

# *Abschlussbericht zum Vorhaben Smartwatches „FP 0375“*

Machbarkeitsuntersuchung:  
Arbeitsgeräteidentifikation mit Smartwatches (AGIS)

*Laufzeit*  
*01.11.2014 – 31.03.2016*

Bericht vom 30.06.2016  
Berichtsnummer: 16rp002

Autoren

Gerald Bieber<sup>1</sup>, Uwe Kaulbars<sup>2</sup>, John Trimpop<sup>1</sup>,  
Marian Haescher<sup>1</sup>, Denys Matthies<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD  
J.-Jungius-Str. 11, 18059 Rostock

<sup>2</sup>Institut für Arbeitsschutz der  
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)  
Alte Heerstrasse 111, 53757 Sankt Augustin

# Inhaltsverzeichnis

## Inhalt

Inhaltsverzeichnis.....	2
Kurzfassung deutsch.....	3
Kurzfassung englisch.....	3
1. Problemstellung .....	4
2. Forschungszweck/-ziel .....	5
3. Methodik.....	6
4. Ergebnisse des Gesamtvorhabens .....	8
Konzept der Geräteerkennung durch Mustererkennung .....	8
Smartwatches als Sensorsysteme .....	9
Datenerhebung im Laborumfeld .....	10
Evaluation.....	10
Diskussion der Messdaten .....	17
Veröffentlichungen.....	18
Vortrag.....	18
5. Auflistung der für das Vorhaben relevanten Veröffentlichungen, Schutzrechtsanmeldungen und erteilten Schutzrechte von nicht am Vorhaben beteiligten Forschungsstellen .....	19
6. Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich des Forschungszwecks/-ziels, Schlussfolgerungen .....	22
7. Aktueller Umsetzungs- und Verwertungsplan .....	25
8. Anhang/Anhänge .....	26
Forschungsbegleitkreis.....	26
Struktur der Datenersterfassung im Labor IFA, St. Augustin.....	26
Aufstellung der zur Praxiserprobung verwendeten Arbeitsgeräte .....	27
Liste der ausgewählten Merkmale .....	28
Übersicht ausgewählter Merkmale .....	30
Weiterführende Literatur .....	33
Berufskrankheit BK 2103 und BK 2104, Anzeige und Anerkennung.....	34

## Kurzfassung deutsch

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 bezahlbare Smartwatches auf dem Markt, die eine Vielzahl von integrierten Sensoren enthalten. Obwohl die Smartwatches über leistungsfähige Beschleunigungs-, Drehraten- und 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 dem vorliegenden Projekt wurde gemeinsam mit dem Institut für Arbeitsschutz IFA, St. Augustin, und dem Fraunhofer IGD, Rostock, eine Machbarkeitsuntersuchung durchgeführt, um nachzuweisen, ob mit Smartwatches eine Arbeitsgeräteidentifikation möglich ist. Hierbei 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. Es konnte gezeigt werden, dass eine kontinuierliche Erfassung der HA-Vibrationsdosis mit Smartwatches möglich ist. Im Rahmen der Evaluation wurden Beschleunigungsdaten mit 50 Hz sowie Sounddaten mit 8 kHz erfasst und in Fenster, zu je 1,28 Sekunden, unterteilt. Aus den Messdaten dieser Sensoren wurden 71 Merkmale selektiert und auf ihre Relevanz untersucht. Es zeigte sich, dass in Feldversuchen eine Untermenge von ca. 9 – 15 Merkmalen relevant sind. Bei dem Einsatz von vier unterschiedlichen Arbeitsgeräten wurden die Daten mit einem J48-Entscheidungsbaum klassifiziert, dieses führte zu einer Erkennungsrate der Arbeitsgeräte von ca. 72 Prozent. Für die A(8)-Bewertung wies hingegen die Smartwatch eine Überbewertung von ca. 11 Prozent auf.

## Kurzfassung englisch

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 smartwatches including a plurality of integrated sensors are available on the market. Although smartwatches 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 by Institut für Arbeitsschutz IFA, St. Augustin, and Fraunhofer IGD, Rostock, 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.

This study shows that a continuous monitoring and estimation of HAV by Smartwatches is possible. During the trials, the sampling rate of the acceleration sensor was 50 Hz, the sound data were recorded at 8 kHz with a window frame length of 1.28 seconds each. 71 features were selected and their relevance was examined. It was found that in field trials a subset of approx. 9 - 15 features are relevant. In a field test of four different tools, the features were classified by a J48 decision tree, which performed with an accuracy of 72 percent. The A (8) – estimation showed an overvaluation of about 11 percent.

**ACM Classification Keywords:**

H.5.2: [User interfaces] – Input devices and strategies.

**Author Keywords:**

Smartwatch; Vibration; Health Care; Occupational Health and Safety, Wearable Computing; Disease Prevention; Raynaud; White Finger Syndrome; Hand-Arm vibration; HAV exposure doses.

## 1. Problemstellung

Langanhaltende und intensive Vibrationen der Hand und des Armes können zu schwerwiegenden Erkrankungen führen. Man schätzt, dass in Deutschland ca. sieben Millionen Arbeitnehmer den Hand-Arm-Vibrationen ausgesetzt sind (Rosarius, 2010). Diverse Berufskrankheiten (BK 2104, BK 2103 etc.) sind die Folge dieser Belastung. Auf Grundlage einer Gefährdungsbeurteilung können Schutz- und Präventionsmaßnahmen eingeleitet werden, die das Risiko einer Erkrankung erheblich minimieren.

Die Abschätzung einer Gefährdung hinsichtlich der Hand- und Armvibration wird unter Berücksichtigung der Expositionsdauer sowie der Vibrationsintensität durchgeführt. Dabei werden unter anderem bereits bekannte Emissionsdaten der verwendeten Geräte genutzt oder durch Messungen der Vibrationsintensität an der Kontaktfläche der Hand am Werkzeug, Griff oder Werkstück neu festgestellt.

Die manuelle Erfassung oder der Erwerb von Messgeräten zur Bestimmung der Expositionsdauer ist kostenintensiv, stört den Handlungsablauf oder kann auf Grund des hohen Aufwandes nur sehr sporadisch und selten durchgeführt werden. Ein einfaches, unaufdringliches, praktikables und bezahlbares Verfahren zur Gefährdungsbeurteilung und Prävention ist für die berufsgenossenschaftlichen Messdienste oder auch für kleinere und mittlere Unternehmen (KMU, siehe EU Definition) nicht verfügbar.

Bedingt durch die Miniaturisierung in der Elektronik sind nun Smartwatches auf dem Markt, die einen integrierten Beschleunigungssensor beinhalten. Smartwatches sind intelligente Uhren, d.h. Uhren mit einer eigenen Rechen- und Speichereinheit sowie ggf. mit einem digitalen Display. Diese Uhren können mit dem Internet verbunden werden und verfügen über eine integrierte Sensorik (Beschleunigungs-, Lichtsensor etc.). Aktuelle Smartwatches sind verhältnismäßig kostengünstig, leistungsfähig, robust und können auf Grund des Gewichtes oder Akkus unproblematisch tagelang getragen werden. Die Uhren werden am Handgelenk befestigt, sind meist wasserdicht (IP67) sowie stoßfest und können daher auch im beruflichen Umfeld eingesetzt werden.

Mittels neuen Methoden in der Algorithmik wäre es denkbar, eine Analyse des Vibrationsmusters durchzuführen, welches erkennt, welche Arbeitsmaschine genutzt wird und wie hoch die Hand-Arm-Belastung ist. Obwohl die Smartwatches über einen leistungsfähigen Beschleunigungssensor sowie eine leistungsfähige Verarbeitungseinheit verfügen, ist es bisher völlig unklar, ob diese Systeme tatsächlich zur Bewertung der Hand-Arm-Vibration (HAV) eingesetzt werden können, welche Verfahren zur Vibrationsmustererkennung genutzt werden und welche Erhebungsparameter sie dabei erfassen sollten.

In einigen Bereichen mit hoher Vibrationsbelastung (z.B. in Gießereien) ist die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte problematisch. Insbesondere dann, wenn die Gefährdungsanalyse auf der Grundlage von Schätzwerten der Expositionsdauer beruht. Bisher sind neben Refa-Studien in der Mehrzahl der Fälle grobe Schätzungen üblich. Durch die einfache Erfassung der Expositionsdauer kann den Exponierten bei Überschreitung des Grenzwertes direkt am Arbeitsplatz die Information zugetragen werden. Somit kann gerade bei unterschiedlichen Arbeiten die Einhaltung der Grenzwerte sichergestellt werden. Ebenso kann durch das "Feedback" der Belastung ein Training zur Reduzierung der persönlichen Belastung mittels Verhaltensänderung ggf. erreicht werden.

Smartwatches sind in der Lage, Handgelenksbewegungen zu messen. Durch Analyse der auftretenden Beschleunigungskräfte kann mit Ihnen die Vibrationsintensität und –dauer am Handgelenk bestimmt werden. Allerdings entsprechen die gemessenen Kräfte nicht der Vibrationsintensität an der Kontaktfläche der Hand. Darüber hinaus werden Messergebnisse durch die Tragesituation der Uhr am Handgelenk (straffes, lockeres Armband) sowie durch individuelle Parameter (schlankes Handgelenk oder Handgelenk mit dicker Haut- und Bindegewebschicht) beeinflusst.

Auch wenn eine Dämpfung hinsichtlich der Kraftübertragung von der Gerätekontaktfläche bis zur Smartwatch auftritt, so kann davon ausgegangen werden, dass durch die Analyse der auftretenden Beschleunigungskraft am Handgelenk auf die verwendeten Arbeitsgeräte geschlossen werden kann. Erste Versuche zeigen signifikant unterschiedliche Beschleunigungsdaten. Mit Methoden der Mustererkennung können aus den Schwingungsmustern die jeweiligen Geräte identifiziert werden. Die Smartwatch wäre dabei in der Lage, den Nutzer stets über seine aktuelle Exposition zu informieren sowie die gemessenen Kennwerte abzuspeichern.

Durch die Kombination von Smartwatches mit neuartiger Analysesoftware liegt das Risiko vor, dass Informationen über den Nutzer erhoben werden könnten, die datenschutzrechtlich problematisch sein könnten. Aus diesem Grund sollen nur Daten erfasst werden, die unmittelbar für die Durchführung einer Gefährdungsanalyse benötigt werden und ein ausreichender Datenschutz sichergestellt werden kann.

## **2. Forschungszweck/-ziel**

Die Zielstellung des vorliegenden Projektes war die Durchführung einer Machbarkeitsstudie mit der zentralen Intention zur Untersuchung, welche Potentiale und Güte die Erfassung der Expositionsdauer und Vibrationsintensität von Maschinen durch Smartwatches bereithält und welche Verfahren der Vibrationsmustererkennung nutzbar sind. Anhand dieser Machbarkeitsstudie sollte festgestellt werden, ob eine Abschätzung einer Hand-Arm-Vibrationsexposition mittels Smartwatches durchführbar ist. Im Rahmen der gemeinsam durchgeführten Forschungsarbeit von dem Fraunhofer IGD, Rostock, und dem Institut für Arbeitsschutz, St. Augustin, wurde untersucht, ob und mit welcher Genauigkeit die Erfassung der Hand-Arm-Vibration durch Smartwatches gemessen werden kann. Hierfür sollte eine Software für Smartwatches entwickelt werden, die in der Lage ist, die Nutzung von Arbeitsgeräten zu erkennen und die Expositionsdauer zu ermitteln. Das entwickelte System sollte in Labor- und Feldtests evaluiert werden.

