289 m und eine Masse von 537 t. Die Fahrt von Wörth am Rhein nach Mannheim wurde mit einer maximalen Geschwindigkeit von ca. 95 km/h zurückgelegt. Zusätzlich zu den Standardwarnsignalen SIFA und PZB sollte ursprünglich das sog. ATP (holländisches Zugsicherungssystem) erfasst werden, welches jedoch aufgrund technischer Gegebenheiten auf dem befahrenen deutschen Streckenabschnitt nicht abgegeben werden konnte.



Abbildung 9. Class 66 (EMD JT42CWR) der Captrain Deutschland (bei der DB BR 247).

3.2.5 RS 1 bei der Oberpfalzbahn

Bei diesem im Schienenpersonennahverkehr (SPNV) eingesetzten Triebzug ist die Besonderheit, dass aufgrund zahlreicher nichttechnisch gesicherter Bahnübergänge der Triebfahrzeugführer verpflichtet ist, an jedem dieser Übergänge ein Warnsignal von ca. drei Sekunden Dauer abzugeben. Aufgrund des ungünstig gewählten Einbauortes der Makrofone und der Häufigkeit der Signalisierung überschreitet das Innengeräusch im Führerstand vorgegebene Arbeitsschutz-Grenzwerte. Bauliche Maßnahmen am Triebfahrzeug wurden ergriffen. Dennoch wurde dieser Spezialfall als interessant erachtet, woraufhin auch diese im Personennahverkehr aufgezeichneten Signale ins Programm eingebunden wurden.



Abbildung 10. Regioshuttle RS 1 der Oberpfalzbahn (bei der DB BR 650), Einbauort des Makrofons in Kupplungs-Kammer.

Gemessen wurde im Regelbetrieb auf der Strecke von Cham in der Oberpfalz nach Waldmünchen und zurück. Signale wurden dabei ausschließlich während der ca. 30-minütigen Fahrten im Führerstand erfasst. Die maximale Geschwindigkeit betrug ca. 50 km/h. Pro Fahrt werden nach Aussagen des Triebfahrzeugführers etwa 40 Typhon-Signale abgegeben.

3.3 Repertoire der Warnsignale und Störgeräusche

Aus dem aufgezeichneten Tonmaterial wurden fünf Standard-Warnsignale (Typhon hoch, Typhon tief, Typhon Mischklang, PKW-Hupe und Trillerpfeife) für den Führerstand und den Mitfahrerstand definiert. Zu diesen Standard-Warnsignalen wurden zusätzlich fahrzeugspezifische Signale (Sprechfunk, SIFA, PZB) ausgewählt, so dass insgesamt 23 Warnsignale für die Tests zur Verfügung stehen. 24 extrahierte typische Hintergrundgeräusche aus dem Arbeitsumfeld sind im Hörtest als Störgeräusche einsetzbar. Eine Übersicht über alle Signale ist im Anhang zusammenfassend dargestellt.

Es wurden zwei Standardtests für Lokrangier- und Triebfahrzeugführer definiert. Als Störgeräusche fungieren Aufnahmen von jeweils drei unterschiedlichen Triebfahrzeugen. Das hohe Typhon wurde als zu prüfendes Warnsignal für beide Tests festgelegt, weil es die Mindestausstattung aller Triebfahrzeuge darstellt und das bei Weitem am häufigsten verwendete Tf-Warnsignal ist. Die für die beiden Standardtests ausgewählten Signale sind ebenfalls im Anhang dargestellt. In den beiden Standardtests sind die jeweils ungünstigsten akustischen Randbedingungen der Arbeitspositionen außerhalb bzw. innerhalb der Triebfahrzeuge zusammengefasst. Daher stellt die routinemäßige Verwendung der Standardtests die größtmögliche Sicherheit bei der Eignungsprüfung von Gehörschützern für das Signalthören sicher. Der Lrf-Standardtest wurde vergleichend zur Methode nach BGI/GUV-I 5147 validiert, vgl. Abschnitt 6.4.

Die Gesamtheit aller erfassten Warnsignale und Störgeräusche steht für einen zusätzlich möglichen, eingeschränkten Spezialtest zur Verfügung, für den bestimmte Warnsignale und Störgeräusche einzelner Fahrzeugtypen manuell ausgewählt und für den Hörtest verwendet werden können.

4 Prüf-Hardware

Das Prüfsystem besteht lediglich aus einem Laptop-Computer mit zwei angeschlossenen Lautsprechern sowie dem Antwortgerät, siehe Tabelle 2.

Tabelle 2. Geräteliste zum Prüfsystem.

Beschreibung	Hersteller	Typ
Notebook Personal Computer	Acer	Aspire V5-573G
Aktiver Nahfeld-Monitorlautsprecher, 1 Paar	Behringer	B2031A
Lautsprecher-Konsolen, 1 Paar	Müller-BBM GmbH	--
Ton- und Netzkabelsatz	Müller-BBM GmbH	--
Probanden-Antwortgerät	Müller-BBM GmbH	M102291
MAX 6.1-Prüf-Programm	Müller-BBM GmbH	RaLa-GS, V1.0



Abbildung 11. Antwortgerät (Probanden-Interface), mit dem der Proband 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.

5 Prüf-Software

Das Prüfprogramm RaLa-GS (Rangierlärm-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-Störsignal-Kombinationen mit Hilfe der Einstellmethode vorab bestimmen zu können. Die Mithörschwelle ist derjenige Warnsignalpegel, bei dem das Warnsignal in einem gleichzeitig dargebotenen Störgeräusch in 50% aller Fälle erkannt wird. Diese Mithörschwellen müssen im Prüfprogramm hinterlegt werden, um den jeweiligen Warnsignalpegel im Hörtest im passenden Wertebereich platzieren zu können.

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 die Mithörschwelle erreicht war. Durch Knopfdruck wurde die gefundene Pegeleinstellung gespeichert. Die Schalldarbietung konnte beliebig oft wiederholt werden. Bis auf die Art der Antworteingabe entsprach die Versuchsanordnung derjenigen des Prüfprogramms gemäß Abbildung 15 und Abbildung 16 in Abschnitt 6.1.

