

Epidemiologische Fall-Kontroll-Studie zur Risikoabschätzung frequenzabhängiger arbeitsbedingter Hand-Arm-Vibrationen

Risk assessment of frequency dependent occupational hand-arm vibration: an epidemiological case control study

Dr. Frank Bochmann¹, Dipl.-Ing. **Winfried Eckert²**, Dipl.-Ing. **Uwe Kaulbars¹**, Dr. **Yi Sun¹**

¹ Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

² BG-Bau – Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, Böblingen

Kurzfassung

Hand-Arm-Vibrationen sind mechanische Schwingungen. Sie können pathologische Veränderungen an den Gelenken und Knochen des Hand-Arm-Schulter-Systems verursachen. Nach Expertenabschätzung gibt es derzeit in Deutschland ca. 1,5 bis 2 Millionen Beschäftigte, die gesundheitsgefährdenden Belastungen durch Hand-Arm-Vibrationen ausgesetzt sind. Für die gesundheitsbasierte Beurteilung von Gefährdungen und auch für die Beratung von Betrieben im Rahmen von Präventionsmassnahmen sollen Dosis-Wirkungsbeziehungen bei der Einwirkung von Hand-Arm-Vibrationen ermittelt werden. Schwerpunkte sind die frequenzabhängige Ermittlung der Exposition und deren Bedeutung für die Dosis-Wirkungsabschätzung sowie der Aufbau eines Expositionskatasters.

Im Rahmen einer multidisziplinären Zusammenarbeiten kooperieren die Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft (BG BAU), Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI), Berufsgenossenschaft Metall Nord Süd (BGM) und die Verwaltungsgemeinschaft Maschinenbau- und Metall-BG und Hütten- und Walzwerks-BG (MMBG).

Es handelt sich dabei um eine epidemiologische Fall-Kontrollstudie. Als Datenquellen werden Informationen aus den Arbeitsunfällen und aus den BK-Verdachtsmeldungen genutzt. Die Fälle sind definiert als die Verdachtsmeldungen zur BK 2103 im Zeitraum von 2009 bis 2012 (Anzahl ca. 500), deren Diagnosen klinisch bestätigt werden. Eine nach Alter und Geschlecht vergleichbare Kontrollgruppe (Anzahl ca. 500) mit möglichen Einwirkungen

von Hand-Arm-Vibrationen wird aus dem Kollektiv der meldepflichtigen Arbeitsunfälle in den gleichen BGen ausgewählt.

Summary

Hand-arm-vibration is mechanical in nature. It may trigger pathological changes in the joints and bones of the hand-arm-shoulder system. Experts estimate that approximately 1.5 to 2 million employees in Germany are currently exposed to hand-arm vibration which represents a threat to their health. In order for health risks to be assessed and for companies to be provided with advice in the context of prevention measures, dose-effect relationships for exposure to hand-arm vibration are to be determined. Foci are the frequency-specific measurement of the exposure and assessment of its relevance to estimation of the dose-effect relationship, and the creation of an exposure register.

A multidisciplinary project is being conducted jointly by the following German Social Accident Insurance Institutions: BG BAU (construction), BG RCI (sector mining), BGM (metals in North and South Germany) and MMBG (machine construction and metals).

The project is an epidemiological case-control study. Information on occupational accidents and from the reported cases of suspected occupational disease serve as sources of data. The cases are defined as the reported suspected cases for formally recognized occupational disease (BK) No. 2103 in the period from 2009 to 2012 (approx. 500 cases) the diagnoses of which are clinically confirmed. A control group comparable in terms of age and sex (approx. 500 cases) with possible exposure to hand-arm vibration is selected from the collective of reportable occupational accidents in the accident insurance institutions concerned.

1. Hintergrund und Stand der Erkenntnisse

Hand-Arm-Vibrationen sind mechanische Schwingungen, die z. B. durch von Hand geführten technischen Werkzeugen, Geräten oder Maschinen hervorgerufen werden. Langjährige Einwirkungen solcher Hand-Arm-Vibrationen können frequenzabhängig pathologische Veränderungen an den Gelenken und Knochen des Hand-Arm-Schulter-Systems oder Durchblutungsstörungen bzw. Nervenschädigungen verursachen. Eine Abgrenzung der Frequenzbereiche, die zu den unterschiedlichen Schädigungen führen, ist wissenschaftlich nicht belegt (vgl. Kapitel 4).

Nach Expertenabschätzung gibt es derzeit in Deutschland ca. 1,5 bis 2 Millionen Beschäftigte, die Belastungen durch Hand-Arm-Vibrationen ausgesetzt sind [6] [10].

Epidemiologische Grundlagen zu vibrationsbedingten Hand-Arm-Erkrankungen werden in zahlreichen Studien bzw. Übersichtsarbeiten diskutiert.

In einer systematischen Literaturrecherche in Medline konnten 11 Übersichtsarbeiten zum Zusammenhang bzw. zu Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen arbeitsbedingten Hand-Arm-Vibrationen und Hand-Arm-Erkrankungen gefunden werden. Alle Studien beziehen sich auf den Zusammenhang zwischen Vibrationen und Durchblutungsstörungen bzw. Nervenschädigungen (vgl. dazu auch Standard ISO-Norm, DIN EN ISO 5349-1 [9]). Lediglich ein Review diskutiert zusätzlich die Einwirkungen von Hand-Arm-Vibrationen auf die Gelenke und Knochen des Hand-Arm-Schulter-Systems [5].

