

Abschlussbericht zum Vorhaben

**„Einzelstöße auf das Hand-Arm-System durch
Maschinen und Werkzeuge: Expositionen,
Übertragung und gesundheitliche Effekte [single
shocks and health effects – SSHE]“
(FP-415)**

Laufzeit

01.09.2017 – 31.5.2022

Bericht vom 17.08.2023

Autorin / Autor

Ochsmann E, Lindell H, Ernst B

Projekt-Mitwirkung:

Corominas-Cishek A und Witte J, Gretarsson S, Ottosson P, Kaulbars U, Schmitz G, Söntgen M

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung deutsch

Kurzfassung englisch

1. Problemstellung

2. Forschungszweck/-ziel

3. Methodik

4. Ergebnisse des Gesamtvorhabens

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

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

7. Aktueller Umsetzungs- und Verwertungsplan

8. Anhang/Anhänge

Unterschriftenseite verpflichtend für Kooperationsprojekte

Kurzfassung deutsch

Ziele: Unklar ist, ob Einzelstoß-Expositionen auf das Hand-Arm-System zu größeren Gesundheitsproblemen beitragen können, als allgemeine Hand-Arm-Vibrationsexpositionen. Unklar ist weiterhin, wie relevant ggf. diese Expositionsart im beruflichen Kontext ist.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens (FP415) werden die gesundheitlichen Effekte von Einzelstößen auf das Hand-Arm-System im Vergleich zu Vibrationsexposition untersucht. Dabei wurden:

- Arbeitsplätze mit Einzelstoß-Expositionen eruiert,
- gesundheitliche Effekte von Einzelstoß-Expositionen modelliert,
- die frühen gesundheitlichen Effekt von Einzelstoß-Expositionen auf das Hand-Arm System erfasst
- Zusammenhänge zwischen Exposition und Gesundheitseffekt evaluiert
- mögliche Confounder (Freizeit) genauer untersucht.

Aktivitäten/Methoden: Methodisch wurden Befragungen (Surveys), systematische Literaturrecherchen, Modellierungen, eine experimentelle Pilotierung, eine randomisierte, kontrollierte experimentelle Studie, eine standardisierte Gerätemessung unter Laborbedingungen und eine Expositions- und Effektmessung von außerberuflichen/sportlichen Aktivitäten (auf den Sport-/Trainingsplätzen) durchgeführt. Aufgrund der Vielzahl der dabei eingesetzten Methoden soll an dieser Stelle auf die Methodikteile der verschiedenen Arbeitspakete (AP 1 bis 4 in den jeweiligen Anhängen des Berichts) verwiesen werden.

Ergebnisse: Einzelstoßexpositionen im niedrigen Dosisbereich scheinen bei sehr vielen Berufen vorzukommen (AP1). Diese Expositionen sind epidemiologisch mit Gesundheitsbeschwerden (vor allem im Hand-Bereich) assoziiert. Die Modellierungen (AP2) zeigen, dass ein Grund für die Effekte im Handbereich in den Eintragungen von niedrig-frequenten und hochfrequenten Stoß- bzw. Schwingungsanteilen liegen kann. Die aus der systematischen Literaturrecherche identifizierte Messmethodik für physiologische Effekte (AP3) kann sowohl für Einzelstoß- als auch für Vibrationsexpositionen verwendet werden. Sowohl Pilot- als auch Hauptstudie (AP3) weisen darauf hin, dass frühe neurologischen Effekte (Vibrationsperzeptions-Schwelle) frequenz- und dosisabhängig bereits unterhalb der Auslösewerte zu erwarten sind. Weiterhin ist eine Temperatur- Veränderung mit Stoßexpositionen assoziiert, wobei hier eine Dosisabhängigkeit nicht unbedingt wahrscheinlich gemacht werden kann. Eine Frequenzabhängigkeit scheint sich jedoch abzuzeichnen. Im EKG kann bei der gewählten Dosis (unterhalb der Auslösewerte) muskuläre Aktivierung, aber keine Ermüdung ausgewählter Muskelgruppen des Unter- und Oberarms detektiert werden. Demgegenüber kann bei der Kneifkraft eine wenigstens frequenzabhängige Reduktion der exponierten Hand gezeigt werden. Eine serielle Verwendung von Einzelstoßexpositionen und Spektrumsvibrationen scheint zu einer erhöhten Wahrnehmung von gesundheitlichen Beschwerden (Parästhesien) beitragen zu können. Die im Experiment erzielten Ergebnisse können – vor allem im neurologischen Bereich – auch bei den untersuchten Geräten wiedergefunden werden. Schließlich lässt sich festhalten, dass verschiedene Freizeitaktivitäten (z. B. Tennis und Golf) geeignet sind, Belastungen im Auslöse- bzw. Grenzwert-Bereich zu überschreiten.

Insgesamt konnten bereits unterhalb der derzeit geltenden Auslösewerte transiente physiologische Effekte detektiert werden. Da der Zusammenhang zwischen transientem Effekt und manifester Dysfunktion noch nicht geklärt ist, ist es möglich, dass die derzeitigen Methoden zur Berechnung der Auslöse-Werte (ISO-Normen) keinen ausreichenden Schutz für Gesundheitseffekte durch Einzelstoß-Expositionen bieten. Vorschläge für Präventionsprogramme werden aus den Ergebnissen abgeleitet.

Kurzfassung englisch

Objectives: It is unclear whether single-impact exposures to the hand-arm system can contribute to greater health problems than general hand-arm vibration exposures. It is also unclear how relevant this type of exposure may be in a professional context.