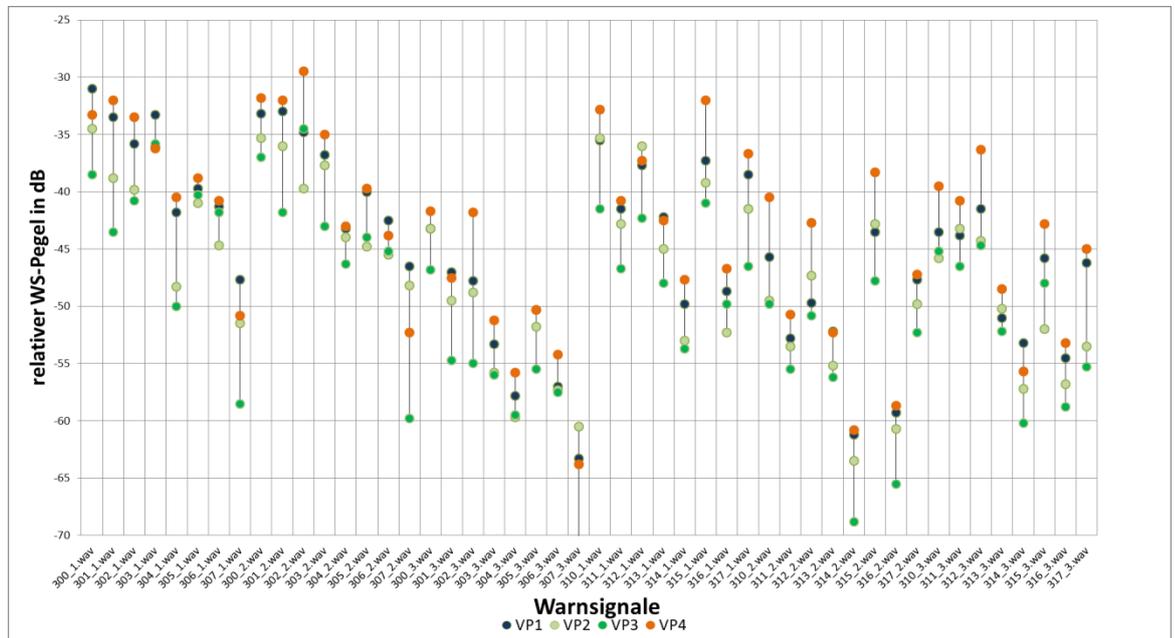


Abbildung 12. Mittelwerte der Mithörschwellen von 4 Versuchspersonen (VPn) ohne Gehörschutz für 48 Warn-/Störsignal-Kombinationen.

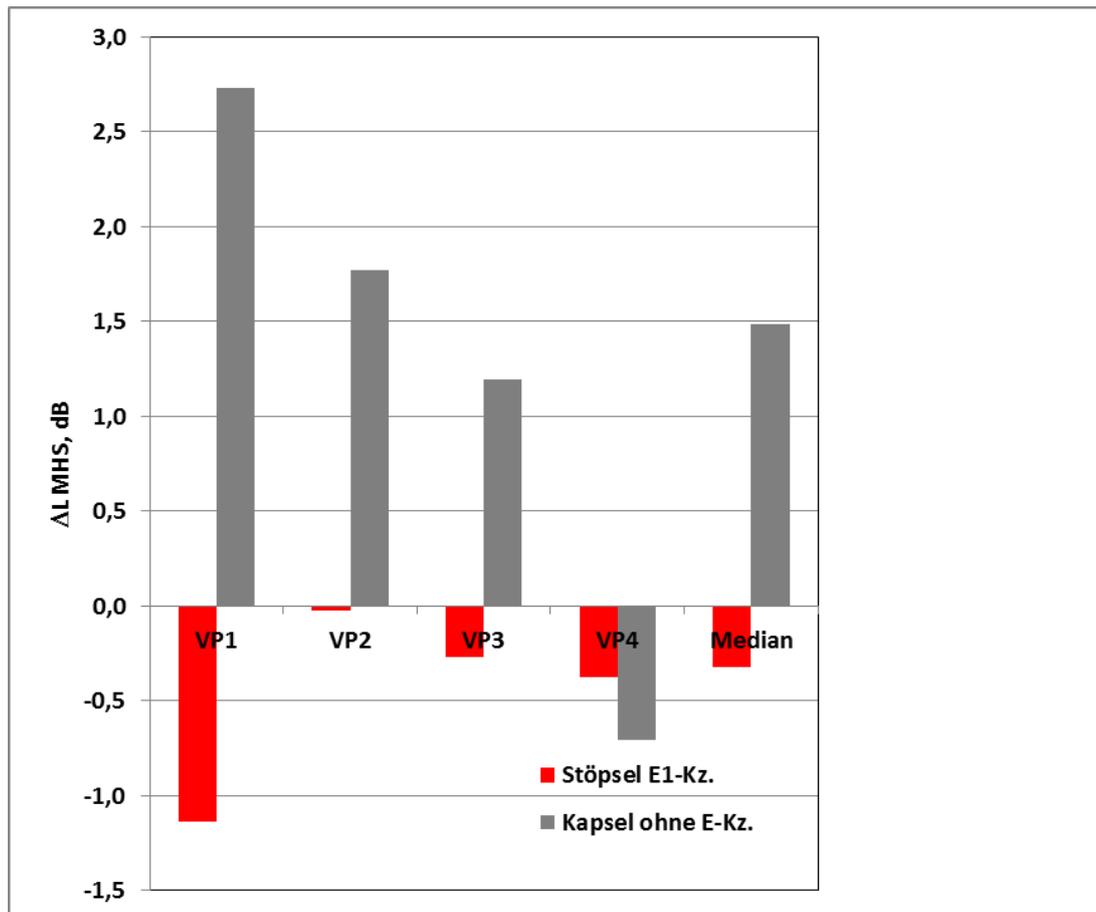


Abbildung 13. Vergleich der MHS-Verschiebung durch den Stöpsel-Gehörschutz 3M 1261 sowie den Kapselgehörschutz FN Compac 2000. Mittelwerte von 4 Versuchspersonen über die 48 Warn-/Störsignal-Kombinationen aus Abbildung 12.

Abbildung 12 zeigt anhand der Mithörschwellen von 4 VPn für 48 Warn-/Störsignal-Kombinationen, dass die Schwellenwerte abhängig von der Signalpaarung über einen Pegelbereich von mehr als 20 dB gestreut sind. 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 jeweiligen Einstellungen der Mithörschwelle von vier Versuchspersonen sind durch farbige Punkte markiert, die Mithörschwellen variieren zwischen den Versuchspersonen im Mittel um ca. 10 dB. In Abbildung 13 ist die Mithörschwellendifferenz mit und ohne Gehörschutz für zwei unterschiedliche Gehörschützer, gemessen mit der Einstellmethode für die 48 Warn-/Störsignal-Kombinationen nach Abbildung 12, dargestellt. Abbildung 13 zeigt, dass der Gehörschutz eine Mithörschwellenverschiebung bewirkt, die je nach Produkt unterschiedlich groß ist. Während der Stöpsel die MHS im Mittel sogar leicht Richtung besserer Signalhörbarkeit verschiebt, ergibt sich beim Kapselgehörschutz eine Schwellenerhöhung zwischen 1 und 2 dB. Somit ist der Stöpsel hinsichtlich des Warnsignalhörens besser geeignet als die Kapsel mit ihrer auch individuell stark unterschiedlichen Schwellenverschiebung.

