

Individuelle Bestimmung der Hand-Arm-Vibrationsdosis mit Smartwatches

Individual determination of Hand-Arm vibration dose with Smartwatches

Dr.-Ing. Gerald Bieber, Fraunhofer IGD, Rostock

Dipl.-Ing. Uwe Kaulbars, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung – (IFA), Sankt Augustin

M. Sc. John Trimpop, Fraunhofer IGD, Rostock

B.Sc. Anton Hofmann, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung – (IFA), Sankt Augustin

Kurzfassung

Langanhaltende und intensive Vibrationseinwirkungen auf das Hand-Arm-System können zu schwerwiegenden Erkrankungen führen. Die Abschätzung einer Gefährdung hinsichtlich der Hand-Arm-Vibration (HAV) wird unter Berücksichtigung der Expositionsdauer sowie der Vibrationsintensität durchgeführt. Die subjektive Erfassung oder der Einsatz von Messgeräten zur Bestimmung der Expositionsdauer ist kostenintensiv, stört den Arbeitsablauf oder kann aufgrund des hohen Aufwandes nur sehr sporadisch und selten durchgeführt werden.

Bedingt durch die Miniaturisierung in der Elektronik sind nun kostengünstige Smartwatches auf dem Markt, die eine Vielzahl von integrierten Sensoren enthalten. Obwohl die Smartwatches über leistungsfähige Beschleunigungs-, Drehraten- sowie Akustiksensoren sowie eine effiziente Verarbeitungseinheit verfügen, ist es bisher unklar, ob diese Systeme tatsächlich zur Bewertung der Hand-Arm-Vibration (HAV) eingesetzt werden können. In einer Machbarkeitsstudie wurden unter Laborbedingungen und in Feldversuchen Beschleunigungs- und Mikrofondaten während der Ausführung von Arbeiten mit vibrierenden Arbeitsgeräten erfasst und analysiert. Dabei wurde untersucht, welche Verfahren zur Vibrationsmustererkennung geeignet und welche Erhebungsparameter auszuwählen sind. Durch eine Klassifizierung der Messdaten wurde auf die genutzten Arbeitsgeräte sowie die Expositionszeiträume geschlossen. Als Ergebnis der Untersuchung wurden die Möglichkeiten und Rahmenbedingungen für eine individuelle Bestimmung der HA-Vibrationsdosis mit Smartwatches bestimmt und bewertet.

Abstract

Long-lasting and intense vibration of the hand and the arm can cause serious diseases. The estimation of risks with respect to the hand and arm vibration can be achieved by the consideration of exposure duration and vibration intensity. Manual assessment of exposure durations and used tools is expensive, disturbs the workflow or may be performed only sporadically and rarely due to high costs.

Robust and cheap smart watches including a plurality of integrated sensors are available on the market. Although smart watches provide accurate acceleration, rotation rate, acoustic sensors and a powerful processing unit, it is so far unclear whether these systems can be used to assess hand-arm vibration (HAV).

In a feasibility study, it was evaluated if vibration pattern and sound features are suitable to identify the used tools under laboratory conditions and in field trials. As a result of the evaluation, the possibilities and constraints for an individual determination of hand-arm vibration have been worked out.

1. Motivation

Mechanische Schwingungen, die auf den menschlichen Körper einwirken, werden als Vibrationen bezeichnet. Bei längerer wiederkehrender Einwirkung können mechanische Schwingungen eine Gefährdungen für die Gesundheit und Sicherheit der Arbeitnehmer verursachen und Folgekrankheiten auslösen, insbesondere Durchblutungsstörungen, Knochen- oder Gelenkschäden, neurologische oder Muskelerkrankungen.

Je nach Intensität, Dauer und Frequenzbereich der Vibration tritt bei Einwirkung auf den Körper zunächst ein Unbehagen auf, das später zu Schmerzen sowie reversible und irreversible Schädigungen führen kann. Um den Beschäftigten vor solchen Gefährdungen zu schützen, ist für Arbeitsplätze mit Vibrationsbelastung eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen. Nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV) [1] ist der Arbeitgeber verpflichtet den Grenzwert der Tagesdosis von $A(8) = 5 \text{ m/s}^2$ einzuhalten und ab dem Auslösewert $A(8) = 2,5 \text{ m/s}^2$ ein Vibrationsminderungsprogramm aufzustellen. Eine Erfassung der Expositionsdauer mit Arbeitszeitstudien (REFA) oder der Einsatz von Messgeräten zur Bestimmung der Expositionsdauer ist kostenintensiv, stört den Arbeitsablauf oder kann aufgrund des hohen Aufwandes nur sehr sporadisch und selten durchgeführt werden. Daher ist es wünschenswert, ein unaufdringliches, kostengünstiges Verfahren zur Gefährdungsbeurteilung zu entwickeln.

2. Stand der Technik

Damit eine Gefährdung des Menschen am Arbeitsplatz ausgeschlossen oder beurteilt werden kann, wird eine Abschätzung einer Gefährdung hinsichtlich der Hand-Arm-Vibration unter Berücksichtigung der Expositionsdauer sowie der Vibrationsintensität durchgeführt. Dabei werden unter anderem bereits bekannte Emissionsdaten der verwendeten Geräte genutzt oder diese durch Messungen der Vibrationsintensität an der Kontaktfläche der Hand am Werkzeug, Griff oder Werkstück neu festgestellt.