As part of the research project (FP415), the health effects of single shocks on the hand-arm system are examined in comparison to vibration exposure. Thereby:

- workplaces with single impact exposures were explored,
- health effects of single-shock exposures were modeled,
- the early health effects of single-shock exposures on the hand-arm system were assessed
- relationships between exposure and health effects were evaluated
- possible leisure time confounders were investigated in more detail.

Activities/Methods: In terms of methodology, questionnaire surveys, systematic literature research, modeling, an experimental pilot project, a randomized, controlled experimental study, a standardized device measurement under laboratory conditions and an exposure and effect measurement of non-professional/leisure time activities (on the sports/training grounds) were carried out. Due to the large number of methods used, reference should be made here to the methodological parts of the various work packages (AP 1 to 4 in the respective appendices of the report).

Results: Single shock exposures in the low dose range seem to occur in many occupations (AP1). These exposures are epidemiologically associated with health problems (especially in the hand area). The modelling approaches (AP2) show that one reason for the health effects in the hand area can be the entries of low-frequency and high-frequency impact or vibration components. The measurement methodology for physiological effects (WP3) identified from the systematic literature search can be used for both single shock and vibration exposures. Both the pilot study and the main study (AP3) indicate that early neurological effects (vibration perception threshold) are already to be expected below the action values, depending on frequency and dose. Furthermore, a change in finger temperature is associated with single shock exposure, although a dose-dependency cannot be made absolutely probable here. A frequency dependency seems to be emerging. At the selected dose (below the action values), muscular activation but no fatigue of selected muscle groups in the forearm and upper arm can be detected in the EMG. In contrast, an at least frequency-dependent reduction of pinch force of the exposed hand can be seen. A serial use of single shock exposures and spectrum vibrations seems to be able to contribute to an increased perception of health complaints (paraesthesia). The results can also be found in the examined devices/tools (bolt setter, nailer, drill hammer) – especially in the neurological area. Finally, it can be stated that various leisure time activities (e.g. tennis and golf) are suitable for exceeding exposures in the action or limit value range.

Overall, transient physiological effects could already be detected below the currently applicable action values. Since the relationship between transient effects and overt dysfunction has not yet been clarified, it is possible that the current methods for calculating exposure values (ISO standards) do not provide adequate protection for health effects from single shock exposures. Suggestions for preventive programmes are deduced from the study results.

1. Problemstellung

Schon 1986 haben Starck und Pyykkö Hinweise darauf gefunden, dass stoßhaltige Vibrationen gesundheitsgefährdender sein könnten, als Vibrationen ohne hohen Impulsanteil [Starck und Pyykkö, 1986]. Obwohl zwischenzeitlich viele Studien zum Hand-Arm-Vibrationssyndrom veröffentlicht wurden, ist immer noch nicht abschließend geklärt, ob Einzelstoß-Expositionen ggf. zu anderen und/oder stärker ausgeprägten Gesundheitseffekten beitragen können und deshalb die derzeit geltenden Bewertungs- und Berechnungsgrundlagen für Hand-Arm-Expositionen Beschäftigte mit Einzelstoß-Tätigkeiten nicht ausreichend schützen. Die vorliegende Studie soll dazu beitragen, weitere Informationen zu dieser Fragestellung zu sammeln.

2. Forschungszweck/-ziel

Im Rahmen des Forschungsvorhabens (FP415) werden die gesundheitlichen Effekte von Einzelstößen auf das Hand-Arm-System im Vergleich zu (Spektrums-)Vibrationsexposition untersucht. Dabei werden:

- Arbeitsplätze mit Einzelstoß-Expositionen eruiert,
- gesundheitliche Effekte von Einzelstoß-Expositionen modelliert,
- die frühen gesundheitlichen Effekt von Einzelstoß-Expositionen auf das Hand-Arm System erfasst
- Zusammenhänge zwischen Exposition und Gesundheitseffekt evaluiert
- mögliche Confounder (Freizeit) genauer untersucht.

Das Forschungsprojekt wurde als Kooperationsprojekt zwischen den drei Projektpartnern Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin", "Institut für Arbeitsmedizin, Prävention & BGM (LIA), UKSH Lübeck" und " Research Institutes of Sweden (RISE), Schweden " konzipiert.

Im Rahmen des Projekts wurden folgende Arbeitspakete geplant:

Arbeitspaket 1 (AP1): „Mapping“ und „Expositionskataster“ von Maschinen und Werkzeugen mit Einzelstoß-Exposition (IFA, Universität zu Lübeck). Übersicht über reale Expositionen, die durch Einzelstöße entstehen.

Im Verlauf der Projektarbeit wurde das AP1 durch eine ergänzende Onlinebefragung des Instituts für Arbeitsmedizin in Lübeck, in Kooperation mit dem IFA durchgeführt, da es von den Präventionsdiensten der UVTs keine Unterstützung für neue betriebliche Messungen gab. Die Kollegen des IFA konnten daher ihr bestehendes Expositionskataster im Projektkontext nicht erweitern. Dieser „Ausfall“ eines geplanten Projektinhalts wurde kompensiert durch die o. g. Entwicklung eines Online-Fragebogens, der folgende Aspekte erfasste: Exposition gegenüber Maschinen und Werkzeugen, die im Zusammenhang mit Einzelstößen auf das Hand-Arm-System bekannt sind, Freitextfelder zur weiterführenden Expositionserfassung, gesundheitliche Probleme des Hand-Arm-Systems (Finger, Hand, Handgelenk, Unterarm, Ellenbogen, Oberarm, Schulter), mögliche Confounder der gesundheitlichen Beschwerden (z. B. Krankheiten, Raucherstatus, körperliche Aktivitäten). Der Fragebogen wurde über einen dreimonatigen Zeitraum hinweg allen Teilnehmenden von BG-lichen Fortbildungsmaßnahmen zur Verfügung gestellt.