5.2 Programmstruktur

5.2.1 Beschreibung des Prüfprogramms RaLa-GS

Nach dem Start des Programms werden zunächst allgemeine Daten zur Prüfdurchführung abgefragt, siehe hierzu Abbildung A 1 im Anhang. Dies sind die Namen der mit der Prüfdurchführung beauftragten Person (Versuchsleiter) und des Probanden 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 Eingabe der allgemeinen Daten erfolgt die Auswahl des Testszenarios. Neben den beiden Routineverfahren „Lrf-Standardtest“ und „Tf-Standardtest“ mit vordefinierten Warnsignalen und Störgeräuschen besteht die Möglichkeit, über eine untergeordnete Menüebene einen Test zur eingeschränkten Anwendung auszuwählen, für den ein einzelnes Warnsignal und Störgeräusche eines bestimmten Triebfahrzeugs sowie das Prüfzenario - Rangierfahrt oder Streckenfahrt - manuell gewählt werden müssen. Dabei stehen sechs Triebfahrzeuge zur Auswahl.

Sind alle Auswahlen für die zur Testdurchführung notwendigen Entscheidungen getroffen, 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. Der erste Prüfdurchlauf erfolgt ohne Einsatz eines Gehörschutzmittels. In einem kurzen Probedurchlauf werden nach dem Zufallsprinzip 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 % an richtig erkannten Hörbeispielen - 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 weiter unten detailliert beschriebenen Verfahren, siehe Abbildung A 2.

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 während der Prüfung, nicht in die Mittelwertbildung einzubeziehen, da diese das Messergebnis verfälschen. Dazu werden nur die Pegelwerte derjenigen Antworten

berücksichtigt, auf welche mindestens 10 % der Antworten entfallen. Dieses so errechnete selektive Mittel stellt die Mithörschwelle für die Prüfung ohne Gehörschutzmittel dar und wird gespeichert und protokolliert.

Anschließend erfolgt eine Ansage an den Probanden mit der Aufforderung, den ersten Gehörschutztyp aufzusetzen. 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 7 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 zwischen Stufe 1 und 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 aber, wenn nur ein Gehörschutztyp geprüft wird, erfolgt die Mitteilung an die Versuchsperson, dass der Hörtest beendet ist. Nun muss das Prüfprotokoll noch in einer Datei auf dem PC gespeichert werden. Dazu ist die Eingabe eines Dateinamens für die Protokolldatei durch den Versuchsleiter erforderlich. Nach der Speicherung 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.

5.2.2 Detaillierte Beschreibung des Programmablaufs zur Ermittlung der Mithörschwelle

Die Ermittlung der Mithörschwelle, vgl. Abbildung A 3, 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) erhöht, solange 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 erhöht, solange bis zweimal aufeinanderfolgend eine richtige Antwort gegeben wird. Damit beginnt die Auswertephase, der eigentliche Test zur Mithörschwellenermittlung. 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.

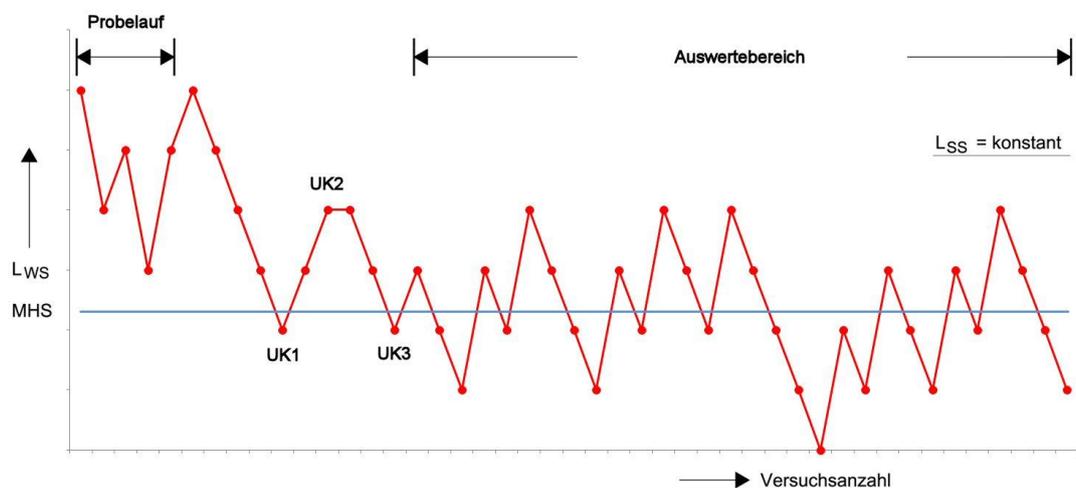


Abbildung 14. Schematische Darstellung der 2AFC-Mithörschwellen-Ermittlung mit der 2Up-1Down-Methode zur Veränderung des Warnsignalpegels L_{WS} bei konstantem Störgeräuschpegel L_{SS} . UK1 bis UK3: Umkehrpunkte während der Einschwingphase zwischen Probelauf und Auswertebereich.

6 Erprobung des Prüfsystems

6.1 Anordnung des Prüfsystems

Abbildung 15 zeigt schematisch die Anordnung des Prüfsystems auf einem üblichen Schreibtisch mit den Abständen der Lautsprecher vom Probanden, die mit $\pm 10\%$ eingehalten werden sollen. Die Zentren der Lautsprecherboxen sollen sich auf Ohrhöhe des Probanden befinden, wozu bei einer üblichen Tischhöhe von 70 – 80 cm zwei 15 cm hohe Sockel zur erhöhten Aufstellung der Lautsprecher verwendet werden, siehe Abbildung 16.

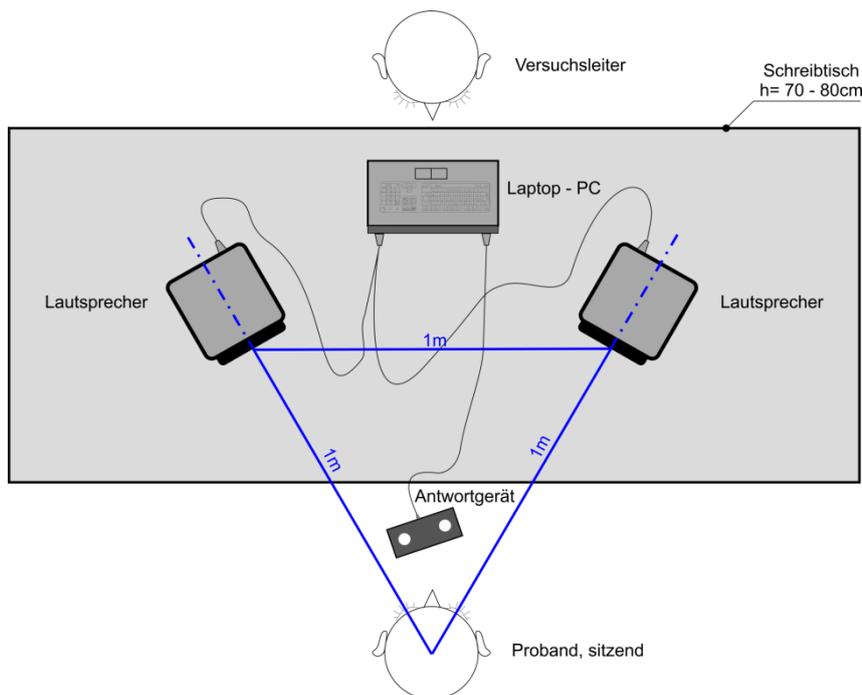


Abbildung 15. Aufstellung des Prüfsystems im Prüfraum, schematische Darstellung.