Die Bestimmung der Expositionsdauer kann durch zwei grundlegende und verschiedene Methoden durchgeführt werden (siehe Bild 1). Einerseits kann die Bestimmung der Maschinenlaufzeit (Machine Operation Timer), andererseits die Zeit der Exposition am Benutzer (Personal Vibration Exposure Timer) gemessen werden. Zur Bestimmung der Maschinenlaufzeit sind in einigen Geräten Betriebsstundenzähler integriert, die eine Erfassung der Maschinennutzungszeiten vereinfacht ermöglichen. Hierbei muss jedoch für die Expositionsabschätzung sichergestellt werden, dass bei mehreren Maschinennutzern die spezifische Nutzungszeit bestimmt werden kann.

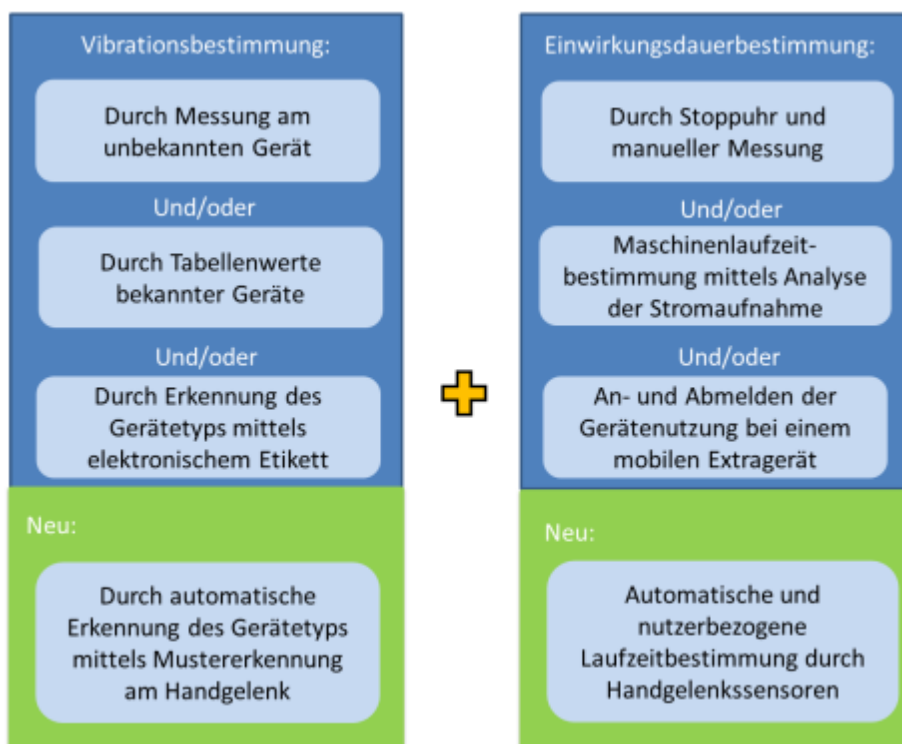


Bild 1: Klassifizierung des bisherigen Standes der Technik sowie der neuen Technologie

Eine etablierte Form der Bestimmung der Expositionsdauer am Benutzer ist die subjektive Beobachtung der Gerätenutzung und die Zeiterfassung mittels Stoppuhr. Dieses aufwändige Verfahren ermöglicht eine stichprobenartige Abschätzung der Expositionsdauern und eignet sich nur bedingt zur Generalisierung und ist zudem nur bedingt auf das historische oder zukünftige Nutzungsverhalten übertragbar. Das derzeit übliche Verfahren ist die Abschätzung der Expositionsdauer auf der Grundlage von Erfahrungswerten oder Plausibilitätsprüfungen z. B. des Material- und Werkstoffverbrauches.

Dabei wird häufig die Einsatzdauer eines Gerätes mit der Expositionsdauer (reinen Kontaktdauer mit dem vibrierenden Gerät) verwechselt. Studien zeigen, dass die Expositionsdauer häufig überschätzt wird [2].

Im Bereich der Forschung wird die Nutzungsdauer von Geräten durch die Anwendung von Funksendern (RFID-Tags) und handgelenksbasierenden Lesegeräten erforscht [3]. Hierbei werden neue Erkenntnisse über die Gerätenutzung und Verwendungstrends gewonnen. In der Praxis spielt die RFID-Technologie bislang eine untergeordnete Rolle, da neben Reichweiten- und Abschattungsproblemen auch ein Hantieren mit den Geräten (Tragen, Halten, Transportieren, Einstellen etc.) als Nutzung detektiert werden kann, obwohl hierbei keine Vibrationsbelastungen aufzutreten.

Ein System, das robust und ohne Nutzerinteraktion sowie ohne zusätzliche Infrastruktur an den Geräten die Arbeitsvibrationsbelastung des Nutzers erfasst, ist bislang nicht verfügbar. Wünschenswert ist daher ein Smartwatch-basierendes System, welches die auftretenden Vibrationen am Handgelenk analysiert und aus den Vibrationsmustern die verwendeten Arbeitsgeräte identifiziert. Durch eine Laufzeitbestimmung der Arbeitsgeräte ist die Abschätzung der individuellen Expositionsbelastung möglich.

