

Hand-Arm-Vibrationseinwirkungen durch Einzelstöße im Freizeitbereich

Ermittlung der stoßartigen Belastungen des Hand-Arm-Systems am Beispiel der Freizeitaktivität Golf

Fabian Haas, Uwe Kaulbars, Sankt Augustin

Zusammenfassung Hand-Arm-Vibrationseinwirkungen durch Einzelstöße sind ein Phänomen, das aus der Berufswelt bekannt und im Bereich der Hand-Arm-Vibrationen angesiedelt ist. Beispielsweise sind Arbeiten mit schlagenden Geräten wie Bolzensetzern und Druckluftnaglern mit stoßartigen Belastungen des Hand-Arm-Systems verbunden. Auch im Freizeitbereich lassen sich stoßartige Belastungen des Hand-Arm-Systems beobachten. Typische Freizeitaktivitäten, in denen stoßartige Belastungen auf das Hand-Arm-System erfolgen, sind z. B. Tennis, Golf oder Squash. Am Beispiel der Freizeitaktivität Golf untersuchte das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) die Hand-Arm-Vibrationseinwirkungen durch Einzelstöße im Freizeitbereich.

Hand-arm vibration effects from individual impacts in the leisure sector

Single-impact hand-arm vibration is a phenomenon well known in the world of work and in the area of hand-arm vibration. For example, work with beating devices such as bolt makers and pneumatic nailers are associated with shock loads on the hand-arm system. Even in the leisure sector can be observed shock loads of the hand-arm system. Typical recreational activities in which shock loads on the hand-arm system take place, for. As tennis, golf or squash. Using the example of leisure activity Golf, the Institute for Occupational Safety of the German Social Accident Insurance (IFA) examined the hand-arm vibration effects caused by individual impacts in the leisure sector.

Eine Exposition gegenüber Hand-Arm-Vibrationseinwirkungen durch Einzelstöße kann verschiedene gesundheitliche Auswirkungen zur Folge haben. Dies können akute Beschwerden im Hand-Arm-System wie Schmerzen in Muskeln, Sehnen oder Gelenken sein. Eine langfristige Exposition mit hoher Intensität kann jedoch auch zu chronischen Erkrankungen des Hand-Arm-Systems führen. Aus der Berufswelt sind typische Erkrankungen des Hand-Arm-Systems wie das Weißfingersyndrom, neurologische Störungen sowie chronische Schäden an Sehnenansätzen und Gelenken bekannt. Im Freizeitbereich treten typische Erkrankungen wie der Tennis- oder Golferellenbogen auf, die sich Personen bei einer langjährigen Praxis in der entsprechenden Freizeitaktivität zuziehen können.

Gesundheitliche Einwirkungen

Um eine Aussage über die Gefährdung einer Person treffen zu können, ist es erforderlich, die Vibrationseinwirkung der entsprechenden Schwingungsquelle messtechnisch zu erfassen und zu quantifizieren. Als Maßstab für die Vibrationseinwirkung einer Tätigkeit wird gemäß DIN EN ISO 5349 der Vibrationssgesamtwert a_{hv} herangezogen [1]. Der Anwendungsbereich

der Norm ist für harmonische und stochastische Schwingungen begrenzt.

Die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung stellt die deutsche Rechtsgrundlage zur einheitlichen Bewertung und Beurteilung von Hand-Arm-Vibrationseinwirkungen dar. In dieser Verordnung ist der Auslösewert mit $2,5 \text{ m/s}^2$ bzw. der Grenzwert mit 5 m/s^2 festgelegt [2]. Diese Grenzwerte beziehen sich auf die Tagesvibrationsexposition $A(8)$, die herangezogen wird, um die Vibrationsbelastung, die eine Person im Laufe eines Tages erfährt, zu quantifizieren [3].

Frequenzbewertungen und Stand der Normung

Bei der Durchführung von normgerechten Hand-Arm-Vibrationmessungen erfolgt eine Frequenzbewertung und Bandbegrenzung der gemessenen Beschleunigungseffektivwerte. Der Frequenzbewertung liegt dabei zugrunde, dass Vibrationen mit unterschiedlichen Frequenzen auch ein unterschiedliches Schädigungspotenzial für das Hand-Arm-System aufweisen. Dieser Sachverhalt wird von Frequenzbewertungskurven erfasst, diese bewerten die gemessenen Vibrationen in Abhängigkeit ihrer Frequenz mit einem Faktor zwischen 0 und 1. **Bild 1** zeigt die Frequenzbewertungskurven, die für diese Untersuchung verwendet wurden. Die einzelnen Frequenzbewertungskurven werden im Folgenden kurz beschrieben und die zugehörigen Normen aufgeführt.

