



Einfluss der Stoßwelle auf die Schutzwirkung eines Kapselgehörschützers beim Schuss mit einer Jagdwaffe

Karsten Kluth¹ · Pascal Jung¹ · Dennis Wurm¹ · Ingo Schmitz² · Nicolas Sängler¹

Angenommen: 27. Februar 2023 / Online publiziert: 27. März 2023
© Der/die Autor(en) 2023

Zusammenfassung

Zur Überprüfung des Einflusses der Stoßwelle auf den Kapselgehörschutz beim Schuss wurden 73 Jäger befragt, 20 Jäger audiometriert und einzelne Schießversuche mit einer Großkaliberbüchse durchgeführt. Um einen menschlichen Einfluss auf die Messwerte beim Schießen auszuschließen, wurde der verwendete Kapselgehörschützer einem Kunstkopf aufgesetzt. Die Auswertung von Umfrage und Audiometrie ergab, dass die Gehörgefährdung durch den Schussknall weitgehend bekannt ist. Dennoch zeigten sich teilweise dramatische Hörverluste im Audiogramm bei 6000 Hz und eine Differenzierung der Hörminderung zwischen dem der Waffe zugewandten und abgewandten Ohr. Für die Auswertung der durch die Stoßwelle ausgelösten Abhebewegung des Kapselgehörschützers vom Kunstkopf beim Schuss wurde eine Hochgeschwindigkeitskamera eingesetzt. Die Einflüsse von Mündungsbremse und Schalldämpfer auf die Messergebnisse wurden ebenfalls analysiert. Die Bilder dokumentieren, dass es beim abgewandten Ohr zu einer Abhebung der Kapsel beim Schuss sowohl bei blankem Rohr als auch mit aufgesetzter Mündungsbremse kommt, wohingegen bei einem aufgesetzten Schalldämpfer zwar eine geringe Bewegung der Kapsel zu beobachten ist, aber nicht die dämmwirkungsmindernde Spaltbildung zwischen Kapsel und Kunstkopf ausgelöst wird.

Praktische Relevanz: Impulsschallbelastungen mit sehr hohen Spitzenschalldruckpegeln üben eine starke Gehörgefährdung aus. Kapselgehörschützer versprechen eine ausreichende Schutzwirkung, die aber beim Schuss nur bedingt messtechnisch ermittelt werden konnte. Die Empfehlung geht zum kombinierten Gehörschutz oder zum zusätzlich verwendeten Schalldämpfer.

Schlüsselwörter Audiometrie · Gehörschädigung · Impulsschallbelastung · Gehörschutz · Schalldämmung

Influence of the shock wave on the protective effect of an earmuff when fired with a hunting rifle

Abstract

To check the influence of the shock wave on the earmuffs during shooting, 73 hunters were interviewed, 20 hunters were audiometrically tested and individual shooting tests were carried out with a large-caliber rifle. In order to exclude a human influence on the measured values during shooting, the earmuff used was placed on an artificial head. The evaluation of the survey and audiometry showed that the hearing hazard caused by the sound of rifle fire is widely known. Nevertheless, some dramatic hearing losses were shown in the audiogram at 6000 Hz and a differentiation of hearing loss between the ear facing the gun and the ear facing away from the gun. A high-speed camera was used to evaluate the shock wave-triggered lift-off motion of the earmuff from the artificial head during firing. The influences of muzzle brake and silencer on the measurement results were also analyzed. The photos document that the cup is lifted off the opposite ear during firing both with a bare tube and with the muzzle brake in place, whereas a slight movement of the cup can be observed with a silencer in place, but the gap formation between the cup and artificial head, which reduces the attenuation effect, is not triggered.

✉ Prof. Dr.-Ing. Karsten Kluth
kluth@ergonomie.uni-siegen.de

¹ Fachgebiet Arbeitswissenschaft/Ergonomie, Universität Siegen, Paul-Bonatz-Straße 9–11, 57068 Siegen, Deutschland

² Lehrstuhl für Technische Thermodynamik, Universität Siegen, Paul-Bonatz-Straße 9–11, 57068 Siegen, Deutschland

Practical Relevance: Impulse sound exposure at very high peak sound pressure volumes poses a serious risk to hearing. Ear-muffs promise sufficient protection, but this has only been proven to a limited extent during shooting. The recommendation is to use combined hearing protection or an additional silencer.

Keywords Audiometry · Hearing damage · Impulse sound exposure · Hearing protection · Sound attenuation

1 Motivation

Hören und Sehen vermitteln den Menschen die größten Erkenntnisse über den Sinn des Lebens und besitzen damit einen besonderen Stellenwert in unserer Gesellschaft. Die Philosophen Immanuel Kant (1752–1804) und Karl Jaspers (1883–1969) erkannten schon die besondere Bedeutung, die dem Hörsinn zukam. So formulierte Kant „*Nicht sehen können trennt von den Dingen. Nicht hören können trennt von den Menschen*“ und ebenso Jaspers „*Daß wir miteinander reden können, macht uns zu Menschen*“ (Sinambari und Sentpali 2014). Das Gehör und die Sprache prägen die Charakterzüge einer Person und sie beeinflussen deren Stellenwert in der Gesellschaft (vgl. Sinambari und Sentpali 2014). Daher ist es unerlässlich auf sein Gehör nicht nur im Berufsleben, sondern auch in der Freizeit Rücksicht zu nehmen.

Zudem wird die Schönheit und Vielfalt der Natur erst durch die Wahrnehmung von Geräuschen zu einem ganz besonderen Erlebnis. Gerade der Aufenthalt auf Feld und Flur ermöglicht es, ein großes Spektrum dieser faszinierenden Geräusche wahrzunehmen. So lassen sich beispielsweise das Trällern einer aufsteigenden Lerche, das Rufen des Kuckucks, das Plätschern eines Baches oder das Rauschen des Windes, wenn er durch die Baumwipfel weht, genießen. Diese Geräusche bringen vielen Menschen das Gefühl von Entspannung, Muße und Ruhe und damit oft ein erhöhtes Maß an Lebensqualität. Durch die steigende Lebenserwartung ist es wichtig, diese akustischen Wahrnehmungen auch im Alter genießen zu können.

Das immer empfangsbereite Gehör hatte früher in einer ruhigen Umgebung eine bedeutende Funktion sowohl zum Schutz als auch zur Nahrungsfindung der Menschen. So waren Aufmerksamkeit und Wachsamkeit oftmals notwendig, um gegebenenfalls das eigene Leben zu erhalten. Das Gehörte warnte einerseits rechtzeitig vor einer sich nähernden Gefahr und erlaubte andererseits das Jagen von Beute zur eigenen Ernährung. Erhalt von Lebensqualität, Warnung vor Gefahren und insbesondere die Aufnahme von Informationen sind die primären Aufgaben des Gehörs der heutigen Zeit und das in einer stark von Lärm geprägten Umwelt. Die Lebenssituation insbesondere in Industriestaaten erlaubt dem Gehör aber kaum noch Erholungspausen, was die Gefahr der Überforderung bzw. Überanstrengung des Menschen birgt und langfristig die Hörminderung fördert (vgl. Rosen 1970).

Folglich gilt es zum Schutz der Gesundheit und einer von der Gesellschaft immer stärker eingeforderten Lebensqualität, Lärm nicht nur im Berufsleben, sondern auch in der Freizeit zu reduzieren bzw. zu vermeiden. So ist dieser Anspruch insbesondere bei einem Hobby wie der Jagd schon allein durch den Lebensraum „Natur“ gegeben. Er wird jedoch durch die Belastung, durch den Schuss des Jägers, bzw. durch die impulsartige Druckwelle des Schusses, nicht erfüllt. Die Kürze der Schalleinwirkung führt zudem zu oftmals falschen subjektiven Wahrnehmungen. Das ist doppelt problematisch, da ihre Gehörgefährdung einerseits unterschätzt wird und infolgedessen beim Impulslärm oft keine Vorsichtsmaßnahmen bspw. durch das Tragen von Gehörschutz getroffen werden.

Früher wurde das Wild lautlos mit Pfeil und Bogen gestreckt. Seit Jahrhunderten werden aber Schusswaffen eingesetzt, die einen sehr lauten Schussknall in Form einer Stoßwelle erzeugen (vgl. Heilmann 2007). Hauptverantwortlich für den wahrgenommenen Knall ist der Mündungsknall, welcher beim Austritt des Geschosses aus dem Lauf entsteht. Dabei kommt es zu einem plötzlichen Druckabfall an der Laufmündung. Die Zündung der Patronen-Treibladung führt im Patronenlager von Gewehrbüchsen zunächst zu Drücken von bis zu 3800 bar (Nüßlein 1988). Erreicht das Projektil die Nähe der Mündung, beträgt der Druck im Lauf durch das vergrößerte Volumen nur noch 500–600 bar (Neitzel 2014). Hat das Geschoss nun den Lauf verlassen, entspannt sich der Restdruck und sorgt dadurch für einen lauten Knall. Durch die Druckveränderung werden Geräusche unterschiedlicher Frequenz hervorgerufen. Die dominanten Frequenzen unterscheiden sich je nach Waffentyp und Kaliber. So liegen sie bei Großkaliberbüchsen bei etwa 1000 Hz (Neitzel 2014).