3. Konzept der Geräteerkennung durch Mustererkennung

Die Nutzung von Arbeitsgeräten bewirken am Handgelenk des Benutzers messbare physikalische Auswirkungen. Für eine automatisierte Bestimmung der Expositionsbelastung ist zu prüfen, ob es möglich ist, in einer Anlernphase die am Handgelenk resultierenden, spezifischen Bewegungs- und Vibrationsmuster zu bestimmen. In einer Erkennungsphase soll es dann möglich sein, aus der Menge der zuvor antrainierten Arbeitsgeräte das aktuell verwendete Arbeitsgerät zu identifizieren. Dieses wird durch die Methoden der Mustererkennung erreicht (siehe Bild 2).

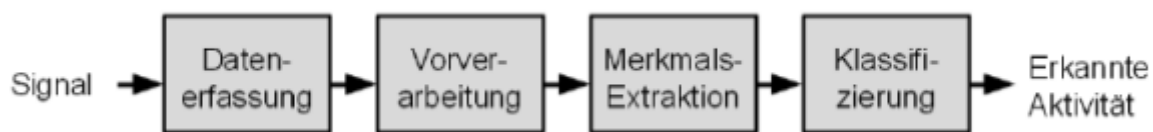


Bild 2: Mustererkennungs-Pipeline zur Arbeitsgerät oder Arbeitsaktivitätserkennung

Aktuelle Smartwatches verfügen über Beschleunigungssensoren sowie über weitere Sensoren. Da die Beschleunigungssensoren mit 50 Hz abgetastet werden, lassen sich damit nur Vibrationen von max. 25 Hz erfassen (Shannon-Theorem). Da bestimmte Arbeitsgeräte weit höhere Vibrationen aufweisen können (z. B. Winkelschleifer mit 150 Umdrehungen pro Sekunde), ist eine Gerätediskriminierung alleine aus Beschleunigungsdaten schwierig. Aus diesem Grund werden Mikrofondaten einbezogen, die bei 8 kHz Abtastung einen Frequenzbereich bis 4 kHz abbilden können. Zur Bestimmung der Merkmale aus den unterschiedlichen Sensortypen werden die erfassten Sensordaten in Datenblöcken zu je 64 Tupeln gruppiert, aus denen sich Merkmale im Zeit- und Frequenzbereich bestimmen lassen [4]. Durch diese Fensterung ist eine Erkennung alle 1,28 Sekunden möglich. Die Merkmalsausprägungen von bekannten Arbeitsgeräten können mit den Merkmalsausprägungen von unbekanntem und zu bestimmenden Arbeitsgeräten verglichen werden. Ein Klassifizierer entscheidet aufgrund von Ähnlichkeiten, welches Arbeitsgerät gerade genutzt wird.

4. Smartwatches als Sensorsysteme

Zur Überprüfung der Machbarkeit einer Arbeitsgeräteerkennung mittels Smartwatches wurde eine Smartwatch vom Typ Simvalley AW420-RX eingesetzt. Diese verfügt über ein Android-Betriebssystem, WLAN sowie SIM-Card für eine Datenkommunikation und ein 9D-MEMS-Sensorbaustein nebst Lautsprecher, Mikrofon, GPS, Bedienknöpfen, Farbgraphikdisplay und Touchscreen. Zur Erfassung und Analyse der Daten wurde eine eigene Android-Applikation (AGIS App) entwickelt, die über ein einfach zu bedienendes User-Interface verfügt (siehe Bild 3). Diese App klassifiziert die Arbeitsgeräte und berechnet die individuelle Tagesvibrationsdosis während der Arbeitsausführung. Während der Aufnahme wurden für eine spätere Analyse die Merkmale aus Sounddaten sowie Beschleunigungs- sowie Gyroskopdaten als Rohdaten gespeichert.

Tabelle 1: Technische Daten der Smartwatch SimValley AW 420 RX

Smartwatch Typ	SimValley AW 429 RX
Prozessor	Cortex A7 Dual Core, 1.2 GHz
Betriebssystem und Arbeitsspeicher	Android 4.2 mit 1 GB RAM
Beschleunigungssensor	Bosch BMC050
Lagesensor	Invensense MPU3050c
Maße	45,3 x 44,3 x 14,1 mm
Gewicht und Wasserfestigkeit	90 Gramm, IP 67
Preis (03/2016)	249 Euro

Der Beschleunigungssensor der Smartwatch besitzt einen Messbereich von ± 2 g und erreicht eine Auflösung von 12 Bit im Messbereich und wird mit 50 Hz ausgelesen. Das in der Smartwatch integrierte Gyroskop, welches Drehratendaten in $^{\circ}/s$ mit 50 Hz die Sekunde aufzeichnet, erreicht einen Messbereich von $\pm 17^{\circ}/s$ bei einer Auflösung von 11 Bit. Die Werte des Mikrofons werden mit 8 kHz erfasst und daraus werden fünf relevante Merkmale berechnet. Der Maximalwert des Lautstärkepegels liegt bei der verwendeten Smartwatch bei etwa 90,31 dB (empirisch ermittelt).