In DIN EN ISO 5349 ist festgelegt, wie bei der Messung und Bewertung von Hand-Arm-Vibrationen vorzugehen ist. Diese Norm definiert den W_h -Frequenzbewertungsfilter, der für die Bewertung von periodischen und stochastischen Schwingungen konzipiert ist. Bild 1 zeigt den Verlauf des dimensionslosen Bewertungsfaktors der W_h -Frequenzbewertung in Abhängigkeit von der Frequenz. In Ermangelung von etablierten Regelwerken, die definieren, wie bei der Messung und Bewertung von Einzelstößen vorzugehen ist, ist vorläufig die Norm DIN EN ISO 5349 für die Messung und Bewertung von Einzelstößen gültig.

Einzelstöße sind ein Sonderfall unter den Hand-Arm-Vibrationen, deren Messung und Bewertung noch Gegenstand aktueller Diskussionen sind. In der Technischen Spezifikation DIN ISO TS 15694 werden verschiedene Vorschläge dargelegt, wie bei der Messung und Bewertung von Einzelstößen vorzugehen ist [4]. Unter anderem wird in dieser Technischen Spezifikation der Frequenzbewertungsfilter $flat_h$ definiert. Der $flat_h$ -Frequenzbewertungsfilter entspricht im Wesentlichen einer Bandbegrenzung zwischen 6,3 und 1250 Hz (Bild 1).

In dem Technischen Report ISO/TR 18570 wird das Frequenzbewertungsverfahren W_p vorgestellt. In diesem Report wird die Annahme getroffen, dass der W_p -Frequenzbewertungsfilter besser als der W_h -Frequenzbewertungsfilter geeignet ist, um die Gefährdung für die Entstehung eines vibrationsbedingten vaso-

spastischen Syndroms (VVS) zu beschreiben [5]. Der W_p -Frequenzbewertungsfilter entspricht im Wesentlichen einer Bandbegrenzung zwischen 20 und 400 Hz (Bild 1).

Nach dem bisherigen Wissensstand ist noch unklar, welche der vorgestellten Frequenzbewertungen am besten geeignet ist, um die Gefährdung, die von einer Exposition gegenüber Einzelstößen ausgeht, zu bewerten. Daher wurden im Rahmen dieser Untersuchung alle drei vorgestellten Frequenzbewertungen auf die gemessenen Beschleunigungen angewendet. Da jedoch insgesamt nur für die W_h -Frequenzbewertung aus DIN EN ISO 5349 entsprechende Grenzwerte definiert sind und es eine hohe Zahl an Vergleichswerten aus der Berufswelt gibt, erfolgt die Einordnung der Vibrationsbelastungen in der Freizeitaktivität Golf anhand des Vibrationsgesamtwertes a_{hv} .

Voruntersuchungen

Bisher gibt es keine verbindlichen Regelwerke, in denen die Messpunkte oder eine geeignete Auswahl an Sensoren für Messungen an einem Golfschläger festgelegt sind. Ferner bestand am Anfang der Versuchsdurchführung Unkenntnis darüber, welche Methodik der Sensorankopplung für die Anbringung der Sensoren an Golfschlägern geeignet ist. Um die Versuchsdurchführung auf dem Golfplatz (Hauptversuch) vorzubereiten, war es daher erforderlich, eine Reihe an Voruntersuchungen durchzuführen.

Während dieser Voruntersuchungen wurden verschiedene Sensoren, verschiedene Messpunkte und verschiedene Arten der Sensorankopplung ausgetestet. Infolge konnte der Versuchsplan für den Hauptversuch auf Grundlage der Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Voruntersuchungen festgelegt werden.

