

Wissenschaftliche Begründung für die Berufskrankheit

„Läsion der Rotatorenmanschette der Schulter durch eine langjährige und intensive Belastung durch Überschulterarbeit, repetitive Bewegungen im Schultergelenk, Kraftanwendungen im Schulterbereich durch Heben von Lasten oder Hand-Arm-Schwingungen“

- Bek. d. BMAS v. 1.12.2021 - GMBI. 2021, Ausgabe 64-65, S. 1411 -

Der Ärztliche Sachverständigenbeirat Berufskrankheiten beim Bundesministerium für Arbeit und Soziales hat am 14. September 2021 empfohlen, eine neue Berufskrankheit mit der vorgenannten Legaldefinition in die Anlage 1 der Berufskrankheiten-Verordnung aufzunehmen.

Diese Empfehlung wird wie folgt begründet:

1. Gefahrenquellen

Eine Läsion der Rotatorenmanschette der Schulter wird durch folgende langjährige und intensive Einwirkungen verursacht:

1. Arbeiten mit den Händen auf Schulterniveau oder darüber,
2. Arbeiten mit einer repetitiven Bewegung des Oberarms im Schultergelenk,
3. Arbeiten, die eine Kraftanwendung im Schulterbereich erfordern, insbesondere Lastenhandhabung,
4. Hand-Arm-Schwingungen.

Die o.g. Einwirkungen kommen u.a. an den folgenden Arbeitsplätzen vor:

- a) Textilindustrie: Nähereiarbeitsplätze,
- b) Metall- und Elektroindustrie: Schweiß-, Schleif- und Montagearbeitsplätze, Gußputzer,
- c) Lebensmittelindustrie: Filetier- und Verpackungsarbeitsplätze in der Fischverarbeitung sowie Schlachthofarbeitsplätze,
- d) Arbeitsplätze u.a. in der Bau-, Steine- und Erden- sowie Forstindustrie mit Einwirkung von Hand-Arm-Schwingungen, z. B. bei Steinbrechern oder Forstwirten,
- e) Arbeitsplätze u.a. in der Bauindustrie und dem Kfz-Handwerk mit Überschulterarbeit, z. B. Maler, Verputzer, Stuckateure, Trockenbauer, Elektriker und Kfz-Schlosser.

Nähere Angaben zur erforderlichen Höhe und Dauer der beruflichen Einwirkung im Sinne dieser Berufskrankheit sind Abschnitt 5 zu entnehmen.

2. Pathophysiologie

2.1 Humanexperimentelle Untersuchungen

Herberts und Kadefors (1976) führten elektromyografische Untersuchungen im Bereich des Musculus supraspinatus, des Musculus trapezius und des Musculus deltoideus bei 10 Schweißern mit Schulterbeschwerden durch, die Schweißnähte über Kopf anbringen mussten. Dabei wurde die Hand oberhalb des Schulterniveaus gehalten. Während des Schweißens von vier Schweißelektroden, deren Dauer nicht angegeben wurde, kam es zu einer deutlichen Abnahme der oberflächlich abgeleiteten elektromyografischen Aktivität im Bereich des Musculus supraspinatus, nicht jedoch im Bereich der anderen o.g. Muskeln. Die Ergebnisse wurden dahingehend interpretiert, dass der Musculus supraspinatus während des Arbeitsvorganges stark belastet sei.

Kadefors et al. (1976) berichteten über Untersuchungen mit Hilfe der Oberflächenelektromyographie (EMG) im Bereich des Musculus supraspinatus, des Musculus trapezius, des Musculus deltoideus, des Musculus biceps brachii und des Musculus rhomboideus major bei 20 gesunden Schweißern, darunter zehn Schweißer mit mindestens fünfjähriger Berufserfahrung und zehn Schweißer mit weniger als einem Jahr Berufserfahrung. Die Untersuchungen erfolgten in drei verschiedenen Schweißpositionen: 1. Hand auf Bauchhöhe, 2. Hand auf Schulterhöhe und 3. Hand auf Kopfhöhe. In jeder Position wurden jeweils vier Schweißelektroden verschweißt, für die insgesamt 24 Minuten geschweißt wurde. Das Lastgewicht des gehaltenen Schweißgerätes betrug 1 kg. Die Aktivität des Musculus trapezius und des Musculus supraspinatus wurde nur bei dem Schweißvorgang mit der Hand auf Kopfhöhe abgeleitet. Es zeigte sich, dass bei den Schweißarbeiten mit der Hand auf Kopfhöhe eine signifikante Ermüdung im Bereich des Musculus supraspinatus sowohl bei erfahrenen als auch bei unerfahrenen Schweißern nachweisbar war. Dagegen war bei dieser Arbeit eine Ermüdung im Bereich des Musculus deltoideus und des Musculus trapezius nur bei unerfahrenen Schweißern nachweisbar.