### 3. Methodik

Die Smartwatches werden durch eine neu zu entwickelnde Software in der Lage versetzt, eine Arbeitsgeräteerkennung durchzuführen und mittels der Kombination von der Expositionsdauer und der Vibrationsintensität die Vibrationsexposition abzuschätzen. Zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit der Vibrationsexpositionsabschätzung wurden die gemessene und tatsächlich vorliegende Exposition miteinander verglichen. Hierbei wurde als Referenzgröße die durch Referenzmessung sowie durch Tabellenwerk bestimmten Tagesexpositionswert A(8) zu Grunde gelegt. Im Projektvorhaben wurde mittels Smartwatches die Tagesexposition gemessen und mit der Referenz verglichen. Durch eine Signifikanzanalyse wurde festgestellt, wie viele Unternehmen und Geräte in die Evaluation mindestens einbezogen werden müssen. Die Evaluation beinhaltet die Definition von Messgröße, die bewerten,

- wie gut die Vibrationsbelastung A(8) ermittelt werden kann,
- wie genau die Expositionsdauer ermittelt werden kann und
- wie gut zwischen Arbeitsgeräten durch die Vibrationsmusteranalyse unterschieden werden kann.

Ursprünglich wurde davon ausgegangen, dass zur Evaluation Messergeräte in Form von Smartwatches (sechs Geräte) nebst weiterer Dokumentations- und Übertragungseinheiten zum Einsatz kommen. Die Praxistests sollten in unterschiedlichen, repräsentativen Bereichen der produzierenden Industrie, vorwiegend bei KmUs (Kleinere und mittlere Unternehmen) durchgeführt werden. Es wurde beabsichtigt, die Praxistests in bis zu 12 Betrieben durchzuführen.

Von besonderem Interesse ist die Kraftübertragung von der Handfläche zum Handgelenk, da die Smartwatches am Handgelenk durch ein Armband befestigt sind. Es leiten sich daher als Zielgrößen wie die Dämpfung sowie das Kraftübertragungsverhalten bei engem oder weiterem Armband, leichten oder schweren Smartwatches, dünnen, muskelösen Armen beim Nutzer bis hin zu korpulenten (dicken) Armen ab.

Zur Sicherstellung des Projektverlaufes und –ergebnisses wurde ein beratender Projektbeirat, d. h. ein Forschungsbegleitkreis eingerichtet, der zu Anfang, zur Halbzeit und zum Projektende zusammentrat und die Projektziele, Projektdurchführung und Projektergebnisse bewertete und lenkte. Als Mitglieder des Beirates waren Vertreter von Berufsgenossenschaften, der Schweizer SUVA, der Deutschen Gesellschaft der Unfallversicherungen und des Instituts für Arbeitsschutz (siehe Anlage) vertreten. Zur Erreichung der Zielstellung leiteten sich die folgenden Arbeitspakete ab. Die Arbeitspakete wurden kooperativ zwischen dem Institut für Arbeitsschutz IFA sowie dem Fraunhofer IGD ausgeführt, wobei die Schwerpunkte der Arbeitsinhalte der IFA auf die Rahmenbedingungen, Szenarientwicklung, Laboranalysen und Evaluation lagen, das Fraunhofer IGD den Schwerpunkt auf die Mustererkennung sowie Modellierung und Software-Entwicklung legte.

#### **Arbeitspaket AP1: Anforderungsanalyse**

In diesem Arbeitspaket wurden die Rahmenbedingungen untersucht, der aktuelle Stand der Technologie aktualisiert, eine erweiterte Marken- und Patentrecherche durchgeführt sowie Einsatz-Szenarios entworfen.

#### **Arbeitspaket AP2: Methodenentwicklung**

Zur Erreichung der Projektziele wurden die zu erhebenden Messgrößen und Gütemaße bestimmt, die Anzahl der notwendigen Geräte und Versuche erarbeitet und Zahl und Art der Betriebe erfasst und aufgestellt.

### Arbeitspaket AP3: Prototypische Umsetzung

In AP3 wurde eine Software entwickelt, die die Vibrationsmustererkennung auf der Smartwatch durchführt. Hierbei wurde Softwaremodule zur Vibrationsdatenerfassung, -speicherung, Vorverarbeitung und Extraktion signifikanter Merkmale entwickelt. Dabei wurden Schnittstellen zwischen den Teilmodulen spezifiziert und dokumentiert. Die einzelnen Teilmodule wurden auf stationären Systemen getestet und mit weiteren Parametrisierungs- und Testmöglichkeiten auf die Zielhardware der Smartwatch übertragen.

### Arbeitspaket AP4: Evaluation und Datenauswertung

Um eine Evaluation des Projekts durchführen zu können, war die Konzepte und die szenarienbezogene Funktionsfähigkeit zu bewerten. Das AP4 beinhaltet weiterhin die Durchführung von Feldtests und Analyse der Ergebnisse. Diese wurden dazu genutzt, eine Optimierung und ein Redesign des Systems vorzunehmen. Hierfür wurden zunächst mit Unterstützung des Instituts für Arbeitsschutz IFA, St. Augustin, in Laborversuchen mit freiwilligen Mitarbeitern Voruntersuchungen durchgeführt, um die Ergebnisse später in realer Arbeitsumgebung mit Arbeitern als Probanden zu verifizieren. Die Probandenrekrutierung wurde durch das IFA unterstützt und begleitet.

Die im Projekt gewonnenen Ergebnisse wurden durch eine nationale und eine internationale Publikation und Workshops verbreitet und diskutiert. Darüber hinaus wurden die Ergebnisse in einem Video zusammengefasst, welches online<sup>1</sup> abrufbar ist.

Arbeitspaket	AP-Titel (mit Personenstunden)	2014	2015				2016
		4QT	1QT	2QT	3QT	4QT	1QT
AP1	Anforderungsanalyse						
AP2	Methodenentwicklung						
AP3	Prototypische Umsetzung						
AP4	Evaluation und Datenauswertung						
zusätzlich	Publikation und Dissemination						

Tabelle 1: Zeitablauf des Vorhabens

<sup>1</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=sp78a\\_8EQR8](https://www.youtube.com/watch?v=sp78a_8EQR8)

## 4. Ergebnisse des Gesamtvorhabens

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Machbarkeit einer Erfassung der Vibrationsexposition mittels Smartwatches gegeben ist.

Bei dem vorliegenden Projekt wurden darüber hinaus objektive Parameter entwickelt und extrahiert, um feststellen zu können, ob und mit welcher Güte die Erfassung der Expositionsdauer und Vibrationsintensität von Maschinen durch Smartwatches möglich ist.

Hierbei wurden Rahmenparameter identifiziert, über welche die Smartwatch als Messsystem technologisch verfügen muss, beispielsweise Messbereich, Quantisierung, Abtastfrequenz, Speicher etc. Es wurden Erkenntnisse gewonnen, welche Signalparameter und Kurvenverläufe geeignet sind, eine Geräteidentifikation durchzuführen. Es wurde die Erkenntnis gewonnen, dass Eigenschwingungen einer am Handgelenk getragenen Smartwatches sich nicht hindernd auf die Mustererkennung auswirken. Es wurde als Ergebnis herausgearbeitet, dass der J48-Entscheidungsbaum als Klassifizierer auf einer Smartwatch geeignet ist, eine Maschinengeräteidentifikation durchzuführen. Darüber hinaus wurde erarbeitet, dass neue Geräte und Geräteklassen, die zum Teil heute noch nicht auf dem Markt verfügbar sind, die Vibrationsmustererkennung unterstützen und durch eine Funkkonnektivität mit ggf. notwendigen Zusatzsensoren (z.B. GPS Empfänger) erweitert werden können. Durch die Evaluation wurde die Anwendbarkeit, die Handhabung und der Kostenrahmen zum breiten Einsatz abgeschätzt. Es wurde gezeigt, dass Smartwatches nicht nur für einen kurzen Zeitraum, sondern auch zur Bestimmung der gesamten Tagesdosis bis hin für längere Zeiträume einsetzbar wären. Dieses könnte zukünftig den Aufwand für Messungen erheblich reduzieren.

### 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 1).



Bild 1: Mustererkennungs-Pipeline zur Arbeitsgerät oder Arbeitsaktivitätserkennung

Aktuelle Smartwatches verfügen über Beschleunigungssensoren sowie über weitere Sensorik. 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 (eindimensionale Datenfelder) gruppiert, aus denen sich Merkmale im Zeit- und Frequenzbereich bestimmen lassen. 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.

## Smartwatches als Sensorsysteme

Zur Überprüfung der Machbarkeit einer Arbeitsgeräteeerkennung 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, Bedientasten, 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 2). 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.

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

Tabelle 2: Technische Daten der Smartwatch SimValley AW 420 RX

Der Beschleunigungssensor der Smartwatch besitzt einen Messbereich von  $\pm 2$  g und erreicht eine Auflösung von 12 Bit im Messbereich und wird mit 50 Hz ausgelesen. Das in der Smartwatch integrierte Gyroskop, welches Drehatendaten 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 2: 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 Merkmalsextraktion zum Einsatz, wie z. B. der Activity Unit (Bieber, 2013), der die durchschnittliche Bewegung

im dreidimensionalen Raum beschreibt und somit eine Einschätzung zur Intensität der durchgeführten Bewegung im Bereich des ausgewählten Fensters erlaubt.

## Datenerhebung im Laborumfeld

Damit Sensordaten während der Bedienung von Arbeitsgeräten erfasst werden können, musste ein Konzept zur Datenerhebung erarbeitet werden. Das Institut für Arbeitsschutz verfügt über eine geeignete Laborumgebung, spezielle Prüfgeräten sowie einen Zugang zu entsprechenden Arbeitsgeräten.

Zur Untersuchung der Leistungsparameter der Smartwatch wurde diese im Labor auf einen Kalibrator befestigt. Dieser Kalibrator ist in der Lage, vordefinierte Bewegungen und Beschleunigungen sowie Vibrationen auszuführen. In der Abbildung 2b sind die gemessenen Beschleunigungsdaten der Smartwatch, während der Kalibrator in Richtung der Erdgravitation sinusförmig bewegt wird, dargestellt. Die Untersuchungen am Kalibrator zeigten, dass die Smartwatch keine äquidistanten Abtastungen durchführt und statt der gewünschten 50 Hz auch Phasen auftreten, bei der die Abtastung bei 42,3 Hz mit  $\sigma = 22,4$  liegen. Dieses erklärt sich aus dem Betriebssystem der Smartwatch. Weiterhin werden Beschleunigungen, die über den Messbereich (+ / - 2 g) abgeschnitten. Im statischen Versuch zeigen die Sensoren der Smartwatch sowohl einen Offset als auch einen Fehler bei der Erfassung der Beschleunigung. Die Abweichung über alle Achsen betrug in Ruhe ca.  $f = 6,4$  Prozent ( $f = \text{Wurzel}(x^2+y^2+z^2) / g$ ).