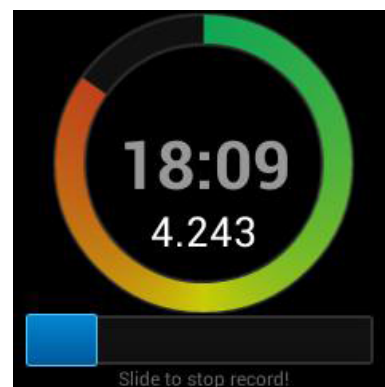


Bild 3: Smartwatch und User-Interface der AGIS – Applikation mit farblicher Darstellung der aktuell erreichten Tages-Vibrationsdosis

Als Merkmale eignen sich übliche statistische Größen, wie der Durchschnitt, die Varianz, die Standardabweichung, der Median oder auch das quadratische Mittel. Ebenso werden häufig frequenzbehaftete Merkmale eingesetzt, wie etwa die vorherrschende Frequenz oder die Signalenergie. Darüber hinaus kommen eigens entwickelte Verfahren zur Merkmals-extraktion zum Einsatz, wie z. B. der Activity Unit [5], der die durchschnittliche Bewegung im dreidimensionalen Raum beschreibt und somit eine Einschätzung zur Intensität der durchgeführten Bewegung im Bereich des ausgewählten Fensters erlaubt [4].

5. Evaluation

Die Evaluation hat zum Ziel zu prüfen, ob es möglich ist, mit Smartwatches eine Erkennung und Unterscheidung von Arbeitsgeräten durchzuführen (Prüfung der Machbarkeit). Hierfür wurde sowohl im Labor als auch in Praxistests Daten erhoben und analysiert.

Bereits im Laborumfeld sind stark unterscheidbare Bewegungsmuster beim Vergleich von ausgewählten Arbeitsgeräten durch die Betrachtung der Akzelerometer- bzw. Gyroskopdaten sichtbar.

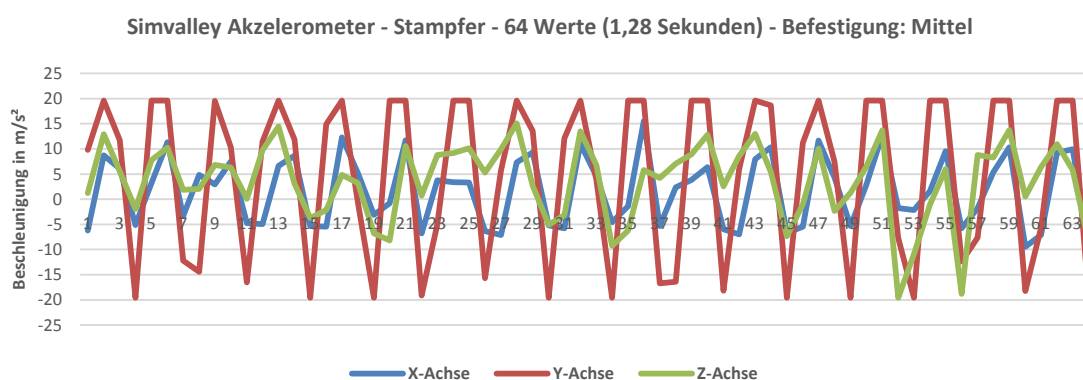
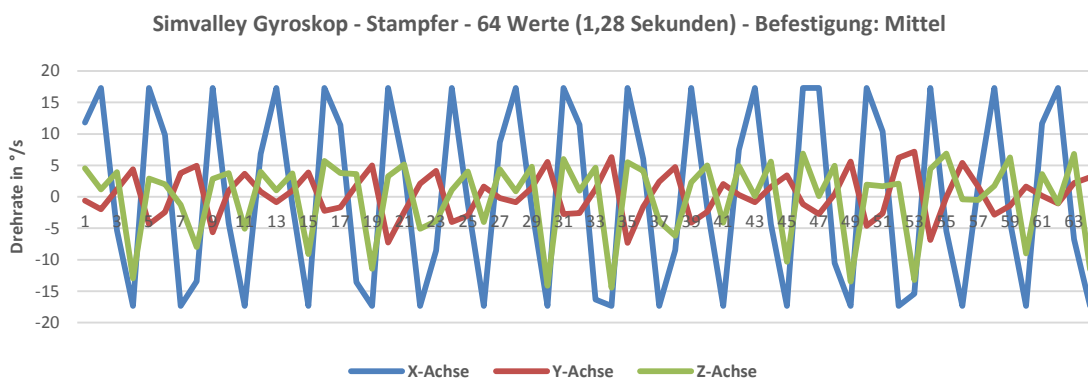


Bild. 4: Stampfer, Ausschnitt Akzelerometer- und Gyroskop-Rohdaten



Die Bewegungen der Arbeitsgeräte übertragen sich über die Handankopplung auf das Handgelenk und somit wiederum durch die Ankopplung des Armbandes auf die Smartwatch. Die Bewegungen bewirken sowohl bei dem Beschleunigungssensor als auch bei dem Gyroskop messbare Signale (siehe Bild 5). Unterschiedliche Arbeitsgeräte erzeugen verschiedenartige Signale, so erzeugt beispielsweise ein Stampfer im Vergleich zum einem Schwingeschleifer unterscheidbare Bewegungen mit anderen Bewegungsanteilen und Frequenzen. Die Signalmuster der unterschiedlichen Sensoren korrelieren jedoch innerhalb einer Geräteklasse miteinander (siehe Bild 4). Bedingt durch die Erdgravitation bewirkt eine Verdrehung des Sensorsystems auch eine Signaländerung bei dem Beschleunigungssensor. Die Merkmale aus dem Signal des Gyroskops sind hinsichtlich den Merkmalen aus den Signalen des Beschleunigungssensors weitgehend redundant. Da das Gyroskop gegenüber dem Beschleunigungssensor einen vielfach höheren Energieverbrauch aufweist, werden vorzugsweise die Signale des Beschleunigungssensors genutzt.