Hagberg (1981) stellte die Ergebnisse einer experimentellen Untersuchung mit Hilfe des Oberflächen-EMG im Bereich des Musculus trapezius, des Musculus supraspinatus, des Musculus infraspinatus, des Musculus deltoideus und des

Musculus biceps brachii in zwei verschiedenen Armpositionen bei sieben gesunden Frauen dar: 1. Abduktion im Schultergelenk um 90° und 2. Anteversion im Schultergelenk um 90° . Die Probandinnen wurden aufgefordert, den Arm in der jeweiligen Position so lange wie möglich zu halten. Der Arm konnte in Abduktion um 90° im Mittel 17 Minuten und in Anteversion um 90° im Mittel 21 Minuten gehalten werden. Bei Abduktion um 90° fanden sich ausschließlich im Bereich des Musculus supraspinatus Zeichen der Muskelermüdung. Bei Anteversion um 90° bestanden elektromyografische Zeichen der Ermüdung im Bereich des Musculus supraspinatus, des Musculus infraspinatus, des Musculus trapezius und des Musculus biceps brachii. Durch das Halten der Armmasse bei der Abduktion im Schultergelenk um 90° entstand ein Drehmoment im Glenohumeralgelenk in Höhe von im Mittel 12,6% der maximal möglichen Kontraktion. Bei Anteversion des Oberarms um 90° lag dieser Wert bei 11,9% der maximal möglichen Kontraktion. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass nach einer 5-minütigen Belastung in beiden Armhaltungen die meisten Probandinnen eine Muskelermüdung im Bereich des Musculus supraspinatus aufwiesen.

Sigholm et al. (1984) legten die Ergebnisse einer experimentellen Untersuchung bei neun gesunden Männern, darunter fünf Schweißer, über den Zusammenhang zwischen der Abduktion und Anteversion im Schultergelenk um jeweils 45° bzw. 90° , der Flexion im Ellbogengelenk um 90° oder 120° sowie der Innen- bzw. Außenrotation im Schultergelenk um jeweils 20° und dem intramuskulären EMG-Signal im Bereich verschiedener Schultermuskeln vor. Alle Armpositionen wurden ohne und mit einem Lastgewicht von 1 bzw. 2 kg eingenommen und für jeweils 15 Sekunden gehalten. Das EMG-Signal bei diesen Armpositionen wurde in den folgenden Muskeln abgeleitet: Musculus deltoideus, getrennt für den vorderen, mittleren und hinteren Teil, Musculus supraspinatus, Musculus infraspinatus und Musculus trapezius. Für den Musculus supraspinatus zeigte sich ein deutlich erhöhtes EMG-Signal als Zeichen der Muskelbelastung bereits bei Abduktion und Anteversion um 45° . Die weitere Erhöhung auf eine Abduktion um 90° und eine Anteversion um 90° führte nur im Bereich der Abduktion zu einer weiteren Erhöhung des EMG-Signals. In allen Armpositionen war das EMG-Signal deutlich abhängig von der Höhe des gehaltenen Lastgewichts. Dagegen hatten das Ausmaß der Flexion im Ellbogengelenk sowie die Innen- und Außenrotation im Schultergelenk keinen wesentlichen Einfluss auf die Höhe des EMG-Signals. Für die übrigen Muskeln fanden sich vergleichbare Ergebnisse.

Järvholm et al. (1988a) berichteten über eine experimentelle Studie mit Messung des intramuskulären Drucks im Musculus supraspinatus bei Neutralstellung der Schulter sowie bei Abduktion und Anteversion zwischen 0 – 135° mit und ohne Halten eines Lastgewichtes von 1 oder 2 kg bei sechs gesunden Männern. Es fand sich ein deutlicher Anstieg des intramuskulären Drucks im Musculus supraspinatus mit zunehmender Abduktion und Anteversion sowie mit zunehmendem gehaltenen Lastgewicht. Bereits bei Abduktion und Anteversion um 30° war ein deutlich erhöhter intramuskulärer Druck im Musculus supraspinatus nachweisbar.

Järvholm et al. (1988b) führten eine experimentelle Studie über den Zusammenhang zwischen dem intramuskulären Druck und dem Blutfluss im Musculus supraspinatus bei vier Männern und zwei Frauen ohne Schulterbeschwerden durch. Dabei zeigte sich, dass bereits ein intramuskulärer Druck im Bereich des Musculus supraspinatus von 5,6 kPa (42 mmHg) den intramuskulären Blutfluss signifikant senkt. In diesem Zusammenhang ist es von Bedeutung, dass in der Studie von Järvholm et al. (1988a) ein intramuskulärer Druck im Musculus supraspinatus von 5,6 kPa (42 mmHg) bereits bei einer Schulterabduktion von 30° ohne Halten einer Last erreicht wurde.