In den Voruntersuchungen hat sich die Verwendung von unempfindlichen piezoelektrischen Beschleunigungssensoren mit einem großen Messbereich für die Messung von Einzelstoßeinwirkungen, die ein Golfspieler bei der Verwendung eines Golfschlägers erfährt, bewährt. Für die Versuchsdurchführung auf dem Golfplatz (Hauptversuch) wurden die folgenden beiden Sensoren ausgewählt:

1. Sensor PCB 350B50 (triaxialer Referenzsensor)
2. Sensor B&K 4374 (einaxialer ergänzender Sensor)

Um Kontaktresonanzen zwischen Golfschläger und Beschleunigungssensor zu vermeiden, hat sich in den Voruntersuchungen die Ankopplung der Beschleunigungssensoren über ein Adapterteil als geeignet erwiesen (Bild 2). Dafür wird ein geometrisch passendes Adapterteil mithilfe von Kabelbindern unter hoher Zugkraft am Schlägergriff des Golfschlägers befestigt. Die Sensoren werden dann, wie in Bild 2 zu sehen ist, mit etwas Sekundenkleber auf den Ankopplungsadaptern befestigt. In den Voruntersuchungen wurden sowohl Messpunkte auf dem Griff des Golfschlägers sowie Messpunkte etwas unterhalb der Greifstelle (Richtung Schlägerkopf) ausgetestet. Eine Herausforderung ergab sich dabei aus der Gummiummantelung des Schlägergriffes, die dämpfende Eigenschaften hat und durch ihre Elastizität das Schwingungsverhalten der Beschleunigungssensoren beeinflussen kann. In dem Hauptversuch wurden die Sensoren zur Vermeidung von Kontaktresonanzen auf dem Adapterteil angebracht, das auf dem Schlägerkopf angekopplert ist (Bild 2 – Ankopplungsadapter 1).

Versuchsdurchführung

Das Ziel der Messungen war es, die Hand-Arm-Vibrationseinwirkungen durch Einzelstöße in der Freizeitaktivität Golf für ein typisches Spielgeschehen zu ermitteln.

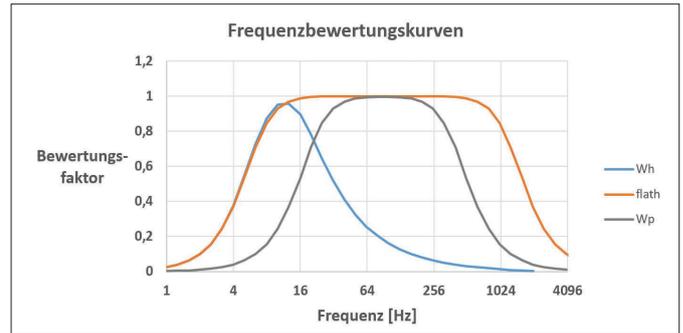


Bild 1 Verlauf der Bewertungsfaktoren W_h , $flat$ und W_p für Hand-Arm-Vibrationen über die Frequenz gemäß DIN EN ISO 5349-1, DIN ISO/TS 15694 und ISO/TR 18570.

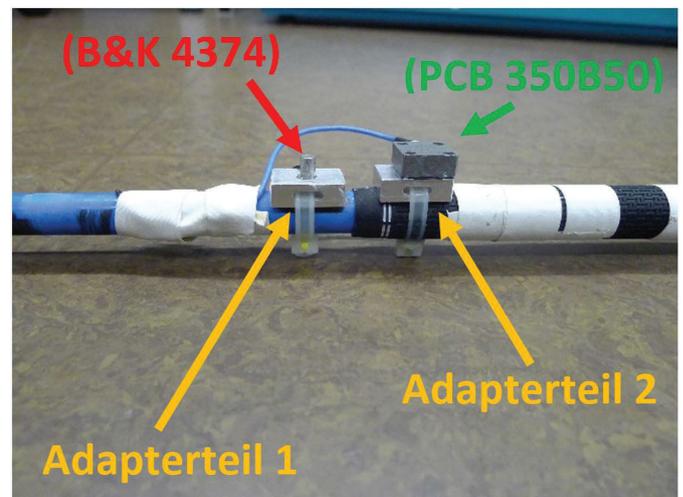


Bild 2 Voruntersuchungen – Messpunkte und Ankopplung der Sensoren mittels Adapterteil.