Konkretisierte Fragestellung(en):

Wo (an welchen Arbeitsplätzen/bei welchen Maschinen oder Werkzeugen) kommen Einzelstoß-Expositionen in welcher Höhe vor? Finden sich dort auch gesundheitliche Beschwerden bei den Beschäftigten?

Arbeitspaket 2: Simulation von Einzelstoßübertragung ins Gewebe (durchgeführt durch RISE).

Aufbau und Anpassung von biomechanischen Simulationsmodellen, die eine Ermittlung der Belastungen des Hand-Arm-System bei Einleitung von (nieder- und hochfrequenten) stoßartigen Expositionen mathematisch ermöglichen.

Im Projekt wurden zwei Simulationsmodelle entwickelt.

Das erste Modell ist ein niederfrequentes 3D-Modell für das komplette Hand-Arm-System von der Schulter bis zur Hand. Dieses Modell deckt Vibrationsfrequenzen bis etwa 1250 Hz ab, was der Obergrenze der ISO 5349-1 entspricht. Das Modell wurde im Multi Body Simulation (MBS) Programm Altair® MotionView® entwickelt, mit dem Ziel, Kräfte in verschiedenen Teilen des Hand-Arm-Systems aus verschiedenen Vibrationen vorhersagen zu

können und diese mit gemessenen Ergebnissen aus dem Probanden-Experiment koppeln zu können. Die Einschränkung dieses Modells, das den gesamten Hand-Arm-Bereich betrachtet, besteht darin, dass Details im Hand- und Fingergewebe nicht aufgelöst werden können. Unter anderem deshalb wurde ein weiteres, hochfrequentes Modell entwickelt (s. nachfolgend). Das niederfrequente Modell wurde an den Probanden-Messungen der Pilot- und Hauptstudie von AP 3 (s. dort) validiert. Perspektivisch können für Beschäftigte mit längerfristigen gesundheitlichen Effekten von Stoß-Vibrationen, durch das hier entwickelte Modell Grundlagen für präventive Empfehlungen und Grenzwerte von Stoß-Vibrationen abgeleitet werden.

Das zweite Modell ist ein hochfrequentes 2D-Modell eines Fingers, das Vibrationsfrequenzen bis etwa 50 kHz und höher abdeckt. Das Modell wird im Finite-Elemente (FE)-Programm LS-Dyna entwickelt. Das Ziel bestand darin, physikalische Belastungen durch Stöße im Finger detaillierter zu untersuchen, d. h. Druck, Dehnung und Dehnungsrate in verschiedenen Bereichen zu modellieren, was mit dem früheren Niederfrequenzmodell nicht möglich war. Die untersuchten hohen Vibrationsfrequenzen sind bei zahlreichen Maschinen mit Stoßwirkung vorhanden, z. B. Schlagschraubern, Nagelpistolen usw. Das Modell wurde experimentell auf einem speziellen Prüfstand zur Erzeugung hochfrequenter Vibrationen validiert, da die Frequenzgrenze in dieser Studie bei etwa 2 kHz lag.

Konkretisierte Fragestellung(en):

Können die vermuteten, aber (schwer messbaren) artikulären/tendinösen Effekte durch Einzelstoßexpositionen auf das Hand-Arm-System durch ein biomechanisches Simulationsmodell vorhergesagt/erklärt werden?

Welche grundlegenden Wechselwirkungen können die noch nicht genauer untersuchten Effekte von hochfrequenten Schwingungsanteilen bei der Übertragung von Einzelstößen auf das Hand-Arm-System haben?

(Anmerkung: Die Berichte zu den beiden Modellen wurden in englischer Sprache verfasst und liegen dem Bericht im Original als Anhang bei. Im Text des Abschlussberichts wurden wesentliche Inhalte der englischen Abschlussberichte ins Deutsche übersetzt, s.u.).

Arbeitspaket 3: (Postexpositionelle) Messung von (akuten) gesundheitlichen und physiologischen Effekten (IFA, Universität zu Lübeck)

1. Durchführung einer systematischen Literaturrecherche, um einen aktuellen Überblick über verfügbare, bzw. neue Messmethoden zu gewinnen, die sich für die Erfassung früher gesundheitlicher/physiologischer Effekte eignen. Nutzung der Ergebnisse dieser Literaturrecherche, um das Instrumentarium der Pilotstudie festzulegen.
2. Pilotstudie zur Konkretisierung des experimentellen Setups: Bei gesunden Probanden wurde ein standardisiertes Expositionsszenarium am Shaker simuliert und das Messinstrumentarium konkretisiert. Allen Instrumenten waren eigen, dass es sich um nicht-invasive Methoden handelte, die bei präventiven Untersuchungen im arbeitsmedizinischen Kontext Akzeptanz finden können.
3. experimentelle Hauptstudie: Anpassung des experimentellen Versuchsprotokolls und der Variablen- und Mess-Schemata entsprechend der Ergebnisse der Pilotstudie. Randomisierung der Expositionen.
4. Gerätebezogene Labormessungen: Ein experimentelles Mess-Szenarium für ausgewählte, reale Geräte wurde festgelegt. Die Auswahl der Geräte orientierte sich – im Hinblick auf ihre Vergleichbarkeit zu den Hauptstudienmessungen – an den gewählten Einzelstoß-Expositionen.