Järvholm et al. (1989) berichteten über eine experimentelle Studie, in der der intramuskuläre Druck und das Ergebnis des intramuskulären EMG im Musculus supraspinatus in Abhängigkeit von der Armabduktion und dem gehaltenen Lastgewicht (0 oder 1 bzw. 2 kg) bei 14 Männern und fünf Frauen ohne Schulterbeschwerden dargestellt wurde. Alle Armhaltungen wurden einmal mit gestrecktem Ellbogengelenk und einmal mit einem um 90° gebeugten Ellbogengelenk durchgeführt. Die Rotation im Schultergelenk wurde neutral gehalten. In Abhängigkeit vom Ausmaß der Abduktion (0°, 30°, 60°, 90° und 135°) fand sich ein Anstieg des intramuskulären Drucks und des EMG-Signals bis 90°. Bei Abduktion um 135° erhöhte sich das EMG-Signal, während der intramuskuläre Druck im Vergleich zu 90° sank. In allen Armpositionen fand sich eine Abhängigkeit der Höhe des EMG-Signals und des intramuskulären Drucks von der Höhe des Lastgewichtes. Sowohl das EMG-Signal als auch der intramuskuläre Druck waren in Abhängigkeit vom Ausmaß der Abduktion bei gestrecktem Ellbogen deutlich höher als bei einem Ellbogen, der um 90° gebeugt war. Ferner wurde bei Armabduktion um 45° der intramuskuläre Druck und das EMG-Signal im Bereich des Musculus supraspinatus ermittelt in Abhängigkeit von der Kraft, die auf dem Oberarm lastete und die zwischen 10-100 Newton, entsprechend 1-10 kp, schwankte. Es fand sich eine lineare positive Beziehung zwischen der externen Kraft und der Höhe des

EMG-Signals als auch des intramuskulären Drucks mit einem Korrelationskoeffizienten von 1,0 bzw. 0,99.

Järholm et al. (1991) berichteten über eine experimentelle Studie bei drei Frauen und vier Männern ohne Schultererkrankungen mit Messung des intramuskulären Drucks und Ableitung des intramuskulären EMG im Bereich des Musculus supraspinatus, des Musculus infraspinatus, des Musculus trapezius und des Musculus deltoideus bei unterschiedlichen Graden der Schulterabduktion (0° , 30° , 60° , 90° und 135°) sowie ohne und mit dem Halten von Lastgewichten von 1 und 2 kg. Ferner wurde der Zusammenhang zwischen dem berechneten Drehmoment, angegeben in Newtonmeter, und dem intramuskulären Druck und dem Ergebnis der Elektromyografie angegeben. Schließlich wurde bei Armabduktion um 45° der Arm mit einer Kraft zwischen 0-100 Newton, entsprechend 0 – 10 kp, belastet und der intramuskuläre Druck und das EMG im Bereich des Musculus supraspinatus und des Musculus deltoideus abgeleitet. Dieselben Untersuchungen wurden bei 0° Abduktion und 90° Ellbogenflexion betreffend den Musculus infraspinatus sowie bei angehobener Schulter betreffend den Musculus trapezius durchgeführt. Sowohl der intramuskuläre Druck als auch das EMG-Signal stiegen mit zunehmender Abduktion und Flexion mit einem Maximum bei 90° an. Ferner fand sich eine deutliche Abhängigkeit sowohl des intramuskulären Drucks als auch der Höhe des EMG-Signals in Abhängigkeit von der Höhe des gehaltenen Lastgewichtes. Diese Beziehung fand sich in allen vier untersuchten Muskeln. Dabei war die Höhe des intramuskulären Drucks und der Muskelaktivität, gemessen als EMG-Signal, am höchsten im Musculus supraspinatus, gefolgt vom Musculus infraspinatus, dem Musculus deltoideus und dem Musculus trapezius. Zwischen dem Drehmoment und dem intramuskulären Druck und der muskulären Aktivität, angegeben als EMG-Signal, fand sich jeweils eine lineare Beziehung in allen vier Muskeln. Zwischen der isometrisch einwirkenden Kraft und dem intramuskulären Druck sowie der muskulären Aktivität, angegeben als EMG-Signal, fand sich eine hohe Korrelation mit einem Korrelationskoeffizienten zwischen 0,90 – 0,98.

In einer pathologisch-anatomischen Studie, die an fünf gesunden Schultergelenken von Verstorbenen durchgeführt wurde, ermittelten Burns und Whipple (1993), dass die Sehne des Musculus supraspinatus bei einer Anteversion im Schultergelenk um 60° durch den Oberarmknochen gegen das Acromion und das Ligamentum coracoacromiale gedrückt wird. Bei Abduktion im Schultergelenk um 45° wird die

Sehne des Musculus supraspinatus durch den Oberarmknochen gegen das Ligamentum coracoacromiale gedrückt und bereits bei einer Anteversion um 30° und gleichzeitiger Innenrotation gerät die Sehne des Musculus supraspinatus unter dem Acromion und dem Ligamentum coracoacromiale unter Druck.