Die Messungen wurden in einer typischen Golfanlage mit drei erfahrenen Golfspielern durchgeführt. Als Untersuchungsgegenstände wurden zwei verschiedene Golfschläger ausgewählt. Für jeden untersuchten Golfschläger und jede Versuchsperson wurden Messreihen über 15 Wiederholungsmessungen unter gleichbleibenden Versuchsbedingungen durchgeführt.

Die beiden verwendeten Golfschläger werden im Folgenden durch wesentliche Kennwerte beschrieben:

Golfschläger A

- Typ: Hybrid (Eisen)
- Material: Stahl
- Schaftmaterial: Grafit
- Schaftgewicht: 76 g

Golfschläger B

- Typ: Driver (Holz)
- Material: Titan
- Schaftmaterial: Grafit
- Schaftgewicht: 68 g

Um die Gefährdung der Golfspieler nicht unterzubewerten, wurde gezielt die Spielsituation untersucht, in der die größten Belastungen auf das Hand-Arm-System zu erwarten ist. Hierfür wurde die Spielsituation „Abschläge aus Driving Range“ ausgewählt. In dieser Spielsituation wird der Golfball aus der Driving Range möglichst weit in das Spielfeld abgeschlagen. Um möglichst hohe und vergleichbare Belastungen zu erzeugen, wurden

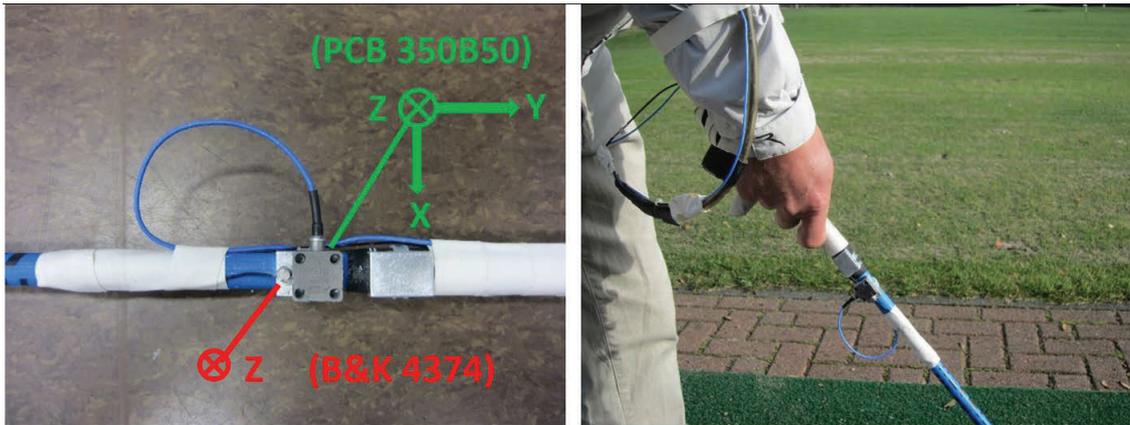
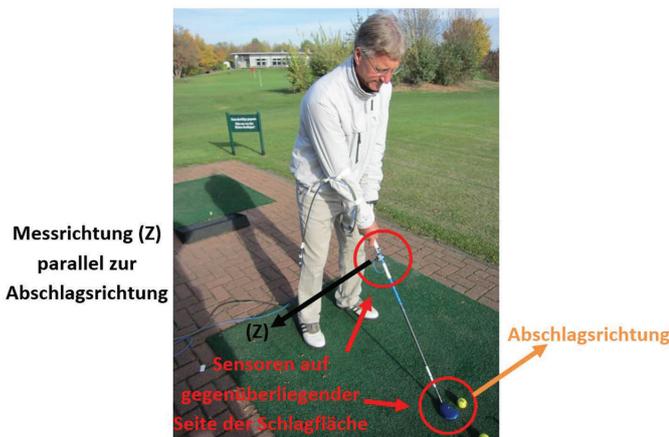


Bild 3 Hauptversuch – Anbringung der Sensoren, Messrichtungen und Handhaltung beim Golfschläger A.



Messrichtung (Z)
parallel zur
Abschlagsrichtung

Sensoren auf
gegenüberliegender
Seite der Schlagfläche

Abschlagsrichtung

Bild 4 Hauptversuch – Abschlagsituation mit dem Golfschläger A.

die Golfspieler dabei angewiesen, den Golfball so weit abzuschlagen, wie es ihnen möglich ist.