Im Allgemeinen erzeugen die gebräuchlichen Jagdwaffenkaliber Spitzenschalldruckpegel von ca. 165 dB(C) (vgl. Recktenwald et al. 2015). Sowohl beim Berufsjäger als auch beim Freizeitjäger wird bei der Schussabgabe das Gehör außerordentlich hohen Belastungen ausgesetzt. Schon ein einziger Schussknall kann eine temporäre oder sogar irreparable Beeinträchtigung des Gehörs in Form einer Hörschwellenabsenkung mit sich bringen (vgl. Hesse 1994). Aus diesem Grunde ist es sehr wichtig, sich der Gefahr durch den Schussknall bewusst zu sein und sich nicht unbewusst einer zusätzlichen schädlichen Belastung auszusetzen.

Es ist jedoch keine Impulsschallbelastung mit einem sehr hohen Spitzenschalldruckpegel notwendig, um mit zunehmendem Alter eine altersbedingte Hörminderung zu erleiden, die mit steigender Lebenserwartung zum Kommunikationsproblem werden kann. Verantwortlich hierfür ist u. a. die in erheblichem Maße überall stattfindende Belastung durch verschiedenste Schallereignisse in Beruf und Freizeit (vgl. Rosen 1970; Bachmann und Vilmar 1999). Laut Boeninghaus und Lenarz (2007) wird die Altersschwerhörigkeit definiert als ein alters-physiologischer bzw. -pathologischer Prozess, ausgehend von lebenslangen Einwirkungen auf das Gehör. Als Ursachen für diese Schwerhörigkeit sind beispielhaft Lärmbelastungen, aber auch verschiedene Erkrankungen wie Durchblutungsstörungen oder Diabetes zu nennen. In ihren Ausführungen gehen Boeninghaus und Lenarz darauf ein, dass jeder Mensch im Alter eine Verschiebung seiner persönlichen Hörschwelle bekommt. Dabei lässt die Hörleistung zuerst im Bereich der hohen Frequenzen nach.

Die durch das Impulsereignis ausgelöste und seit langem bekannte Hörschwellenabsenkung (vgl. Hesse et al. 1994) ergänzt nun den altersbedingten Hörverlust, was zu einer weiteren Eskalation der Gesamtsituation für das Gehör des Betroffenen führen kann (vgl. Strasser 1993). Allgemein kennzeichnet eine Senke eine Hörschwellenabsenkung für eine bestimmte Frequenz. Als c_5 -Senke wird eine Hörschwellenverschiebung bei 4000 Hz aufgrund chronischer Lärmexposition bezeichnet. In der Musik wird diese Frequenz mit dem 5 gestrichenen c beschrieben. Darüber hinaus gibt es noch die fs_5 -Senke, die meist auf eine Schädigung durch ein Knalltrauma – Einwirkdauer der Schalldruckwelle 1–2 ms – hinweist. Hier liegt der größte Hörverlust bei 6000 Hz (vgl. Twardella 2022), was bei den audiometrierten Jägern häufiger nachweisbar war.

Auf Basis dieses Grundlagenwissens wurde ein Fragebogen zum Jagdverhalten konzipiert. Neben den allgemeinen Angaben zur Person sollten Erkenntnisse über die subjektive Hörfähigkeit und mögliche Veränderungen des Gehörs erfragt werden. Zudem waren die Angaben zum Schießverhalten der Jäger notwendig, wie Ort und Anzahl der Schüsse, Waffenart und Munition sowie die Handhabung der Waffe als Rechts- oder Linksschütze. Weiterhin galt es herauszustellen, welche Kenntnisse bzgl. des Gehörschutzes vorlagen und ob und wann er verwendet wurde. Zudem wurde die Positionierung der Jäger zur Verwendung eines Schalldämpfers als primäres Mittel zur Schallminderung ermittelt. An der Befragung beteiligten sich insgesamt 73 deutsche Jäger. Ergänzt wurde die Fragebogenaktion durch die audiometrische Vermessung des Gehörs einer Teilgruppe von insgesamt 20 Jägern. Damit ließ sich auf die tatsächliche Akzeptanz zur Verwendung von Gehörschutzmitteln beim Jagen und auf die Hörfähigkeit schließen.

1.1 Ergebnisse der Befragung zur Verwendung von Gehörschutz bei der Schussabgabe

An der Umfrage haben 73 Personen aus einem Jagdbezirk in Mitteldeutschland teilgenommen. Die Altersstruktur zeigte, dass sich die größte Teilnehmerzahl in der Altersklasse der 20–29-jährigen befand. Die zweitstärkste Gruppe entfiel auf die Altersklasse 50–59 Jahren. Mit 19 Jahren war der jüngste Jäger fast 60 Jahre jünger als der älteste Jäger mit 78 Jahren, das Durchschnittsalter lag bei 44,6 Jahren. Die Anzahl der wöchentlich ausgelösten Schüsse zeigte ebenfalls eine extreme Bandbreite auf. Die maximale Schießleistung wiesen zwei Jäger auf, die jeweils ca. 100 Schuss im Wochendurchschnitt abgaben. Der Jäger mit der geringsten Schießleistung brachte es hingegen auf durchschnittlich unter einen Schuss in der Woche. Im Mittel schossen alle an der Umfrage teilnehmenden Jäger 3,4 Schuss pro Woche.

In Abb. 1 sind die Rückmeldungen bezüglich der Fragen zu Gehör und Gehörschutz dokumentiert. Weitgehend bekannt (98 %) ist dem befragten Personenkreis die Gefahr, die von Schüssen für das Gehör ausgeht. Immerhin wissen fast 80 %, dass es sich um irreparable Schädigungen handeln kann. Zudem liegen Kenntnisse über die gravierenden Hörschädigungen vor.

Fast 50 % der Jäger haben schon Beeinträchtigungen nach dem Schuss erlebt. Bei vielen hält diese Beeinträchtigung sogar über die Jagd hinaus an. Drei Viertel der Befragten, die eine Beeinträchtigung verspüren, haben angegeben, dass die Beeinträchtigung bis zu einer Stunde nach der Ab-



Abb. 1 Wissen über die Gefahr von Hörschäden (oben) und individuelle Beeinträchtigung durch den Schussknall mit Angabe der Dauer der Beeinträchtigung (unten)

Fig. 1 Knowledge of the risk of hearing impairment (above) and individual impairment due to the acoustic shock by the shot with indication of duration of impairment (below)



Abb. 2 Aussagen zur Verwendung von Gehörschutz
Fig. 2 Statements on the use of hearing protection

gabe des Schusses andauert. Für 17 % war sie nach 6 h und für immerhin 6 % sogar noch am nächsten Tag zu spüren.

Beim Tragen des Gehörschutzes muss unterschieden werden zwischen dem Tragen des Schutzes auf dem Schießstand oder bei der Jagd (vgl. Abb. 2). Da sich die meisten Jäger der Gefahr einer Hörschädigung bewusst sind, verwenden nur wenige keinen Gehörschützer beim Schießen auf dem Schießstand, wo der Gehörschutz zudem meistens vorgeschrieben ist. Bei der Jagd trägt hingegen nur ein Viertel der Jäger die persönliche Schutzausrüstung für die Ohren. Als Hauptgrund wird hier die Beeinträchtigung der Wahrnehmung angeführt. Außerdem wird die Handhabung als unpraktisch beschrieben. Ein weiterer Aspekt ist der zeitliche Faktor. So wird bemängelt, dass nicht genug Zeit vorhanden ist, um den Gehörschutz aufzuziehen, wenn das Wild anvisiert wird.

Wie Abb. 3 zeigt, ist der Schalldämpfer für 92 % eine bekannte Möglichkeit des primären Schallschutzes. Die Contra-Aussagen beziehen sich auf den „Spaß am Knall“, die zusätzlichen finanziellen Kosten, die bessere Ortung der Mitschützen im Verbund sowie den leichteren Missbrauch durch Wilderei. Die Aussagen pro Schalldämpfer sind allerdings deutlich vielfältiger. Vorrangig wird der Gehör- und Gesundheitsschutz des Jägers bzw. des Schützen genannt. Weiterhin wird auf die Reduzierung des Umgebungslärms sowie die damit verbundene angenehmere „Atmosphäre“ für Hunde und Wild hingewiesen.

Schalldämpfer als primärer Schallschutz bekannt?