Flatow et al. (1994) kamen in einer pathologisch-anatomischen Studie, die an neun gesunden Schultergelenken von Verstorbenen durchgeführt wurde, zu dem Ergebnis, dass die mittels Stereofotografie ermittelte Fläche mit einer Distanz von <5 mm zwischen dem Acromion und dem Oberarm am größten ist bei einer Armhebung zwischen $60 - 120^\circ$.

Palmerud et al. (2000) legten die Ergebnisse einer experimentellen Studie bei zehn gesunden männlichen Probanden vor, bei denen der Druck im Musculus supraspinatus und Musculus infraspinatus beim Anheben des Oberarmes um $0 - 90^\circ$ in acht Ebenen ermittelt wurde, die in einem Winkel von minus 15° , 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° und 90° zur Sagittalebene gedreht waren. Die Messungen wurden mit und ohne Halten eines Lastgewichtes von 1 kg durchgeführt. In allen acht Ebenen kam es beim Anheben des Oberarms zu einem Anstieg des intramuskulären Drucks sowohl im Musculus infraspinatus als auch im Musculus supraspinatus mit einem Maximum meistens bei einer Armanhebung um 90° und in Teilen der o.g. acht Ebenen auch bei 75° oder 60° . Im Bereich des Musculus supraspinatus fand sich der höchste intramuskuläre Druck, wenn die Ebene, innerhalb der der Arm angehoben wurde, um 60° gegenüber der Sagittalebene gedreht war. Dagegen fand sich im Bereich des Musculus infraspinatus der höchste Druck, wenn die Ebene, innerhalb der der Arm angehoben wurde, um minus 15° gegenüber der Sagittalebene gedreht war. Das Halten eines Lastgewichtes von 1 kg erhöhte sowohl im Bereich des Musculus supraspinatus als auch des Musculus infraspinatus den intramuskulären Druck deutlich.

2.2 Tierexperimentelle Studien

Soslowsky et al. (2000) führten eine tierexperimentelle Studie bei 36 Sprague-Dawley-Ratten durch, die 16 Wochen lang einer Belastung durch repetitive Bewegung durch Laufen in einem Drehrad mit einer Geschwindigkeit von 17 m pro Minute für eine Stunde pro Tag und fünf Tage pro Woche ausgesetzt wurden. Diese Expositionsgruppe wurde mit einer Kontrollgruppe von zehn Ratten verglichen, die normal gehalten wurden und keiner Belastung durch repetitive Bewegungen

ausgesetzt war. In beiden Gruppen erfolgte eine histologische Untersuchung der Supraspinatussehne sowie eine Belastung der Sehne bis zur Ruptur zur Ermittlung der Belastbarkeit. Die Studie bei den exponierten Ratten zeigte leichte degenerative Veränderungen in der histologischen Analyse. Die exponierten Ratten wiesen eine signifikante Anschwellung der Sehne sowie eine signifikant niedrigere Belastbarkeit bis zur Ruptur im Vergleich zu den Kontrolltieren auf.

Soslowky et al. (2002) führte eine weitere experimentelle Studie bei drei Gruppen von jeweils 36 Sprague-Dawley-Ratten durch:

1. Belastung durch repetitive Bewegung
2. Belastung durch eine induzierte Einengung des Subacromialraumes
3. Kombination der beiden Belastungen 1 und 2

Bei den Versuchstieren, die ausschließlich einer experimentellen Einengung des Subacromialraumes ausgesetzt waren, fanden sich keine signifikante Anschwellung der Supraspinatussehne und keine signifikante Abnahme der Sehnenbelastbarkeit. Dagegen war in der Gruppe der Versuchstiere, die sowohl einer repetitiven Belastung als auch einer Einengung des Subacromialraumes ausgesetzt waren, die Anschwellung und die verminderte Belastbarkeit der Supraspinatussehne deutlicher ausgeprägt als bei alleiniger Belastung durch repetitive Bewegung. Die Autoren interpretierten ihre Daten dahingehend, dass eine Einengung des Subacromialraumes allein nicht zu einer wesentlichen Degeneration der Supraspinatussehne führt, sondern nur in Kombination mit einer repetitiven Bewegung.

Ergänzend zu diesen Untersuchungen kamen Perry et al. (2005) zu dem Ergebnis, dass in der Supraspinatussehne von 25 Sprague-Dawley-Ratten, die mit einer repetitiven Belastung entsprechend den Studien von Soslowky et al. (1996 und 2000) exponiert wurden, im Vergleich zu fünf Kontrollen erhöhte Konzentrationen der Messenger-Ribonukleinsäure (mRNA) nachweisbar waren, die für die Entzündungsmarker Cyclooxygenase-2 (COX-2) und 5-Lipoxygenase-aktivierendes Protein (FLAP) kodieren. An der Studie ist die sehr geringe Anzahl der Kontrolltiere und die fehlende Signifikanztestung zu kritisieren.