Bild 3 zeigt die Anbringung und Messrichtungen der Sensoren und die Handhabung des untersuchten Golfschlägers A. **Bild 4** zeigt die Abschlagsituation für den Golfschläger A. In **Bild 5** sind die Anbringung und Messrichtungen der Sensoren und die Handhabung des untersuchten Golfschlägers B zu sehen. **Bild 6** zeigt die Abschlagsituation für den Golfschläger B.

Die Sensoren wurden in allen Versuchsteilen so angebracht, dass die dominante Messrichtung (= Z-Richtung) der Sensoren parallel zur Abschlagsrichtung ist (Bilder 4 und 6).



Bild 5 Hauptversuch – Anbringung der Sensoren, Messrichtungen und Handhaltung beim Golfschläger B.

Ergebnisse

Im Folgenden werden die Messergebnisse des Referenzsensors PCB 350B50 zusammengefasst und dargestellt. Um eine direkte Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Schlagfolgen zu gewährleisten, werden die Beschleunigungsmessungen als Intervalleffektivwert mit einer Mittelungsdauer von $T = 3$ Sekunden ausgewertet. Dies bedeutet, dass jeder Schlagvorgang einer Einzelstoßeinwirkung mit einer Einwirkungsdauer von drei Sekunden entspricht.

Nach dem bisherigen Stand des Wissens und der Normung wird die Vibrationseinwirkung, die von einem Vorgang oder einer Tätigkeit ausgeht, mithilfe des Vibrationsgesamtwertes a_{hv} beschrieben. Daher wird der Vibrationsgesamtwert a_{hv} auch als Maßstab für die Vibrationsbelastung in der Freizeitaktivität Golf herangezogen. Der Vibrationsgesamtwert entspricht der Vektorsumme der W_n -frequenzbewerteten Effektivwerte für alle drei Messrichtungen.

Für die zusammengefassten Ergebnisse des Golfschlägers A wurden pro Versuchsperson 13 gültige Einzelmessungen ausgewertet. Bei der Auswertung für den Golfschläger B wurden pro Versuchsperson 14 gültige Einzelmessungen in die Auswertung miteinbezogen. Beispielsweise wurden Messungen von der Auswertung der Gesamtergebnisse ausgeschlossen, bei denen der Golfschläger während des Abschlages den Boden berührte.

Bild 7 zeigt die für die Versuchspersonen und untersuchten Golfschläger zusammengefassten Vibrationsgesamtwerte a_{hv} . Jeder Balken steht für die arithmetisch gemittelten Einzelergebnisse einer Messreihe, die unter gleichbleibenden Versuchsbedingungen von einer Versuchsperson durchgeführt wurde. In diesen Ergebnissen ist erkenntlich, dass die Unterschiede zwischen den untersuchten Golfschlägern relativ gering ausfallen. Zwischen den einzelnen Versuchspersonen zeigen sich jedoch deutliche Unterschiede. Insbesondere fällt auf, dass Versuchsperson 2 mit

Messrichtung (Z)
parallel zur
Abschlagsrichtung



Bild 6 Hauptversuch – Abschlagssituation mit dem Golfschläger B.

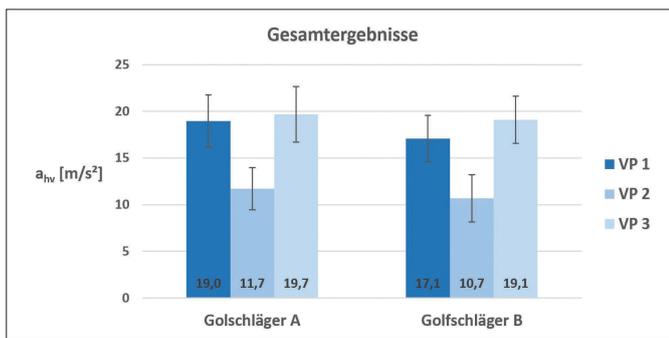


Bild 7 Hauptversuch – die für jede Messreihe gemittelten Vibrationsgesamtwerte a_{hv} von jeder Versuchsperson (VP).