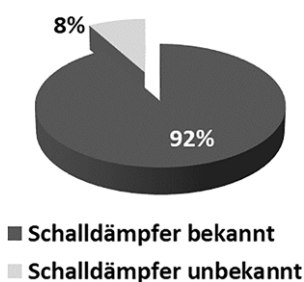


Abb. 3 Wissen und Einstellung zum Schalldämpfer
Fig. 3 Knowledge and attitude to the silencer

1.2 Ergebnisse der Audiometrie

Die Audiometrie ist ein Verfahren zur Bestimmung der individuellen Hörschwelle. Bei der Durchführung wurden den 20 Probanden – 4 Jägerinnen und 16 Jäger – in einer Audiometrikabine Sinustöne mit unterschiedlichen Frequenzen und Pegeln mittels eines klinischen Audiometers vorgespielt. Die Übertragung des Schalls erfolgte über die Luftleitung, bei der über Kopfhörer Töne in einem Frequenzbereich von 125 Hz bis 8 kHz über das Außen- und Mittelohr zum Innenohr geleitet werden. Die vom einzelnen Probanden gerade noch wahrgenommenen Lautstärkepegel wurden in einer Audiogrammkarte als Tonaudiogramm (Hörkurve – Hörpegel über der Frequenz) dokumentiert.

Ziel der Tonaudiometrie war die Ermittlung des Hörvermögens der Jäger, die Aufschluss über die Gehörbeeinflussung durch die Schussabgabe geben sollte. Die ergänzend durchgeführte Befragung ergab, dass zwei Probanden sowohl in der Freizeit als auch im Beruf zur Jagd gehen, während 18 dieses lediglich in ihrer Freizeit tun. Die Altersstruktur der Probanden reichte von 22 bis 75 Jahren ($44,8 \pm 15,9$ Jahre). Exemplarisch werden hier die Ergebnisse von 2 Probanden vorgestellt, die auffällige und auf Basis der bisherigen Kenntnisse interpretierbare Ergebnisse zeigten. Eine vollständige Übersicht über die Ergebnisse der Audiometrie kann Kluth & Wurm (2019) entnommen werden.

Bei der in Abb. 4 vorliegenden Gehörüberprüfung wurde eine Hörschwellenverschiebung im Hochtonbereich ermittelt. Die 58-jährige Person, seit 36 Jahren Bauingenieur, hat den Jagdschein seit 27 Jahren und eine Schießleistung von 10 Schuss/Woche. Ausgehend vom subjektiv als mittelmäßig eingeschätzten Gehör des Rechtsschützen hat es sich im Laufe der Zeit ziemlich stark verändert, was auch durch einen Arzt festgestellt wurde. Weiterhin wurde Tinnitus diagnostiziert. Trotzdem verwendet der Jäger den Gehörschutz nur auf dem Schießstand und nicht auf der Jagd. Bei Betrachtung der Abbildung zeigt sich, dass die Hörleistung, im Vergleich zum rechten Ohr, an seinem linken Ohr deutlich geringer ist. Bei einer Frequenz von 2000 Hz (Hörminderung 35 dB) fällt die Hörkurve stark ab (3000 Hz: Hörminderung 85 dB) und bleibt bei den weiteren Frequenzen etwa konstant um 85–90 dB.

Abb. 5 zeigt das Audiogramm eines 31-jährigen Jägers, Linksschütze, der als Elektrotechniker arbeitet und dadurch regelmäßig Maschinenlärm ausgesetzt ist. Es ergab sich bei der Audiometrie eine starke Hörschwellenverschiebung am rechten Ohr. Bei der Befragung bewertet der Proband sein Gehör als ziemlich gut und gar nicht verändert, merkt jedoch an, dass es teilweise zu Problemen bei Unterhaltungen kommt. Laut eigener Aussage hört der Proband mit dem rechten Ohr besser und nicht – wie die ermittelten Werte der Audiometrie belegen – mit dem linken Ohr. Es

Abb. 4 Audiogrammkarte eines Rechtsschützen

Fig. 4 Audiogram card of a right-hand shooter

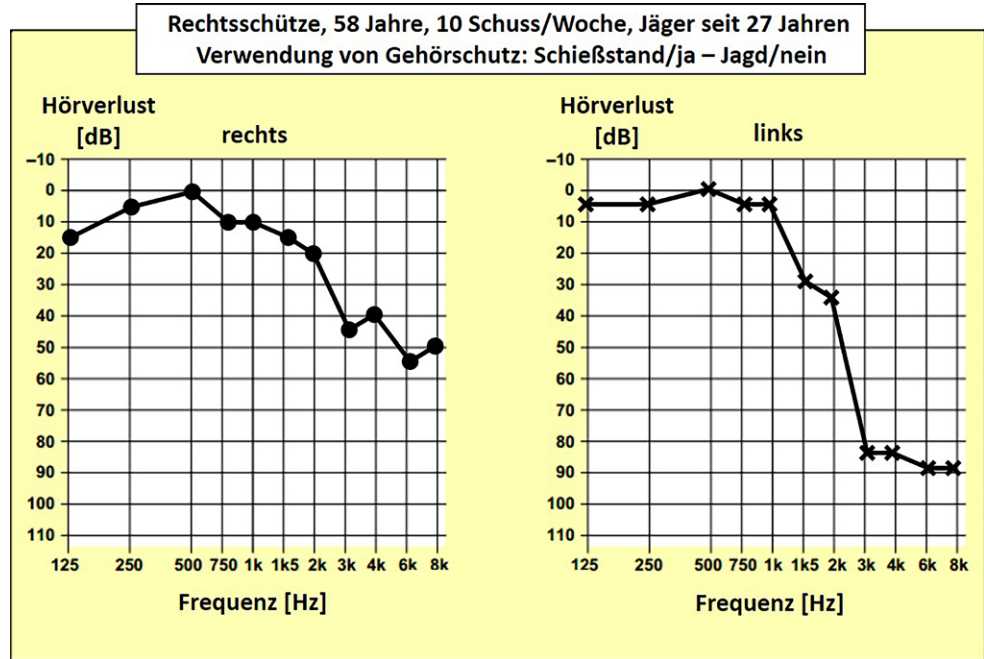
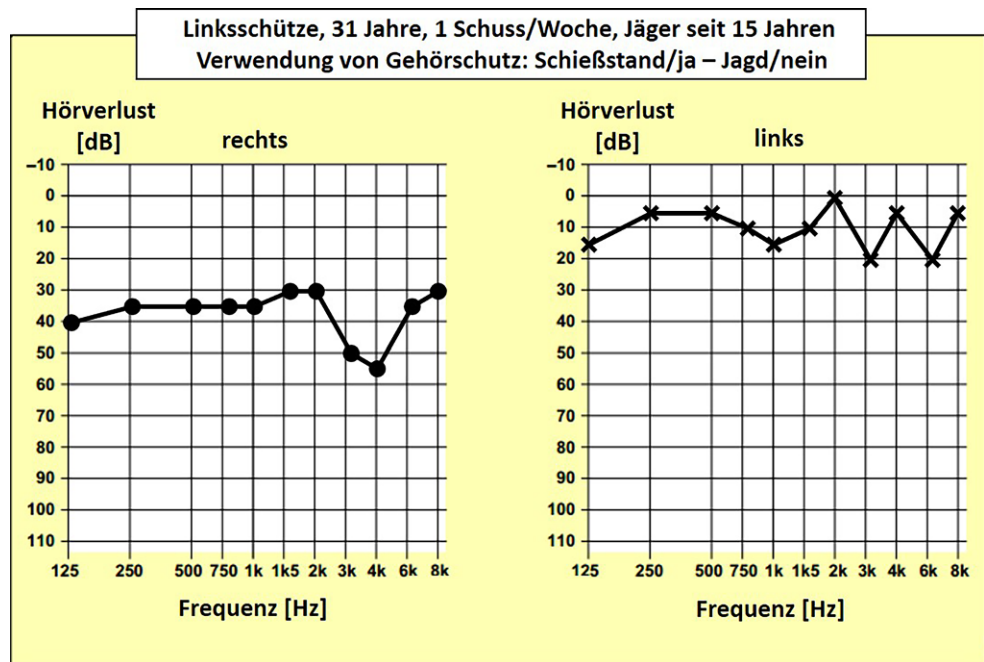


Abb. 5 Audiogrammkarte eines Linksschützen

Fig. 5 Audiogram card of a left-hand shooter



wird jedoch auch hier deutlich, dass bei 6000 Hz ein zweites Maximum der Hörschwellenverschiebung für das linke Ohr erreicht wird, was wiederum in Verbindung mit einem Knalltrauma stehen kann. Die widersprüchlichen Aussagen lassen die Unsicherheit bei der eigenen Einschätzung des Gehörs erkennen. Insofern ist immer eine ergänzende Audiometrie zu empfehlen.

Bei der Auswertung aller audiometrierten Jäger konnte eine statistisch aber nicht als signifikant nachweisbare Beobachtung zwischen Schießausrichtung und Hörschwell-

lenverschiebung festgestellt werden, welche besagte, dass das der Waffe abgewandte Ohr häufiger eine Schädigung aufweist als das Ohr, welches beim Abfeuern der Waffe dem Gewehrschaft zugewandt ist.