Neben diesen experimentellen Untersuchungen betreffend die Supraspinatussehne wurden folgende tierexperimentelle Studien bezüglich anderer Sehnen durchgeführt:

Backman et al. (1990) führten experimentelle Studien bei 13 anästhesierten Kaninchen durch, die einer aktiven und passiven Belastung der Achillessehne mit einer Rate von 150 Flexionen und Extensionen pro Minute für zwei Stunden an drei Tagen pro Woche für sechs Wochen ausgesetzt wurden. Die o.g. Exposition wurde im Bereich der rechten Extremität durchgeführt und mit der unbelasteten linken Seite verglichen. Im Bereich der exponierten Extremität fanden sich im Vergleich zu der Kontrollseite nach dieser Einwirkung degenerative Veränderungen in der Achillessehne in Form einer unterschiedlichen Dicke und einer Aufspaltung der Kollagenfibrillen. Ferner fanden sich entzündliche Zeichen in Form einer Infiltration mit Entzündungszellen, einem Ödem und Fibrose im sehnenbegleitenden Gewebe.

Barbe et al. (2003) berichteten über eine experimentelle Studie bei 39 Sprague-Dawley-Ratten, die repetitive Greifvorgänge mit der vorderen Extremität ausüben mussten, um das Futter zu erreichen. Die erforderliche Greifkraft war niedrig und lag bei <1% der maximal möglichen Greifkraft. Nachdem diese repetitiven Greifvorgänge mit einer Rate von 4-8 pro Minute für zwei Stunden pro Tag und drei bis acht Wochen insgesamt ausgeübt wurden, fanden sich im Vergleich zu 14 Kontrolltieren Entzündungszeichen im Bereich der Sehnen der oberen Extremität in Form einer signifikant angestiegenen Anzahl von Makrophagen in der Sehne des Musculus flexor digitorum superficialis. Ferner zeigten sich in dieser Sehne vermehrt degenerative Veränderungen in Form von ausgefransten Kollagenfibrillen. Schließlich wurde ein signifikanter Anstieg des Entzündungsparameters Interleukin-1 alpha im Serum beobachtet. Interleukin-1 alpha stimuliert die Expression und Aktivität verschiedener Matrix-Metalloproteinasen, die Sehnenbestandteile wie Kollagen, Proteoglycan und Glycoprotein abbauen (Riley 2005).

Barbe et al. (2008) führten experimentelle Studien bei 36 Sprague-Dawley-Ratten durch, die entsprechend der Studie von Barbe et al. (2003) mit einer Belastung der vorderen Extremität in Form repetitiver Greifvorgänge mit einer sehr geringen Greifkraft mit einer Rate von 4 pro Minute (hohe Repetition) oder 2 pro Minute (niedrige Repetition) für eine Dauer von zwei Stunden pro Tag an drei Tagen pro Woche für sechs oder acht Wochen insgesamt exponiert wurden. Im Vergleich zu 21 nicht exponierten Kontrolltieren fand sich bei hoher Repetition im Vergleich zu den Kontrollen ein Anstieg der Entzündungsparameter Interleukin-1 alpha und beta sowie des Tumornekrosefaktors alpha. Bei niedriger Repetition war dies nicht zu

beobachten. Ferner fand sich sowohl bei hoher als auch bei niedriger Repetition ein signifikanter Abfall der Greifkraft im Bereich der exponierten Extremität.

In einem Übersichtsartikel interpretierten Wang et al. (2006) diese Daten dahingehend, dass repetitive Belastungen einer Sehne auch innerhalb des physiologischen Bereiches zu einer Sehnendegeneration führen.

Nakama et al. (2005) legten die Ergebnisse einer tierexperimentellen Studie bei neun anästhesierten Kaninchen vor, bei denen der Musculus flexor digitorum profundus elektrisch stimuliert wurde, um eine repetitive Belastung mit einer Frequenz von 60 pro Minute mit einer aufzubringenden Muskelkraft von 15% der maximalen Muskelkraft zu erzeugen. Diese Belastung erfolgte zwei Stunden pro Tag, drei Tage pro Woche und 80 Tage insgesamt. Im Vergleich zu der nicht exponierten Seite fanden sich in den Sehnen des Musculus flexor digitorum profundum signifikant häufiger Mikrorisse mit einer Größe zwischen 3-300 μm^2 im Bereich der Sehne sowie im Ansatzbereich am Epikondylus.