Nach der Übersichtsarbeit von [5] besteht derzeit ein Kenntnismangel über den möglichen Zusammenhang zwischen arbeitsbedingten Hand-Arm-Vibrationen und muskuloskeletalen Erkrankungen des Hand-Arm-Schulter-Systems. Obwohl radiologische Untersuchungen in der Vergangenheit darauf hinweisen, dass die Häufigkeit von Vakuolen und Zysten an den Gelenken und Knochen des Hand-Arm-Bereiches bei Arbeitern mit Vibrationsbelastungen erhöht ist, stellte man später jedoch fest, dass diese Häufigkeit nicht signifikant höher ist als bei einem Vergleichskollektiv von Handwerkern ohne Vibrationsbelastungen [5].

Weitere epidemiologische Querschnittsuntersuchungen weisen auf eine erhöhte Häufigkeit von Hand- und Ellenbogenarthrosen bei Arbeitern mit Vibrationsbelastung im niedrigen Frequenzbereich (<50 Hz) bei der Bau-, Bergbau- und Metallindustrie hin. Es wird diskutiert, dass die erhöhte Häufigkeit der Arthrosen nicht allein auf die Vibrationsbelastung zurückzuführen ist. Es ist vermutlich ein kombinierter Effekt von Vibrationsbelastungen,

Gelenkverletzungen, Hand-Arm-Fehlstellungen und schwerer Hand-Arm-Arbeit (Bovenzi 2006). Bisher ist es auch unklar, welche Gelenk- und Knochenschädigungen durch Hand-Arm-Vibrationen verursacht werden [1] [2] [3] [4] [5] [6].

Weitere Informationen zu Hand-Arm-Vibrationen liefern auch die Publikationen [7] [8].

2. Ziel des Projekts, Fragestellungen

Das vorgeschlagene Forschungsprojekt hat folgende Zielsetzungen:

- Untersuchung bzw. Ableitung einer Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen arbeitsbedingten Hand-Arm-Vibrationen und muskuloskeletalen Erkrankungen des Hand-Arm-Schulter-systems.
- Untersuchung der Bedeutung der Frequenzzusammensetzung der Exposition für das Erkrankungsrisiko.
- Entwicklung eines Katasters zu Kennwerten der Frequenzzusammensetzung von Hand-Arm-Vibrationen der verwendeten Geräte, die sowohl für die Studie als auch für die zukünftige Prävention bzw. BK-Ermittlung von Bedeutung sind.

Zum Erreichen dieser Ziele sollen die folgenden Fragen beantwortet werden:

- a. Besteht eine Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen arbeitsbedingten Hand-Arm-Vibrationen und dem Auftreten der muskuloskeletalen Erkrankungen des Hand-Arm-Schulter-systems, nachdem die relevanten Störfaktoren in der Analyse berücksichtigt worden sind?
- b. Welcher Dosis-Wirkungszusammenhang besteht bei den muskuloskeletalen Erkrankungen in Abhängigkeit vom ermittelten Expositionsmuster (Art, Ausmaß und Dauer) und den Expositionswerten?
- c. Unterscheiden sich die verschiedenen Krankungsbilder bzgl. der ermittelten Dosis-Wirkungsbeziehungen?
- d. Ist es möglich, die muskuloskeletalen Erkrankungen von anderen Hand-Arm-Beschwerden über die Frequenzzusammensetzung der Expositionen abzugrenzen?

3. Design und Studienpopulation

3.1 Studiendesign

Bei diesem Projekt handelt es sich um eine BG-basierte Fall-Kontroll-Studie, d. h. eine Fall-Kontroll-Studie innerhalb der Versicherten der beteiligten Berufsgenossenschaften.

Fall-Kontroll-Studien gehören zu den häufigsten Studientypen in der epidemiologischen Forschung. Die Studienpopulation in einer Fall-Kontroll-Studie besteht aus zwei unterschiedlichen Kollektiven: Einem Kollektiv der Erkrankten (Fälle) und einem Vergleichskollektiv der Nichtkranken (Kontrollen). Die beiden Kollektive werden durch ein geeignetes Verfahren innerhalb einer klar definierten Basispopulation (oder Basiskohorte) ausgewählt (Bild 1).

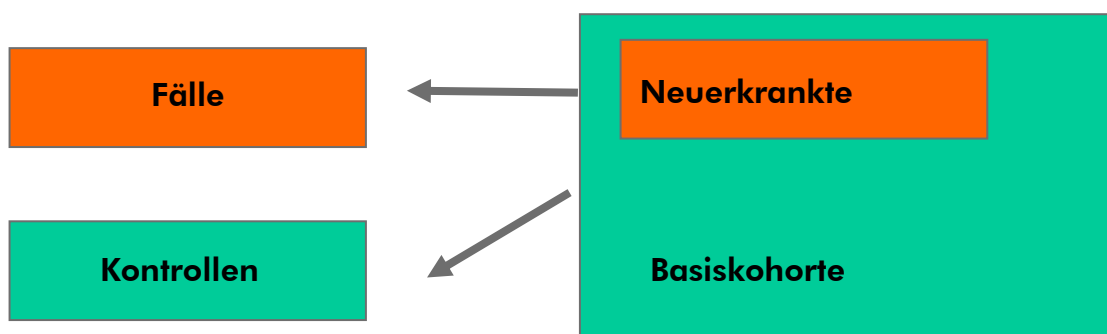


Bild 1: Epidemiologisches Fall-Kontroll-Design

Durch einen Vergleich der Fälle mit den entsprechenden Kontrollen bezüglich ihrer Expositionsverhältnisse (z. B. Anteil von Personen mit höherer Vibrationsbelastung) wird der Zusammenhang bzw. die Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen der Exposition (z. B. Hand-Arm-Vibrationen) und der Erkrankung (muskuloskeletale Erkrankungen des Hand-Arm-Schulterbereichs) ermittelt bzw. quantifiziert (Bild 2).