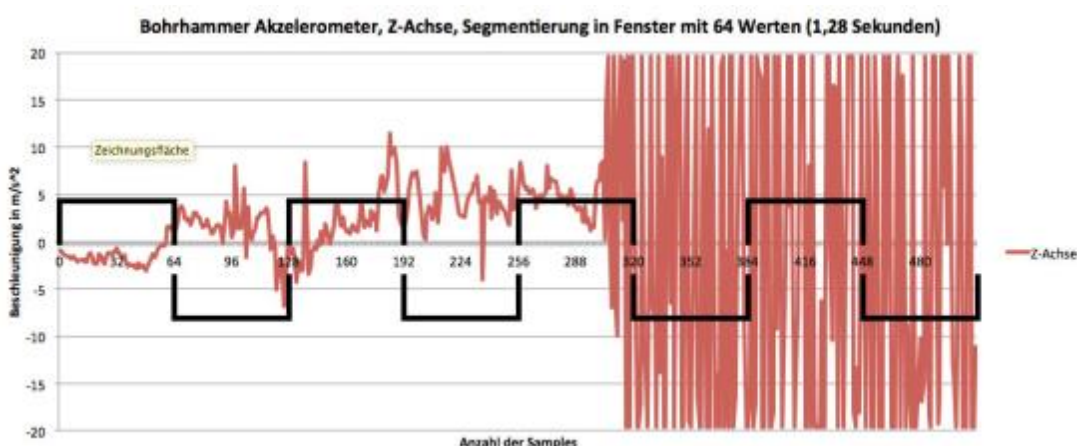


Bild 5: Beschleunigungssensordaten der Zustände Ruhe (Abtastung $n = [0..300]$) und Gerätenutzung eines Bohrhammers (Abtastung $n = [300..500]$)

Die Lautstärke der Audiosignale unterscheidet sich bei den meisten Geräten nur unwesentlich (beispielsweise Stampfer und Schwingschleifer, siehe Bild 6), auch wenn zu erkennen ist, dass der Lautstärkepegel je nach Gerät nicht gleichmäßig verläuft.

Dieses Verhalten begründet sich durch die automatische Lautstärkeregelung bei der verwendeten Smartwatch. Hierbei zeigen sich Indikatoren, dass nicht nur die Gesamtlautstärke an das jeweilige Signal angepasst wird, sondern auch Tonkanäle einzeln geregelt werden. Dieses ist noch weiter zu evaluieren und dafür würde besonders die Merkmale im Frequenzbereich beeinflussen.

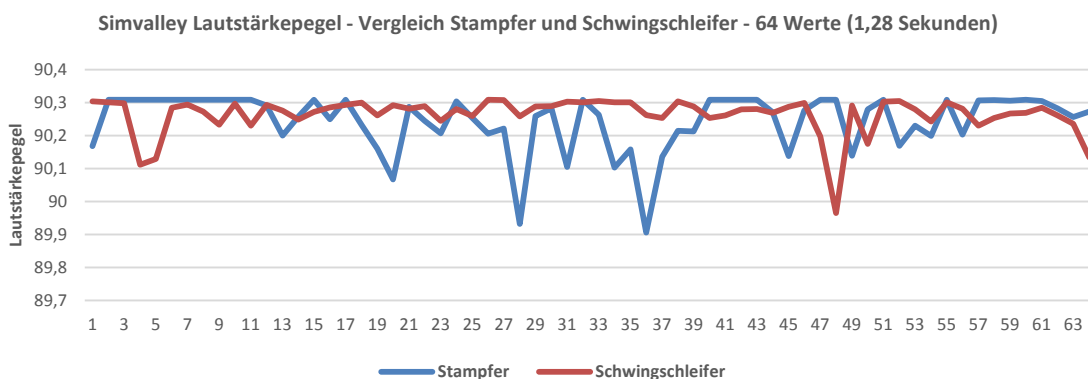


Bild 6: Lautstärkepegel am Handgelenk von Stampfer und Schwingschleifer

Damit eine Merkmalsselektion stattfinden kann, werden in der Trainingsphase die gängigsten 71 Merkmale aus den Beschleunigungs- und Audiodaten berechnet. Bei der Erstellung eines Klassifizierers, der durch einen Entscheidungsbaum J48 realisiert ist, werden jedoch nur, je nach verwendeten Arbeitsgeräten, meist eine Untermenge von ca. 9 bis 15 Merkmalen benötigt.