Nakama et al. (2007) modifizierten dieses Experiment dahingehend, dass bei acht anästhesierten Kaninchen der Musculus flexor digitorum profundus zehnmal pro Minute bei ansonsten identischen Bedingungen elektrisch stimuliert wurde. Auch in diesem Experiment fanden sich im Bereich der exponierten im Vergleich zur nicht exponierten Seite signifikant mehr Mikrorisse in der Sehne des Musculus flexor digitorum profundum sowie im Ansatzbereich am Epikondylus. Die Unterschiede waren aber nicht so ausgeprägt wie bei einer Repetitionsrate von 60 pro Minute. Die Ergebnisse werden im Sinne einer Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen der Repetitionsrate und Mikrorissen in der Sehne und im Ansatzbereich interpretiert.

Fedorczyk et al. (2010) modifizierte das Experiment von Barbe et al. (2003) dahingehend, dass 32 Sprague-Dawley-Ratten einer hohen repetitiven Belastung der Beugesehnen der Pfote der vorderen Extremität mit einer Rate von zwölf Greifvorgängen pro Minute und einer hohen Greifkraft von $60 \pm 5\%$ der maximalen Greifkraft an zwei Stunden pro Tag, drei Tage pro Woche für einen Zeitraum von drei bis zwölf Wochen exponiert wurden. Bei den exponierten Tieren fanden sich im Vergleich zu 17 Kontrollen signifikant häufiger degenerative Veränderungen im Bereich der Beugesehnen und des Sehnengleitgewebes betreffend die Kollagenorganisation, die Zellform und die Anzahl der Zellen. Ferner fanden sich in den Beugesehnen und dem Sehnengleitgewebe signifikant häufiger der Nachweis von Entzündungsparametern (Interleukin-1 Beta) sowie von neutrophilen Granulozyten.

Ferner konnte bei den exponierten Ratten im Vergleich zu den Kontrollen häufiger im Sehnengleitgewebe die Substanz P, die mit einer chronischen Schmerzmediation in Verbindung gebracht wird, nachgewiesen werden.

Zusammenfassend sprechen die oben vorgestellten Studien dafür, dass es bei einer Abduktion oder Anteversion im Schultergelenk um jeweils 90° nach ca. fünf Minuten im Bereich des Musculus supraspinatus zu einer im EMG nachgewiesenen Muskelermüdung kommt (Hagberg 1981). Bei Schweißern bestätigte sich diese Ermüdung im Musculus supraspinatus, wenn die Hand oberhalb des Schulter- oder Kopfniveaus gehalten wurde (Herberts und Kadefors 1976 sowie Kadefors et al. 1976). Bei einer Abduktion im Schultergelenk um 30° kommt es im Bereich des Musculus supraspinatus zu einer deutlichen Druckerhöhung auf 5,6 kPa (42 mmHg). Ein solcher Druck führt zu einer signifikanten Senkung des intramuskulären Blutflusses im Musculus supraspinatus (Järvholm et al. 1988a+b). Das Heben eines Lastgewichtes von 1 und 2 kg führt bei Abduktion im Schultergelenk zu einer deutlich stärkeren Senkung des intramuskulären Blutflusses im Musculus supraspinatus als bei Abduktion ohne Lastgewicht (Järvholm et al. 1989 und 1991 sowie Palmerud et al. 2000). Ferner zeigt eine pathologisch-anatomische Studie, dass die Sehne des Musculus supraspinatus bei einer Anteversion von 60° zwischen dem Oberarmknochen und dem Acromion und dem Ligamentum coracoacromiale unter Druck gerät. Bei gleichzeitiger Innenrotation ist dies bereits bei einer Anteversion um 30° der Fall. Weiterhin zeigt die Studie, dass die Sehne des Musculus biceps brachii bereits bei einer Anteversion um 15° zwischen dem Oberarmknochen und dem Ligamentum coracoacromiale unter Druck gerät (Burns und Whipple 1993). Ferner sprechen verschiedene tierexperimentelle Studien dafür, dass es bei der repetitiven Bewegung der Supraspinatussehne zu entzündlichen und degenerativen Veränderungen kommt, die die Belastbarkeit der Sehne herabsetzen (Soslowky et al. 2000 und 2002, Perry et al. 2005). Diese Ergebnisse werden bestätigt durch experimentelle Untersuchungen, die nach repetitiver Belastung auch in anderen Sehnen entzündliche und degenerative Veränderungen nachwiesen (Backman et al. 1990, Barbe et al. 2003 und 2008, Nakama et al. 2005 und 2007, Fedorczyk et al. 2010).