Die Ergebnisse der weiteren durchgeführten audiometrischen Untersuchungen zeigen zudem, dass der Einsatz von Schusswaffen ohne Gehörschutz die nachlassende Hörfähigkeit im Alter weiter steigert und die Hörschwellenverschiebung verstärkt. Dieses Ergebnis wird auch durch die Studie von Counter und Klareskov (1990) bestärkt. Die bei-

den Forscher der Harvard Medical School untersuchten das Gehör von grönländischen Einwohnern, die keinerlei industriellen Geräuschen ausgesetzt sind. Sie stellten bei dieser Studie fest, dass ca. 75 % der Männer, die mit Schusswaffen zur Jagd gehen, einen Hörschaden haben. Im Vergleich wurde bei den Frauen, die nicht zur Jagd gehen und somit keinem Schussknall ausgesetzt sind, ein dem Alter entsprechend normales Gehör ermittelt.

1.3 Kapselgehörschützer – eine mehr oder weniger häufig genutzte persönliche Schutzausrüstung beim Schuss

Der Gehörschutz ist sowohl bei der Jagd als auch im Schießsport eines der wesentlichsten Elemente der persönlichen Schutzausrüstung. Hierbei ist die Bauform als Kapselgehörschutz besonders weit verbreitet. Bei der Auswahl eines geeigneten Modells werden häufig die in den Datenblättern angegebenen Dämmwerte betrachtet, um zu überprüfen, ob eine ausreichende Dämmleistung für den Anwendungsfall vorhanden ist. Die in den Datenblättern angegebenen Dämmwerte beziehen sich jedoch auf einen korrekt aufgesetzten Gehörschutz, welcher während der Schallbelastung nicht beeinflusst wird. Das steht in deutlichem Gegensatz zu der Anwendungssituation beim Abfeuern einer Schusswaffe mit großem Kaliber, die durch den Rückstoß beim Schuss eine stark dynamische Belastung von Schütze und Gehörschutz nach sich zieht.

Im Schießsport wird der Kapselgehörschutz auch deshalb am häufigsten verwendet, weil dieser für komfortabler als die gängigen Gehörstöpsel aus Kunststoffschäumen empfunden wird, eine gute Dämmleistung bietet und beim häufigen Auf- und Absetzen praktischer als die Einwegstöpsel ist. In den meisten Fällen kommen passive Kapselgehörschützer zum Einsatz, da mit ihnen die Verständigung untereinander und mit der Schießaufsicht immer noch möglich ist und somit ein hochpreisiger aktiver Gehörschutz nicht notwendig wird. Im jagdlichen Bereich stellt der Gehörschutz ein weitaus größeres Problem dar. So dominiert auch bei den in diese Untersuchung involvierten Jägern häufig noch die Ansicht, dass „ein einzelner Schuss“ auf der Jagd nicht so schlimm ist. Zudem wird die Meinung vertreten, es gehöre sich nicht auf dem Hochsitz „Mickymäuse“ zu tragen, mit der Begründung, dass man das Wild so nicht mehr hören könne. Jedoch war in den letzten zehn Jahren zu beobachten, dass sich insbesondere auf den Gesellschaftsjagden die aktiven Gehörschützer immer weiter durchgesetzt haben und von manchen Jägern ein teurer Gehörschutz ähnlich wie eine teure Waffe als eine Art Statussymbol empfunden wird, was in diesem Fall der Akzeptanz in der Jägerschaft Vorschub leistet. Zudem ist bekannt, dass durch die aktiven Gehörschützer namhafter Hersteller insbesondere auf Treibjagden bei günstigen Umgebungsbe-

dingungen die Entfernung, auf welche die Geräusche des heranwechselnden Wildes wahrgenommen werden können, deutlich vergrößert wird, was für den Jäger einen signifikanten Vorteil darstellt.

Die zunehmende Bereitschaft zum Tragen eines Kapselgehörschützers sollte durch diesen auch unterstützt werden, indem er die notwendige Schutzwirkung bietet. Diese wäre aber anzuzweifeln, wenn die nicht signifikant nachweisbare Beobachtung zwischen Schießausrichtung und gesteigerter Hörschwellenverschiebung am abgewandten Ohr zutrifft. Für den Versuch des Nachweises der Beobachtung wurde die Arbeitshypothese formuliert, dass die sich beim Abfeuern einer Waffe mit Großkalibermunition an der Mündung bildende Stoßwelle die Gehörschutzkapsel auf der waffenabgewandten Seite intensiver erfasst, eine Bewegung der Kapsel verursacht und in der Folge sich durch diese Bewegung ein Spalt zwischen dem Kopf des Schützen und der Dichtlippe der Gehörschutzkapsel bildet.

Der Fokus der nachfolgend beschriebenen messtechnischen Analyse richtete sich allein auf den Nachweis eines möglichen Abhebens der gewehrabgewandten Kapsel vom Kopf, weshalb die von Schützen zu Schützen unterschiedliche leichte Kopfneigung und Kopfdrehung unberücksichtigt blieb. Die Mikrofone des Kunstkopfes waren ausgebaut und durch ein Schwingungsmesssystem ersetzt, welche die mögliche Abhebebewegung zusätzlich beweisen sollte. Auf das Schwingungsmesssystem wird in diesem Beitrag nicht eingegangen.

2 Ursachen für eine reduzierte Dämmleistung von Kapselgehörschützern

Es ist notwendig, dass der Gehörschutz beim Abfeuern einer Schusswaffe seine volle Dämmung besitzt, damit bei einem Schussknall von ca. 165 dB(C) (vgl. Recktenwald et al. 2015) und der Dämmung eines Kapselgehörschützes von etwa 30 dB (vgl. N. N. 2022) sich der Schalldruckpegel am Ohr deutlich unter der Schädigungsgrenze des Gehörs befindet. Im Umkehrschluss wird die Reduzierung der Dämmleistung die Wahrscheinlichkeit einer Schädigung des Gehörs erhöhen.

Signifikant im Aufbau eines Kapselgehörschützes ist die Umschließung der gesamten Ohrmuschel. Primär wird das durch eine Kunststoff-Schale erreicht, welche an den Kontaktstellen zum Kopf mit Dichtungsringen versehen sind. Die Dichtringe können mit Schaumstoff, Luft oder Flüssigkeit gefüllt sein (Veit 2012). Ein Bügel aus Kunststoff oder Federstahl verbindet die beiden Kapseln und sorgt für eine ausreichende Andruckkraft am Kopf. Sie trägt in der Regel bis zu 10 N, darf nach DIN EN 352-1 (vgl. DIN EN 352-1 2021) bis zu 14 N betragen. Die Höhe der Andruckkraft beeinflusst den Tragekomfort maßgeblich. Im Inneren sind

die Kapseln mit einem schalldämmenden Material ausgekleidet, dessen Schallabsorption frequenzabhängig ist.

Als mögliche Ursache für eine reduzierte Dämmwirkung des Gehörschutzes auf der waffenabgewandten Seite sind folgende Einflüsse denkbar:

1. Falsche Benutzung des Kapselgehörschützers: Das wird als mögliche Ursache für die Gehörschäden auf der waffenabgewandten Seite der Schützen nicht näher betrachtet, da die Schäden bei einer größeren Anzahl von Probanden festgestellt wurden, was eine kollektive falsche Benutzung des Kapselgehörschützers unwahrscheinlich erscheinen lässt.
2. Der Rückstoß der Waffe wird auf den Körper des Schützen übertragen, wodurch sich der Kopf ruckartig bewegt und der Gehörschutz für eine gewisse Zeit während der Schallbelastung nicht mehr vollflächig aufliegt. Auch hierauf wird nicht weiter eingegangen, da sich der Rückstoß auf beide Gehörschutzkapseln auswirken müsste, was nicht zu der oftmals einseitigen Gehörschädigung der Schützen passt.
3. Der Gehörschutz wird durch die von der Mündung ausgehende Stoßwelle der expandierenden Verbrennungsgase erfasst. Das könnte dazu führen, dass der Gehörschutz verschoben oder abgehoben wird und somit die Dämmleistung während des Schusses reduziert wird. Diese Möglichkeit wurde als real eingeschätzt und im Versuch hinterfragt.