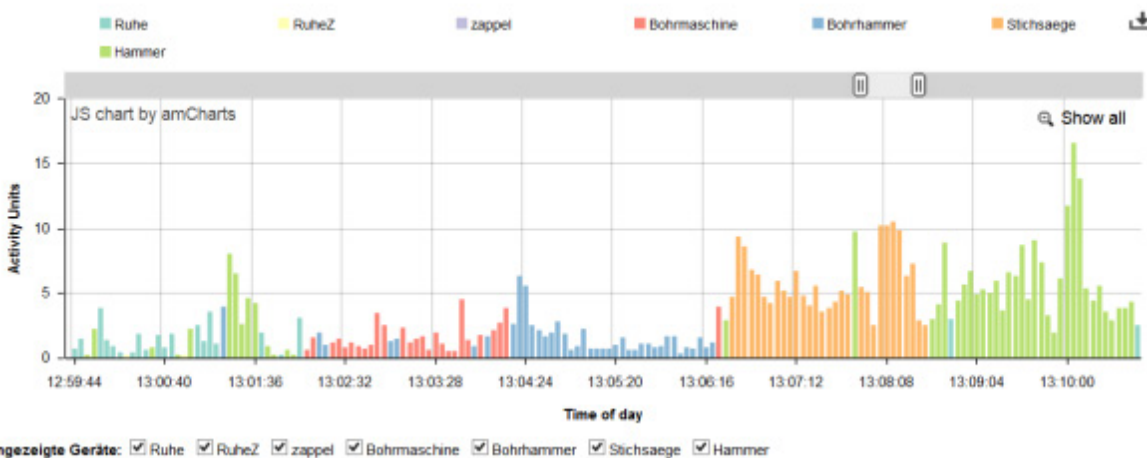


Bild 7: Erkennung der Arbeitsgeräte im Labor bei serieller Nutzung

Im Laborumfeld wurden vier unterschiedliche Arbeitsgeräte (Bohrmaschine, Bohrhammer, Stichsäge, Hammer) sowie eine Ruhe mit jeweils zwei Minuten durch drei Personen antrainiert und die Erkennung der Gerätenutzung bei einer neuen Arbeitskraft (leave-one-person-out) untersucht. Hierbei zeigte das System eine Erkennung von ca. 79,2 Prozent (siehe Bild 7).

In einem Feldtest bei einem Metall-verarbeitenden Unternehmen wurde ein Mitarbeiter mit einer Videokamera (GoPro) zur Ermittlung des Ground-Truth sowie der Smartwatch ausgestattet. Anschließend wurde für einen Zeitraum von 2 bis 5 Minuten vier Arbeitsgeräte antrainiert (siehe Bild 8). Als Arbeitsgeräte wurde als Gerät 1 ein Winkelschleifer (Hilti), als Gerät 2 ein Winkelschleifer (Milwaukee), Gerät 3 als pneumatischer Schleifer (Dynabrade) sowie als Gerät 4 ein Schleifer mit Wobbelscheibe (3M) verwendet.



Gerät 1: Winkelschleifer (Hilti)



Gerät 2: Winkelschleifer (Milwaukee)



Gerät 3: pneumatischer Schleifer



Gerät 4: Schleifer mit Wobbelscheibe

Bild 8: Nutzung von vier Arbeitsgeräten im Feldtest

Darüber hinaus wurde der Zustand ohne Arbeitsgerät als Aktivität „Ruhe“ antrainiert, wobei der Mitarbeiter herum gelaufen ist, den Arbeitsplatz reinigte oder sich ausruhte. Da Mikrofondaten aufgezeichnet wurden, wurde die Aktivität „Ruhe“ mit Hallennebengeräuschen aufgezeichnet.



Bild 9: Nutzung von Arbeitsgeräten (Gerät 1 und Gerät 3) im Feldtest, mit Smartwatch und Videoerfassung

Die darauf folgende Anlernphase wurde mit einer Videokamera in Brusthöhe aufgezeichnet (siehe Bild 9). Durch die Videoaufzeichnung konnte somit eine eindeutige Zuordnung zwischen erfasster und erkannter Gerätebedienung durchgeführt werden. Es wurden somit insgesamt ca. 8 Minuten Trainingsdaten der Geräte 1 bis 4 sowie 17 Minuten „Ruhe“ (inkl. Gehen und Materialeinräumen) erfasst.

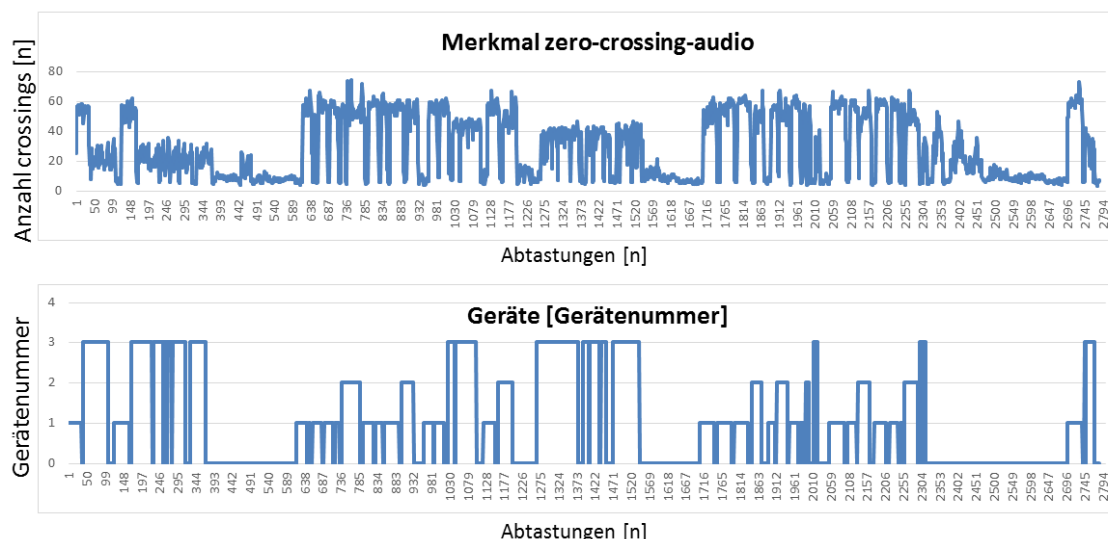


Bild 10: Darstellung der im Feldtest tatsächlich genutzten Geräte mit entsprechender Gerätenummer in Bezug zu dem erfassten Merkmal zero-crossing-audio