3. Epidemiologische Studien

3.1 Querschnittstudien

3.1.1 Querschnittstudien in der Textilindustrie

Andersen und Gaardboe (1993) untersuchten 82 Näherinnen in der Textilindustrie in Dänemark und eine Kontrollgruppe von 25 Krankenschwestern und Altenpflegerinnen. Bei den Näherinnen fand sich ein signifikant um den Faktor 6-11 häufiger klinisch diagnostiziertes Rotatorenmanschettensyndrom. Zwischen der Dauer der beruflichen Tätigkeit als Näherin und der Prävalenz des Rotatorenmanschettensyndroms fand sich eine positive Beziehung. Näherinnen in der Textilindustrie wurden als hochgradig und Krankenschwestern und Altenpflegerinnen als mittelgradig in Bezug auf die Schulterbelastung durch repetitive und/oder kraftvolle Bewegungen im Schultergelenk eingestuft. An der Studie ist das Fehlen einer unbelasteten Kontrollgruppe zu kritisieren.

Kaergard und Andersen (2000) beschrieben bei 243 dänischen Näherinnen mit hochgradig repetitiver Arbeit eine signifikant um den Faktor 2,26 (95%-KI 1,1-5,9) erhöhte Prävalenz des klinisch diagnostizierten Rotatorenmanschettensyndroms im Vergleich zu 357 altersvergleichbaren Frauen ohne repetitive Tätigkeit. Ferner fand sich bei Näherinnen ein signifikant um den Faktor 1,7 (95%-KI 1,1-2,6) erhöhtes Risiko für die Entwicklung eines unspezifischen Schmerzsyndroms im Bereich der Schulter. Zwischen der Dauer der Tätigkeit als Näherin und dem relativen Risiko für die Entwicklung einer Schultererkrankung (Rotatorenmanschettensyndrom und/oder unspezifische Muskelschmerzen im Bereich der Schulter) fand sich eine positive Beziehung mit einem um den Faktor 4,4 (95%-KI 1,5-12,8) erhöhten Risiko nach mehr als 20-jähriger Expositionsdauer, adjustiert u.a. für Alter und relatives Körpergewicht. Die Studie leidet darunter, dass der Zusammenhang zwischen Dauer der Tätigkeit als Näherin und der Entwicklung eines Rotatorenmanschettensyndroms nur in Kombination mit unspezifischen Schulterschmerzen untersucht wurde.

3.1.2 Querschnittstudien in der Metall- und Elektroindustrie

Herberts et al. (1984) berichteten darüber, dass die Prävalenz der klinisch diagnostizierten Supraspinatustendopathie bei 131 Beschäftigten, die in einer schwedischen Schiffswerft häufig mit den Händen über Schulterniveau schweißen mussten, in Höhe von 18% signifikant über der einer unbelasteten Kontrollgruppe von 57 Probanden lag. Auch bei 188 Werft-Montagearbeitern bestand mit 16,2% eine

signifikant erhöhte Prävalenz der Supraspinatustendopathie im Vergleich zu den Kontrollprobanden. Die Studie leidet darunter, dass die berufliche Einwirkung der Werft-Montagearbeiter nicht detailliert beschrieben wird, die Teilnahmequote der drei Gruppen nicht berichtet wird und die Kontrollgruppe älter als die beiden exponierten Gruppen ist. Da die Supraspinatustendopathie mit zunehmendem Alter häufiger auftritt, dürfte der wahre Unterschied zwischen den belasteten Gruppen und der Kontrollgruppe ausgeprägter als dargestellt sein.

Ohlsson et al. (1995) legten die Ergebnisse einer Querschnittstudie bei 82 Industriearbeiterinnen und 64 ehemaligen Industriearbeiterinnen in der schwedischen Elektroindustrie vor. Als Kontrollgruppe fungierten 64 Frauen, die in Supermärkten mit der Bestellung und Auszeichnung von Waren sowie der Beratung von Kunden oder in Büros beschäftigt waren. Ferner wurden 25 ehemalige Beschäftigte aus diesen Bereichen einbezogen. Bei den exponierten Frauen und Kontrollprobandinnen wurde eine ergonomische Ermittlung zum Ausmaß von repetitiven Bewegungen mit Hilfe von Videoaufnahmen durchgeführt und dabei unter anderem auch der Winkel der Armhebung ermittelt. Bei den Industriearbeiterinnen fand sich häufiger eine klinisch diagnostizierte Supraspinatustendopathie im Vergleich zu Kontrollprobanden (12 versus 2%).