5. Arbeitsplatzmessungen: Planung und Durchführung einer Arbeitsplatzmessung in der Forstwirtschaft. Ähnlich den Messungen bei realen sportlichen Aktivitäten (s. u.) traten hier aber – gerade bei den physiologischen Messungen – große Messartefakte auf, da die eingesetzten Geräte nicht für den direkten Einsatz am Arbeitsplatz ausgelegt sind, sondern eher für die Diagnostik in einem experimentellen Setting oder einer arbeitsmedizinischen Praxis. Zudem waren die individuell unterschiedlichen und nicht gut standardisierbaren Bewegungsabläufe wiederum nicht gut geeignet, zu einem aussagekräftigen Ergebnis für die vorliegende Fragestellung beizutragen. Aufgrund dieser Limitation für die Aussagekraft der erzielbaren Messwerte und aufgrund der anhaltenden Schwierigkeiten, als externes Forschungsteam für betriebliche Messungen in der Corona-Pandemie zugelassen zu werden, wurden keine weiteren Versuche für zusätzliche Arbeitsplatz-Messungen unternommen.

Konkretisierte Fragestellung(en):

Mit welchen Methoden können physiologische Effekte von Einzelstoßexpositionen im beruflichen, präventiven Setting (im arbeitsmedizinischen Kontext) detektiert werden? Welche frühen gesundheitlichen/physiologischen Effekte können bei Einzelstoßexposition detektiert werden? Sind Dosis-Effekte zu erwarten? Gibt es frequenzabhängige Effekte? Wie sind die gesundheitlichen Effekte durch Einzelstöße im Kontext der ISO-Norm 5349-1: 2001-12 zu bewerten?

Arbeitspaket 4: Konkurrierende Belastungen (IFA, Universität zu Lübeck)

Konfundierende Freizeitaktivitäten wurden hinsichtlich der Expositionshöhen vom IFA untersucht (Tennis, Golf, Sportschießen). Beim Tennisspielen wurden zeitgleiche (gesundheitliche) Effektmessungen durchgeführt, die aber aufgrund von sehr heterogenen Bewegungsabläufen und resultierend wenig aussagekräftigen Ergebnissen nicht auf die anderen Sportarten ausgedehnt wurden (s. o.).

Konkretisierte Fragestellung(en):

Wie hoch sind die Expositionen bei sportlicher Aktivität im Vergleich zu beruflichen Expositionen? Welche konkurrierenden Expositionen aus dem privaten Bereich sollten ggf. bei der präventiven Beratung berücksichtigt werden?

Übergeordnete Frage:

Ergeben sich aus den gesammelten Erkenntnissen neue Ansätze für technische, organisatorische oder persönliche berufliche Prävention?

3. Methodik

Die Durchführung der Arbeitspakete wurde zunächst verzögert, da kein geeignet qualifiziertes ärztliches Personal für die Studie gefunden werden konnte (Verzögerung ca. 10 Monate). Nach Abschluss der Pilotierung verzögerten sich die Messungen der Hauptstudie und die Messungen mit realen Maschinen wiederum um ca. 1 Jahr, begründet durch die Covid-19 Pandemie. Zuletzt wurde das Institut für Arbeitsmedizin von der Universität zu Lübeck unerwartet und kurzfristig aufgelöst, so dass die Mitarbeitenden sich beruflich anderweitig orientierten, weil keine längerfristigen Planstellen mehr zur Verfügung standen. Dies hat zu weiteren Verzögerungen in der Zusammenfassung und Auswertung der Daten geführt. Die zugehörigen Zeitpläne befinden sich im „Anhang Zeitplan“.

Wissenschaftliche Methodik:

Die Darstellung der wissenschaftlichen, methodischen Herangehensweise der jeweiligen Arbeitspakete findet sich in den Anhängen (Anhang_AP1; Anhang_AP2.1; Anhang_AP2.2; Anhang_AP3; Anhang_AP4).

Zuordnung der Kooperationspartner zu den Arbeitspaketen:

IFA und Universität zu Lübeck (AP1)

RISE (AP 2)

Universität zu Lübeck und IFA (AP3)

IFA und Universität zu Lübeck (AP4)

Zusammenfassende Betrachtung und Diskussion der Ergebnisse - alle Beteiligten.

4. Ergebnisse des Gesamtvorhabens

AP 1: Berufliche Expositionen

(Siehe Anhang AP 1)

Konkretisierte Fragestellung(en):

Wo (an welchen Arbeitsplätzen/bei welchen Maschinen oder Werkzeugen) kommen Einzelstoß-Expositionen in welcher Höhe vor? Finden sich dort auch gesundheitliche Beschwerden bei den Beschäftigten?

Die bereits beim IFA erstellte Vibrations-Exposition-Tabelle wurde weiter entwickelt (liegt beim IFA vor). Das ergänzende Ergebnis des Arbeitspakets 1 ist eine Expositionstabelle, die in einer Zufallsstichprobe (n=162) erfasst wurde und darstellt, in welchen Berufen u. a. mit Einzelstoß-Expositionen gerechnet werden muss (s. Anhang_AP1). Es ließ sich feststellen, dass allgemein (d. h. unabhängig von der Dosis) Einzelstoß-Expositionen in vielen Berufen vorkommen können. Daneben wurde versucht bei den Teilnehmenden zumindest grob zu erfassen (Laienerfassung), in welcher Dosis die Einzelstoßexpositionen vorliegen (s. Anhang_AP1): Als Ergebnis wurde festgehalten, dass die berichteten Expositionen der Teilnehmenden eher in einem niedrigen Bereich eingeordnet werden können. Weiterhin wurden assoziierte gesundheitliche Beschwerden erfasst und in zwei Modellen der Expositionsart zugeordnet. Als Fazit wurde festgehalten, dass sich auch in einer Zufallsstichprobe ein Zusammenhang zwischen Einzelstoß-Exposition und gesundheitlichen Beschwerden wahrscheinlich machen ließ – vor allem im Hand- bzw. Handgelenksbereich. Auch eine Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen nicht, niedrig und höher exponierten Personen konnte wahrscheinlich gemacht werden.