Abbildung 16. Ansicht des Prüfsystems im Einsatz.

6.2 Anforderungen an den Prüfraum

Hörversuche wurden erfolgreich in drei verschiedenen Räumen der Müller-BBM GmbH in Planegg sowie bei der Validierung der Prüfmethode in Nürnberg in einem Seminarsaal der DB Schenker Rail AG durchgeführt. Die raumakustischen Parameter dieser Räume sind in der folgenden Tabelle 3 zusammengestellt:

Tabelle 3. Abmessungen und raumakustische Parameter der erprobten Prüfräume.

Raum	Grundfläche S , m ²	Raumvolumen V , m ³	Nachhallzeit T_N , s	Absorptionsfläche A , m ²	Hallradius r_H , m
Müller-BBM, Besprechung 517, BA5	40	107	0,35	48	1,0
Müller-BBM, Prüfraum 514, BA5	15,4	41	0,28	24	0,7
Müller-BBM, Büro 328, BA2	12	32	0,26	20	0,64
DB Schenker Rail AG, Nürnberg, Seminarsaal	62	204	0,8	42	0,93

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 15 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 $r_H = 0,6$ 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 m², 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 ≥ 25 m² 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 dB(A) nicht überschreiten.

6.3 Interner Anwendungstest

Nach der Fertigstellung der Prüfsoftware wurde das neu erstellte Testmodul „Lrf-Standardtest“ 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 fünf 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 – Lrf und Tf – angesehen werden. Die Tabelle 4 zeigt die Versuchsergebnisse.

Tabelle 4. Erstmalige bzw. zweite Durchführung des „Lrf-Standardtests“ im Prüfprogramm RaLa-GS: Ergebnisse für die Eignung zweier Gehörschützer (GS) einer in Hörtests geübten (4 VPn) und einer ungeübten Gruppe (5 VPn) von Versuchspersonen. Gehörschutz GS 1: 3M 1261; GS 2: FN Compac 2000.

Versuchsdurchgang	GS 1 geeignet?	GS 2 geeignet?
4 geübte VPn, 1. Hörtest	100%	100%
5 ungeübte VPn, 1. Hörtest	80%	60%
5 ungeübte VPn, 2. Hörtest	100%	100%

Tabelle 4 zeigt, dass alle geübten Probanden beide Gehörschützer bereits beim 1. Hörtest als geeignet für das Hören des Warnsignals ermittelt haben, während bei einer der ungeübten Versuchspersonen sich der Gehörschutz 1 als ungeeignet erwies. Beim Gehörschutz 2 war das Ergebnis „ungeeignet“ sogar bei zwei von fünf VPn der Fall. Bei einer Wiederholung des Hörtests wurden jedoch auch von den ungeübten Personen beide Gehörschützer mit „100 % 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 lauten Hintergrundgeräusch nötige Konzentration nicht sofort aufbringen kann. Offenbar erfolgt aber die Gewöhnung an die Versuchssituation recht schnell, denn bereits bei der ersten Wiederholung der Prüfung besteht kein Unterschied mehr in der Wahrnehmung geübter und vormals ungeübter Probanden.

6.4 Validierung durch Vergleich mit der Methode nach BGI/GUV-I 5147

Die Validierung des Prüfverfahrens durch Vergleich mit dem Verfahren nach BGI/GUV-I 5147 fand am 17.03.2014 bei der DB Schenker Rail AG auf dem Rangierbahnhofsgelände in 90469 Nürnberg statt. Sechs Lokführer der DB Schenker Rail AG mit Qualifikation als Lrf unterzogen sich zunächst im Rangiergleisbereich einem Hörtest nach BGI/GUV-I 5147 und anschließend im Seminarsaal des Gebäudes 9 dem Hörtest mit dem Prüfprogramm RaLa-GS. Der in beiden Tests geprüfte Gehörschutz war ein niedrig-dämmender, fertig geformter, mehrfach verwendbarer Gehörschutzstöpsel vom Typ 3M 1261 mit E-Kennzeichen. Ebenfalls geprüft wurde ein Kapselgehörschützer ohne E-Kennzeichen, Typ Fondermann FN Compac 2000. Als Warnsignal diente in beiden Tests das hohe Typhon-Signal (660 Hz).

Die Hörprobe nach BGI/GUV-I 5147 wurde unter der Leitung von Herrn Gerhard Heres, EUK Frankfurt, auf einem an Bau 9 angrenzenden Rangiergleis durchgeführt (Abbildung 17, links). Zur Signalisierung und als Empfangsposition wurde jeweils eine Lokomotive der Baureihe 294 benutzt. Die Hörprobe wurde ausschließlich im Führerstand durchgeführt, da das Gleis nicht lang genug war, um die Hörweite für die Position des Mitfahrerstands realisieren zu können. Die für den Führerstand bei geschlossenen Fenstern ermittelte Hörweite betrug 320 m, die daraus abgeleitete Hörprobenentfernung von 288 m wurde für alle sechs Probanden verwendet. Als Störgeräusch diente das Laufgeräusch des Dieselmotors bei $\frac{2}{3}$ Nenndrehzahl. Die Versuchspersonen stiegen nacheinander auf die Lok und mussten die Wahrnehmung dreier aufeinander folgender Warnsignale durch Handzeichen bestätigen.



Abbildung 17. Validierungsmessungen auf dem Rangierbahnhof Nürnberg.
 Links: Hörprobe nach BGI/GUV-I 5147, signalgebende Lok der BR 294 in 288 m Abstand auf Rangiergleis neben Bau 9.
 Rechts: Gehörschutz-Test RaLa-GS, Durchführung im Seminarraum des Gebäudes 9 der DB Schenker Rail AG in Nürnberg.

Die zu validierende „Büro“-Methode mit dem neu entwickelten Prüfverfahren wurde im Seminarraum des Gebäudes 9 durchgeführt, das System wurde dazu auf einem Tisch der hintersten Reihe des Raums aufgestellt, siehe Abbildung 17 rechts. Die akustisch relevanten Kenndaten dieses Seminarraums sind in Tabelle 3 enthalten. Als Prüf-Szenario wurde der „Lrf-Standardtest“ verwendet.