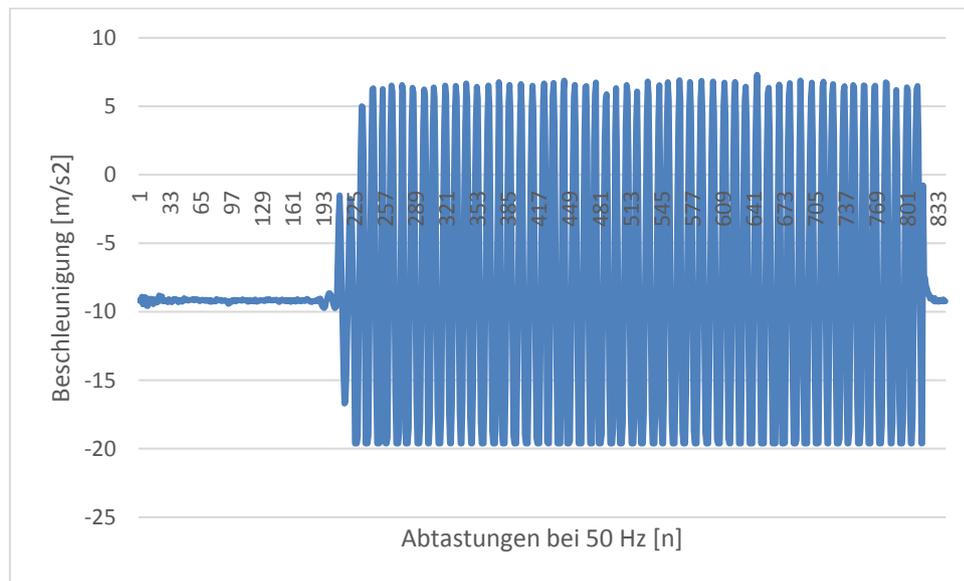


Bild 2b: Sensordaten der Smartwatch bei einem Kalibratorversuch

Zur methodischen Datenerfassung wurde ein Messplan (siehe Anhang) erstellt und die Versuche im Labor mit Mitarbeitern der IFA durchgeführt.

## 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. Am Institut für Arbeitsschutz IFA wurden zur weiteren Evaluation die Geräte Bohrhämmer, Schlagschrauber elektrisch sowie pneumatisch, Schwingschleifer, Stampfer mit AVS (Antivibriersystem) sowie ohne AVS und Winkelschleifer einbezogen. Jeweils ca. zehn Probanden führten vorgegebene Arbeiten in Einzelversuchen sowie in einem durchgängigen Arbeitsspiel durch. Die Aktivitäten wurden mit der Smartwatch sowie in Bild und Video erfasst.

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

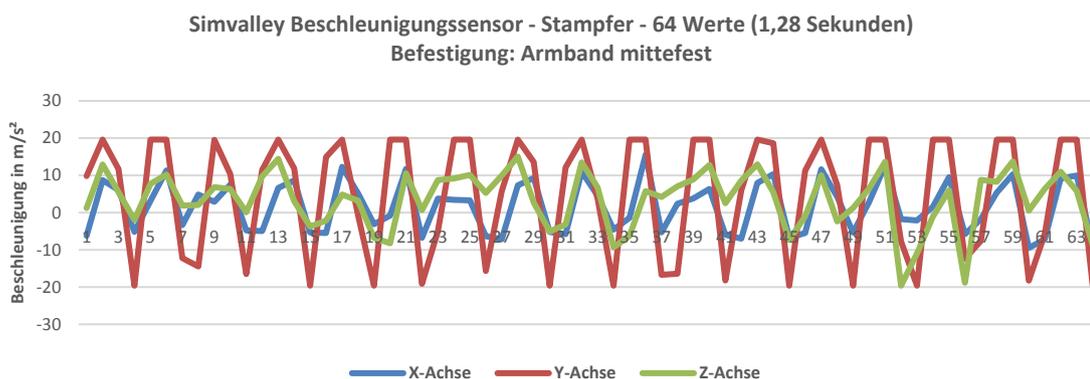


Bild. 3a: Stampfer, Ausschnitt Beschleunigungsmesser- Rohdaten

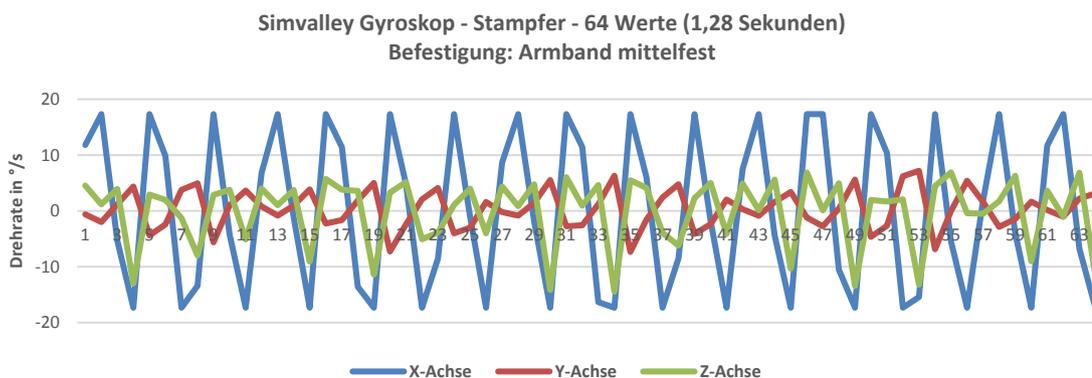


Bild. 3b: Stampfer, Ausschnitt Gyroskop-Rohdaten

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 4). Unterschiedliche Arbeitsgeräte erzeugen verschiedenartige Signale, so erzeugt beispielsweise ein Stampfer (siehe Bild 3c) im Vergleich zu einem Schwingschleifer unterscheidbare Bewegungen mit anderen Bewegungsanteilen und Frequenzen.

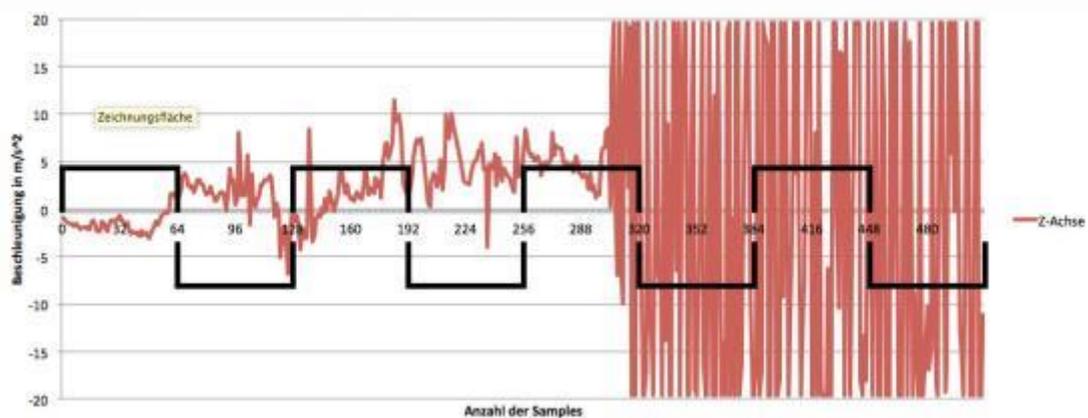
Die Signalmuster der unterschiedlichen Sensoren korrelieren jedoch innerhalb einer Geräteklasse miteinander (siehe Bild 3). Bedingt durch die Erdgravitation bewirkt eine Verdrehung des Sensorsystems auch eine Signaländerung bei dem Beschleunigungssensor.



*Bild. 3c: Stampfer-Nutzung im Laborumfeld*

Die Merkmale aus dem Signal des Gyroskops sind hinsichtlich der Merkmale 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.

Bohrhammer Beschleunigungsdaten, Z-Achse, Segmentierung in Fenster mit 64 Werten (1,28 Sekunden)



*Bild 4: 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 5), 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 würde besonders die Merkmale im Frequenzbereich beeinflussen.

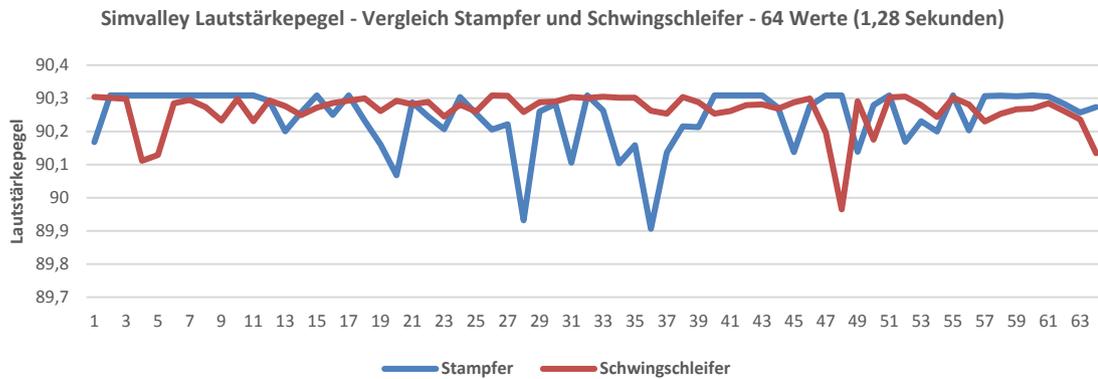


Bild 5: Lautstärkepegel am Handgelenk von Stampfer und Schwingschleifer

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.

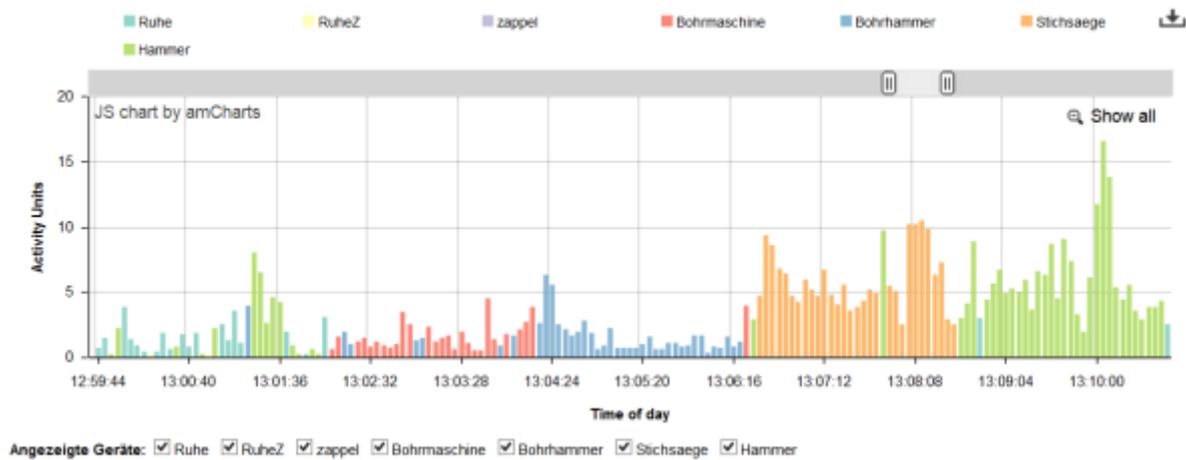


Bild 6: Erkennung der Arbeitsgeräte im Labor bei serieller Nutzung

Im Laborumfeld wurden vier unterschiedliche Arbeitsgeräte (Bohrmaschine, Bohrhammer, Stichsäge, Hammer) sowie die Aktivität „Ruhe“ mit jeweils zwei Minuten durch drei Personen antrainiert und die Erkennung der Geräternutzung bei einer neuen Arbeitskraft (leave-one-person-out) untersucht. Hierbei zeigte das System eine Erkennung von ca. 79,2 Prozent (siehe Bild 6).

In Feldtests (Umfang siehe Anhang) wurde unter realen Bedingungen die Machbarkeit der Nutzung einer Smartwatch untersucht. Hierbei wurden neben den Hand-Arm-Vibrationen auch die Lärm- und Geräuschbedingungen am Arbeitsplatz (siehe Bild 6a) erfasst.