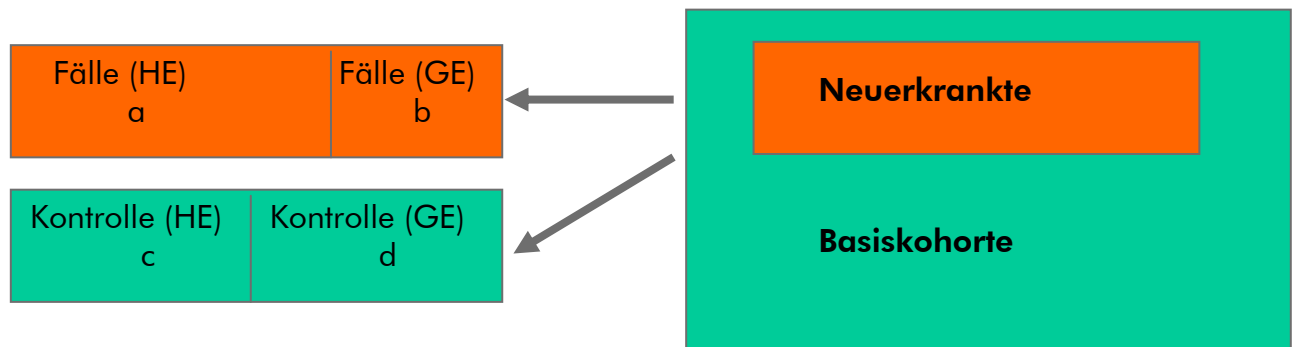


Bild 2: Risikomaß in einer Fall-Kontroll-Studie (HE= hoch Exponierte; GE= gering Exponierte)

$$\text{Odds Ratio (OR)} = \frac{\text{Odds der Exposition bei Fälle (a/b)}}{\text{Odds der Exposition bei Kontrollen (c/d)}} = ad/bc$$

Bild 2 stellt eine vereinfachte Übersicht dar, in der die Exposition in 2 Gruppen (hoch und gering Exponierte) aufgeteilt wurde.

Für die konkrete Ableitung der Dosis-Wirkungsbeziehung in dieser Studie wird die Exposition in mehrere Gruppen aufgeteilt. Die Gruppe mit der geringsten Belastung wird als Referenzgruppe definiert. Durch einen Vergleich der anderen Expositionsgruppen mit der Referenzgruppe werden die Odds Ratios für die verschiedenen Expositions-kategorien ermittelt. Aus dem Verlauf der Odds Ratios ist die Dosis-Wirkungsbeziehung ableitbar.

In der vorliegenden Studie werden die Fälle und die entsprechenden Kontrollen folgendermaßen definiert:

- **Basispopulation:** Alle Beschäftigten der bei den Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft (BG BAU), Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI) - Branche Bergbau, Berufsgenossenschaft Metall Nord Süd (BGM), Maschinenbau und Metall (MMBG) versicherten Unternehmen.
- **Fälle:** definiert als alle neuen Verdachtsmeldungen zur BK 2103 ab 2009 bei den Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft, Bergbau, Metall Nord Süd, Maschinenbau und Metall, deren Diagnose klinisch bestätigt wurde.

- Kontrolle: Zufallsstichproben aller meldepflichtigen Arbeitsunfälle, die ab 2009 in den entsprechenden Berufsgenossenschaften neu erfasst werden.

Auswahlkriterien für die Kontrollen:

- Für jeden Fall wird eine entsprechende Person als Kontrolle ausgewählt, die das gleiche Geschlecht und Geburtsjahr hat. Zusätzlich stammen die Fälle und ihre Kontrollen aus der gleichen Berufsgenossenschaft und dem Zuständigkeitsbereich der gleichen Bezirksverwaltung.
- Da nur Informationen über exponierte Personen bei den Fällen vorliegen, müssen, um eine systematische Verzerrung zu vermeiden, die Kontrollen auch aus dem Kollektiv der Exponierten gewählt werden. Deshalb beschränken sich die Kontrollen in dieser Studie nur auf Personen, die in ihrem Berufsleben bereits gegenüber Hand-Arm-Vibrationen exponiert waren. Die Risikoabschätzung bzw. Dosis-Wirkungsableitung wird dann innerhalb einer Exponiertenpopulation durchgeführt.

Das vorgeschlagene Studiendesign ist eine Variation eines bevölkerungsbasierten Fall-Kontroll-Designs, wobei die Basispopulation ein repräsentatives Arbeitskollektiv darstellt. Informationen aus der Arbeitswelt erlauben eine valide und repräsentative Aussage im Vergleich zum bevölkerungsbasierten Design.