6.4.1 Ergebnis der Validierung

Die Ergebnisse der Validierung sind in Tabelle 5 und Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 5. Ergebnisse der Hörprobe nach BGI/GUV-I 5147. Der 1. Gehörschutz 3M 1261 war bei allen sechs Probanden geeignet zur uneingeschränkten Wahrnehmung des Warnsignals „Typhon hoch“. Der (nur von 2 VPs benutzte) 2. Gehörschutz FN Compac 2000 war bei diesen ebenfalls geeignet.

	VP 1	VP 2	VP 3	VP 4	VP 5	VP 6
Alter VP	20	41	49	51	43	34
Hörweite	320					
Hörprobenentfernung	288					
1. GHS geeignet?	JA	JA	JA	JA	JA	JA

Tabelle 6. Ergebnisse des Gehörschutztests mit dem Prüfsystem RaLa-GS. Der Gehörschutz 3M 1261 war bei vier Probanden geeignet zur uneingeschränkten Wahrnehmung des Warnsignals „Typhon hoch“. Bei Proband VP 2 ergab sich eine grenzwertige Eignung, bei VP 4 keine Eignung. Die resultierende Erfolgsquote von 83 % war auch das Ergebnis für den 2. Gehörschutz FN Compac 2000.

	VP 1	VP 2	VP 3	VP 4	VP 5	VP 6
Alter VP	20	41	49	51	43	34
sel.Mittel MHS o.GHS	2,3	2,4	3,6	2,5	3,6	2,9
sel.Mittel MHS 1.GHS	1,1	3,4	3,6	5,4	2,8	1,0
sel.Mittel MHS 2.GHS	2,6	2,5	2,5	4,8	1,9	3,6
Differenz (MHS_m1.GHS-MHS_oGHS)	-1,1	1,1	0,0	2,9	-0,8	-1,9
1. GHS geeignet?	JA	JA	JA	NEIN	JA	JA
Differenz (MHS_m2.GHS-MHS_oGHS)	0,3	0,1	-1,1	2,3	-1,7	0,8
2. GHS geeignet?	JA	JA	JA	NEIN	JA	JA

Der Vergleich der Ergebnisse in den obigen Tabellen zeigt eine geringere Erfolgsquote des alternativen Verfahrens von 83 % im Vergleich zu 100 % bei der bisherigen Hörprobe nach BGI/GUV-I 5147. Da VP 4 aber für beide eingesetzten Gehörschützer sehr hohe Mithörschwellen zeigte, kann man davon ausgehen, dass dieser Proband mit der Versuchsmethode grundsätzlich nicht zurechtkam und das Ergebnis nicht ursächlich mit dem speziellen Gehörschutztyp in Zusammenhang steht. Dies bestätigt die beim internen Anwendungstest (Abschnitt 6.3) gemachte Erfahrung, dass in Hörtests noch gänzlich unerfahrene Probanden beim allerersten Hörversuch aufgrund der neuen, ungewohnten Hörsituation die volle, für die Mithörschwellenbestimmung nötige Konzentration noch nicht aufbringen können. Wie die ebenfalls in 6.3 dokumentierte Erfahrung zeigt, sind diese Anfangsschwierigkeiten aber bereits bei einer ersten Wiederholung des Tests überwunden. Bei den Validierungsmessungen in Nürnberg bestand aber leider keine Möglichkeit der Versuchswiederholung.

7 Diskussion

Folgende grundsätzliche Unterschiede bestehen zwischen der Hörprobe nach BGI/GUV-I 5147 und dem alternativen, computerunterstützten Verfahren:

- **Prüfumgebung:** Die Hörprobe nach BGI/GUV-I 5147 findet auf der Lokomotive und damit für den Tf/Lrf in der üblichen, vertrauten Umgebung statt, während der Gehörschutztest mit RaLa-GS in einem Prüfraum erfolgt, was zunächst einer beruflichen Sondersituation entspricht, vergleichbar z. B. mit einem Besuch beim Betriebsarzt.
- **Hintergrundgeräusch:** Das bei der Hörprobe nach BGI/GUV-I 5147 verwendete Störgeräusch – Dieselmotor fest auf ca. $\frac{2}{3}$ der Nenndrehzahl – ist zeitlich unveränderlich, was nicht der realen Situation entspricht. Dagegen werden beim Gehörschutztest RaLa-GS mehrere unterschiedliche Störgeräusche verwendet, die sich während der Darbietungszeit entsprechend der Realität ändern können und auch unterschiedlich laut sein können.
- **Prüfumfang:** Dieser ist beim programmgesteuerten Gehörschutztest durch die verfügbaren Auswahlmöglichkeiten an Prüfscenarien, Störgeräuschen und Warnsignalen wesentlich größer als bei der Hörprobe nach BGI/GUV-I 5147. Dies ermöglicht sowohl die im Programm RaLa-GS realisierten Auswahloptionen der beiden auf Lrf bzw. Tf zugeschnittenen Prüfscenarien, die sich als Standardtests anbieten, als auch die einer im Detail hinsichtlich Triebfahrzeug, Einsatzfall und Warnsignal individuell konfigurierbaren Hörprobe. Durch die grundsätzliche Möglichkeit, weitere Warn-/Störsignal-Kombinationen aufzeichnen, einspeisen und verwenden zu können, ist eine hohe Flexibilität gegeben und auch eine künftige Anpassung an andere Prüfaufgaben zum Themenkreis Warnsignale möglich.
- **Aufwand:** Der zeitliche und organisatorische Aufwand ist beim programmgesteuerten Gehörschutztest gegenüber der Hörprobe nach BGI/GUV-I 5147 deutlich verringert. Es besteht die Möglichkeit, den Gehörschutztest z.B. in eine wiederkehrende Eignungsuntersuchung 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 mögliche Variabilität des Hintergrundgeräuschs und damit die große Annäherung der akustischen Umgebung an die Realität erfordert in der ungewohnten Umgebung vom Probanden eine deutlich höhere Aufmerksamkeit und Konzentration über eine längere Zeitdauer als bei der Hörprobe nach BGI/GUV-I 5147. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Gehörschutz den Hörtest nicht besteht, ist durch die etwas höheren Anforderungen an den Probanden größer als bei der Hörprobe nach BGI/GUV-I 5147. Ggf. ist bei einem Teil der Probanden, welche die erforderliche Konzentration aufgrund der für sie neuen und ungewohnten Hörsituation nicht sofort aufbringen können, eine Wiederholung des Hörtests – frühestens nach einer Pause von ca. 10 min – erforderlich.