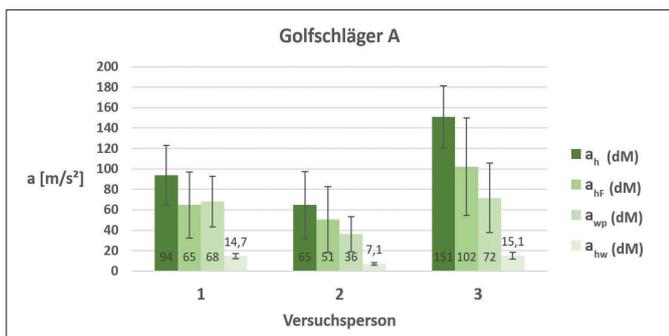


Bild 8 Hauptversuch – die für jede Versuchsperson gemittelten frequenzbewerteten Effektivwerte in der dominanten Messrichtung (dM) für den Golfschläger A.

Ergebnissen von $11,7 \text{ m/s}^2$ (Golfschläger A) und $10,7 \text{ m/s}^2$ (Golfschläger B) deutlich unterhalb der anderen beiden Versuchspersonen liegt. Dieser Sachverhalt lässt sich plausibilisieren, wenn einbezogen wird, dass Versuchsperson 2 der unerfahrenste und leichteste Golfspieler ist. Ferner ist Versuchsperson 2 im Gegensatz zu den anderen beiden Versuchspersonen weiblich und daher ggf.

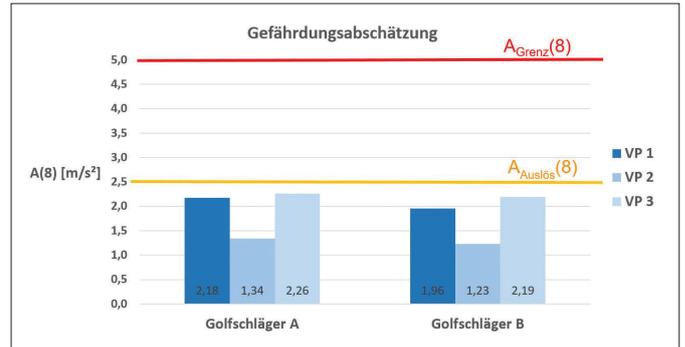


Bild 10 Gefährdungsabschätzung auf der Grundlage der im Hauptversuch gemessenen Vibrationsgesamtwerte und abgeschätzter Einwirkungsauern für jede Versuchsperson (VP) und beide Golfschläger für ein typisches Belastungsszenario.

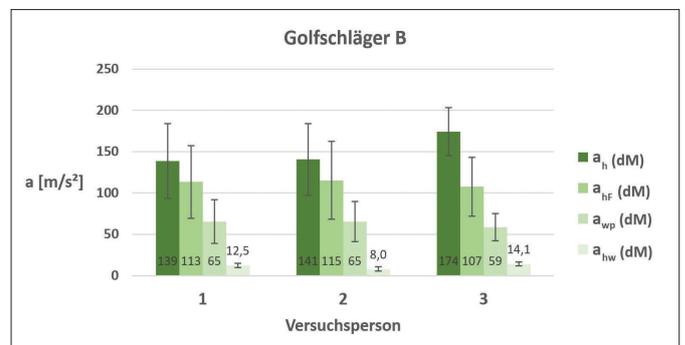


Bild 9 Hauptversuch – die für jede Versuchsperson gemittelten frequenzbewerteten Effektivwerte in der dominanten Messrichtung (dM) für den Golfschläger B.

weniger kräftig. Dies kann infolge zu niedrigeren Vibrationsgesamtwerten gegenüber Versuchsperson 1 und 3 führen.

In den **Bildern 8** und **9** sind die frequenzbewerteten Intervalleffektivwerte der dominanten Messrichtung für die verschiedenen Frequenzbewertungen W_h , $flat_h$ und W_p dargestellt. Da die Eignung der Frequenzbewertungsverfahren $flat_h$ und W_p für die Bewertung von Einzelstößen noch Gegenstand aktueller Diskussionen unter Fachleuten ist, werden die entsprechenden Ergebnisse in diesem Bericht nur zur Ergänzung angefügt. Dieses Vorgehen zielt darauf ab, die gängigen und bisher praktizierten Frequenzbewertungen bei der Messung von Einzelstößen mit einzubeziehen, sodass auch für zukünftige Forschungsarbeiten und Erkenntnisse relevante Daten bereitgestellt werden können.