Da sich die Fälle der Studie auf Inzidenzfälle (neue Verdachtsmeldungen) beziehen, ist das Design mit einem eingebetteten Fall-Kontroll-Design vergleichbar.

3.2 Powerabschätzung, Machbarkeitsüberprüfung

Die Powerabschätzung gibt an, wie groß ein Studienkollektiv sein muss, um auszuschließen, dass die gefundenen Effekte zufallsbedingt sind.

Um die Größe der Studienpopulation abschätzen zu können, sind in der Regel folgende Angaben nötig:

- Anteil Exponierter in der Studienpopulation
- Vermutete Stärke der Effekte der Exposition (Hand-Arm-Vibrationen)

- Akzeptable Fehler 1. Art (α -Fehler)
- Akzeptable Fehler 2. Art (β -Fehler)

Unter der Annahme dass

- $\alpha=0,05$, $\beta=0,2$,
- der Anteil hoch Exponierter in der Studienpopulation bei 15-25% liegt,
- die vermutete Stärke der Effekte der Hand-Arm-Vibrationen bei Odd Ratio von 1.7 bis 2,0 liegt,

benötigt man in dieser Studie ca. 1000 Personen (500 Fälle und 500 Kontrollen), um ein statistisch aussagekräftiges Ergebnis zu bekommen.

Um zu überprüfen, ob genügend Fälle und Kontrollen im Untersuchungszeitraum zur Verfügung stehen, wurde im Rahmen einer Machbarkeitsstudie bei den beteiligten Berufsgenossenschaften die Datenverfügbarkeit ermittelt. Sowohl für die Fälle als auch für die Kontrollen konnte gezeigt werden, dass eine ausreichende Anzahl gemäß der Powerabschätzung für die Studie verfügbar ist. Pro Jahr erfolgen ca. 400 Verdachtsmeldungen für die BK 2103. Erfahrungsgemäß sind davon aufgrund einer nicht zutreffenden Diagnose oder aufgrund der Verweigerung der Teilnahme an der Studie ca. 200 pro Jahr auszuschließen. In drei Jahren sind daher ca. 600 Fälle zu rekrutieren.

Die Rekrutierung der Kontrollen in ausreichender Anzahl ist möglich, da pro Jahr bei den beteiligten Berufsgenossenschaften von mehreren zehntausend meldepflichtigen Arbeitsunfällen auszugehen ist.

3.3 Rekrutierung der Fälle, Ablaufplan zur Datenerhebung

Der Beginn der Studie ist für Mitte 2009 geplant. Zunächst werden die Fälle und Kontrollen rekrutiert. Nachdem die Exposition bei den Fällen und Kontrollen ermittelt wurde, werden die erhobenen Daten an das IFA weitergeleitet, gefolgt von der Datenerfassung, der Datenüberprüfung und zum Schluss von der Datenauswertung.

Bild 3 stellt einen Ablaufplan dar, wie die Fälle rekrutiert und die entsprechende Datenerhebung durchgeführt werden.

- Im Rahmen des Ermittlungsverfahrens zur Berufskrankheit 2103 werden die potenziellen Fälle der Studie identifiziert.
- Nachdem eine Einverständniserklärung unterzeichnet wurde, werden die betroffenen Personen in die Studie aufgenommen, gefolgt von einer standardisierten Expositionsermittlung (zu allgemeinen Angaben, arbeitsbedingten Vibrationsbelastungen und relevanten Störfaktoren) anhand einer Erhebungssoftware.
- Im Fall einer Teilnahmeverweigerung werden die betroffenen Fälle von der Studie ausgeschlossen.
- Die Diagnosesicherheit der Verdachtsfälle wird durch B.A.D. Gesundheitsvorsorge und Sicherheitstechnik GmbH auf Basis standardisierter Kriterien überprüft. Personen mit Verdachtsdiagnose, die nicht dem Merkblatt zur BK 2103 entspricht, werden von der Studie ausgeschlossen.
- Die Diagnosen werden in anonymisierter Form bei B.A.D., die Informationen zu den Expositionen bei den beteiligten Berufsgenossenschaften gespeichert und an das IFA weitergeleitet.
- Die erhobenen epidemiologischen Daten werden im IFA bzgl. ihrer Vollständigkeit und Plausibilität überprüft. Unvollständige Daten werden durch erneute Befragungen ergänzt.
- Falls die Berechnung einer Vibrationsbelastung aufgrund eines unvollständigen Vibrationskatasters unmöglich ist, werden die fehlenden Belastungswerte und Kennwerte der Frequenzzusammensetzung der neu erfassten Geräte bestimmt. Diese Untersuchung wird durch das IFA zentral koordiniert und vom IFA, den betroffenen Berufsgenossenschaften oder einer der externen Messstelle der Firma Wölfel oder Gillmeister durchgeführt.
- Die Erhebungssoftware wird im Lauf der Studie durch eine ständige Vervollständigung des Vibrationskatasters aktualisiert.
- Die vollständigen Daten der Studie werden zum Schluss im IFA überprüft und anschließend ausgewertet.