2019

Kongressbeitrag (14. Internationale Konferenz „Hand-Arm-Vibration“, IFA des DGUV, Bonn)

Jobs with single shock exposures – an explorative approach

Ochsmann, E., Corominas, A., Kaulbars, U.

AP 2: Simulation von Einzelstoßübertragung ins Gewebe

(Siehe Anhang AP 2 Teil 1 und Anhang AP 2 Teil 2)

Konkretisierte Fragestellung(en):

Können die vermuteten, aber (schwer messbaren) artikulären/tendinösen Effekte durch Einzelstoßexpositionen auf das Hand-Arm-System durch ein biomechanisches Simulationsmodell vorhergesagt/erklärt werden?

Im Rahmen des Projekts wurde ein biomechanisches Hand-Arm-Simulations-Modell anhand der experimentellen Expositions-Daten aus AP 3 weiterentwickelt. Für dieses Simulationsmodell konnten gute Übereinstimmungen zwischen den Messwerten aus den standardisierten Experimenten und den simulierten Expositionswerten erzielt werden (s. Anhang 2-1). Es fällt auf, dass die höchsten Schwankungen in den simulierten, auftretenden Kräften am Handgelenk (Übergang Griff-Hand) zu erwarten sind, so dass hier der höchste „Strain“ zu erwarten sein sollte und damit auch am ehesten die Hand, bzw. das Handgelenk als Endpunkt für gelenk-assoziierte Schäden betrachtet werden sollte. Weiterhin kann eine Frequenzabhängigkeit der auftretenden Kräfte vermutet werden, da sich die Kräfte-Spannweiten bei höheren Impulsfrequenzen niedriger dargestellt haben, als bei niedrigen Impulsfrequenzen. Dieses Ergebnis passt dem Grunde nach zu den Ergebnissen aus AP 1. Nach Kopplung dieser Simulationsdaten mit epidemiologischen Erkenntnissen fällt jedoch auf, dass zumindest Hand-Arm-Vibration in

neueren Übersichtsarbeiten nicht mit häufigerem Auftreten von Handgelenksarthrosen assoziiert werden konnte. Das mag einerseits daran liegen, dass die Handgelenksarthrose insgesamt relativ selten auftritt, sich die beruflichen Belastungen in den letzten Jahren (seit Publikation der eingeschlossenen Untersuchungen) ggf. deutlich reduziert haben könnten und sich die Expositionserfassung der epidemiologischen Arbeit nicht (alleine) auf Stöße bezogen hat [Hammer et al., 2014; Gignac et al., 2020]. Aber auch in einzelnen, früheren Längsschnitтарbeiten konnte die erhöhte Wahrscheinlichkeit einer Arthrose bei wenigstens impulshaltigen Expositionen nicht reproduziert werden [Kievekäs et al., 1994]. Demgegenüber berichtet eine neue Fall-Kontroll-Studie die retrospektiv Berufskrankheiten-Anzeigen analysierte von einer Risiko-Erhöhung von Arthrosen des Hand-Arm-Systems bei Umgang mit stoßhaltigen Geräten [Sun, 2022]. An dieser Stelle könnten weiterführende Modellierungen für die Prädiktion und damit auch Prävention von möglichen Gelenkschäden noch besonders wichtig werden.

Ein zweiter Baustein der Hand-Arm-Modellierungen bezog sich auf die Modellierung von Effekten durch hochfrequente Stöße/Vibrationen. Diese Einwirkung ist auch bei niederfrequenten Einzelstößen in der Praxis nicht zwingend zu vernachlässigen, da Stoß-emittierende Geräte und Werkzeuge in aller Regel auch einen hochfrequenten Spektrumsanteil emittieren. Zwar spielte dieser Effekt bei unseren experimentellen Ansätzen wahrscheinlich eine eher geringe Rolle, da die Shaker-produzierten Einzelstöße sich rein mechanisch eher im unteren Frequenzbereich bewegten, für die Praxis und die Nutzung von Vibrations- oder Stoß-emittierenden Geräten spielen aber Überlegungen zu hochfrequenten Expositionsanteilen wahrscheinlich eine wichtige Rolle bei der Entstehung von gesundheitlichen Effekten. Im vorliegenden Arbeitspaket 2 wurde daher ein zweidimensionales Finite-Element Modell einer Fingerkuppe angefertigt und mit den Expositionsdaten einer Einzelstoß-Hammer-Exposition „gefüttert“. Die resultierenden Ergebnisse weisen darauf hin, dass die einfache experimentelle Exposition zu komplexen Druck- und Verteilungsbeziehungen alleine in der Fingerkuppe führen kann, die zu lokalen „Strain“-Zonen (z. B. durch einen Wechsel von Über- und Unterdruck in kurzen Zeitabständen – Kompression/Traktion) führen können. Sollten sich besonders vulnerable Gewebe, wie z. B. (nicht-myelinisierte Nervenden, Arteriolen oder Kapillaren) in diesen Zonen befinden, könnte dieser Strain zu den beobachteten pathomechanistischen Veränderungen beitragen.

Im AP 2 Teil 2 werden weitere Untersuchungsgegenstände benannt, die zukünftig zu einem verbesserten pathomechanistischen Verständnis durch Modellierungsverfahren beitragen können.