Bei der Interpretation der Messergebnisse sollte berücksichtigt werden, dass es beim Golfen eine Vielzahl von Einflussgrößen gibt, die sich sowohl auf die gemessenen Beschleunigungswerte als auch auf die Vibrationsbelastung der Versuchspersonen auswirken. Beispielsweise ist davon auszugehen, dass der Stoßmittelpunkt zwischen Golfschläger und Golfball im Moment des Ballkontaktes einen deutlichen Effekt auf das Schwingungsverhalten des Golfschlägers haben wird. Ferner ist es auch wahrscheinlich, dass sich die Geschwindigkeit des Golfschlägers im Moment des Ballkontaktes auf das Schwingungsverhalten an der Greifstelle und damit auf die gemessenen Beschleunigungen auswirkt. Darüber hinaus wirken sich auch für Hand-Arm-Vibrationsmessungen typische Einflussgrößen wie z. B. die Ankopplungskraft der Versuchsperson auf das Schwingungsverhalten

des Golfschlägers und die Vibrationsbelastung des Golfspielers aus. In den Ergebnissen spiegelt sich die Vielzahl an Einflussgrößen in hohen Standardabweichungen für die verschiedenen Versuchspersonen und Golfschläger wieder (Bilder 7, 8 und 9). Ferner gilt es bei der Einordnung der Ergebnisse zu beachten, dass es sich bei dieser Untersuchung nur um eine stichprobenartige Messung handelt, die nur einen Einblick über die möglichen Hand-Arm-Vibrationseinwirkungen durch Einzelstöße in der Freizeitaktivität Golf ermöglicht.

Gefährdungsabschätzung

Um eine Gefährdungsbeurteilung für die Freizeitaktivität Golf zu erstellen, ist es erforderlich, neben den gemessenen Vibrationsgesamtwerten auch die entsprechenden Einwirkungsdauern einzubeziehen. Da jeder Schlagvorgang als Intervalleffektivwert mit einer Mittelungsdauer T von drei Sekunden berechnet wurde, ergibt sich auch eine Einwirkungsdauer T_1 von drei Sekunden pro Schlagvorgang. Insgesamt kann so auf der Grundlage einer abgeschätzten Schlagzahl eine Einwirkungsdauer abgeleitet werden, auf Grundlage derer eine Gefährdungsabschätzung für die Freizeitaktivität Golf erstellt werden kann.

Die Gefährdungsbeurteilung wird für ein abgeschätztes und typisches Belastungsszenario in einer typischen Golfanlage durchgeführt [6]. In der Golfanlage, in der die Messungen durchgeführt wurden, beträgt das Par („Professional Average Result“) 72. Das Par gibt die durchschnittliche Anzahl der Schläge an, die ein Profi benötigt, um den Golfparcour erfolgreich abzuschließen. Die Stammvorgabe für das Handicap beträgt in der Golfanlage 54. Das bedeutet, dass ein durchschnittlicher Golfspieler durchschnittlich 54 Schläge mehr als das Par benötigt. Insgesamt ergeben sich so für einen durchschnittlichen Golfspieler 126 Schläge für den gesamten Parcour. Die Gefährdungsbeurteilung wird somit auf der Grundlage von 126 Schlägen abgeschätzt. Dies entspricht insgesamt einer Einwirkungsdauer von 378 Sekunden (126 Schlagvorgänge * 3 Sekunden Einwirkungsdauer pro Schlagvorgang).

In **Bild 10** ist die Tagesvibrationsexposition $A(8)$, die sich aus den gemessenen Vibrationsgesamtwerten und den abgeschätzten Einwirkungsdauern ergeben, für jede Versuchsperson und jeden Golfspieler dargestellt. Der Auslöse- bzw. Grenzwert ist als orangefarbene bzw. als rote Linie eingezeichnet. In dem Diagramm lässt sich erkennen, dass alle Versuchspersonen für das abgeschätzte Belastungsszenario unterhalb des Auslösewertes liegen. Versuchsperson 1 und 3 liegen dabei nur knapp unterhalb des Auslösewertes, während Versuchsperson 2 deutlich unter dem Auslösewert liegt.