Da die Stoßwelle an der Waffenmündung ein Verdichtungsstoß ist (vgl. Erdos und Del Guidice 1975), besitzt diese aufgrund des sprunghaften Druckunterschieds die Möglichkeit eine Kraft auf die von ihr erfassten Objekte auszuüben und diese zu bewegen (vgl. Buck 2009; Nakashima und Farinaccio 2015). Die Stoßwelle ist abhängig vom Gasvolumen und dem Mündungsgasdruck, breitet sich mit zu-



Abb. 6 Schlierenaufnahme – Ausbreitung der Stoßwelle beim Gewehrschuss (Settles 2004)

Fig. 6 Schlieren photograph—expansion of the shock wave during a rifle shot (Settles 2004)

nehmendem Abstand näherungsweise kugelförmig aus (vgl. Abb. 6) und erreicht den Kopf des Schützen. Somit ist es grundsätzlich auch denkbar, dass die Stoßwelle eine Bewegung bis hin zu einer Abhebung des Gehörschutzes vom Kopf auslösen und damit eine Verringerung der Dämmleistung bewirken kann (vgl. Buck 2009). Die durch das Abheben ausgelöste Leckage würde dann eine ähnliche Verringerung der Schutzwirkung des Kapselgehörschützers bewirken, wie sie hinlänglich bekannt durch den von Brillenbügeln verursachten Spalt zwischen Dichtkissen und Kopf entsteht (vgl. Abel et al. 2002; Nakashima 2015; Nakashima und Farinaccio 2015; N. N. 2020a, 2021). Eine Stoßwelle kann darüber hinaus von Oberflächen reflektiert werden (vgl. Sadwin et al. 2017; Nakashima und Farinaccio 2015). Für die zu untersuchende Wirkung der Stoßwelle auf den Kapselgehörschutz kann das bedeuten, dass dieser je nach Versuchsumgebung (z. B. Verwendung eines Schießtisches als Waffenaufgabe) von zwei Wellen statt nur einer Stoßwelle erfasst wird. Dieses kann dann wiederum dazu führen, dass die reflektierte Stoßwelle genau dann auf den Gehörschutz trifft, wenn dieser durch die Auswirkungen der primären Stoßwelle nicht seine volle Dämmleistung besitzt, was die Zeit des verminderten Schutzes verlängert und so eine Schädigung des Gehörs forcieren kann.

3 Einflüsse der Mündungsaufsätze auf die Stoßwelle

Waffenkomponenten wie Mündungsaufsätze, unterschiedliche Lauflängen und Kaliber können einen erheblichen Einfluss auf den Mündungsgasdruck und damit auf die Eigenschaften der Stoßwelle haben. Somit ist auch ein signifikanter Einfluss der einzelnen Komponenten auf die Versuchsergebnisse zu erwarten. Die verschiedenen Mündungsaufsätze können grundlegend in die Gruppen „blanke Mündung“, „Mündungsbremsen“ und „Schalldämpfer“ unterteilt werden.

Die „blanke Mündung“ bezeichnet eine Waffenmündung ohne jegliche Aufsätze und ist bei Jagdwaffen am geläufigsten, da jagdlich Schalldämpfer erst seit kurzem erlaubt sind (vgl. N. N. 2020b) und Mündungsbremsen im jagdlichen Gebrauch zwar nicht notwendig sind, bei großen Kalibern aufgrund der Minderung des Rückstoßes aber doch zum Einsatz kommen. Als Mündungsbremsen werden Aufsätze bezeichnet, welche durch ihre Geometrie, die meist aus Bohrungen oder Prallflächen bestehen, einen Teil der Verbrennungsgase beim Schuss nach hinten Umleiten, um den Rückstoß der Waffe zu reduzieren. Die Prallflächen sind meist $\geq 90^\circ$ zur Laufachse ausgerichtet. Da bei diesen Aufsätzen die Verbrennungsgase auch in Richtung des Schützen geführt werden (vgl. Li und Zhang 2020) und zudem durch die Mündungsbremse die Strömung intensiviert

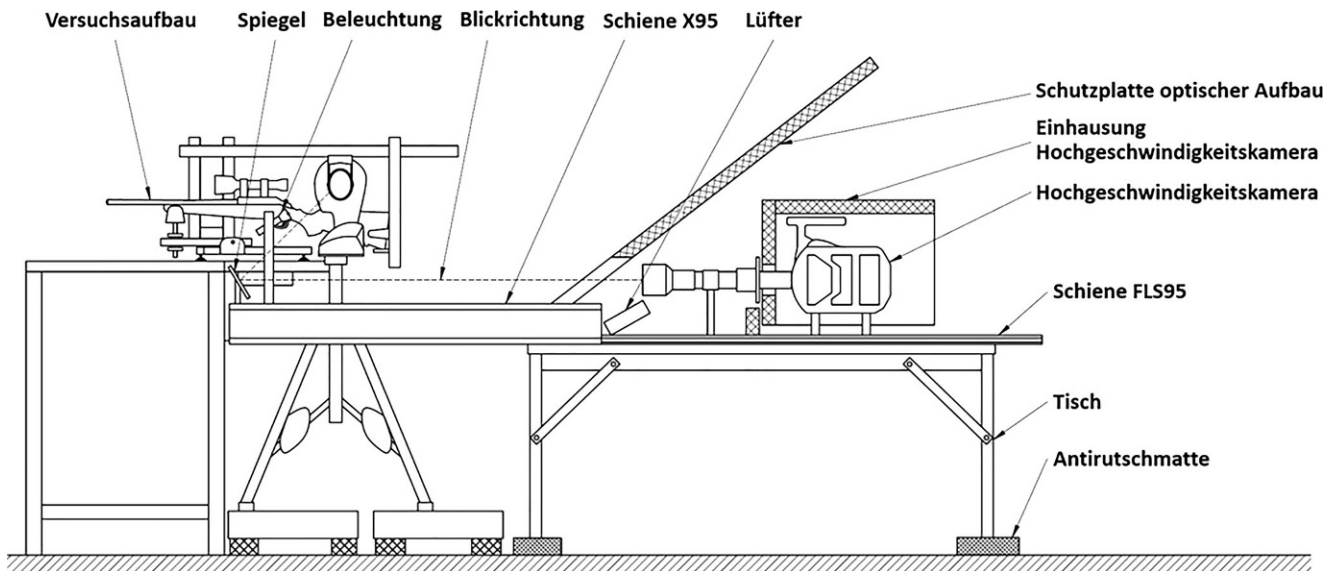


Abb. 7 Versuchsaufbau für die Hochgeschwindigkeitsaufnahmen

Fig. 7 Experimental setup for the high-speed images

wird (vgl. Zhang et al. 2013) ist zu erwarten, dass ein Versuchsaufbau mit Mündungsbremse einen größeren Einfluss auf den Kapselgehörschutz zeigt als die Variante mit „blanker Mündung“, zumal die Mündungsbremse in Abhängigkeit der verschossenen Patrone auch bis zu 8 dB höhere Pegel am Ohr verursacht (N. N. 2012). Mündungsaufsätze werden am häufigsten bei Sportschützen genutzt, um beim Schießen längerer Serien weniger durch den Rückstoß der Waffe belastet zu werden und um den Hochschlag der Waffe und das damit verbundene Herauswandern des Fadenkreuzes aus dem Ziel zu verringern. Der Schalldämpfer ist ein Mündungsaufsatz, welcher durch das Abbremsen der Verbrennungsgase den „Mündungsgasdruck“ an der Austrittsöffnung des Schalldämpfers mindert, so dass der Einfluss der Druckwelle auf einen Kapselgehörschutz durch diesen Mündungsaufsatz deutlich geringer ausfällt und so die Schallbelastung des Schützen reduziert wird. Es war zu erwarten, dass der Einfluss der weniger stark ausgeprägten Druckwelle auf einen Kapselgehörschutz durch diesen Mündungsaufsatz deutlich geringer ausfällt als bei den zuvor genannten Varianten.

Da alle Versuche mit nur einer Waffe ausgeführt wurden, konnten die weiteren möglichen Einflüsse auf die Stoßwelle – Lauflänge, Kaliber und Laborierung der Patrone – konnten einerseits nicht untersucht werden, nahmen andererseits aufgrund der identischen Waffe und nur einer Geschossart aber auch keinen Einfluss auf die Ergebnisse. Als Versuchswaffe wurde die Kombination Büchse American Rifle Predator Kaliber 0,308 Win des amerikanischen Herstellers Ruger mit dem Geschoss B-062 (Pulversorte RS 60, Pulvermenge 49,1 grain) ausgewählt. Als Mündungsaufsätze kamen neben der „blanken Mündung“ die Mündungsbremse

C22 des Deutschen Herstellers Roedale sowie der Schalldämpfer Sonic 50 des dänischen Herstellers Nielsen zum Einsatz.