*Bild 6b: Feldtest-Datenerhebungen in Betrieben der Instandhaltung, der Metallverarbeitung, der Herstellung mit Smartwatch, Videoaufzeichnung und Lautstärkepegelmessung*

In einem weiteren Feldtest bei einem Metall-verarbeitenden Unternehmen wurde ein Mitarbeiter ebenfalls mit einer Videokamera (GoPro) zur Ermittlung der tatsächlich aufgetretenen Vibrationsexposition (Ground-Truth) sowie der Smartwatch zur Expositionsabschätzung ausgestattet. Anschließend wurden für einen Zeitraum von zwei bis fünf Minuten vier Arbeitsgeräte antrainiert (siehe Bild 7).



Gerät 1: Winkelschleifer (Hilti)



Gerät 2: Winkelschleifer (Milwaukee)



Gerät 3: pneumatischer Schleifer



Gerät 4: Schleifer mit Wobbelscheibe

*Bild 7: Nutzung von vier Arbeitsgeräten im Feldtest*

Als Arbeitsgeräte wurde als Gerät 1 ein Winkelschleifer (Hilti<sup>2</sup>), als Gerät 2 ein Winkelschleifer (Milwaukee<sup>3</sup>), Gerät 3 als pneumatischer Schleifer (Dynabrade<sup>4</sup>) sowie als Gerät 4 ein Schleifer mit Wobbelscheibe (Milwaukee mit 3M Wobbelscheibenaufsatz) verwendet. Darüber hinaus wurde der Zustand ohne Arbeitsgerät als Aktivität „Ruhe“ antrainiert, wobei der Mitarbeiter herumgelaufen ist, den Arbeitsplatz reinigte oder sich ausruhte. Da Mikrofondaten aufgezeichnet wurden, wurde die Aktivität „Ruhe“ mit Hallenbengeräuschen aufgezeichnet.



Bild 8: Nutzung von Arbeitsgeräten (Gerät 1 und Gerät 3) im Feldtest, mit Smartwatch und Videoerfassung

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

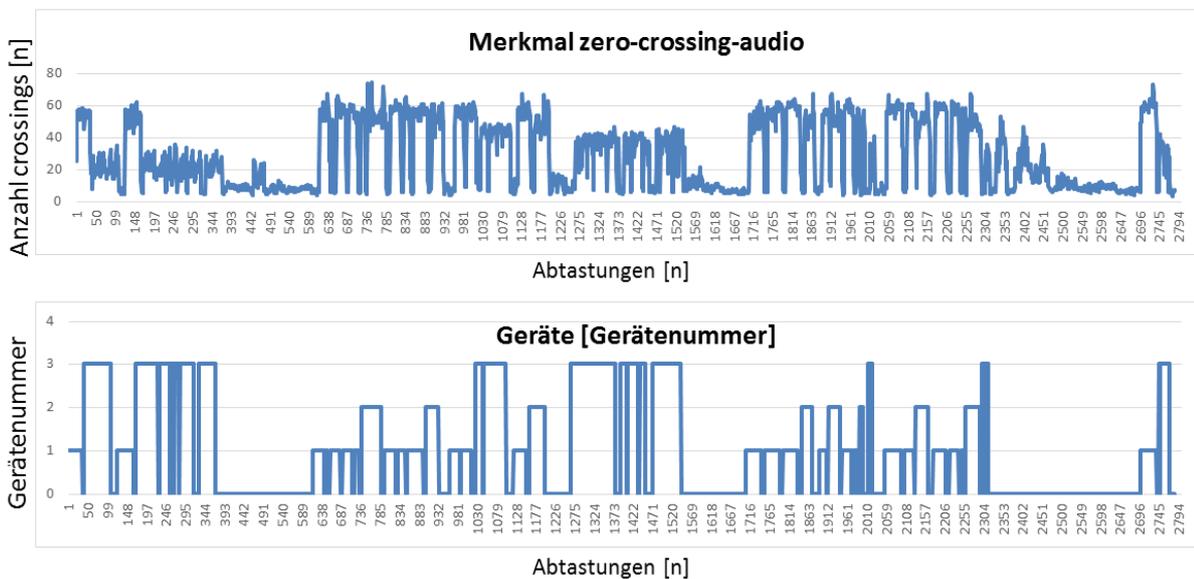


Bild 9: Darstellung der im Feldtest tatsächlich genutzten Geräte mit entsprechender Gerätenummer in Bezug zu dem erfassten Merkmal zero-crossing-audio

Anschließend arbeitete der Mitarbeiter ungestört unter Videoaufzeichnung für den Zeitraum von ca. einer Stunde. Bild 9 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

<sup>2</sup> Hilti DAG 115-S  
<sup>3</sup> Milwaukee 4032  
<sup>4</sup> Dynabrade 52402

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 positive) zu der gesamten Anzahl an Instanzen (Summe von true positive und false positive) 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.

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

Tabelle 3: Zuordnungsmatrix der Geräteerkennung eines Feldtests

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 positive klassifizierten Instanzen an der Gesamtheit der tatsächlich positiven Instanzen an. Dieser Wert ist in Tabelle 3 angegeben.

Geräte bzw. Arbeitsgang / Vibrationswert [m/s <sup>2</sup> ]	Laufzeit-gemäß Smartwatch [mm:ss]	Laufzeit-gemäß Video [mm:ss]	Fehldauer im Messzeitraum [mm:ss]	Sensitivität, True-Positive Rate [%]	Vibrationsexposition A(8) Smartwatch [m/s <sup>2</sup> ]	Vibrationsexposition A(8) gemäß Video [m/s <sup>2</sup> ]
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 <sup>2</sup> ]					2,1	
Vibrationsexposition durch Video A(8) in [m/s <sup>2</sup> ]						1,9

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

Während des Ausführungszeitraumes von ca. einer 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  $5 \text{ m/s}^2$ .

## Diskussion der Messdaten

Die Erkennung von Arbeitsgeräten ist besonders von der Anzahl der Geräte im Messzeitraum 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 eine unproblematische Unterscheidung zwischen den Geräten möglich ist und das Ergebnis auch bei anderen Einsätzen vergleichbar sein wird. Eine hohe Komplexität des Entscheidungsbaums gilt als Indikator, dass eine Überanpassung (overfitting) vorliegt und der Klassifizierer nur mit dem Trainingsset gute Ergebnisse liefert. Die Erkennungsrate in dem Beispiel 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.

Das System zeigt, dass es machbar ist, aus den Messdaten die Expositionsdauer zu bestimmen. Im Feldtest wurden die Zustände zwischen Vibrationsexposition (Arbeiten mit Geräten) und keine Vibrationsexposition (Rüstzeiten, andere Arbeiten) gut unterschieden, weniger als 2 Prozent der Instanzen mit Vibrationsexposition wurden fälschlicherweise als Instanzen ohne Vibrationsexposition zugeordnet. Die Evaluation zeigte weiterhin, dass eine Erkennung von unterschiedlichen Arbeitsgeräten möglich ist. Durch die individuellen Vibrationskennwerte und Nutzungsdauer der unterschiedlichen Arbeitsgeräte ist somit die Abschätzung der Vibrationsexpositions-dosis  $A(8)$  möglich.

Bei der Benutzung bestimmter Geräte oder bei bestimmten Betriebs- und Arbeitsbedingungen treten längere arbeitsbedingte Pausen auf, diese müssen ggf. schon in der Trainingsphase berücksichtigt werden. Die Evaluation zeigte auf, dass die bisherige Umsetzung der Trainingsdatenaufzeichnung als problematisch angesehen werden kann, da hier in einem zeitlichen Intervall die Geräteausführung durchgehend aufgezeichnet werden muss und Pausen während der Aufzeichnung nicht gestattet sind. Für jedes Arbeitsgerät müssen Trainingsdaten vorliegen, die nicht mit anderen Arbeitsgeräten oder Pausen vermischt sind. Diese Forderung lässt sich im praktischen Betrieb nur unter Aufsicht realisieren. Treten während einer Trainingsdatenaufzeichnung für ein Arbeitsgerät auch Pausen auf, so tritt das Risiko auf, dass der Klassifizierer statt auf das Gerät auf die Pausen antrainiert wird, so dass eine Erkennung verfälscht werden kann. Es folgt daraus der Vorschlag, zukünftig bereits in der Trainingsphase zwischen einer Pause und einer Arbeitsgerätenutzung zu unterscheiden.

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. Bei der verwendeten Smartwatch konnte der Beschleunigungssensor nur mit 50 Hz ausgelesen werden. Es wird davon ausgegangen, dass eine nun mögliche Abtastung von 200 Hz eine entsprechende Verbesserung erlauben wird.

In dem Projekt wurden die anerkannten Regeln zum Datenschutz betrachtet und die Daten anonymisiert erhoben sowie mit entsprechenden Datenschutzvorkehrungen übertragen und gespeichert. Darüber hinaus wurden nur Datensicherungsstandorte in Deutschland genutzt. Für die Dokumentation und Ergebnispublikationen erforderlichen Bilddaten wurden Einverständniserklärungen eingeholt. Durch die Identifikation der Arbeitsgeräte mittels der Smartwatch ist es potenziell denkbar, dass nicht nur Informationen über die Arbeitnehmergefährdung erhoben werden können, sondern auch später Hinweise hinsichtlich der Arbeitszeit und ggf. Arbeitsleistung des Arbeitnehmers. Aus diesem Grund wurden die zukünftigen Potenziale und Möglichkeiten, aber auch Risiken und Gefahren dieser neuen Technologie mit dem Landesschutzbeauftragten Mecklenburg-Vorpommern besprochen. Es wurde dabei darauf hingewiesen, dass es stets das Ziel sein soll, möglichst wenig und nur die Daten zu erheben, die einer Zielerreichung dienlich sind. Es wurde empfohlen, dass ähnlich wie bei Röntgenmessstreifen für Ärzte und Radiologen, die Auswertung direkt sichtbar ist und nur das Endergebnis angezeigt wird. Dieser Hinweis wurde bereits im vorliegenden Projekt umgesetzt, da die Daten auf der Smartwatch analysiert und ausgewertet werden, so dass hierbei die Gefahr einer Datenansammlung nicht gegeben ist.

Für eine spätere Nutzung der Smartwatch zur Arbeitsplatzbelastungsanalyse ist zu klären, ob es doch sinnvoll sein kann, die Daten langfristig im Rahmen einer Lebensarbeitsbelastung zu speichern. Für Entwicklungen, die dieses Ziel verfolgen, haben die Landesdatenschutzbeauftragten ebenfalls ihre Projekt-Unterstützung signalisiert.

Ein möglicher Einsatz einer Vibrationsexpositionserkennung mittels Smartwatches im Betriebsalltag kann dahingehend umgesetzt werden, dass eine Softwarelösung zum Download in den Google-App-Store gestellt wird. Dadurch wird jeder Mitarbeiter mit einer eigenen Smartwatch in die Lage versetzt, selbst die Vibrationsbelastung abschätzen zu können. Bei Anzeichen einer gesundheitlichen Gefährdung, kann der Mitarbeiter die für den Arbeitsschutz im Betrieb zuständigen Personen informieren. Ebenfalls ist ein Einsatz direkt durch den Betrieb, der Berufsgenossenschaft oder Betriebsarzt denkbar, die schnell, kostengünstig und unkompliziert den Arbeitsplatz bewerten möchten. Trotz der technischen Möglichkeiten sollten bei der Vibrationsdosiserfassung nicht mehr Daten erfasst werden, als für eine Bewertung notwendig ist, um die Aspekte des Datenschutzes zu berücksichtigen. Daher sollte eine Smartwatch-basierte Vibrationsdosiserfassung nur die gleichen Daten erheben, die die für den Arbeitsschutz zuständige Person im Betrieb bisher auch manuell erfasst.