2023

Kongressbeitrag ICHAV (International Congress on Hand Arm Vibration, 06.-09. Juni 2023, Nancy)

Fingertip model for analysis of high frequency vibrations

Peter Ottosson,*, Hans Lindell and Snævar Leó Grétarson. accepted

AP 3: Zusammenhänge zwischen Expositionen und gesundheitlichen Effekten

Literaturrecherche, Pilotstudie, Hauptstudie, Gerätemessungen

(Siehe Anhang AP 3)

Konkretisierte Fragestellung(en):

Mit welchen Methoden können physiologische Effekte von Einzelstoßexpositionen im beruflichen, präventiven Setting (im arbeitsmedizinischen Kontext) detektiert werden? Welche frühen gesundheitlichen/physiologischen Effekte können bei Einzelstoßexposition detektiert werden? Sind Dosis-Effekte zu erwarten? Gibt es

frequenzabhängige Effekte? Wie sind die gesundheitlichen Effekte durch Einzelstöße im Kontext der ISO-Norm 5349-1: 2001-12 zu bewerten?

Die Detektionsmöglichkeiten akuter physiologischer Effekte nach Hand-Arm-Vibrations- oder Einzelstoß-Exposition wurden in einer systematischen Literaturrecherche zusammengetragen. Als Ergebnis wurde festgehalten, dass methodisch besonders die Veränderungen der Vibrationsperzeptionsschwelle und Hauttemperatur gut im präventiven arbeitsmedizinischen Kontext eingesetzt werden können. Andere nicht-invasive Testverfahren (z. B. Greifkraft, Kneifkraft, Handfertigkeit, Plethysmographie, EMG), die grundsätzlich auch in einem präventiven, arbeitsmedizinischen Setting vorstellbar wären, haben sich aus verschiedenen Gründen in der Praxis des Pilotprojekts (s. dort) und der Hauptstudie nicht bewährt [s.a. Thompson et al., 2008; Poole et al., 2016]. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass in unserem experimentellen Setup nur relativ geringe und kurze Expositionen eingesetzt wurden. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass gesunde Probanden untersucht wurden und Aspekte wie Handfertigkeitenveränderungen eher bei länger anhaltenden Belastungen zu erwarten sind. Neuere Arbeiten berücksichtigen nämlich z. B. auch Biomarker. In diesen Studien werden jedoch stets länger exponierte Personen mit nicht- oder wenig exponierten Personen verglichen. Im Bereich der Akut-Effekte gab es zum Recherchezeitpunkt keine Hinweise auf besonders aussagekräftige Biomarker, so dass diese experimentell nicht weiter verwendet wurden.

In der Hauptstudie wurden insgesamt 52 Probanden randomisiert entweder einer Einzelstoß-Exposition (Frequenz 1 s-1; 4 s-1; 20 s-1) ausgesetzt, oder sie erhielten eine Spektrums-Exposition (z. T. auch RandomSignal genannt) im Laborsetting am Shaker. Bei diesen Expositionen wurde zum einen eine Veränderung (Verschlechterung) der Vibrationsperzeptionsschwelle (VPT) nach den Expositionen (höchster temporary threshold shift bei RandomSignal) festgestellt, die sich insbesondere bei 125 Hz Testfrequenz gut in ein lineares Regressionsmodell einfügt. Für die Veränderung der VPT konnte eine Dosis- und Frequenzabhängigkeit wahrscheinlich gemacht werden.

Zum anderen wurde jeweils vor und nach Einzelstoß- bzw. RandomSignal-Exposition eine Veränderung der Hauttemperatur als Surrogat für die Durchblutung bestimmt. Die post-expositionell erniedrigte Temperatur der Haut der dorsalen Fingerphalangen kehrte aber schnell zwischen den Expositionsequenzen auf die Ausgangstemperatur zurück (zum Teil fanden überschießende/erwärmende Veränderungen statt), so dass über die gesamte Expositionsdauer hinweg nur bei einer Exposition gegenüber Einzelstößen (1 s-1, 4 s-1, 20 s-1) eine signifikante Reduktion der Fingertemperatur festgestellt werden konnte, die sich jedoch z. T. nicht auf alle Finger erstreckte, während die Reduktion der Fingertemperatur nach der vierten Exposition gegenüber einer Spektrumsexposition nicht signifikant verändert war. Insofern kann beim Temperaturverlauf resultierend aus den Ergebnissen nicht direkt von einer Dosis-Abhängigkeit und nur bedingt von einer Frequenzabhängigkeit ausgegangen werden. Der zeitliche Verlauf der Veränderungen legt nahe, dass Gewöhnungs- oder Ermüdungsphänomene eine Rolle bei der Temperaturentwicklung spielen könnten. Auch ist vorstellbar, dass die Shaker-Exposition charakteristische Aspekte einer realen Exposition mit Geräten nicht zur Geltung bringen kann (z. B. sehr hochfrequente Schwingungsanteile, die bei Geräten regelhaft auftreten).

Weitere Effekte waren die Aktivierung von Muskelgruppen des Unter- und Oberarms, jedoch keine dadurch getriggerte und nachweisbare muskuläre Ermüdung. Ein Dosis- und Frequenz-Effekt konnte hier nicht bewiesen werden. Weiterhin war eine Reduktion der Kneifkraft der exponierten Hand bei den Frequenzen 4 s-1 und 20 s-1 nachzuweisen. Hier ist zumindest eine Frequenzabhängigkeit des Effekts möglich.