Anschließend arbeitete der Mitarbeiter ungestört unter Videoaufzeichnung für den Zeitraum von ca. einer Stunde. Bild 10 stellt den zeitlichen Verlauf der Nutzung der Arbeitsgeräte dar, im Vergleich dazu ist ein relevantes Merkmal (Anzahl der Nulldurchgänge des Audiosignales, zero-crossing-audio) exemplarisch abgebildet. Während der Aufzeichnung wurden alle 71 Merkmale extrahiert und gespeichert. Im Feldtest wurden 2784 Instanzen (Intervalle) zu je 1,28 Sekunden Dauer klassifiziert. Die Videodaten zeigten, dass der Mitarbeiter für ca. 26 Minuten kein Gerät nutzte und 34 Minuten ein Gerät bediente, allerdings wurde in der Erkennungsphase das Gerät Nr. 4 nicht verwendet. Darüber hinaus zeigte die Videoanalyse, dass die Geräte zum Teil mit unterschiedlichen Einsatzwerkzeugen (Aufsätzen) genutzt wurden, die nicht in der Anlernphase berücksichtigt wurden.

Die durchschnittliche richtige Erkennung aller Instanzen, d. h. das Verhältnis von der Anzahl der richtig erkannten Geräten/Zuständen (true positiv) zu der gesamten Anzahl an Instanzen (Summe von true positiv und false positiv) lag bei 72,8 Prozent (accuracy). Der als Klassifizierer verwendete Entscheidungsbaum wies eine Komplexität von 27 Blättern auf. Die folgende Zuordnungsmatrix zeigt die Verteilung der Erkennung der 2784 Instanzen.

Tabelle 2: Zuordnungsmatrix der Geräteerkennung eines Feldtests

Zuordnungsmatrix Gerät / Aktivität					
Ruhe	Gerät 1	Gerät 2	Gerät 3	Gerät 4	Klassifiziert als:
1012	12	12	114	82	Ruhe
11	546	116	9	4	Gerät 1
4	37	212	1	0	Gerät 2
31	210	55	258	58	Gerät 3
0	0	0	0	0	Gerät 4

Neben der Erkennungsrate der Geräte ist die aus der Gerätenutzungsdauer resultierende Vibrationsexposition von besonderer Bedeutung. Tabelle 3 zeigt die durch die Smartwatch geschätzte und die durch die Videoanalyse bestimmte Vibrationsexposition für den erfassten Arbeitsgang. Die Sensitivität (true positive rate) gibt den Anteil der korrekt als positiv klassifizierten Instanzen an der Gesamtheit der tatsächlich positiven Instanzen an. Dieser Wert ist in Tabelle 3 angegeben.

Während des Ausführungszeitraumes von ca. 1 Stunde wurde hinsichtlich der Hand-Arm-Vibration mit der Smartwatch eine Vibrationsdosis von $A(8) = 2,1 \text{ m/s}^2$ ermittelt. Gemäß der Beobachtungszeit durch die Videoanalyse wären es $A(8) = 1,9 \text{ m/s}^2$. Das bedeutet, dass die Smartwatch eine Überbewertung von ca. 11 % aufwies. Würde die Belastung auf einen Arbeitstag hochgerechnet, so läge die Tagesvibrationsdosis in der Nähe des Grenzwertes von 5 m/s^2 .

Tabelle 3: Darstellung der Erkennungszeiten der Smartwatch und der realen Ausführungszeit durch Videoanalyse

Geräte bzw. Arbeitsgang / Vibrationswert [m/s ²]	Laufzeit-gemäß Smart-watch [mm:ss]	Laufzeit-gemäß Video [mm:ss]	Fehl-dauer im Messzeit-raum [mm:ss]	Sensi-tivität, True-Positiv Rate [%]	Vibrations-exposition A(8) Smart-watch [m/s ²]	Vibrations-exposition A(8) gemäß Video [m/s ²]
Gerät 0: Ruhe bzw. ohne Gerät	22:34	26:17	-03:43	82,1	0,0	0,0
Gerät 1: Winkelschleifer (Hilti)	17:10	14:38	02:32	79,6	2,9	2,47
Gerät 2: Winkelschleifer (Milwaukee)	08:25	05:25	03:00	83,5	1,12	0,72
Gerät 3: pneumatischer Schleifer	8:09	13:03	-04:54	42,2	0,17	0,28
Gerät 4: Schleifer mit Wobbelscheibe	03:04	00:00	03:04	0,0	0,08	0,0
Mit Tagesexpositionswert $A(8) = \sqrt{A_1(8) + A_2(8) + A_3(8) + A_4(8) + \dots}$						
Vibrationsexposition durch Smartwatch A(8) in [m/s ²]					2,1	
Vibrationsexposition durch Video A(8)) in [m/s ²]						1,9