4 Auswertung der Spaltbreite mittels Ultra High Speed-Aufnahmen

Um die Bildung eines Spaltes zwischen Kopf und Gehörschutzkapsel nachweisen zu können, wurde ein Versuchsaufbau konstruiert (siehe Abb. 7), welcher es ermöglichte, den kritischen Bereich zwischen Kopf und Gehörschutzkapsel während der Schussabgabe mit einer UHS-Kamera (Ultra High Speed) zu betrachten. Dabei wurde der optische Aufbau vollständig von dem Aufbau des als Ersatz für den menschlichen Kopf verwendeten Kunstkopfes Head acoustics HMS II.2 mit aufgesetztem Gehörschutz Peltor Optime II getrennt. Der optische Aufbau bestand aus folgenden Komponenten:

- UHS-Kamera: Phantom 1612
- Objektiv: Walimex Pro 500 mm, F8.0
- Telekonverter: x2
- Zwischenring: 1 × 12 mm
- Frontlinse: +1 Dioptrien

Es wurden sämtliche Bestandteile des optischen Aufbaus über eine FLS 95-Schiene auf einem Tisch montiert, um eine wiederholgenaue definierte Lage der einzelnen Elemente zueinander zu erreichen. Die Beleuchtung bestand aus einer einstellbaren optischen Halterung und zwei LEDLENSER P7-Taschenlampen. Ein Umlenkspiegel und die Beleuchtungseinheit wurden auf einer X 95-Schiene montiert, wel-

che ihrerseits dann auf der FLS 95-Schiene befestigt war. Durch diesen Aufbau hatten alle Komponenten des optischen Aufbaus eine definierte Lage zueinander und waren von dem Schießtisch und den Auswirkungen des Rückstoßes der Waffe entkoppelt. Der Umlenkspiegel selbst war so nah wie möglich am Schießtisch positioniert, um so flach wie möglich auf speziell am Kunstkopf und der Gehörschutzkapsel aufgebrachte optische Marker zu blicken, die ein mögliches Abheben erkennbar machen sollten (vgl. Abb. 8). Der Abstand zwischen Spiegel und Marker betrug 35 cm. Das Objektiv musste anhand seiner Brennweite auf der Schiene positioniert werden. Der Abstand von Objektiv zum Spiegel betrug hierdurch 64 cm.

Zum Schutz der Hochgeschwindigkeitskamera vor un- verbrannten Pulverpartikeln und Staub wurde diese nach vorne mit einem Gehäuse aus 30 mm starken Styroporplatten eingehaust und die Öffnungen an der Tischkante und dem Objektiv mit Blenden abgedeckt. Die Platte verdeckte auf der kompletten Breite den optischen Aufbau und wurde von separaten Ständern gehalten, welche keinen Kontakt zum optischen Aufbau oder den Tischen hatten. Dieses sollte sicherstellen, dass sich die in Richtung des optischen Aufbaus ausbreitende Stoßwelle durch die Schutzplatte abgefangen ließ und somit ein Verwackeln der Aufnahme vermieden wurde. Um die Gefahr einer unscharfen Hochgeschwindigkeitsaufnahme zusätzlich zu verringern, wurden die Tischbeine mit Hilfe von 3 mm × 10 mm starken Stahlstreben verstärkt. Zudem wurden auf dem Tisch zwei mit ca. 50 kg Bleigranulat gefüllte Eimer gestellt, um mittels der erhöhten Massenträgheit ein Verwackeln der Aufnahme durch die Impulswelle zu vermeiden. Zuletzt wurde im Bereich des Sichtfensters in der Schutzplatte ein leistungsstarker Ventilator auf der FLS 95-Schiene angebracht, um die Objektivlinse noch besser vor Schießpulver-Partikeln zu schützen.

Für die Durchführung der Versuche wurde die UHS-Kamera Phantom 1612 folgendermaßen eingestellt:

- Auflösung: 1280 × 800 Pixel
- Bildrate: 3000 fps
- Belichtungszeit: 125 µs
- EDR (Extreme Dynamic Range): 125 µs
- Exposure index: 320.000

Für eine möglichst präzise Auswertung der Aufnahmen wurden selbst erstellte Marker verwendet. Diese bestanden aus Acrylfolie und wurden mit Hilfe eines Silhouette Portrait 3 Folienschneidplotters hergestellt. Als Markermaterial wurde weiße Acrylfolie gewählt. Zur Verstärkung des Kontrasts wurde der Marker mit schwarzer Acrylfolie unterlegt. Für die Marker wurde das in Abb. 8 erkennbare Rautenmuster verwendet.

Vor Beginn der Versuchsreihe wurde ein „Probeschuss“ abgegeben, um möglicherweise vorhandenes Öl aus dem



Abb. 8 Kunstkopf mit aufgebrachten Rautenmarkern für die optische Erkennung einer Abhebewegung

Fig. 8 Artificial head with applied diamond markers for optical detection of a lifting movement of the hearing protector capsule

Lauf zu entfernen und so den optischen Aufbau vor einem Ölnebel zu schützen. Danach erfolgten jeweils 3 Schuss für die Varianten aufgesetzte Mündungsbremse, blanke Mündung und aufgesetzter Schalldämpfer.

4.1 Mündungsbremse

Die in Abb. 9 beispielhaft dargestellte Auswertung der Hochgeschwindigkeitsaufnahmen veranschaulicht insbesondere bei aufgesetzter Mündungsbremse ein deutliches Abheben der Gehörschutzkapsel vom Kopf. Die Abbildung zeigt im oberen Teil die Ausgangslage vor dem Schuss und im unteren Teil einen leicht unsymmetrischen Spalt nach der Schussabgabe von 0,155 mm am oberen Messpunkt und von 0,115 mm am unteren Messpunkt. Hierbei ist besonders hervorzuheben, dass bei diesem Mündungsaufsatz zwei (hier nicht dargestellte) Abhebevorgänge erkennbar sind, welche im Durchschnitt fast den gleichen Abhebewegungen erzeugen. Nach dem ersten Abheben bewegt sich die Kapsel in ihren Ausgangszustand zurück, um dann ein zweites Mal abzuheben. Die Zeitdauer bis zur sich wiederholenden Leckage betrug zwischen 2,3 und 3,3 ms. Die Zeitdauer vom Schussknall bis zur Leckage ist nicht dokumentiert, da das Kamerasystem auf die Kapsel des Gehörschützers gerichtet war.

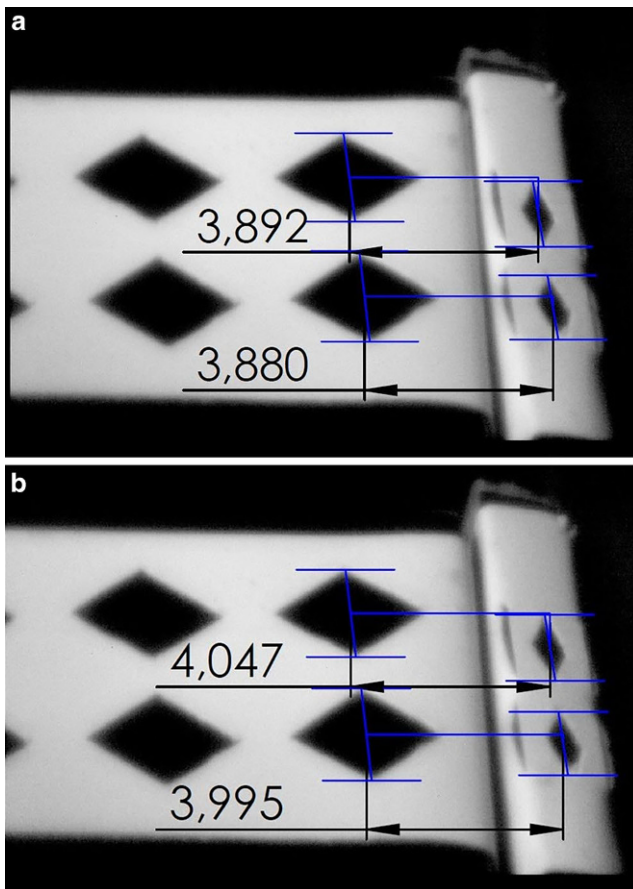


Abb. 9 Bildauswertung mittels Rautenmuster zum Nachweis der Spaltbildung durch die Stoßwelle bei Verwendung einer Mündungsbremse, **a** vor der Spaltbildung, **b** während der Spaltbildung
Fig. 9 Image evaluation by means of diamond pattern for the detection of gap formation by the shock wave when using a muzzle brake, **a** before the gap formation, **b** during the gap formation

Da zwischen den Abhebevorgängen ein statischer Bereich zu erkennen ist, erscheint es plausibel, dass es sich hierbei um die Auswirkungen von zwei getrennten Stoßwellen handelt, d. h. nicht um einen Rückfedervorgang, sondern um eine reflektierte Stoßwelle auf der Oberfläche des Schießtisches.

Eine über alle Schussversuche gemittelte Abhebung von 0,11 mm erscheint zunächst von minimaler Größe, jedoch gilt es zu beachten, dass eine notwendige, äußerst schnelle Entspannung des Dichtkissens der Kapsel nicht erfolgt. Die Gehörschutzkapsel sitzt nicht mehr dicht am Kopf und damit ist die Schutzwirkung deutlich gemindert.

4.2 Blanke Mündung

Die Hochgeschwindigkeitsaufnahmen ohne Mündungsaufsatz zeigen einen geringeren Abhebeweg als zuvor mit der Mündungsbremse von durchschnittlich 0,03 mm. Der Abhebevorgang kann in diesen Fällen nur als einzelnes Bild mit

einem erkennbaren Abhebeweg identifiziert werden. Somit kann nicht mit Sicherheit bestimmt werden, ob es sich bei dem ausgewerteten Abstand um die maximale Auslenkung oder lediglich um eine Zwischenposition handelt. Es untermauert aber die Annahme, dass die Stoßwelle, von welcher Schütze und Gehörschutz getroffen werden, deutlich schwächer ist als bei aufgesetzter Mündungsbremse.