Die o. g. Einschränkungen in der Aussagekraft der experimentellen Messung am Shaker sollten im Ansatz durch die Labormessungen mit realen Geräten beleuchtet werden. Hier konnten die Shaker-Ergebnisse für die VPT im Wesentlichen reproduziert, bzw. in den Untersuchungskontext eingeordnet werden. Die Ergebnisse für die

Temperaturentwicklung wichen bei den „realen Geräten“ von denen des Shaker-Experiments ab, was ggf. durch den o. g. hochfrequenten Anteil von „realen Geräten“ erklärt werden kann. Z. T. könnten Effekte bei der Messanordnung und Körperhaltung zu berücksichtigen sein.

Insgesamt legen die vorliegenden Untersuchungsergebnisse nahe, dass - ohne dass derzeit geltende Auslösewerte überschritten wurden – physiologische Reaktionen durch die Einwirkung von Einzelstößen auf das Hand-Arm-System nachweisbar sind, ohne dass die prädiktive Aussagekraft dieser Veränderungen für die Entwicklung des Hand-Arm-Vibrationssyndroms schon geklärt wäre. Pathomechanistisch sind daher noch einige Fragen offen, um wirksame Präventionskonzepte zu konkretisieren. Erste Vorschläge für arbeitsmedizinische Vorsorgen können aber bereits aus der vorliegenden Untersuchung zur Diskussion gestellt werden: so sollten aus Praktikabilitätsgründen z. B. bestimmte Testfrequenzen für die Vibrationsperzeption genutzt werden (125 Hz), während andere Testfrequenzen (500 Hz) eher unspezifische Aussagen zu generieren scheinen und damit für ein Monitoring weniger gut geeignet wären.

In den vorliegenden Untersuchungen, die unter sehr standardisierten Bedingungen stattfanden, hat sich die IR-Temperaturmessungen, die von einigen Autoren als zu wenig aussagekräftig eingeschätzt wurde, gut für den praktischen Einsatz geeignet. Auch bei den Gerätemessungen, die über zwei Tage hinweg angelegt waren, konnte die Baseline IR-Temperatur zumindest soweit reproduziert werden, als keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden initialen Messzeitpunkten (und damit ein Bias) zu detektieren waren. Derzeitiger Nachteil der IR-Messung ist das noch relativ aufwendige Auswertungsverfahren, das aber durch Programmierung von Auswertungsalgorithmen aus unserer Sicht relativ einfach zu lösen sein müsste.

Eine Untersuchung physiologischer Parameter direkt am Arbeitsplatz erscheint aus unserer Sicht unrealistisch, da die Latenzzeiten so kurz sind, dass alleine der Weg vom Arbeitsplatz zur Messstelle schon zu Ergebnisverfälschungen führen könnte. Eine „Leeruntersuchung“ oder Untersuchung direkt am Arbeitsplatz erscheint daher wenig praktikabel bzw. wenig aussagekräftig. Vielmehr sollte ein regelmäßiges Präventionsangebot aus einem standardisierten Untersuchungsprogramm mit Expositionsanteil in (klimatisierten) betriebsärztlichen Räumen stattfinden. Wichtig wäre es daher außerdem hierfür standardisierte (vielleicht für eine Branche standardisierte) Expositionen festzulegen und betriebsärztlich vorzuhalten, um realistische Expositionen und sich möglicherweise kontinuierliche verändernde physiologische Reaktionen standardisiert bewerten zu können.

In unserer Untersuchung fehlen längerfristige Betrachtungen der Temperaturentwicklung nach Exposition. Da die Gefäßregulation neben der schnellen sympathischen/parasymphatischen Regulation – die am ehesten in unseren Experimenten zum Tragen kam – auch über andere Mechanismen erfolgen kann, wären längerfristige Nachbeobachtungen von Temperaturverläufen hilfreich gewesen. Diese waren aber mit dem vorliegenden praktischen Design nicht umsetzbar.

Die Nutzung von EMG-Messungen und Plethysmographie zeigte sich, zumindest in den vorliegenden Untersuchungen, als nicht geeignet um schnelle physiologische Veränderungen im Praxiseinsatz und nach Einzelstoß-Exposition zu detektieren. Speziell eine mögliche muskuläre Ermüdung konnte im experimentellen Einsatz nicht wahrscheinlich gemacht werden. Beim EMG-Einsatz an realen Geräten traten so viele Messartefakte auf, dass angesichts der kleinen Fallzahl keine sinnvolle Aussage getroffen werden konnte.

Weiterhin unklar ist die Transgression von frühen Veränderungen zu chronischen Beschwerden. Oft werden erste klinische Symptome als Frühindikatoren beschrieben (nächtliches Kribbeln, Taubheitsgefühl, Kraftverlust, Raynaud-Phänomen bei Nässe/Kälte in den Fingern/Händen), [HSE, 2022] allerdings sind diese Zeichen ja bereits

Ausdruck einer Dysfunktion. Eleganter wäre es, den pathologischen Pfad in der arbeitsmedizinischen Vorsorge monitoren zu können und ihn rechtzeitig durchbrechen zu können.

2020

60. Jahrestagung der DGAUM (München)

Systematische Literaturrecherche zu den akuten Effekten von Vibrationsbelastungen des Hand-Arm-Systems
Elke Ochsmann, Jonathan Witte, Alexandra Corominas Cishek

Einzelstoßexpositionen auf das Hand-Arm-System – eine Pilotstudie
Elke Ochsmann, Uwe Kaulbars, Jonathan Witte, Alexandra Corominas Cishek

8. VDI-Fachtagung (Humanschwingungen, 28.-29.04.2020, Würzburg)

Einzelstoßexpositionen auf das Hand-Arm-System – eine Pilotstudie zu physiologischen Effekten
Corominas A, Witte J, Kaulbars U, Ochsmann E
Systematische Literaturrecherche zu den akuten Effekten von Vibrationsbelastungen des Hand-Arm-Systems
Ochsmann E, Witte J, Corominas A

2022

Witte J, Corominas A, Ernst B, Kaulbars U, Wendlandt R, Lindell H, Ochsmann E. Acute physiological and functional effects of repetitive shocks on the hand-arm system: a pilot study on healthy subjects. *Int J Occup Saf Ergon*. 2022 Aug 25:1-10. doi: 10.1080/10803548.2022.2110358. Epub ahead of print. PMID: 35930057.