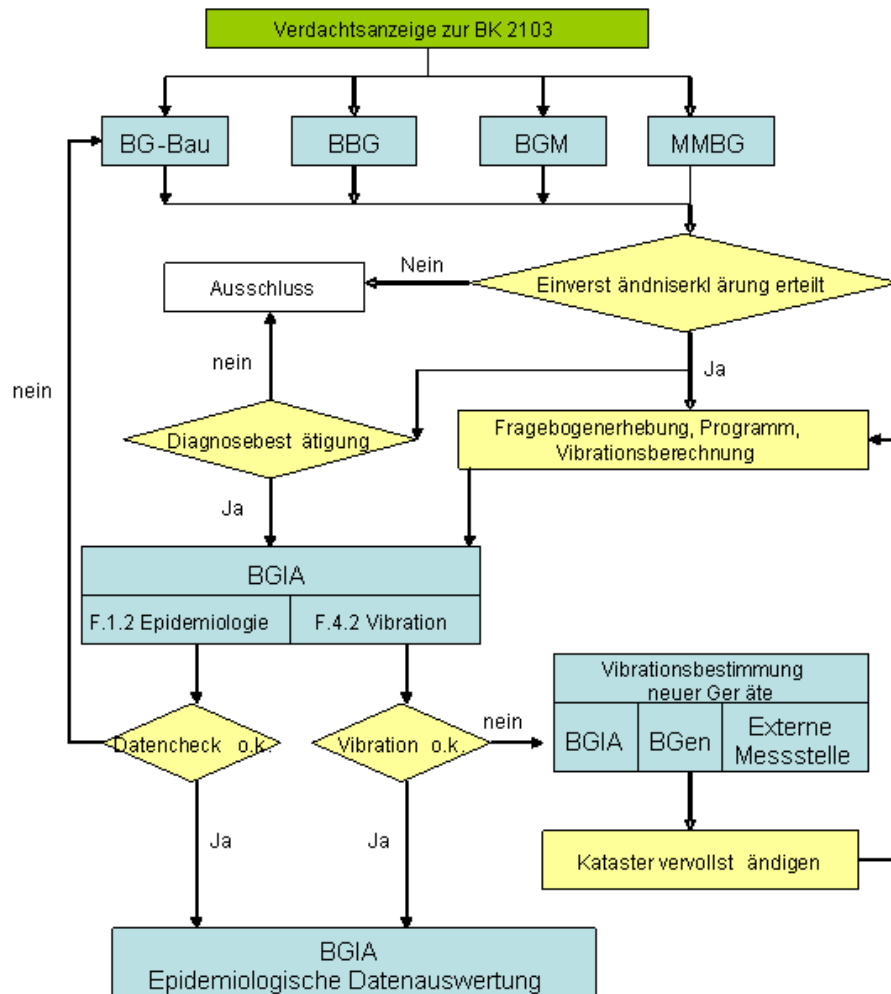


Bild 3: Ablaufplan der Studie zur epidemiologischen Risikoabschätzung Hand-Arm-Vibrationen (Fälle)

3.4 Auswahl der Kontrollen, Ablaufplan zur Datenerhebung

Die Kontrollen werden aus dem Kollektiv der meldepflichtigen Arbeitsunfälle nach dem Zufallsprinzip ausgewählt.

Die Kontrollen können verfahrensbedingt erst ein Jahr später rekrutiert werden. Das heißt, für die Fälle aus dem Jahr 2009 können die entsprechenden Kontrollen erst im Jahr 2010 rekrutiert werden, nachdem die meldepflichtigen Arbeitsunfälle in 2009 vollständig erfasst wurden. Die Auswahl der Kontrollen und ihre Datenerhebung werden folgendermaßen organisiert (Bild 4):

- Die Daten aller meldepflichtigen Arbeitsunfälle aus jedem Jahr werden als Basis für die Auswahl der Kontrollen dem IFA digital in anonymisierter Form zur Verfügung gestellt.
- Die Auswahl der Kontrollen erfolgt nach dem Zufallsprinzip im IFA. Für jeden Fall wird eine entsprechende Kontrolle ausgewählt. Die Liste der Kontrollen wird den Berufsgenossenschaften für die weitere Expositionsermittlung zur Verfügung gestellt.
- Nachdem die Einverständniserklärung unterzeichnet wurde, werden die betroffenen Personen offiziell in die Studie aufgenommen, gefolgt von einer standardisierten Expositionsermittlung (zu allgemeinen Angaben, arbeitsbedingten Vibrationsbelastungen und relevanten Störfaktoren) anhand der Erhebungssoftware.
- Im Fall einer Teilnahmeverweigerung oder bei nicht vorhandener Exposition wird eine Ersatzperson durch das IFA ausgewählt.
- Die von den Berufsgenossenschaften erhobenen Daten werden in anonymisierter Form gespeichert und an das IFA weitergeleitet.
- Die erhobenen epidemiologischen Daten werden im IFA bzgl. ihrer Vollständigkeit und Plausibilität überprüft. Unvollständige Daten werden durch erneute Befragungen ergänzt.
- Falls die Berechnung einer Vibrationsbelastung aufgrund eines unvollständigen Vibrationskatasters nicht möglich ist, werden die fehlenden Belastungswerte und Kennwerte der Frequenzzusammensetzung der neu erfassten Geräte bestimmt. Diese Untersuchung wird durch das IFA zentral koordiniert und von dem IFA, den betroffenen Berufsgenossenschaften oder die externen Messstellen durchgeführt.

- Die Erhebungssoftware wird im Lauf der Studie durch eine ständige Vervollständigung des Vibrationskatasters aktualisiert.
- Die vollständigen Daten der Studie werden zum Schluss im IFA überprüft und anschließend ausgewertet.