Die Umsetzung der Arbeitsergebnisse erfolgt durch Einführung des Laborverfahrens in den Mitgliedsbetrieben der Eisenbahnunfallkasse und der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft. Nach deren Beschlussfassung kann die Bereitstellung von Prüfapparaturen innerhalb von ca. acht Wochen erfolgen.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Fachinformation BGI/GUV-I 5147: Lärmschutzmaßnahmen für Triebfahrzeugführer und Lokrangierführer. Hrsg.: VBG, Hamburg oder BUK, Frankfurt, 2011.
- [2] Berufsgenossenschaftliche Information: Empfehlungen zur Benutzung von Gehörschützern durch Fahrzeugführer bei der Teilnahme am öffentlichen Straßenverkehr (BGI 673). Hrsg.: Hauptverband der Gewerblichen Berufsgenossenschaften, Sankt Augustin 2003.
- [3] Paulsen, R.: Lärmschutz für Eisenbahnfahrzeugführer und Lokrangierführer. IFA-Report 7/2011. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin 2011. www.dguv.de/ifa, Webcode d123913.
- [4] Dantscher, S.: Gehörschutz für Eisenbahnfahrzeugführer und Lokrangierführer. IFA-Report Nr. 8/2011. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin 2011.
- [5] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations- Arbeitsschutzverordnung – LärmVibrationsArbSchV) vom 6. März 2007. BGBl. I 2007, S. 261 – 277.
- [6] DIN 45631: Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum; Verfahren nach E. Zwicker. Beuth, Berlin, 1991.
- [7] Paulsen, R.: Gehörschützer – Positivliste. In: IFA-Handbuch Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. Kennzahl 420 210/1. Lfg. 1/11, V/2011. 2. Auflage. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin 2011. Erich Schmidt, Berlin 2003 – Losebl.-Ausg. www.ifa-handbuchdigital.de/420210.1.
- [8] 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.
- [9] DIN EN ISO 7731: Ergonomie – Gefahrensignale für öffentliche Bereiche und Arbeitsstätten – Akustische Gefahrensignale. Beuth, Berlin 2008.
- [10] Regel: Sicherungsmaßnahmen bei Arbeiten im Gleisbereich von Eisenbahnen (GUV-R 2150). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2008.
- [11] Regel: Benutzung von Gehörschutz (BGR/GUV-R 194). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2011.
- [12] Lazarus, H.; Wittmann, H.; Weißenberger, W.; Meißner, H.: Die Wahrnehmbarkeit von Rottenwarntyphonen beim Tragen von Gehörschutz. Forschungsbericht Nr. 340. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Dortmund 1983.

- [13] B. Kollmeier, U. Sieben: Messgenauigkeit von adaptiven AFC-Verfahren, Fortschritte der Akustik – DAGA 1984.
- [14] 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.
- [15] Otto, S.: Vergleichende Simulation adaptiver psychometrischer Verfahren zur Schätzung von Wahrnehmungsschwellen. Magisterarbeit im Fachgebiet Audiokommunikation, TU Berlin, 2008.
- [16] Michael Dickreiter et al.: Handbuch der Tonstudioteknik, 8. Auflage, Verlag de Gruyter, 2014.

Anhang

Prüfprogramm RaLa-GS: Tabelle der Warnsignale und Störgeräusche Flussdiagramme

Tabelle A 1. Im Prüfprogramm RaLa-GS verfügbare Warnsignale. Die Nummern in der ersten Spalte sind die programminternen Kurzbezeichnungen der Signale. Erläuterungen zu den Fahrzeugtypen siehe Abschnitt 3.2.

Warnsignal	Fahrzeug	Aufnahmeort	Geräuschquelle
100_1	BR 1001	Gleisbereich	Typhon tief
101_1	BR 1001	Gleisbereich	Typhon hoch
103_1	entfällt	Gleisbereich	Autohupe
112_1	BR 261	Gleisbereich	Typhon tief und hoch
124_1	entfällt	Gleisbereich	Trillerpfeife
125_1	G 6	Mitfahrerstand	Sprechfunk Rangierstand
205_1	BR 261	Führerstand	Sprechfunk Führerstand
206_1	BR 261	Führerstand	SIFA-Signalton
207_1	BR 261	Führerstand	PZB-Signalton
215_1	G 6	Führerstand	Sprechfunk Führerstand
216_1	G 6	Führerstand	SIFA-Signalton
300_1	BR 228	Führerstand	Typhon tief
301_1	BR 228	Führerstand	Typhon hoch
302_1	BR 228	Führerstand	Typhon tief und hoch
305_1	BR 228	Führerstand	Sprechfunk Führerstand
306_1	BR 228	Führerstand	SIFA-Signalton
307_1	BR 228	Führerstand	PZB-Signalton
315_1	Class 66	Führerstand	Sprechfunk Führerstand
316_1	Class 66	Führerstand	SIFA-Signalton
317_1	Class 66	Führerstand	PZB-Signalton
405_1	RS 1	Führerstand	Sprechfunk Führerstand
406_1	RS 1	Führerstand	SIFA-Signalton
407_1	RS 1	Führerstand	PZB-Signalton
Nur für Lrf-Standardtest:			
131_1	BR 1001	Gleisbereich	Typhon hoch
131_2	BR 1001	Gleisbereich	Typhon hoch
131_3	BR 1001	Gleisbereich	Typhon hoch
Nur für Tf-Standardtest:			
141_1	BR 228	Führerstand	Typhon hoch
141_2	BR 228	Führerstand	Typhon hoch
141_3	BR 228	Führerstand	Typhon hoch

Tabelle A 2. Im Prüfprogramm RaLa-GS verwendete Störgeräusche. Die Nummern in der ersten Spalte sind die programminternen Kurzbezeichnungen der Signale.

Störgeräusch	Fahrzeug	Aufnahmeort	Geräuschquelle
1000_1	BR 1001	Mitfahrerstand	Kurvenquietschen
1000_2	BR 1001	Mitfahrerstand	Schienenstoß
1000_3	BR 1001	Mitfahrerstand	Kuppelgeräusch
1001_1	BR 261	Mitfahrerstand	Motorkühler
1001_2	BR 261	Mitfahrerstand	Beschleunigung
1001_3	BR 261	Mitfahrerstand	Bremsenquietschen
1002_1	G 6	Mitfahrerstand	Lastanfahrt
1002_2	G 6	Mitfahrerstand	Lastanfahrt
1002_3	G 6	Mitfahrerstand	Bremsenquietschen
2000_1	BR 261	Führerstand	Beharrungsfahrt
2000_2	BR 261	Führerstand	Beharrungsfahrt
2000_3	BR 261	Führerstand	Kurvenquietschen
2001_1	G 6	Führerstand	Langsamfahrt
2001_2	G 6	Führerstand	Rangierfahrt
2001_3	G 6	Führerstand	Beharrungsfahrt
3000_1	BR 228	Führerstand	Lastanfahrt
3000_2	BR 228	Führerstand	Lastanfahrt
3000_3	BR 228	Führerstand	Beharrungsfahrt
3001_1	Class 66	Führerstand	Schnellfahrt
3001_2	Class 66	Führerstand	Schnellfahrt
3001_3	Class 66	Führerstand	Beharrungsfahrt
4000_1	RS 1	Führerstand	Beharrungsfahrt
4000_2	RS 1	Führerstand	Beschleunigung
4000_3	RS 1	Führerstand	Beschleunigung
Nur für Lrf-Standardtest:			
1003_1	BR 1001	Mitfahrerstand	Schienenstoß
1003_2	BR 261	Mitfahrerstand	Beschleunigung
1003_3	G 6	Mitfahrerstand	Bremsenquietschen
Nur für Tf-Standardtest:			
1004_1	BR 228	Führerstand	Beharrungsfahrt
1004_2	Class 66	Führerstand	Schnellfahrt
1004_3	RS 1	Führerstand	Beschleunigung

Tabelle A 3. Im Prüfprogramm RaLa-GS benutzte Signale für den Lrf-Standardtest. Die Nummern in der ersten Spalte sind die programminternen Kurzbezeichnungen der Signale.