## Veröffentlichungen

Im Rahmen des Projektes sind folgende Veröffentlichungen entstanden:

*Individuelle Bestimmung der Hand-Arm-Vibrationsdosis mit Smartwatches*

Gerald Bieber, Uwe Kaulbars, John Trimpop, Anton Hofmann, VDI -Berichte Nr. 2277, VDI Verlag, 2016

*A Preview on AGIS – a Smartwatch App for a Tool Detection and a Hand-Arm Vibration Estimation,*

Denys J.C. Matthies, Gerald Bieber and Uwe Kaulbars, *International Workshop on Sensor-based activity recognition and Interaction - iWOAR, Rostock, ACM digital Library, 2016, <http://dx.doi.org/10.1145/2948963.2948971>*

## Vortrag

Die Publikationen wurden auf folgenden Veranstaltungen dem Fachpublikum präsentiert und die Ergebnisse diskutiert:

6. VDI-Tagung Humanschwingungen, 26.-27. April 2016, Würzburg – Vortrag

Workshop on Sensor-based activity recognition and Interaction - iWOAR, Rostock

## 5. Auflistung der für das Vorhaben relevanten Veröffentlichungen, Schutzrechtsanmeldungen und erteilten Schutzrechte von nicht am Vorhaben beteiligten Forschungsstellen

<i>Patentnummer</i>	<i>Anmelde-Datum</i>	<i>Anmelder</i>	<i>Inhalt</i>	<i>Status</i>
EP1050749A1	25. Nov. 1998	Fuji Air Tools Co., Ltd.	Schwingungsbewertungsgerät des menschlichen Körpers und Hand-schwingungsgerät	erloschen
DE10119252A1	11. Apr. 2001	Klaus-Thomas Schenk	Einrichtung zur personengebundenen Messung von Kennwerten der Hand-Arm- und Ganzkörperschwingungsbelastung an Arbeitsplätzen (Schwingungsdosimeter),	erloschen
DE10303006A1	27. Jan. 2003	Hilti Ag	Handgeführtes Arbeitsgerät	In Kraft, Vibrationsreduktion
WO1996029581A1	21. März 1996	British Gas Plc	Vibration dosimeter worn by an operator	unpassend
EP 1645230 A2	17. Sept. 2004	Wacker Construction Equipment AG	Expositionsmessvorrichtung für ein Arbeitsgerät	unpassend
EP 0 815 420 81 / DE 696 15 167.7	21. März 1996	Lattice Intellectual Property Limited	Vibrationsüberwachungssystem	Nicht anhängig/erloschen
PCT/EP2007/050338 und DE 10 2006 009 657.6	2. März 2006	Robert Bosch GmbH	Vibrationsdosimeter und Verfahren zur Ermittlung der täglichen Vibrationsbelastung	Nicht anhängig/erloschen
DE 101 19 252.5	11. Apr. 2001	Schenk, Klaus-Thomas et. al.	Einrichtung zur personengebundenen Messung von Kennwerten der Hand- Arm- und Ganzkörperschwingungsbelastung an Arbeitsplätzen (Schwingungsdosimeter)	Nicht anhängig/erloschen

Tabelle 4: Übersicht der Patentsituation für eine Vibrations- und Geräteerkennung

In Tabelle 4 wurden relevante Schutzrechtsanmeldungen von externen Forschungsstellen aufgelistet. Darüber hinaus sind ähnlich gelagerte Patente, z.B. GB 2299168 (Application withdrawn), Patent GB 2299169 (Patent ceased), Patent AU 199879957 (ceased) ebenso wie die in der Tabelle aufgelisteten Patente nicht mehr ungültig oder unpassend. Entsprechend der durchgeführten Patentrecherche liegt keine bekannten Schutzrechte vor, die das Forschungsprojekt oder eine spätere Nutzung behindern.

Im Rahmen der projektbegleitenden Untersuchung zum Stand der Technik wurden weiterhin Forschungsarbeiten identifiziert, die für das Projekt relevant sind. Diese sind wie folgt aufgeführt.

*Wissenschaftliche Begründung für die Berufskrankheit „Gefäßschädigung der Hand durch stoßartige Krafteinwirkung (Hypothenar-Hammer-Syndrom und Thenar-Hammer-Syndrom)“, Bek. des BMAS vom 1.5.2012 – IVa4-45226-2 - GMBI. 6.6.2012, 449-455*

*BK 2103 - Erkrankungen durch Erschütterung bei Arbeit mit Druckluftwerkzeugen oder gleichartig wirkenden Werkzeugen oder Maschinen, Merkblatt zur Berufskrankheit Nr. 2103 der Anlage zur Berufskrankheiten-Verordnung (BKV), BarbBl 03/2005, S. 51*

*BK 2014 - Merkblatt zur BK Nr. 2104: Vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen an den Händen, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können (Bek. des BMA vom 10.7.1979 im Bundesarbeitsblatt 7/8/1979)*

*EU-Handbuch HAV, Handbuch zum Thema Hand-Arm-Vibration, Potsdam, 2007, Rechtlich nicht bindendes Handbuch im Hinblick auf die Umsetzung der Richtlinie 2002/44/EG über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Schwingungen), 2007*

*Fachausschuss-Informationsblatt 062: Vibrationsmessungen, Berufsgenossenschaft Holz und Metall, Ausgabe 03/2012*

*Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung - LärmVibrationsArbSchV), 2007, Letzter Zugriff: 20.06.2016, [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/l\\_rm\\_vibrationsarbschv/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/l_rm_vibrationsarbschv/gesamt.pdf)*

*Brammer, A. J., Taylor, W., & Lundborg, G.: Sensorineural stages of the hand-arm vibration syndrome. In SJWEH 1987, 279-283, 1987*

*Bovenzi, M., Zadini, A., Franzinelli, A., & Borgogni, F.: Occupational musculoskeletal disorders in the neck and upper limbs of forestry workers exposed to hand-arm vibration. In Ergonomics, 34(5), 547-562., 1991*

*Do, T. M. T., Kalimeri, K., Lepri, B., Pianesi, F., & Gatica Perez, D.: Inferring social activities with mobile sensor networks. In ICMI 2013. ACM. 405-412., 2013*

*Donati, P.: Workplace exposure to vibration in Europe: an expert review (No. 7). Office for Official Publications of the European Communities, 2008, ISBN 978-92-9191-221-6*

*Efstratiou C., Davies N., Kortuem G., Finney J., Hooper R., Lowton M.: Experiences 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, 2007*

*Fachausschuss-Informationsblatt 062: Vibrationsmessungen, Berufsgenossenschaft Holz und Metall, Ausgabe 03/2012*

Gemne, G., Pyykkö, I., Taylor, W., & Pelmear, P. L.: *The Stockholm Workshop scale for the classification of cold-induced Raynaud's phenomenon in the hand-arm vibration syndrome (revision of the Taylor-Pelmear scale)*. In *SJWEH* 1987. 275-278, 1987.

Hein A., Kirste T.: *A hybrid approach for recognizing adls and care activities using inertial sensors and rfid*. In Constantine Stephanidis, editor, *Universal Access in Human-Computer Interaction. Intelligent and Ubiquitous Interaction Environments, 5th International Conference, UAHCI 2009, Held as Part of HCI International 2009, San Diego, CA, USA, July 19-24, 2009. Proceedings, Part II, Lecture Notes in Computer Science, Springer, pages 178–188, San Diego, CA, USA, 2009*

Hüning, A. Schulze M.: *Die neue EG-Maschinenrichtlinie*. Verlag Technik & Information, 2010.

Kaulbars U.: *Messung der Ankopplungskraefte zur Beurteilung der Hand-Arm-Schwingungen-Weiterentwicklung eines Messsystems*, VDI Berichte Nr. 2002, 2007

Kinne J., Latzel K., Melzig R., Thiel, Schatte: *Schwingungstechnische Modellierung der beiden Hand-Arm-Systeme von Bedienpersonen für die Anwendung bei der Prüfung von Handmaschinen, Abschlussbericht zum Projekt F 1955 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2011*

KmU, *Kleine und mittlere Unternehmen, KmU Definition gemäß der EU*, <http://www.ifm-bonn.org/definitionen/kmu-definition-der-eu-kommission/>, letzter Zugriff: 20.10.2016

Kortuem G., Alford D., Ball L., Busby J., Davies N., Efstratiou C., Finney J., White M. I., Kinder K.: *Sensor Networks or Smart Artifacts? An Exploration of Organizational Issues of An Industrial Health and Safety Monitoring System*, *Lecture Notes in Computer Science Volume 4717*, pp 465-482, 2007

Laput, G., Yang, C., Xiao, R., Sample, A., & Harrison, C.: *EM-Sense: Touch Recognition of Uninstrumented, Electrical and Electromechanical Objects*. In *UIST 2015. ACM*. 157-166. 2015

Mirbod, S.M., Yoshida H., Komura Y., Fujita S., Nagata C., Miyashita M., Inaba R., Iwata H.: *Prevalence of Raynaud's phenomenon in different groups of workers perating hand-held vibrating tools*, *Int Arch Occup Environ Health* (1994) 66:13-22

Mohr, D.: *Gefährdungsbeurteilung und Präventionsmaßnahmen nach der neuen EU-Vibrations-Richtlinie 2002/44/EG*, Vortrag A+A, Düsseldorf, 2003

*Online-Rechner für HAV*, British Health and Safety Executive, Letzter Zugriff: 21.06.2016, <http://www.hse.gov.uk/vibration/hav/vibrationcalc.htm>

Pitts P. M., Kaulbars U., *Consideration of standardisation requirements for "vibration dosemeters"*, VDI-Berichte Nr 2190, 2013

Rosarius H., *Schutz vor Lärm und Vibrationen*, *Arbeitssicherheitsjournal* 2010, 13, <http://www.arbeitssicherheit.de/de/html/library/document/4924290>, letzter Zugriff 22.03.2016

Ward, J. A., Lukowicz, P., Troster, G., & Starner, T. E.: *Activity recognition of assembly tasks using bodyworn microphones and accelerometers*. In *TPAMI* 2006, 28(10), IEEE. 1553-1567, 2006

Wang, Y., Liu, J., Chen, Y., Gruteser, M., Yang, J., & Liu, H.: *E-eyes: device-free location-oriented activity identification using fine-grained wifi signatures*. In *MobiCom* 2014. ACM. 617-628., 2014.

## 6. Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich des Forschungszwecks/-ziels, Schlussfolgerungen

Die LärmVibrationsArbSchV enthält formale Vorgaben, wie die Gefährdungsbeurteilung durchzuführen ist und fordert die Ergreifung von Maßnahmen, um die Vibrationsexposition Betroffener zu reduzieren.

Hier setzt das vorliegende Projekt an, um besonders auch für kleinere und mittlere Unternehmen (KMU) neue Möglichkeiten zu entwickeln, mit für jeden Betrieb finanziell tragbaren Methoden eine Abschätzung der Vibrationsexpositionsdauer und -stärke, dadurch Schutz des Mitarbeiters und Erhalt dessen Arbeitskraft zu erreichen.

Mit der Veröffentlichung der Technischen Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (TRLV Vibrationen) wurde Arbeitgebern im Jahre 2010 ein Leitfaden zur Anwendung der neuen Verordnung zur Verfügung gestellt. Sie enthält den aktuellen Stand der Technik im Bereich Messtechnik und Arbeitsmedizin, so dass Arbeitgeber bei Anwendung der aufgeführten Regeln davon ausgehen können, die Vorgaben der LärmVibrationsArbSchV einzuhalten. Kurzinformationen können auch auf der Smartwatch visualisiert werden.