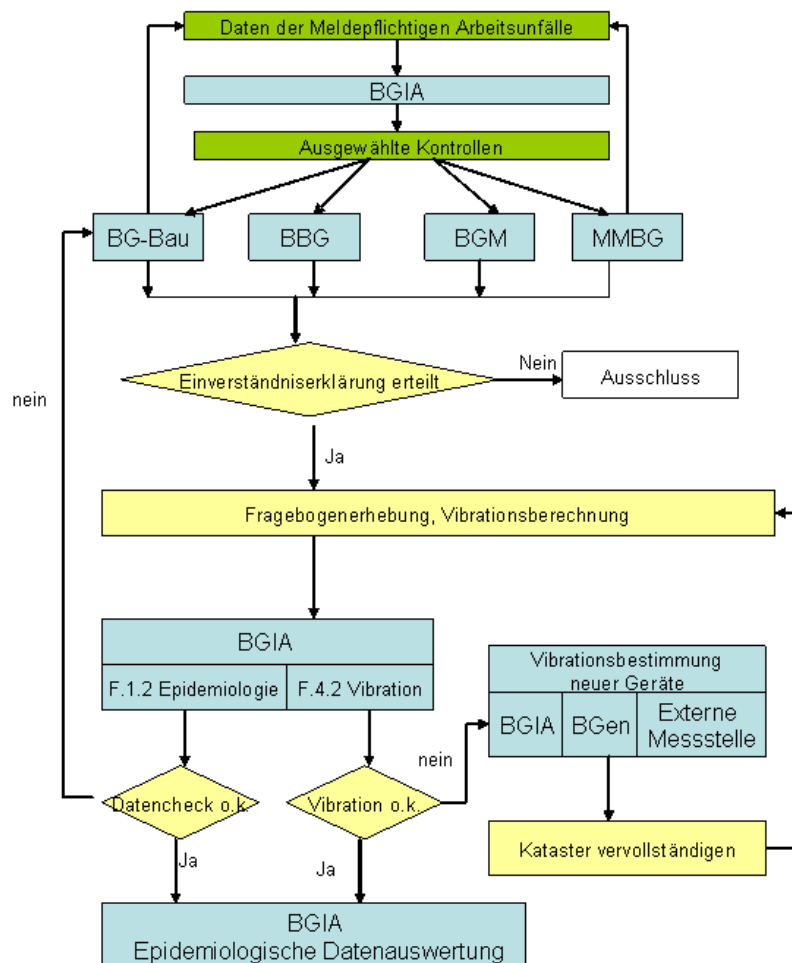


Bild 4: Ablaufplan der Studie zur epidemiologischen Risikoabschätzung Hand-Arm-Vibrationen (Kontrollen)

3.5 Diagnosesicherheit der Fälle

Das Ziel der Studie ist eine Risikoquantifizierung vibrationsbedingter Hand-Arm-Erkrankungen. Die Definition der Fälle lehnt sich an die Beschreibung der BK 2103 an. Es handelt sich insgesamt um sechs unterschiedliche Erkrankungsbilder:

- Arthrotische Veränderungen im Bereich der Handgelenken
- Mondbeinnekrose
- Ermüdungsbruch des Kahnbeins und Kahnbeinpseudoarthrose
- Arthrose des Ellenbogengelenks
- Osteochondrosis dissecans im Ellenbogen
- Arthrose des Schulterreckgelenks

Arthrotische Veränderungen im Bereich der Handgelenke zählen zu den häufigsten Volkskrankheiten, wobei nur ein geringer Anteil der Patienten unspezifische Schmerzen aufweist. Differenzialdiagnostisch sind Arthritiden und Arthrosen anderer Genese, insbesondere infolge posttraumatischer Fehlstellungen, auszuschließen.

Die Verdachtsbeschwerden können unabhängig von den entsprechenden pathologischen Veränderungen auftreten, was die Diagnosesicherheit erheblich beeinflusst.

Um die Diagnosesicherheit der Studie (ausschließlich unter medizinischen Gesichtspunkten) zu gewährleisten, wird eine Untersuchung aller Verdachtsfälle durch die B.A.D. Gesundheitsvorsorge und Sicherheitstechnik GmbH standardisiert durchgeführt.

Die Fälle, deren Verdachtsdiagnosen nicht den Kriterien des Merkblattes der BK 2103 entsprechen, werden von der Studie ausgeschlossen.

4. Expositionserhebung arbeitsbedingter Hand-Arm-Vibrationen

Kenngröße für das Maß der Vibrationseinleitung auf das Hand-Arm-System ist die frequenzbewertete Beschleunigung der Translationsschwingung an der Kontaktfläche der Hände. Das Verfahren zur Messung dieser Belastungsgröße ist in DIN EN ISO 5349 Teil 1 und 2 festgelegt.

4.1 Bestimmung der Kennwerte der Frequenzzusammensetzung

Abgeleitet von dem in der VDI-Richtlinie 2057, Blatt 2 vorgeschlagenen Verfahren sollen die Frequenzanteile der Vibrationen für die Messrichtung parallel zur Unterarmrichtung für die folgenden Frequenzbereiche ermittelt werden: 4 bis 20 Hz, 4 bis 31,5 Hz, 4 bis 50 Hz, 4 bis 80 Hz, 4 bis 100 Hz. Diese Frequenzanteile ermöglichen die genauere Bestimmung der relevanten Grenzfrequenzen als Unterscheidungsmerkmal für tief- und hochfrequente Geräte.