Lrf-Standardtest – Warnsignal	Fahrzeug	Aufnahmeort	Geräuschquelle
131_1	BR 1001	Gleisbereich	Typhon hoch
131_2	BR 1001	Gleisbereich	Typhon hoch
131_3	BR 1001	Gleisbereich	Typhon hoch

Lrf-Standardtest – Störgeräusch	Fahrzeug	Aufnahmeort	Geräuschquelle
1003_1	BR 1001	Mitfahrerstand	Schienenstoß
1003_2	BR 261	Mitfahrerstand	Beschleunigung
1003_3	G 6	Mitfahrerstand	Bremsenquietschen

Tabelle A 4. Im Prüfprogramm RaLa-GS benutzte Signale für den Tf-Standardtest. Die Nummern in der ersten Spalte sind die programminternen Kurzbezeichnungen der Signale.

Tf-Standardtest – Warnsignal	Fahrzeug	Aufnahmeort	Geräuschquelle
141_1	BR 228	Führerstand	Typhon hoch
141_2	BR 228	Führerstand	Typhon hoch
141_3	BR 228	Führerstand	Typhon hoch

Tf-Standardtest – Störgeräusch	Fahrzeug	Aufnahmeort	Geräuschquelle
1004_1	BR 228	Führerstand	Beharrungsfahrt
1004_2	Class 66	Führerstand	Schnellfahrt
1004_3	RS 1	Führerstand	Beschleunigung

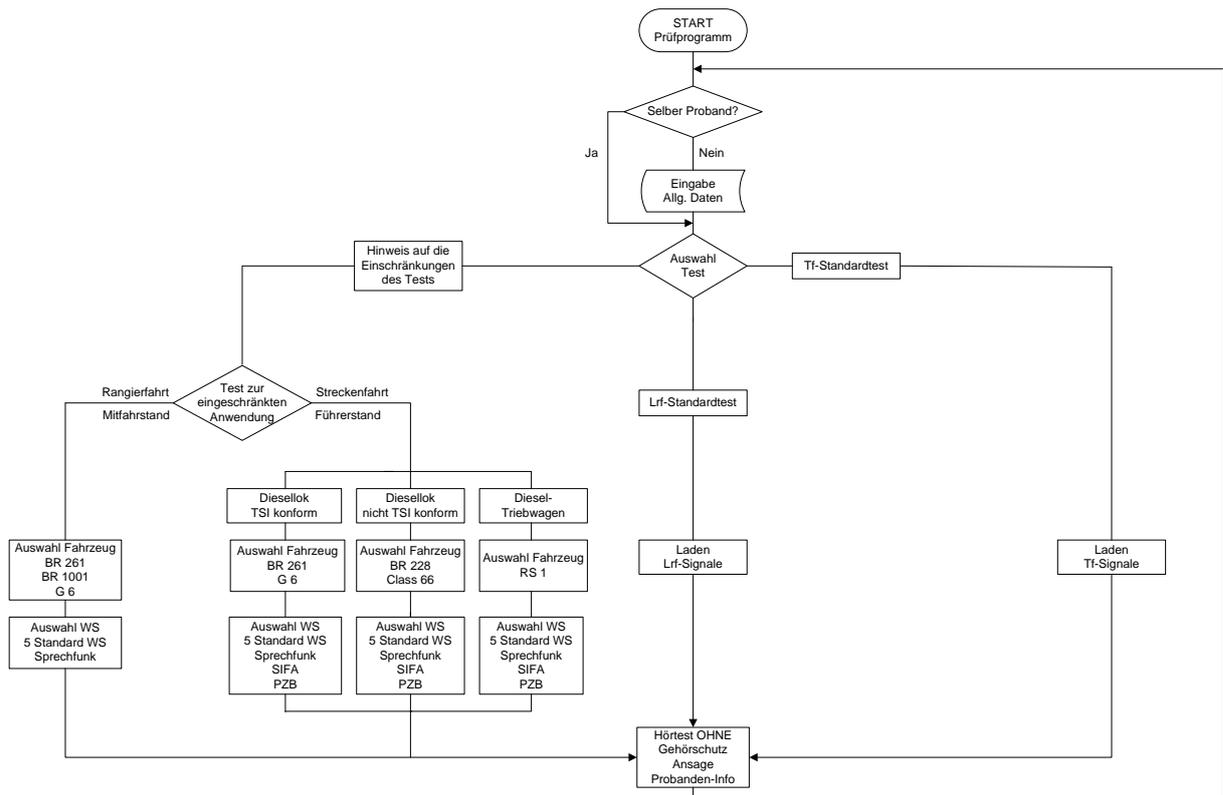


Abbildung A 1. Prüfprogramm RaLa-GS, Testauswahl: Nach der Eingabe der Probanden-Daten wird die gewünschte Testumgebung – Tf- oder Lrf-Standardtest bzw. ein Test zur eingeschränkten Anwendung mit Einzel-Auswahl von Einsatzfall und Fahrzeug gewählt. Danach beginnt der Hörtest mit einer Ansage zur Unterweisung des Probanden zum Testablauf.