Für den Arbeitgeber und Arbeitnehmer ist die Kenntnis arbeitsgerätespezifischer Vibrationsexpositionskennwerte erforderlich. Diese müssen gemäß Maschinenrichtlinie 2006/42/EG (Hüning und Schulze, 2010) von den Herstellern ausgewiesen werden. Für die Bestimmung der Vibrationsemission wird DIN EN ISO 20643 (Mechanische Schwingungen – Handgehaltene und handgeführte Maschinen – Grundsätzliches Vorgehen bei der Ermittlung der Schwingungsemission) herangezogen. Üblicherweise wird der Wert in der Bedienungsanleitung ausgewiesen, es stehen hierfür jedoch auch diverse Datenbanken zur Verfügung. Nach LärmVibrationsArbSchV kann auf Basis dieser Kennwerte die Vibrationsexposition am Arbeitsplatz abgeschätzt werden. Alternativ kann auch durch direkte Messung der Beschleunigungskräfte bei der Bedienung des Gerätes mit anschließender Frequenzbewertung die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte am Arbeitsplatz nachgewiesen werden. Dies erfordert neben besonderer Fachkunde jedoch auch Spezialgeräte, die regelmäßig kalibriert werden müssen. Direkte Messungen sind daher mit hohen Kosten verbunden (*Fachausschuss-Informationsblatt 062*, 2012). Weiterhin ist die Erfassung und Darstellung komplex und derzeit sowohl für Arbeitgeber und Arbeitnehmer nicht intuitiv darstellbar.

Im Rahmen des Projektes wurde erfolgreich die Machbarkeit untersucht, dass mittels Smartwatches eine Abschätzung der Vibrationsexposition durchgeführt werden kann. Es konnte nachgewiesen werden, dass unter Einbeziehung einer Mustererkennung Smartwatches die Expositionsdauer bestimmen und die verwendeten Arbeitsgeräte unterscheiden können. Darüber hinaus konnten grundlegende Konzepte zur Bedienung der Smartwatches bei einer Vibrationsdosiserfassung erarbeitet werden. Für die Machbarkeitsuntersuchung wurde eine Software entwickelt, die für Android-Smartwatches ausgelegt ist und sich einfach auf die Smartwatch installieren lässt.

Auf der Grundlage der in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse, ist die Entwicklung einer robusten Software zum betrieblichen Einsatz möglich. Diese Software könnte, falls sie in den öffentlichen Download-Bereich des Google Playstore eingestellt werden würde, von jedem Smartwatch-Besitzer zur Nutzung heruntergeladen werden. Die Software kann als mobile Anwendung (mobile app) vom Nutzer gestartet oder gestoppt werden und zeigt neben der Uhrzeit die bisher einwirkende Vibrationsexposition als numerischen Wert sowie als farbliche Ampel (grün, gelb oder rot) an. Der Mitarbeiter kann für sich selbst die Daten erheben, alle Daten bleiben beim Mitarbeiter. Eine mögliche flächenbreite Nutzung sowie ständige Prüfung von gefährdeten Arbeitsplätzen wäre dadurch möglich. Es wird erwartet, dass die Erkenntnisse des Projektes, die durch die Nutzung der neuen Smartwatch-Technologie möglich werden, in die breite Anwendung geführt werden können. Dadurch werden besonders kleinere und mittlere Unternehmen (KMUs) profitieren, da einerseits eine schnelle, einfache Durchführung der Nachweispflicht zur Beurteilung der Arbeitsplatzsituation durchgeführt werden kann. Andererseits hilft dieses, die Arbeitskraft und Gesundheit der Mitarbeiter nachhaltig zu erhalten, damit eine gleichbleibende Arbeitsqualität und -klima, besonders auch im Hinblick der demografischen Entwicklung, sichergestellt werden kann.

Von HAV gehen mittelbare und unmittelbare Gefahren für die Gesundheit aus. Durch vorübergehende Effekte während der Bedienung von Arbeitsgeräten können in der Hand Taubheit und verringerte Griffkontrolle ausgelöst werden, wodurch die Fähigkeit zur sicheren Bedienung dieser Geräte beeinträchtigt wird, was zu Unfällen führen kann. Indirekte Gesundheitsschäden werden in diesem Zusammenhang als mittelbare Gefahrenquellen bezeichnet (TLRV-Vib). Unmittelbare Gefahren für die Gesundheit entstehen hingegen direkt durch Vibrationsexposition. Durch HAV können diverse Krankheitsbilder ausgelöst werden. Diese beruhen auf einer Schädigung von Gelenken, Knochen, Nerven und Gefäßen. Dabei können Kälteeinfluss, Frequenz der Vibrationen sowie die Griffkraft, mit der das Gerät gehalten wird, Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit und Art der Schädigung haben.

Dies betrifft zum einen Berufskrankheit BK 2103 ("Erkrankungen durch Erschütterung bei Arbeit mit Druckluftwerkzeugen", BK 2103). Für die hier beschriebenen Schädigungsmechanismen sind vorrangig tiefere Frequenzanteile von 8 - 50 Hz für gesundheitliche Schädigungen verantwortlich. Diese geringeren Frequenzen können auch direkt mit einer Smartwatch gemessen werden. Mögliche Quellen solcher gefährdenden Vibrationen sind eine Reihe an Werkzeugen, wie sie im Hoch- / Tiefbau, Bergbau oder im Straßenbau Verwendung finden, beispielsweise Aufbruchhämmer und Bodenverdichter. Die dabei entstehende mechanische Belastung von Knochen und insbesondere Gelenken bewirkt eine ständige Stauchung und Streckung des Gewebes, wodurch frühzeitiger Verschleiß an den Gelenkknorpelflächen auftritt. Hierdurch sind sekundäre Erkrankungen möglich, die zu degenerativen Gelenkveränderungen führen können. Betroffen sind davon insbesondere Ellenbogen- und Handgelenk, seltener auch das Schultergelenk.

Die folgenden Erkrankungen sind unter der Nummer 2103 als Berufskrankheit anerkannt:

- Arthrotische Veränderungen im Bereich der Handgelenke
- Mondbeinnekrose
- Ermüdungsbruch des Kahnbeins und Kahnbeinpseudarthrose
- Arthrose des Ellenbogengelenkes
- Osteochondrosis dissecans im Ellenbogengelenk (Knochennekrose)
- Arthrose des Schultergelenkes

Nach praktischen Erfahrungen können HAV einem breiten Bereich von 20-1000 Hz Durchblutungsstörungen und Schäden der peripheren Nerven an den Fingern verursachen. Die hiermit assoziierten Erkrankungen sind als Berufskrankheit BK 2104 ("Vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen an den Händen") anerkannt. Arbeitsgeräte, bei deren Benutzung Frequenzen in diesem Bereich auftreten, können beispielsweise Bohrer, Sägen, Fräsen, Schneide-, Schleif- oder Poliermaschinen sein, wie sie in der Forstwirtschaft und metallverarbeitenden Industrie benutzt werden.

Das hiermit assoziierte Krankheitsbild wird als vibrationsbedingtes vasospastisches Syndrom (VSS) bezeichnet. Andere Bezeichnungen sind traumatisches Raynaud-Syndrom oder Weissfinger-Krankheit. VSS manifestiert sich als chronische Erkrankung abhängig von Dauer und Intensität der täglichen Exposition nach einigen Monaten bis Jahren. So ist bei einer Tages-Schwingungsbelastung von  $5 \text{ m/s}^2$  nach 6 Expositionsjahren bei 10 % der Betroffenen das Auftreten dieser Erkrankung zu erwarten (Mohr, 2003). Die Symptome zeigen sich anfallsartig mit einer Dauer von wenigen Minuten bis mehreren Stunden und sind örtlich begrenzt. Kälteeinfluss begünstigt das Auftreten der Beschwerden.

Dabei tritt eine starke Verminderung der Durchblutung auf, die mit Kälte- und Schwächegefühlen in den betroffenen Fingern einhergeht. Zwischen den Anfällen treten keine Beschwerden auf. Wenn die Vibrationsexposition entfällt, kann die Erkrankung anfangs reversibel sein. Bei bereits fortgeschrittener Erkrankung ist eine Linderung der Symptome möglich.

## **Sonstige Erkrankungen**

Vibrationsexposition gegenüber HAV kann neurologische Schäden in der Hand verursachen. Dies kann zu empfindlichen Einschränkungen von Arbeitsfähigkeit und Freizeitaktivitäten führen. Betroffene klagen dabei über Kribbeln und Taubheit in Fingern oder Händen, Temperaturempfinden, Beweglichkeit und Tastsinn können eingeschränkt sein. Darüber hinaus kann die Arbeit mit vibrierenden Arbeitsgeräten möglicherweise das Risiko eines Karpaltunnelsyndroms erhöhen. Die hier beschriebenen Erkrankungen werden nicht durch die Berufskrankheitenverordnung erfasst (EU-Handbuch HAV, 2007)

## **Prävalenz**

Durch den hohen Aufwand der Beurteilung der Arbeitsplatzsituation sind keine präzisen Angaben über die Anzahl vibrationsexponierter Personen verfügbar. Mit den Fallzahlen aus Großbritannien von 1998 und den Beschäftigungsdaten aus dem Mikrozensus 2001 wurde eine Hochrechnung auf die Exponiertenzahlen in Deutschland durchgeführt (Mohr, 2003). Demnach sind zu diesem Zeitpunkt grob geschätzt ein knappes Fünftel der Erwerbstätigen in Deutschland gegenüber HAV exponiert. Von diesen wäre demnach jeder Sechste einer Tages-Vibrationsexposition oberhalb des unbedenklichen Bereiches ausgesetzt. Diese Zahlen werden auch durch andere Arbeiten bestätigt (WP, 2014). Dabei sind keinesfalls nur Berufsgruppen betroffen, die mit schweren Maschinen arbeiten. So können auch Zahntechniker oder Orthopäden vibrationsbedingte Erkrankungen aufweisen (Mirbod, 1994)

Von 2000 bis 2005 wurden in Deutschland 641 Fälle der Berufskrankheit BK 2103 und 81 der BK 2104 anerkannt, von denen 424 bzw. 73 zur Frühverrentung führten. Der Trend ist insgesamt rückläufig. Im vorangegangenen 5-Jahres-Zeitraum lagen die Fallzahlen mit 1112 (723) für BK 2103 bzw. 155 (110) für BK 2104 deutlich höher. Die Zahlen der aktuellen Jahre sind im Anhang aufgeführt. Über vibrationsbedingte Erkrankungen, die nicht als Berufskrankheit anerkannt sind, liegen keine Fallzahlen vor.

## 7. Aktueller Umsetzungs- und Verwertungsplan

Bei dem vorliegenden Projekt handelte es sich um eine Machbarkeitsanalyse, die keinen Umsetzungs- oder Verwertungsplan verfolgt.

Die positiven Ergebnisse aus dem Projekt legen jedoch nahe, in einem Folgeprojekt die entwickelten Methoden und Konzepte weiterzuführen, um diese entsprechend umsetzen und verwerten zu können.