Neben der Überprüfung des Verfahrens nach der VDI-Richtlinie 2057 kann überprüft werden, ob die Berücksichtigung der Gesamtdosis in den jeweiligen Frequenzanteilen eine bessere Korrelation zwischen Erkrankungen und Kenngrößen der Vibrationsbelastung ermöglicht. Um ggf. das Beurteilungsverfahren zu vereinfachen und die Beurteilung auf eine einheitliche Bewertungsgröße zu reduzieren, sollten zusätzlich auch die Frequenzanteile des Schwingungsgesamtwertes a_{hv} ausgewertet und hinsichtlich ihrer Eignung untersucht werden.

4.2 Ermittlung der arbeitsbedingten Hand-Arm-Vibrationen

Die Ermittlung der Vibrationsbelastung erfolgt für jede in die Studie einbezogenen Personen auf der Grundlage von Vibrationskenndaten der im gesamten Berufsleben verwendeten relevanten Geräte und Maschinen.

Neben der Ermittlung der arbeitstechnischen Voraussetzung wie sie üblicherweise im BK-Verfahren durchgeführt werden, sind weitere Analysen mit frequenzspezifischen Kenndaten durchzuführen. Diese Daten liegen bisher nicht vor und müssen daher messtechnisch ermittelt werden.

Der Gesamtumfang der zu ermittelnden Datensätze wird auf der Grundlage der vom IFA bisher durchgeführten Ermittlungen im BK-Verfahren mit einem Durchschnitt von drei Geräten pro Fall abgeschätzt. Bei der Erhebung von 500 Fällen sind die Belastungsdaten von schätzungsweise 1.500 Geräten zu ermitteln. Bei der Annahme von 1/3 Überlappung sind die Belastungsdaten einschließlich der Kenndaten von 1.000 Geräten zu bestimmen. Zur Realisierung dieses hohen Mess- und Analyseaufwandes in den vorgesehenen Zeiträumen ist die folgende Arbeitsteilung geplant:

Die Hälfte der erforderlichen Messungen sollen extern vergeben werden. Die andere Hälfte von 500 Vibrationsanalysen teilen sich das IFA, BG-Bau und die Metall-BG zu etwa gleichen Teilen. Das IFA wird einen Teil der zu analysierenden Geräte, insbesondere wenn es sich um Altgeräte, die nicht mehr existieren, handelt, durch die Auswertung von vorhandenen Bandaufzeichnungen übernehmen. Zur Vermeidung von Doppelarbeit und zur Qualitätskontrolle der erhobenen Daten wird das IFA die Koordination übernehmen (s. „Checkliste zum Stand der Bearbeitung“ in der Anlage). Darüber hinaus werden die im Bergbau zum Einsatz kommenden BK-relevanten Geräte vonseiten der BG RCI eingemessen.

4.3 Aufbau des Vibrationskatasters

Das bereits in Verbindung mit der Vibrationsanamnese-Software entwickelte „Vibrationskataster“ wurde um die Kennwerte der Frequenzzusammensetzung erweitert. Es enthält die Angaben zum Arbeitsgerät, zum Arbeitsgang, zur Datenerhebung und zur Vibrationsbelastung.

Die Daten werden von den beteiligten Messstellen eigenverantwortlich eingegeben und im IFA zusammengeführt. Durch die Kompatibilität des Katasters mit der Arbeitsanamnesesoftware kann der Datenbestand nach Abschluss des Projektes von allen Unfallversicherungsträgern zur BK-Fallbearbeitung verwendet werden. Darüber hinaus gestattet der Datenbestand auch die Möglichkeit von Gefährdungsbeurteilungen. Den UVT stehen somit ebenfalls Daten zur Beratung der Betriebe in Fragen zur Prävention sowie Vibrationsminderungsprogrammen zur Verfügung.

5. Standardisierte Software für die Datenerhebung

Die Datenerhebung wird anhand eines standardisierten Erhebungsbogen bzw. Erhebungssoftware von geschulten Aufsichtspersonen der UVT durchgeführt.

Die standardisierte Erhebungssoftware wurde auf Basis einer vorhandenen BK-Anamnesesoftware erweitert und im IFA spezifisch für diese Studie entwickelt. Nur autorisierte und geschulte Aufsichtspersonen der UVT haben Zugang zu den Daten dieser Software.

Eine wichtige Funktion dieser Software ist die automatische Umwandlung personenbezogener Daten zu anonymisierten Datensätzen, so dass die erhobenen Daten ohne datenschutzrechtliche Bedenken im IFA weiter bearbeitet werden können.

Die Erhebungssoftware beinhaltet folgende Informationen:

- Allgemeine Angaben (ID, Geschlecht, Verdachtsdiagnose, Fall-Kontroll-Status etc.)
- Arbeitsbedingte Hand-Arm-Vibrationen (individuelle Arbeitsgeschichte, verwendete Geräte, Kataster zu Belastungswerte und Kennwerte der Frequenzzusammensetzung der verwendeten Geräte)
- Relevante Störfaktoren (Freizeit, Sport, Vorerkrankung bzw. –verletzung der oberen Extremitäten etc.)