4.3 Schalldämpfer

Da die Aufnahmen mit aufgesetztem Schalldämpfer keine Abhebewegung erkennen lassen, kann daraus geschlossen werden, dass auch die möglicherweise noch vorhandene Stoßwelle im Vergleich zu den anderen Aufsätzen am schwächsten ausfällt. Das lässt darauf schließen, dass der Schalldämpfer in der Lage ist den Spitzenschalldruckpegel zu reduzieren, darüber hinaus aber auch die Bildung einer Stoßwelle mit dem Potenzial die Gehörschutzkapsel abzuheben effektiv verhindern kann.

4.4 Rückstellverhalten des Kapseldichtkissens

Aufgrund der kurzen Zeitspanne, in welcher sich die mögliche Abhebewegung des Gehörschutzes abspielt, muss auch das Rückstellverhalten des Schaumstoffes des Kapseldichtkissens (Gehörschutzpolster) zusätzlich betrachtet werden, da sich dieses möglicherweise nicht schnell genug ausdehnt, um einen entstandenen Spalt zwischen Gehörschutz und Kopf zu schließen, um so letztlich das Gehör ausreichend zu schützen.

In einem separat durchgeführten Versuch wurde das Rückstellverhalten des Kapsel-Schaumstoffes untersucht und die Geschwindigkeit für die Rückstellung gemessen, nachdem zuvor ein Eindringen des Schaumstoffes erfolgt war. Bei einem Eindringen um 3 mm, was annähernd der Verformung des Dichtkissens beim Anlegen der Kapsel an den Kopf entspricht, betrug die mittlere Rückstellgeschwindigkeit 7,079 mm/s. Mit dem bei Verwendung der Mündungsbremse entstandenen Spalt von ca. 0,1 mm ergab sich eine Rückstellzeit des Schaumstoffes von 14,1 ms. Die ermittelten Rückstellgeschwindigkeiten weisen klar darauf hin, dass das Rückfedern des Gehörschutzes mit 1,5 ms fast zehn Mal schneller ist als die Zeit die der Schaumstoff benötigen würde, um den entstandenen Luftspalt zwischen Gehörschutz und Kopf durch Ausdehnen zu verschließen. Aus diesem Grund kann angenommen werden, dass das Gehörschutzpolster nicht in der Lage ist, den Schützen vor einem Spalt zu schützen, der durch einen dynamischen Abhebevorgang infolge einer Stoßwelle entsteht.

5 Zusammenführung der Ergebnisse und Diskussion

Es konnte nachgewiesen werden, dass die Stoßwelle, welche durch das Abfeuern einer Großkaliberbüchse entsteht, in der Lage ist einen Kapselgehörschutz vom Kopf des Schützen abzuheben. Buck (2009) dokumentierte diese Situation bei einer Stoßwelle mit einem Spitzenschalldruckpegel von 190 dB. Durch die Bewegung der Gehörschutzkapsel während der Schallbelastung ist es äußerst fraglich, ob die in den Datenblättern des Gehörschutzes angegebenen und normgerecht ermittelten Dämmwerte noch erreicht werden. Zudem deutet die Untersuchung des Gehörschutzpolsters darauf hin, dass das Rückstellverhalten des Schaumstoffs nicht ausreicht, um den Schützen wirksam vor einer Spaltbildung zwischen Kopf und Gehörschutzpolster zu schützen.

Eine weitere wichtige Erkenntnis ist, dass die Art des Mündungsaufsatzes eine wesentliche Rolle in Bezug auf die Gefährdung des Gehörs des Schützen spielt. Wie Li und Zhang (2020) und Zhang et al. (2013) dokumentieren, sind insbesondere Mündungsbremsen als potenzielle Gefährder zu nennen, da bei diesen Aufsätzen die Verbrennungsgase in Richtung des Schützen geführt werden und zudem noch die Strömung intensiviert wird. Zudem kann angenommen werden, dass darüber hinaus auf einem Schießstand speziell das Gehör von Nachbarschützen ebenfalls von der Stoßwelle einer Waffe mit aufgesetzter Mündungsbremse belastet wird.

In Bezug auf die räumliche Umgebung an einem Schießstand deuten die Auswertungen darauf hin, dass die Beschaffenheit der Schießtischoberfläche maßgeblich verantwortlich für die Entstehung einer zweiten Stoßwelle als Reflexionswelle ist, die zudem noch so energiereich ist, dass sie eine zweite Abhebewegung erzeugen kann. Der Effekt der Stoßwellenreflexion konnte bereits von Nakashima und Farinaccio (2015) als Bodenreflexion nachgewiesen werden, was Routh und Maher (2016) bestätigen und auf alle sich in der Nähe befindliche Oberflächen erweiterten, so dass sich die deutlich näher an der Waffe befindliche Platte des Schießtisches diesen Effekt ebenfalls zeigen sollte.

Somit sollte bei einer zukünftigen Beurteilung von Schießständen im Hinblick auf den Schallschutz dieser Aspekt mit betrachtet werden. Matten, die zum einen gut zu reinigen sind, damit gesundheits- und sicherheitsgefährdende Pulverrückstände leicht entfernt werden können, und die zum anderen aus einem schwingungsdämpfenden Material hergestellt sind und auf den Schießtisch aufgelegt werden können, sollten eine kostengünstige Lösung für die Vermeidung der zweiten Stoßwelle sein.

Da der Versuchsaufbau es nicht ermöglichte, mittels Schallmessungen im Gehörgang die unterschiedliche Schallbelastung des Gehörs des Schützen durch eine an-

gehobene Gehörschutzkapsel zu beurteilen, kann an dieser Stelle nicht abschließend beurteilt werden, wie hoch die Schallbelastung und damit das Gefährdungspotential für den Schützen bei einer durch die Stoßwelle hervorgerufenen Spaltbildung zwischen Kopf und Gehörschutzkapsel ist. Weiterhin ist zu betonen, dass es sich bei dem für den Versuch verwendeten Kaliber 0,308 Win um eine im Vergleich zu anderen Großkaliberpatronen schwache Patrone handelt. Bei der Jagd fällt die Wahl der Jäger häufig auf leistungsfähige Kaliber, welche möglicherweise noch größere Abhebewege erzeugen können. Zudem ist es im Schießsport häufig der Fall, dass Mündungsbremsen mit sehr leistungsstarken „Longrange“-Kalibern kombiniert werden, was sich somit in doppelter Hinsicht negativ auf die Schutzwirkung des Kapselgehörschützers auswirken dürfte.

Bei jedem einzelnen Großkaliber-Schuss wird der in der Lärm- und Vibrationsarbeitsschutz-Verordnung (N. N. 2010) festgelegte maximal zulässige Spitzenschalldruckpegel von 137 dB(C) überschritten. Da es sich bei der Jagdausübung sowohl um einen Beruf als auch um ein Hobby handeln kann, gilt der in o. g. Verordnung angegebene Grenzwert allerdings nicht für beide Bereiche. Die Grenzwerte sind nur für den Berufsjäger verpflichtend und dienen dem Hobbyjäger – und auch dem Hobbysportschützen – lediglich als Empfehlung. Da die Jagd für 87 % der Befragten ausschließlich ein Hobby ist, unterliegt der größte Teil der Jäger somit nicht den allgemeingültigen Gesetzen zum Lärmschutz.

Grundsätzlich wünschten sich 72 % der befragten Jäger eine bessere informative Aufklärung über die Folgen eines Schusses für das Gehör und über die Möglichkeiten des Einsatzes von Gehörschutzmitteln. Bei der Frage nach der Wahl des Gehörschutzes zeigt sich, dass 43 % der verwendeten Gehörschützer elektronisch geregelt sind, was sicherlich mit den positiven Wahrnehmungseigenschaften in Verbindung steht. Allerdings gilt es zu bedenken, dass im bei der Schussabgabe relevanten Frequenzbereich von 500 bis 2000 Hz und abhängig vom konstruktiven Aufbau des Kapselgehörschützers nur eine Schalldämmung von 25 bis 30 dB vorliegt.

Das Bewusstsein für die vom Schuss ausgehende Gefahr für das Gehör wird auch durch die Kenntnisse zum Schalldämpfer bekräftigt. Als Möglichkeit des primären Schallschutzes ist der Schalldämpfer 92 % der befragten Jäger bekannt und 75 % würden eine generelle Einführung und Zulassung sowohl bei der Jagd als auch auf dem Schießstand begrüßen, was noch nicht vollumfänglich in allen Bundesländern erfolgt ist. Aber auch ein Schalldämpfer hat mit Schallminderungswerten um 30 dB eine begrenzte Leistungsfähigkeit, wie Tab. 1 (Branch 2011; Neitzel 2014) verdeutlicht. In Kombination mit einem guten Kapselgehörschützer ergäbe das im relevanten Frequenzbereich in

Tab. 1 Beispielhafte Schallreduktion einer Waffe durch den Einsatz eines Schalldämpfers (Branch 2011; Neitzel 2014)**Table 1** Exemplary sound reduction of a weapon through the use of a silencer (Branch 2011; Neitzel 2014)

Waffe	Patrone	Schusslärm (Mündung) ungedämpft	Schusslärm (Ohr) ungedämpft	Lärmreduktion Schalldämpfer (Mündung)	Lärmreduktion Schalldämpfer (Ohr)
Pistole SIG-Sauer P226	9 mm	160,5 dB	157,7 dB	33,1 dB	28,1 dB
Pistole Glock 21	0,45 ACP	162,5 dB	162,5 dB	30,7 dB	33,9 dB
Sturmgewehr Colt M4	0,223 Rem	164,0 dB	155,0 dB	26,6 dB	29,8 dB
Büchse Remington 700	0,308 Win	165,7 dB	157,2 dB	26,8 dB	26,0 dB

der Summe eine Minderung um 60 dB am Trommelfell. Bei einem Spitzenschalldruckpegel von ungefähr 165 dB bei Abgabe eines Großkaliberschusses ist die Situation damit deutlich entschärft.