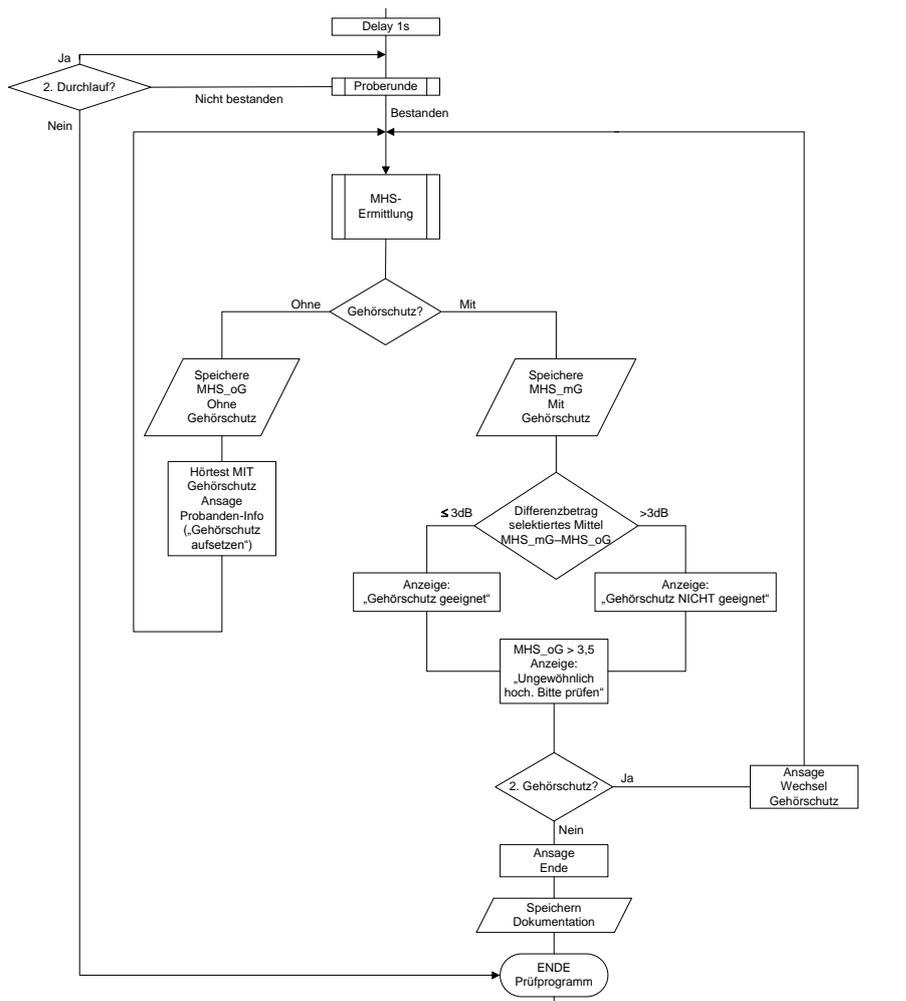


Abbildung A 2. Prüfprogramm RaLa-GS, Ablauf der Tests: Nach erfolgreichem Durchlaufen einer Proberunde zur Verständniskontrolle mit deutlich überschwelligem Warnsignalpegel schließen sich zwei oder drei Programmdurchläufe – ohne, mit 1. Gehörschutz und ggf. mit 2. Gehörschutz – an. Bei jedem Durchgang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

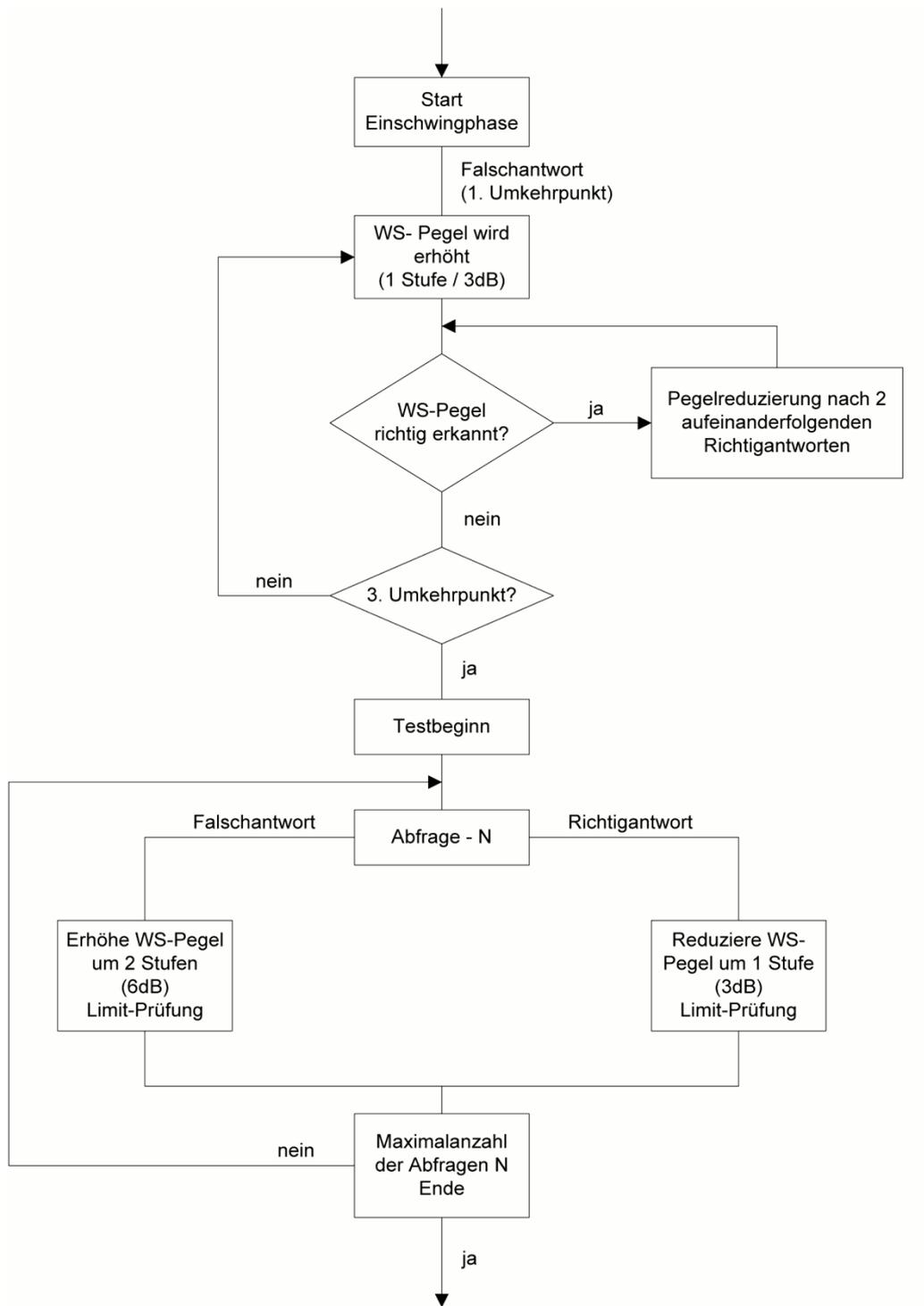


Abbildung A 3. Prüfprogramm RaLa-GS, Unterprogramm zur Ermittlung der Mithörschwelle: In der Einschwingphase erfolgt zunächst eine Annäherung vom deutlich überschwelligen Pegelbereich des Warnsignals in den Bereich der Mithörschwelle. Die eigentliche Mithörschwellermittlung umfasst N = 30 Schallpräsentationen bzw. Abfragen.