Insgesamt erscheint es nicht unwahrscheinlich zu sein, dass ein Golfspieler in einer Trainingseinheit oder einem größeren Golfparcour eine ausreichend große Anzahl an Schlägen durchführt, um den Auslösewert von $2,5 \text{ m/s}^2$ zu überschreiten. Im arithmetischen Mittel über beide Golfschläger und alle Versuchspersonen sind dafür 229 Schläge erforderlich.

In einer sehr umfangreichen Trainingseinheit ist es nicht auszuschließen, dass der Grenzwert von 5 m/s^2 überschritten wird. Hierfür sind im arithmetischen Mittel über beide Golfschläger und alle Versuchspersonen 915 Schläge erforderlich.

Bei der Interpretation der Gefährdungsabschätzung ist es wichtig einzubeziehen, dass der in dieser Untersuchung berechnete Vibrationsgesamtwert für eine Spielsituation gemessen wurde, in der sehr hohe Beschleunigungswerte zu erwarten sind (Abschläge aus Driving Range). In einem realistischen Golfspiel werden jedoch auch Golfschläge wie z. B. das „putten“ durchge-

führt, bei denen nur sehr geringe Beschleunigungen zu erwarten sind. Daher fallen der der Gefährdungsabschätzung zugrunde liegende Vibrationsgesamtwert und somit auch die Gefährdungsabschätzung insgesamt methodisch sehr hoch aus.

Zusammenfassung und Fazit

Diese Untersuchung konnte am Beispiel der Freizeitaktivität Golf aufzeigen, dass nach dem bisherigen Stand des Wissens relevante Hand-Arm-Vibrationseinwirkungen im Freizeitbereich auftreten, die Erkrankungen des Hand-Arm-Systems zur Folge haben können. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit epidemiologischen und Verletzungsstudien, die eine Vielzahl von verschiedenen Erkrankungen des Hand-Arm-System aufzeigen, die sich Personen bei einer langjährigen Praxis als Golfer zuziehen können [7].

Da bislang jedoch noch nicht abschließend geklärt ist, ob die dieser Arbeit zugrunde liegenden Beurteilungsverfahren auch geeignet sind, um die Gefährdung, die von Einzelstoßeinwirkungen auf das Hand-Arm-System ausgeht, zu bewerten, sollten die Ergebnisse dieser Untersuchung mit Vorsicht betrachtet werden. Insgesamt können die Ergebnisse dieser Arbeit daher nur zur Orientierung und als Abschätzung über die vorliegenden Belastungen in der Freizeitaktivität Golf herangezogen werden.

M.Sc. **Fabian Haas**, Referat 4.2, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.
Dipl.-Ing. **Uwe Kaulbars**,
Sachgebietsleiter – Hand-Arm-Vibration,
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

Literatur

- [1] DIN EN ISO 5349-1: Mechanische Schwingungen – Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen (ISO 5349-1:2001); Deutsche Fassung EN ISO 5349-1:2001, Ausgabe 2001-12, Berlin: Beuth 2012.
- [2] Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV) vom 6. März 2007. BGBl. I (2007), S. 261. Änderung: (BGBl. I S. 261), Artikel 3 der Verordnung vom 19. Juli 2010 (BGBl. I S. 960)
- [3] DIN EN ISO 5349-2. (Dezember 2015). Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen – Teil 2: Praxisgerechte Anleitung zur Messung am Arbeitsplatz. Berlin: Beuth 2015.
- [4] DIN ISO/TS 15694. (Juli 2004). Messung und Bewertung diskreter Stöße, die von handgehaltenen und handgeführten Maschinen auf das HandArmSystem übertragen werden. Berlin: Beuth 2004.
- [5] ISO/TR 18570. (August 2017). Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Supplementary method for assessing risk of vascular disorders.
- [6] Haas, F.: Ermittlung der Hand-Arm-Vibrationseinwirkung durch Einzelstöße im Freizeitbereich als Abgrenzung zum Beruf. (März 2019) NRW, Deutschland.
- [7] Murray, P. M.; Cooney, W. P.: Golf-induced injuries of the wrist. Clin. Sports. Med 15 (1996) Nr. 1, S. 85-109.