6. Diskussion der Messdaten

Die Erkennung von Arbeitsgeräten ist besonders von der Anzahl der Geräte sowie von der Charakteristik der Geräte bzw. Signale abhängig. Die im Feldtest erfasste Anzahl von vier Arbeitsgeräten ist auch auf andere Betriebe übertragbar, da viele Beschäftigte am Arbeitstag keine hohe Vielzahl von unterschiedlichen Geräten nutzen. Die geringe Komplexität des Entscheidungsbaumes weist darauf hin, dass kein Overfitting vorliegt und das Ergebnis auch bei anderen Einsätzen realistisch ist. Die Erkennungsrate von 79 Prozent im Laborumfeld sowie von 72,8 Prozent (accuracy) im Feldtest zeigt, dass eine Arbeitsgeräteerkennung prinzipiell machbar und eine Einschätzung der Vibrationsexposition sinnvoll ist. Der Feldtest zeigte trotz der Ähnlichkeit der Geräte im Feldtest (alles Schleifgeräte), dass eine Unterscheidung der Geräte oder Arbeitsgänge durchgeführt werden kann. Allerdings werden nicht alle Geräte gleich gut erkannt. Bei Gerät 3 wurde in der Testphase ein anderes Einsatzwerkzeug montiert, das nicht antrainiert wurde, dieses erklärt zum Teil eine geringere Erkennung dieses Gerätes gegenüber den anderen Geräten. Die Abschätzung der Vibrationsdosis zeigt, dass Geräte mit gleichen oder ähnlichen Vibrationswerten verwechselt werden können, ohne dass sich die berechnete Dosis stark ändert. Das System sollte zukünftig bei unsicherer Erkennung stets die Nutzung eines stärker vibrierenden Gerätes annehmen, um eine Unterschätzung und Gefährdung des Mitarbeiters auszuschließen.

Als problematisch wird die bisherige Umsetzung der Trainingsdatenaufzeichnung angesehen, da hier in einem zeitlichen Intervall die Geräteausführung durchgehend aufgezeichnet wird, obwohl im praktischen Betrieb auch Pausen auftreten können. Somit ist das Risiko gegeben, dass der Klassifizierer auch auf Pausen und nicht auf das Gerät antrainiert wird, das sich auf eine Erkennung negativ auswirken kann. Somit muss bereits in der Trainingsphase eine Arbeitsgerätenutzung erkannt werden.

Die verwendete Hardware der Smartwatch ist bereits technologisch veraltet, da neue Systeme eine wesentlich höhere Sensorauflösung bei gleichzeitiger geringerer Stromaufnahme und Kosten aufweisen. Somit ist davon auszugehen, dass ein Smartwatch-basiertes System zur Arbeitsgeräteerkennung noch weiter optimiert werden kann.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit hatte zum Ziel zu untersuchen, ob eine Abschätzung der Hand-Arm-Vibration durch Nutzung von Smartwatches möglich ist. Da die Tragesituation, Ankopplung sowie die Sensorik der Smartwatches keine direkte Messung der einwirkenden Vibration erlaubt, wird der Ansatz gewählt, aufgrund der messbaren Vibrationsmuster auf das verwendete Arbeitsgerät zu schließen und auf der Basis der bekannten Vibrationskennwerte und der Expositionsdauer die Vibrationsexposition abzuschätzen.

Zur Arbeitsgeräteerkennung wurden Sensordaten des Beschleunigungs-, Drehraten- sowie des Mikrofon-Sensors erfasst, ein Set von 71 Merkmalen extrahiert und daraus relevante Merkmale selektiert. Eine Mustererkennung auf der Basis von ca. 12 bis 15 Merkmalen erlaubte im Laborumfeld eine durchschnittliche Erkennungsrate bei der Auswahl von vier Geräten von ca. 79 Prozent. In einem Feldtest wurde bei vier antrainierten Geräten eine Erkennung von ca. 72 Prozent erreicht. Somit kann davon ausgegangen werden, dass eine Abschätzung der Vibrationsexposition mittels Smartwatches prinzipiell möglich ist.

In weiteren Arbeiten müssen diese Ergebnisse weiter untersucht sowie ein neues Verfahren zur Annotation und zum Antrainieren von Geräten, beispielsweise durch ein Clusterverfahren, entwickelt werden. Wir gehen davon aus, dass die Smartwatch als digitaler Begleiter für Mitarbeiter in einem Unternehmen zum Schutz und Erhalt der Gesundheit beitragen kann und zukünftig auch beitragen wird.

Diese Forschungsarbeit wurde mit Mitteln der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

8. Literatur

- [1] Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV) vom 6. März 2007. BGBl. I (2007), S. 261
- [2] Kaulbars, U. (2015): Gefährdungsbeurteilung der Hand-Arm-Vibration bei der Waldarbeit mit Motorkettensägen IFA Report 5/2015. 33 S., 17 Lit., 9 Tab., 13 Abb. und 4 Anhänge. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2015. ISBN: 978-3-86423-155-1
- [3] Efstratiou, Christos, et al. (2007). "Experiences of designing and deploying intelligent sensor nodes to monitor hand-arm vibrations in the field." Proceedings of the 5th international conference on Mobile systems, applications and services. ACM
- [4] Bieber, G., Voskamp, J., & Urban, B. (2009): Activity recognition for everyday life on mobile phones. In Universal Access in Human-Computer Interaction. Intelligent and Ubiquitous Interaction Environments (pp. 289-296). Springer Berlin Heidelberg
- [5] Bieber, G., Kirste, T., & Urban, B. (2012). Ambient interaction by smart watches. In Proceedings of the 5th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (p. 39). ACM.