2023

9. VDI-Fachtagung 2023 (Humanschwingungen, 9.-10.05.2023, Würzburg)

Vibrationsperzeption und Oberflächenhauttemperatur nach Einzelstoß- und Spektrum-Vibrations-Exposition des Hand-Arm-Systems
Ochsmann, Corominas, Ernst, Kaulbars, Lindell. Accepted

ICHAV (International Conference Hand Arm Vibration, 06.-09.06.2023, Nancy)

Physiological effects of single shocks on the hand-arm system – a randomized experiment
E Ochsmann, A Corominas, U Kaulbars, H Lindell and B Ernst. Accepted

AP 4: konkurrierende Belastungen

(Siehe Anhang AP 4)

Konkretisierte Fragestellung(en):

Wie hoch sind die Expositionen bei sportlicher Aktivität im Vergleich zu beruflichen Expositionen? Welche konkurrierenden Expositionen aus dem privaten Bereich sollten ggf. bei der präventiven Beratung berücksichtigt werden?

In den Untersuchungen des AP 4 werden ausschließlich die Ergebnisse der Expositionsmessung berichtet. Die Bestimmung von physiologischen Parametern wurde (relativ früh im Projektverlauf) an einem Messtag bei Tennisspielern in Lübeck vorgenommen. Hierbei zeigte sich jedoch zum ersten Mal (später dann auch bei den beruflichen Messungen in der Forstwirtschaft), dass das gewählte Instrumentarium empfindlich ist und nicht gut dazu geeignet ist, bei allen Tätigkeiten bzw. Berufen direkt am Ort der Ausübung bzw. Arbeitsplatz eingesetzt zu werden, da sich hierbei viele Quellen für Messfehler und Messungenauigkeiten ergeben.

Die Messungen und Schätzungen der Expositionen kommen zu dem Ergebnis, dass bei TennisspielerInnen an einem Turniertag der Auslösewert knapp erreicht werden kann. Bei SpielerInnen mit hohem Trainingsumfang kann weiterhin eine Überschreitung des Expositionsgrenzwertes erreicht werden. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt auch die Studie von Amaro et al. (2019), die ebenfalls davon ausgeht, dass die untersuchten Tennisspieler wenigstens den Auslösewert, z. T. sogar den Expositionsgrenzwert überschreiten. Die Belastung von engagierten TennisspielerInnen kann also durchaus den beruflich definierten Expositionsbereich erreichen.

Demgegenüber scheint bei der nicht-beruflichen Nutzung von Sportschusswaffen eine Überschreitung des Auslösewertes eher unwahrscheinlich zu sein.

GolfspielerInnen im Training könnten durchaus den Auslösewert oder in Einzelfällen sogar den Grenzwert überschreiten, so dass ein relevantes Confounding zu beruflichen Expositionen gut vorstellbar ist. Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass Freizeitaktivitäten zu hohen Einzelstoßbelastungen beitragen können. Diese Expositionen sollten als Confounder in die Anamnese einbezogen werden, anhand der Expositionsmessungen könnten diese auch bei der Betrachtung von Langzeiteinwirkungen berücksichtigt werden. Weiterhin soll an dieser Stelle auch noch auf das Schlagzeug-Spielen hingewiesen werden, dass zwar nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung war, für das es jedoch aus anderen Studien Hinweise auf Hand-Arm-Verletzungen und Vibrationsexpositionen gibt [Azar, 2022; Sirufo et al., 2021].

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

--nicht bekannt--

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

Die vorliegenden Ergebnisse sind geeignet, die eingangs gestellten Fragen in dem gesetzten Rahmen weiter zu klären. Eine abschließende Bewertung der komplexen Zusammenhänge ist jedoch trotz der sehr aufwändigen Mess-Szenarien noch nicht möglich.

Die Untersuchungen liefern jedoch Hinweise dafür, dass frühe, transiente physiologische Effekte von Einzelstößen schon unterhalb des derzeit gesetzlich geltenden Auslöse-Werts zu finden sind. Da der Übergang von transientem zu chronischem Effekt noch nicht ausreichend geklärt ist, kann man nicht sicher davon ausgehen, dass die Einhaltung der derzeit geltenden Auslöse- und Grenzwerte sicher das Eintreten von längerfristigen Gesundheitseffekten durch Einzelstöße verhütet. Für die Beobachtung von kurz- zu mittel- bis langfristigen Effekt wäre eine Kohortenstudie von Berufsanfängern in einem Beruf/Job mit Einzelstoßexposition hilfreich.

Es konnten Hinweise für die sinnvolle Gestaltung von Präventionsangeboten aufgezeigt werden. Deren Umsetzung in der Praxis, ihr prädiktiver Wert und ihre Effektivität müssen im praktischen Einsatz weiter diskutiert und evaluiert werden.

7. Aktueller Umsetzungs- und Verwertungsplan

Publikationen und Kongressbeiträge s. oben.

Zwei weitere Publikationen für internationale Fachzeitschriften sind aktuell in Vorbereitung.

Kontakte zu nationalen und internationalen Normungsgremien.