6. Epidemiologische Datenauswertungen

Die vorgeschlagene Studie zielt auf zentrale Fragestellungen ab (Abschnitt 2), die in folgenden Hypothesen weiter formalisiert werden. Wegen der aufgrund des Designs als epidemiologische Beobachtungsstudie stets zu berücksichtigenden multiplen Kovariablen erfolgt die Hypothesenprüfung grundsätzlich im Rahmen multivariabler Analysen.

Hypothese 1:

Die kumulative Vibrationsbelastung im Hand-Arm-Bereich ist mit einer erhöhten Häufigkeit von muskuloskeletalen Erkrankungen des Hand-Arm-Schulterbereiches positiv assoziiert.

Zielgröße: Erkrankungen entsprechend Merkblatt zur BK 2103

Einflussgröße: Kumulative Vibrationsbelastungen

Confounder: Sport
Multi-Gelenkschmerzen
Trauma in den betroffenen Gelenken
Vorerkrankungen
Gicht
Pseudogicht
Generalisierte Arthrose

Hypothese 2:

Die Vibrationen im tiefen Frequenzbereich (8–100 Hz) gehen unabhängig von ihrer kumulativen Belastungsdosis mit muskuloskeletalen Erkrankungen des Hand-Arm-Schulterbereiches einher.

Zielgröße:	Erkrankungen entsprechend Merkblatt zur BK 2103
Einflussgröße:	Kumulative Vibrationsbelastungen mit Frequenz \leq 100 Hz
Confounder:	Kumulative Vibrationsbelastungen Sport Multi-Gelenkschmerzen Trauma in den betroffenen Gelenken Vorerkrankungen Gicht Pseudogicht Generalisierte Arthrose

Das Ausmaß des Zusammenhangs und die Dosis-Wirkungsbeziehungen werden mittels „conditional“ logistischer Regressionsanalyse quantifiziert (lag=0, 5, 10 Jahre). Die Bedeutung unterschiedlicher Erkrankungsbilder laut Merkblatt zur BK 2103 wird auf Basis einer stratifizierten Analyse ermittelt.

7. Erwartete Ergebnisse der Studie und deren Verwertung

Es wird erwartet, dass frequenzabhängige Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen arbeitsbedingten Hand-Arm-Vibrationen und pathologischen Veränderungen an den Gelenken und Knochen des Hand-Arm-Schulter-Systems abgeleitet werden können. Die Studienergebnisse werden in der Praxis für folgende Zwecke verwendet:

- Neubewertung des Gefährdungspotenzials von Maschinen und Geräten unter Berücksichtigung der Frequenzzusammensetzung der Exposition.

- Unterstützung bei der Ableitung von Richtwerten für die evidenzbasierte Prävention, z. B. Vorschlag zur Einarbeitung in das Beurteilungsverfahren bei der VDI-Richtlinie 2057-2 (Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen, Hand-Arm-Schwingungen).
- Unterstützung der Gefährdungsbeurteilung für Arbeitsplätze mit Belastungen durch von Hand-Arm-Vibrationen.
- Wissenschaftlich fundierte Beratung von Betrieben im Rahmen von Präventionsmaßnahmen.
- Unterstützung bei der Ableitung von Richtwerten für das Berufskrankheitenverfahren zur BK 2103.
- Neben den abgeleiteten Risikowerten kann auch das Expositionskataster, das in dieser Studie entwickelt wird, direkt für die Expositionsbestimmung in der Prävention bzw. im Berufskrankheitenverfahren verwendet werden.

8. Literatur

- [1] Aström C, Rehn B, Lundström R, Nilsson T, Burström L, Sundelin G.: Hand-arm vibration syndrome (HAVS) and musculoskeletal symptoms in the neck and the upper limbs in professional drivers of terrain vehicles--a cross sectional study. *Appl. Ergon.* 2006 Nov;37(6):793-9. Epub 2005 Dec 27.
- [2] Bovenzi M, Petronio L, DiMarino F.: Epidemiological survey of shipyard workers exposed to hand-arm vibration. *Int Arch Occup Environ Health.* 1980;46(3):251-66.
- [3] 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. *Ergonomics.* 1991 May;34(5):547-62.
- [4] Bovenzi M.: Exposure-response relationship in the hand-arm vibration syndrome: an overview of current epidemiology research. *Int Arch Occup Environ Health.* 1998 Nov;71(8):509-19.
- [5] Bovenzi M.: Health risks from occupational exposures to mechanical vibration. *Med Lav* 2006; 97: 535-41.
- [6] Christ E.: Vibrationseinwirkung an Arbeitsplätzen – Gefährdungsbeurteilung und Prävention. *Die BG* 2002; 5: 225-32.
- [7] Dupuis, H.; Hartung, E.; Konietzko, J.: Arbeitstechnische Voraussetzungen für die Berufskrankheit Nr. 2103. *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 1998; 33: 490-496..
- [8] Dupuis, H., Hartung E.: Vibrationsbedingte Erkrankungen des Knochen- und Gelenksystems (BK 2103) in: Konietzko, J. und Dupuis, H. (Hrsg.): *Handbuch der Arbeitsmedizin*, ecomed Landsberg, IV-3.4.1., 1-11 (1999).
- [9] EN ISO 5349-1: 2001, Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen.
- [10] Mohr D.: Eine einfache Methode zur Beurteilung stoßhaltiger Ganzkörper-Schwingungen. VDI Tagung Humanschwingungen 2004.