Um ausführlichere Erkenntnisse erlangen zu können, müssten in Zukunft sicherlich Langzeitstudien mit Jägern durchgeführt werden. Interessant wäre eine Vergleichsmessung zwischen den heutigen Ergebnissen der Jäger mit Audiometrieergebnissen in einigen Jahren, evtl. in einem 5-Jahres-Rhythmus. Die Bildung von Korrelationen zwischen dem Tragen des Gehörschutzes und einer Gehörverschlechterung sowie zwischen der Schussanzahl und einer Gehörverschlechterung wäre wissenschaftlich und gesundheitspolitisch von Interesse.

Abschließend sollte das große Interesse der Jäger an der Thematik erwähnt werden, da viele die Reduzierung der Lautstärke des Schussknalls und den damit verbundenen Gesundheitsschutz als wichtig ansehen. Das wird durch die individuellen Kenntnisse über die Gefahr der dauerhaften Hörminderung und hinsichtlich des Nutzens von Gehörschutzmitteln zumindest für die Zeit auf dem Schießstand klar kommuniziert. Auf der Basis der gewonnenen Erkenntnisse aus den Befragungen und der durchgeführten Untersuchungen ist letztlich eine eindeutige Empfehlung zum Schießen mit aufgesetztem Schalldämpfer auszusprechen, unabhängig ob dieses auf dem Schießstand oder bei der Jagd geschieht. Für den Fall, dass doch Mündungsbremsen zum Einsatz kommen, sollte ein doppelter Gehörschutz aus Kapselgehörschutz und Gehörschutzstöpseln Verwendung finden, um eine potenziell reduzierte Wirksamkeit des Kapselgehörschutzes zu kompensieren (Matti et al. 1995).

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Abel SM, Sass-Kortsak A, Kielar A (2002) The effect on earmuff attenuation of other safety gear worn in combination. *Noise Health* 5:1–13
- Bachmann KD, Vilmar K (1999) Gehörschäden durch Lärmbelastungen in der Freizeit. *Dtsch Arztebl* 96(16):A-1081–A-1084 (<https://www.aerzteblatt.de/pdf.asp?id=16854>). Zugegriffen: 18 Oktober 2022)
- Boenninghaus HG, Lenarz T (2007) *HNO*, 13. Aufl. Springer, Heidelberg
- Branch MP (2011) Comparison of muzzle suppression and ear-level hearing protection in firearm use. *Otolaryngol Head Neck Surg* 144(6):950–953. <https://doi.org/10.1177/0194599811398872>
- Buck K (2009) Performance of different types of hearing protectors undergoing high-level impulse noise. *Int J Occup Saf Ergon* 15(2):227–240. <https://doi.org/10.1080/10803548.2009.11076804>
- Counter SA, Klareskov B (1990) Hypoacusis among the polar eskimos of northwest Greenland. *Scand Audiol* 19(3):149–160. <https://doi.org/10.3109/01050399009070766>
- DIN EN 352-1 (2021) Gehörschützer – Allgemeine Anforderungen. Teil 1: Kapselgehörschützer. März 2021, Beuth Verlag, Berlin
- Erdos JJ, Del Guidice PD (1975) Calculations of muzzle blast flow fields. *AIAA J* 13(8):1048–1055. <https://doi.org/10.2514/3.60503>
- Heilmann G (2007) Sicher durch die Jägerprüfung – Waffen und Munition. Heintges Lehr- und Lernsystem, Martkredwitz
- Hesse JM (1994) Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Gehörschädlichkeit von Impulsschall. Dissertation, Universität Siegen
- Hesse JM, Irle H, Strasser H (1994) Laborexperimentelle Untersuchungen zur Gehörgefährlichkeit von Impulsschall. *Z Arb Wiss* 48(4):237–244
- Kluth K, Wurm D (2019) Acoustic assessment of rifle shots while hunting by audiometric tests, interviews and online survey. In: Bagnara S, Tartaglia R, Albolino S, Alexander Th, Fujita S (Hrsg) Safety and health, slips, trips and falls Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association

- (IEA 2018). Bd. II. Springer, Cham, S 224–236 https://doi.org/10.1007/978-3-319-96089-0_25
- Li P, Zhang X (2020) Numerical research on adverse effects of muzzle flow formed by muzzle brake considering secondary combustion defence technology <https://doi.org/10.1016/j.dt.2020.06.019> (IF3.172)
- Matti EY, Jussi OP, Jukka PS, Rauno JP, Jukka SY (1995) Physical characteristics of gunfire impulse noise and its attenuation by hearing protectors. *Scand Audiol* 24(1):3–11
- N. N. (2010) Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (Lärm-VibrationsArbSchV) vom 6. März 2007. *BGBI. I* (2007), S. 261; zul. geänd. *BGBI. I* (2021), S. 3115
- N. N. (2012) Ausgebremst. *Wild und Hund* 8, Paul Parey Zeitschriftenverlag GmbH, Singhofen
- N. N. (2020a) Gehörschutz. Sicherheitsinformationen für Führungskräfte. M.plus 700. Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA), Wien
- N. N. (2020b) ASP-Jagdverordnung NRW. Gesetz- und Verordnungsblatt (GV. NRW.) Ausgabe 2020 Nr. 7 vom 23.03.2020: 177–184
- N. N. (2021) Lärm am Arbeitsplatz. DGUV Information 209-023. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin
- N. N. (2022) 3M Peltor Optime Kapselgehörschützer – Technisches Datenblatt. <https://multimedia.3m.com/mws/media/2125009O/3m-peltor-optime-series-earmuffs-data-sheet-german.pdf>. Zugegriffen: 18. Oktober 2022
- Nakashima A (2015) Comparison of different types of hearing protection devices for use during weapon firing. *J Mil Veteran Fam Health* 1(2):43–51. <https://doi.org/10.3138/jmvfh.3076>
- Nakashima A, Farinaccio R (2015) Review of weapon noise measurement and damage risk criteria: consideration for auditory protection and performance. *Mil Med* 180(4):402–408
- Neitzel C (2014) *Jagd mit Schalldämpfer*. Selbstverlag, Westerstede
- Nüßlein F (1988) *Das praktische Handbuch der Jagdkunde*. BLV, München
- Recktenwald MS, Conter P, Hocke C, Nebe R (2015) *Schalldämpfer. Visier Special 78*. VS Medien, Bad Ems
- Rosen S (1970) Noise, hearing and cardiovascular function. In: Welch BL, Welch AS (Hrsg) *Physiological effects of noise*. Springer, Boston https://doi.org/10.1007/978-1-4684-8807-4_6
- Routh TK, Maher RC (2016) Recording anechoic gunshot waveforms of several firearms at 500 kilohertz sampling rate. *Proc Mtgs Acoust* 26:30001. <https://doi.org/10.1121/2.0000262>
- Sadwin LD, Swisdak MM, Gitterman Y, Lotan O (2017) Shock wave energy: explosions in air. Ground and water. 30th International Symposium on Shock Waves 2: ISSW30. Bd. 2, S 1307–1131
- Settles GS (2004) The Penn state full-scale Schlieren system. 11th International Symposium on Flow Visualization, Notre Dame
- Sinambari GR, Sentpali S (2014) *Ingenieurakustik – Physikalische Grundlagen, Anwendungsbeispiele und Übungen*. Springer Vieweg, Wiesbaden
- Strasser H (1993) *Lärm*. In: Hettinger T, Wobbe G (Hrsg) *Kompendium der Arbeitswissenschaft*. Kiehl, Ludwigshafen, S 243–274
- Twardella D (2022) *Lärm: Grundlagen*. https://www.lgl.bayern.de/gesundheits/Arbeitsplatz_Umwelt/Physikalische_Umweltfaktoren/Laerm_Grundlagen.htm. Zugegriffen: 18. Okt. 2022
- Veit I (2012) *Technische Akustik*. Vogel, Frankfurt
- Zhang H, Chen Z, Jiang X, Li H (2013) Investigation of the exterior flow field and the efficiency of the muzzle brake. *J Mech Sci Technol* 27:95–101