Aufbauend auf den Ergebnissen der vorliegenden Machbarkeitsstudie können weitere Forschungsfragen definiert werden, die in anschließenden Forschungsprojekten geklärt werden können. Hierzu sind folgende wissenschaftliche Fragestellungen denkbar:

- Sind die bereits bekannten Modelle der Dämpfung von Ankopplung und Übertragung von Schwingungen auch auf das Messverfahren mittels Smartwatches anwendbar?
- Wie kann der individuelle Anlernprozess hinsichtlich des Aufwands und der benötigten Sorgfalt optimiert oder verändert werden?
- Ist eine kontinuierliche Bewertung der Vibrationssituation in Unternehmen mit den beschriebenen Methoden möglich?
- Wie ist die Akzeptanz bei den Mitarbeitern und im Unternehmen?
- Können weitere Sensoren zur Unterstützung des Arbeitsschutzes eingesetzt werden?
- Ist die Messung von Ruhepausen / Erholungsphasen sinnvoll und machbar?
- Welche Maßnahmen zur Vibrationsvermeidung/-minderung leiten sich aus den Projektergebnissen ab?
- Wie kann der Einsatz von Smartwatches in die betrieblichen Abläufe integriert werden, ohne dass der Betriebsablauf gestört, Mitarbeiter behindert oder neue Gefahrenquellen geschaffen werden?
- Wie können die Persönlichkeitsrechte und der Datenschutz durch den Einsatz von Smartwatches und mobilen Systemen gewahrt oder verbessert werden?
- Wie können die Erkenntnisse in die breite Anwendung überführt werden?

## 8. Anhang/Anhänge

### Forschungsbegleitkreis

Das Projekt wurde freundlicherweise durch den folgenden Forschungsbegleitkreis unterstützt:

Dr. Beat W. Hohmann, Suva, Schweiz

Winfried Eckert, Berufsgenossenschaft Bau

Dr. Christoph Hecker, Berufsgenossenschaft Holz und Metall

Peter Frener, Berufsgenossenschaft Holz und Metall

Uwe Kaulbars, Institut für Arbeitsschutz

Dr. Joachim Herrmann, DGUV

Ebenfalls wird den beteiligten Betrieben aus der gewerblichen Wirtschaft für die Unterstützung der Feldtests sowie der Einblicknahme in Produktionsabläufe und mögliche Vibrationsexpositionen gedankt.

### Struktur der Datenerfassung im Labor IFA, St. Augustin

Messplan der Laboruntersuchungen

	Schwingschleifer				Winkelschleifer				Borhammer				Schlagschrauber pneumatisch				Schlagschrauber elektrisch				Stampfer ohne AVS				Stampfer mit AVS			
	Uhr	HS	N	VP	Uhr	HS	N	VP	Uhr	HS	N	VP	Uhr	HS	N	VP	Uhr	HS	N	VP	Uhr	HS	N	VP	Uhr	HS	N	VP
Kurzeitmessung ≤ 60 sec.	2	ohne	5	10	2	ohne	5	10	2	ohne	5	10	2	ohne	5	10	2	ohne	5	10	2	ohne	5	10	2	ohne	5	10
Arbeitsspiel 3 - 5 min. (ohne Handschuhe)	2	ohne	1	10	2	ohne	1	10	2	ohne	1	10	1	ohne	1	10	1	ohne	1	10	1	ohne	1	10	1	ohne	1	10
Arbeitsspiel 3 - 5 min. (mit Handschuhe)	/				1	mit	1	10	1	mit	1	10	1	mit	1	10	1	mit	1	10	1	mit	1	10	1	mit	1	10
Langzeitmessung 8h	1	offen	1	1	/				/				/				/				/							
Ankopplung ≤ 30 sec. (locker, mittel, fest)	1	ohne	5	3	/				/				/				/				1	ohne	5	3	1	mit	5	3

Uhr: 1 = eine Uhr rechts; 2 = zwei Uhren auf beiden Seiten

HS: ohne = keine Handschuhe; mit = mit Handschuhe; offen = während der Durchführung variabel

N: Anzahl der Wiederholungsmessungen

VP: Anzahl der Versuchspersonen

## Aufstellung der zur Praxiserprobung verwendeten Arbeitsgeräte

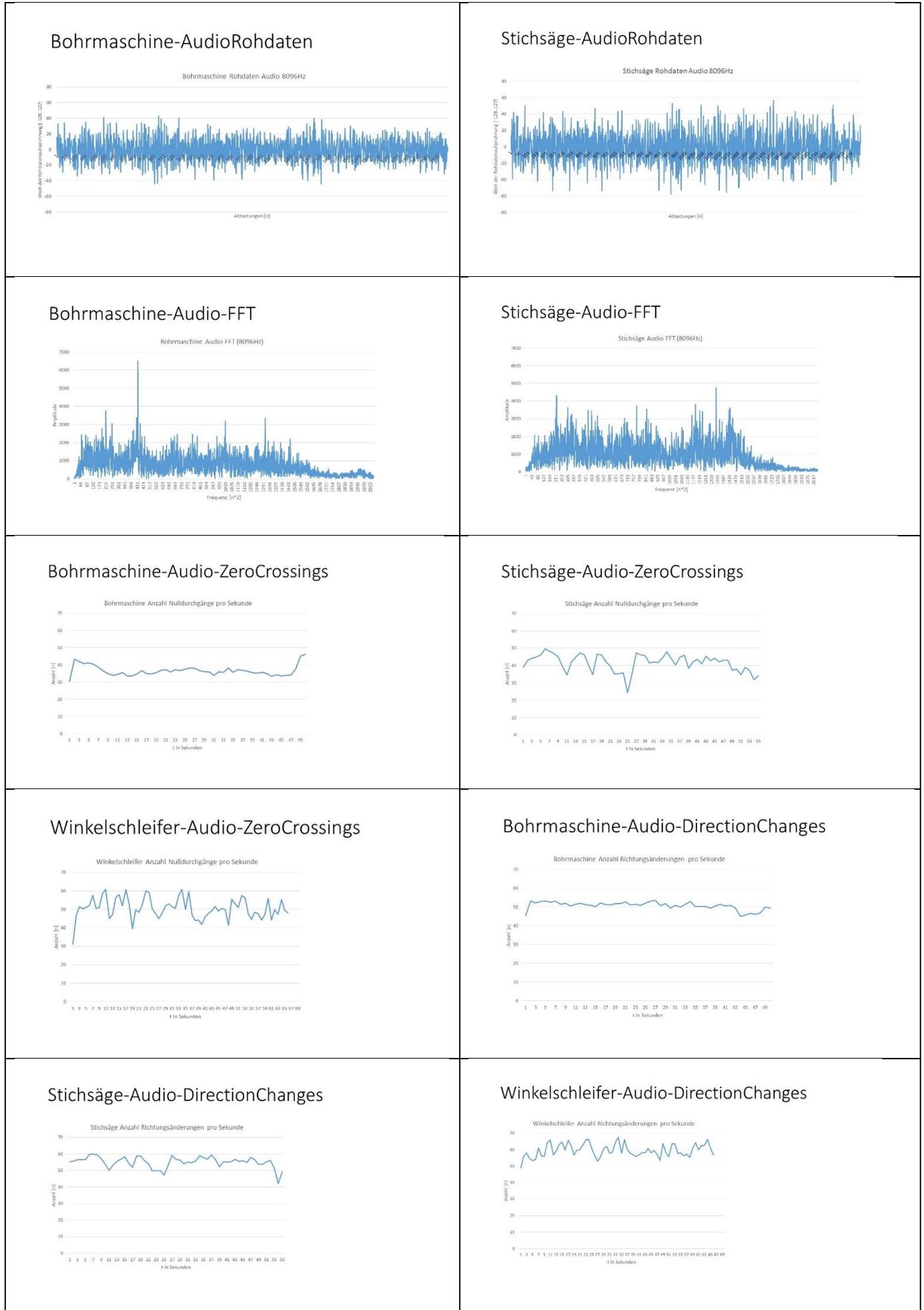
Branche	Arbeitsgerät	Hersteller / Typ
Verkehrsbetriebe	Oszillationsmesser	E.&F. Fein GmbH, Typ FSC 2.0 Q
	Druckluft-Schlagschrauber	Chicago Pneumatic, Typ CP-772-H
		Chicago Pneumatic, Typ CP-7830-H
Landschaftsgartenbau	Freischneider (Motorsense)	Komatsu, Typ Zenoa G23L
		Komatsu, Typ Zenoa GZ25N
	Laubbläser	Stihl AG & Co.KG, Typ BG66C
		Stihl AG & Co.KG, Typ BR500
Automobilindustrie	Säbelsäge	Milwaukee, Typ SSPE 1300 QX
	Bohrmaschine	Bosch, Typ GBM 10 RE
	Winkelschleifer	Bosch, Typ GWS 26-230 JBV Professional
	Elektro-hydraulische Lochstanze	Makita, Model HPC-615DF
Forstbetrieb	Freischneider (Spacer)	Husqvana, Typ 535 FBX
	Motorsäge	Husqvana, Typ 550 XP G
	Freischneider	Husqvana, Typ 545 FXT
Pharmaindustrie	Winkelschleifer	E.&F. Fein GmbH, Typ Msfa 666 d BS
	Geradschleifer	E.&F. Fein GmbH, Typ Mshe 648-1
	Winkelschleifer	Bosch GmbH & Co.KG, Typ GWS 14-125 CIE Proff.
	Walzenschleifmaschine	Flex GmbH, Typ CP 1503 VR
Metallverarbeitung	Winkelschleifer	Hilti AG, Typ DAG 115-S
		Milwaukee, Typ AG 8-115
	Schleifer	Dynabrade, Model No. 52402
	Orbitalschleifer	3M GmbH, Typ Elite Series 28508

## Liste der ausgewählten Merkmale

- maxAmpFrequency\_acc: dominanteste Frequenz des Accelerometersignals
- spectralCentroid\_acc: Schwerpunktwellenlänge, ermittelt durch das gewichtete arithmetische Mittel aus den Frequenzanteilen, gewichtet mit deren Amplitude
- spectralFlux\_acc: Maßzahl, die angibt, wie schnell sich das Energiespektrum des Accelerometersignals ändert
- spectralFlatness\_acc: Maßzahl, die angibt, wie klar ein Bewegungssignal ist
- maxAmpFrequencyOfFirstQuartile\_acc: maximale Frequenz des ersten Quartils des normierten Accelerometersignals
- maxAmpFrequencyOfSecondQuartile\_acc: maximale Frequenz des zweiten Quartils des normierten Accelerometersignals
- maxAmpFrequencyOfThirdQuartile\_acc: maximale Frequenz des dritten Quartils des normierten Accelerometersignals
- maxAmpFrequencyOfFourthQuartile\_acc: maximale Frequenz des vierten Quartils des normierten Accelerometersignals
- frequencyDifferenceOfFirstAndSecondQuartile\_acc: Differenz der Frequenz aus dem zweiten weniger dem ersten Quartil
- frequencyDifferenceOfFirstAndThirdQuartile\_acc: Differenz der Frequenz aus dem dritten weniger dem ersten Quartil
- frequencyDifferenceOfFirstAndFourthQuartile\_acc: Differenz der Frequenz aus dem vierten weniger dem ersten Quartil
- frequencyDifferenceOfSecondAndThirdQuartile\_acc: Differenz der Frequenz aus dem dritten weniger dem zweiten Quartil
- frequencyDifferenceOfSecondAndFourthQuartile\_acc: Differenz der Frequenz aus dem vierten weniger dem zweiten Quartil
- frequencyDifferenceOfThirdAndFourthQuartile\_acc: Differenz der Frequenz aus dem vierten weniger dem dritten Quartil
- spectralEntropy\_acc: Kennzahl für die spektrale Entropie
- spectralEnergy\_acc: Kennzahl für die spektrale Energie
- spectralSignalToNoiseRatio\_acc: Ermittlung des Signal-Rausch-Verhältnisses des Accelerometersignals
- spectralLowHighBandQuotient\_acc: Der Quotient der niedrigsten und höchsten Beschleunigungsfrequenz des Accelerometersignals
- logLikelihood\_acc: das Ergebnis der logarithmierten Likelihood-Funktion
- signalMagnitudeArea\_acc: Schwerpunkt des Accelerometersignals
- averageAbsoluteDifference\_acc: gibt die durchschnittliche absolute Differenz zum Mittelwert des Accelerometersignals an
- activityUnit\_acc: eine Maßzahl für die Aktivität, ermittelt aus den x-, y- und z-Achsen Beschleunigungen
- signalIntensity\_acc: errechnet die durchschnittliche Signalintensität aus den zusammengehörigen x-, y- und z-Achsen Beschleunigungen
- meanCrossings\_acc: Anzahl der Durchgänge der x-, y- und z-Achsen Beschleunigungen durch den Mittelwert des Accelerometersignals
- medianCrossings\_acc: Anzahl der Durchgänge der x-, y- und z-Achsen Beschleunigungen durch den Median des Accelerometersignals
- zeroCrossings\_acc: Anzahl der Nullstellen der x-, y- und z-Achsen Beschleunigungen des Accelerometersignals
- rootMeanSquare\_acc: quadratischer Mittelwert des Accelerometersignals
- geometricMean\_acc: geometrischer Mittelwert des Accelerometersignals
- mean\_acc: Mittelwert der normierten Werte für die x-, y- und z-Achsen Beschleunigung
- meanX\_acc: Mittelwert für die x-Achsen Beschleunigung
- meanY\_acc: Mittelwert für die y-Achsen Beschleunigung
- meanZ\_acc: Mittelwert für die z-Achsen Beschleunigung

- `modus_acc`: der Modus des normierten FFT-Signals der x-, y- und z-Achsen Beschleunigung des Accelerometersignals
- `pearsonModusSkewness_acc`: Maßzahl für die Schiefe bzw. die Asymmetrie des normierten Accelerometersignals nach Pearson
- `sum_acc`: die Summe des normierten Accelerometersignals für die x-, y- und z-Achsen
- `sumX_acc`: die Summe des normierten Accelerometersignals der x-Achse
- `sumY_acc`: die Summe des normierten Accelerometersignals der y-Achse
- `sumZ_acc`: die Summe des normierten Accelerometersignals der z-Achse
- `variance_acc`: die Varianz des normierten Accelerometersignals für die x-, y- und z-Achsen
- `varianceX_acc`: die Varianz des normierten Accelerometersignals der x-Achse
- `varianceY_acc`: die Varianz des normierten Accelerometersignals der y-Achse
- `varianceZ_acc`: die Varianz des normierten Accelerometersignals der z-Achse
- `standardDeviation_acc`: die Standardabweichung des normierten Accelerometersignals für die x-, y- und z-Achsen
- `firstQuartile_acc`: gibt das erste Quartil des normierten Accelerometersignals für die x-, y- und z-Achsen an
- `median_acc`: der Median des normierten Accelerometersignals für die x-, y- und z-Achsen
- `medianX_acc`: der Median des normierten Accelerometersignals der x-Achse
- `medianY_acc`: der Median des normierten Accelerometersignals der y-Achse
- `medianZ_acc`: der Median des normierten Accelerometersignals der z-Achse
- `thirdQuartile_acc`: gibt das dritte Quartil des normierten Accelerometersignals für die x-, y- und z-Achsen an
- `interQuartileRange_acc`: die Differenz aus dem dritten weniger dem ersten Quartil
- `maxElement_acc`: der größte Wert des normierten Accelerometersignals der x-, y- und z-Achsen
- `minElement_acc`: der kleinste Wert des normierten Accelerometersignals der x-, y- und z-Achsen
- `minMaxDifference_acc`: Differenz aus dem größten und dem kleinsten Wert des normierten Accelerometersignals der x-, y- und z-Achsen
- `skewness_acc`: Kennzahl für die Schiefe des normierten Accelerometersignals der x-, y- und z-Achsen -> ist der Wert kleiner 0, dann besteht eine Linksschiefe, bei größer 0 eine Rechtsschiefe
- `kurtosis_acc`: Maßzahl für die Wölbung des normierten Accelerometersignals der x-, y- und z-Achsen
- `averagedDerivates_acc`: durchschnittliche Ableitung des normierten Accelerometersignals der x-, y- und z-Achsen
- `xyCorrelation_acc`: der Wert der Korrelation zwischen dem Accelerometersignal der x- und der y-Achse
- `xzCorrelation_acc`: der Wert der Korrelation zwischen dem Accelerometersignal der x- und der z-Achse
- `yzCorrelation_acc`: der Wert der Korrelation zwischen dem Accelerometersignal der y- und der z-Achse
- `xyDifference_acc`: die durchschnittliche Differenz des Accelerometersignals der x- und der y-Achse
- `xzDifference_acc`: die durchschnittliche Differenz des Accelerometersignals der x- und der z-Achse
- `yzDifference_acc`: die durchschnittliche Differenz des Accelerometersignals der y- und der z-Achse
- `averageInvertedCosineVariation_acc`: die durchschnittliche, invertierte Kosinus-Variation
- `rotationIndexFeature_acc`: Kennzahl, resultierend aus den Accelerometersignals der y- und der z-Achse, für die Rotation des Gerätes
- `maxAmpFrequency_aud`: dominanteste Frequenz eines Audiosignals
- `spectralFlatness_aud`: Maßzahl um zu quantifizieren, wie geräuschhaft bzw. tonähnlich ein Audiosignal ist
- `spectralSignalToNoiseRatio_aud`: Ermittlung des Signal-Rausch-Verhältnisses des Audiosignals
- `rootMeanSquare_aud`: eine Kennzahl zur Darstellung und zum Vergleich von Lautstärken
- `dominantEmphasisFrequency_aud`: Berechnung des Schwerpunktes der Frequenz
- `directionChanges_aud`: stellt die Anzahl der Richtungsänderungen des Audiosignals dar -> je mehr Richtungsänderungen, desto höher ist die Frequenz
- `zeroCrossings_aud`: stellt die Anzahl der Nulldurchgänge des Audiosignals dar -> je mehr Nulldurchgänge, desto höher ist die Frequenz

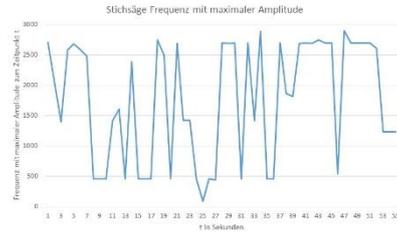
# Übersicht ausgewählter Merkmale



### Bohrmaschine-Audio-maxAmpFrequency



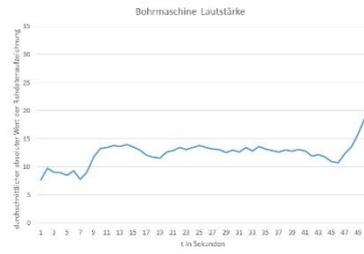
### Stichsäge-Audio-maxAmpFrequency



### Winkelschleifer-Audio-maxAmpFrequency



### Bohrmaschine-Audio-rootMeanSquare



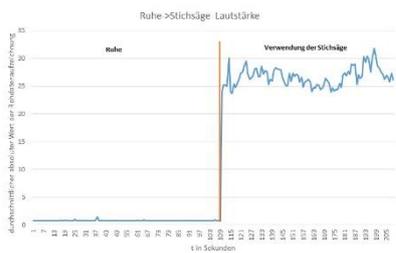
### Stichsäge-Audio-rootMeanSquare



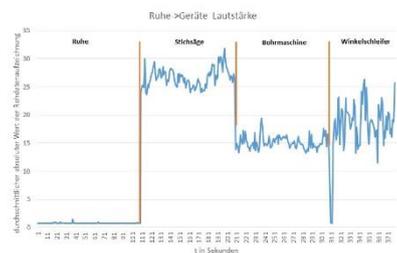
### Winkelschleifer-Audio-rootMeanSquare



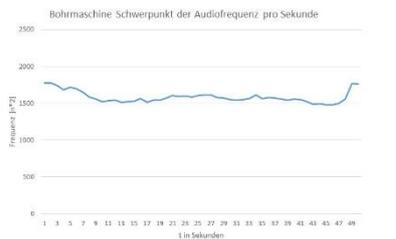
### Ruhe->Stichsäge-Audio-rootMeanSquare



### Ruhe->Geräte-Audio-rootMeanSquare



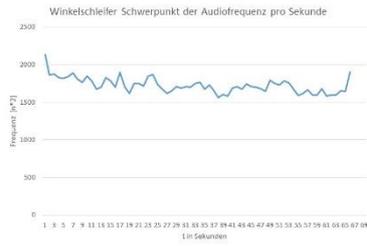
### Bohrmaschine-dominantEmphasisFrequency



### Stichsäge-dominantEmphasisFrequency



### Winkelschleifer-dominantEmphasisFrequency



### Bohrmaschine-Acc-meanCrossings



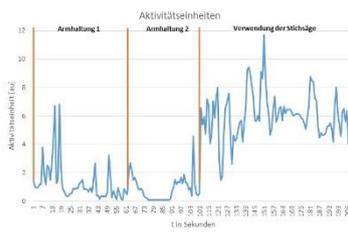
### Stichsäge-Acc-meanCrossings



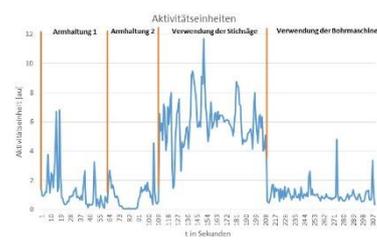
### Bohrmaschine-Acc-medianX



### Ruhe->Stichsäge-Acc-activityUnit



### Ruhe->Stichsäge->Bohrm.-Acc-activityUnit



## Weiterführende Literatur

EU-Handbuch HAV, Handbuch zum Thema Hand-Arm-Vibration, Potsdam, 2007, Rechtlich nicht bindendes Handbuch im Hinblick auf die Umsetzung der Richtlinie 2002/44/EG über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Schwingungen), 2007

Bieber, G., Haescher, M., Vahl, M. (2013): Sensor requirements for activity recognition on smart watches. In Proceedings of the 6th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (p. 67). ACM

Mirbod, S.M., Yoshida H., Komura Y., Fujita S., Nagata C., Miyashita M., Inaba R., Iwata H.: Prevalence of Raynaud's phenomenon in different groups of workers operating hand-held vibrating tools, , Int Arch Occup Environ Health (1994) 66:13-22

Mohr, D.: Gefährdungsbeurteilung und Präventionsmaßnahmen nach der neuen EU-Vibrations-Richtlinie 2002/44/EG, Vortrag A+A, Düsseldorf, 2003

Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung, Letzter Zugriff: 20.10.2016, <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Anlagen-und-Betriebssicherheit/TRLV/TRLV-Vibration.html>

WP – Wikipedia zu Humanschwingungen, Hand-Arm-Schwingungen, Wikipedia, letzter Aufruf: 21.10.2016, <http://de.wikipedia.org/wiki/Humanschwingung>

Berufskrankheit BK 2103 und BK 2104, Anzeige und Anerkennung  
**Berufsgenossenschaften und der Unfallversicherungsträger der  
 öffentlichen Hand**

Jahr	BK 2103			BK 2104		
	Anzeigen	Anerkennungen		Anzeigen	Anerkennungen	
		insgesamt	darunter: Neue BK- Renten		insgesamt	darunter: Neue BK- Renten
2006	370	101	64	70	9	8
2007	416	68	46	57	13	5
2008	379	89	60	66	12	10
2009	401	76	47	81	7	5
2010	433	77	49	67	15	9
2011	415	95	56	75	14	9
2012	410	76	45	96	20	16
2013	400	88	53	82	23	14
2014	372	79	46	84	17	13
2015	432	100	58	82	22	17

© DGUV Referat Statistik; erstellt am 13 Sep. 2016