3.1.3 Querschnittstudien in der Lebensmittelindustrie

Luopajarvi et al. (1979) veröffentlichten eine Querschnittstudie bei 152 Fließbandarbeiterinnen in der finnischen Lebensmittelindustrie und einer Kontrollgruppe von 133 weiblichen Beschäftigten in Supermärkten im Bereich der Kundenberatung ohne Tätigkeit als Kassiererin. Bei den Fließbandarbeiterinnen wurde die Höhe der beruflichen Schultergelenksbelastungen durch eine Videoanalyse ermittelt. Die Beschäftigten bedienten eine Brotschneidemaschine und eine Verpackungsmaschine mit 60 Verpackungen pro Minute. Ferner mussten Lasten mit einem Lastgewicht zwischen 0,2-27 kg mit einem Mittelwert von 5 kg gehandhabt werden. Bei den Fließbandarbeiterinnen fand sich im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant häufiger eine klinisch diagnostizierte Tendopathie im Bereich des Musculus supraspinatus und des Musculus biceps brachii (14 versus 5%). An der Studie ist zu kritisieren, dass die Häufigkeit der Tendopathie im Bereich des Musculus supraspinatus und des Musculus biceps brachii nicht getrennt voneinander angegeben wurde.

Ohlsson et al. (1994a) berichteten über eine Querschnittstudie bei 206 Frauen in der schwedischen Fischindustrie, darunter 34 Frauen mit langfristiger Arbeitsunfähigkeit, sowie 322 ehemaligen Fischereiarbeiterinnen, und eine Kontrollgruppe von 208 altersvergleichbaren weiblichen Beschäftigten im öffentlichen Dienst. Die Tätigkeit der Beschäftigten in der Fischindustrie wurde insbesondere beim Filetieren und Verpacken als hochgradig repetitiv eingestuft und sei verbunden mit der regelmäßigen Handhabung von Gegenständen mit einem Lastgewicht zwischen 10–20 kg. Bei den Beschäftigten in der Fischverarbeitung fanden sich deutlich häufiger Hinweise für eine klinisch diagnostizierte Supraspinatustendopathie (15 versus 5%) und eine Infraspinatustendopathie (12 versus 3%).

Nordander et al. (1999) verglichen 116 männliche Beschäftigte in der schwedischen Fischindustrie, darunter acht Beschäftigte mit über einmonatiger Arbeitsunfähigkeit überwiegend wegen Erkrankungen des Muskel- und Skelettsystems, sowie eine Gruppe von 196 ehemaligen männlichen Beschäftigten, die die Tätigkeit in der Fischereiindustrie während der letzten zehn Jahre unterlassen hatten. Die Fischereiarbeiter übten folgende Tätigkeiten aus:

- a) Montage von Fischen in eine Dorsch-Filetiermaschine. Diese Arbeit wurde als hochgradig repetitiv eingestuft, weil die Zykluszeit der Tätigkeit zwei Sekunden betrug. Das Lastgewicht der Fische lag bei 1-5 kg. Ferner war die Tätigkeit mit einer erhöhten Belastung der Nackenmuskulatur verbunden.
- b) Bearbeitung der Fischfilets mit Entfernung der Wirbelsäule und der Gräten. Auch diese Tätigkeit wurde mit einer Zykluszeit von <30 Sekunden als hochgradig repetitiv eingestuft. Ferner war diese Tätigkeit mit dem Heben und Tragen von ca. 100 Kisten mit Fischfilets mit einem Lastgewicht von etwa 22 kg verbunden. Auch diese Tätigkeit wurde als sehr stark belastend für die Nackenmuskulatur eingestuft.
- c) Montage von Heringen in eine Filetiermaschine. Diese Arbeit wurde mit einer Zykluszeit von ca. drei Sekunden als hochgradig repetitiv und belastend für die Schultermuskulatur eingestuft. Die gehandhabten Lastgewichte lagen bei unter einem Kilogramm.
- d) Verpackung von Dorsch- und Heringsfilets mit einer hohen Repetitivität (Zykluszeit unter fünf Sekunden) und einer hohen Belastung der Nackenmuskulatur. Die einzelnen Fischverpackungen wurden in größere Kartons mit einem Lastgewicht

zwischen 5-<10 kg verpackt. Die Anzahl der gehandhabten Kartons mit diesem Lastgewicht wurde nicht angegeben.

- e) Handhabung von Verpackungen mit einem Lastgewicht von ca. 40 kg und einer Zykluszeit von ca. einer Minute. Die Belastung der Nackenmuskulatur wurde als niedrig eingestuft.
- f) Reparatur- und Reinigungsarbeiten ohne Handhabung von Lasten mit einem Lastgewicht von mindestens 5 kg mit geringer Repetitivität und geringer Belastung der Nackenmuskulatur.

Ferner wurde eine Kontrollgruppe von 129 nach Alter und Geschlecht vergleichbaren Beschäftigten einbezogen, die in der ambulanten Pflege, als Gartenarbeiter oder Reparaturarbeiter in einer Gemeinde beschäftigt waren, darunter drei Beschäftigte mit langfristiger Arbeitsunfähigkeit. Ehemalige Beschäftigte aus diesen Berufsgruppen wurden nicht in die Kontrollgruppe einbezogen. Bei den Fischereiarbeitern und Kontrollprobanden wurde eine standardisierte Befragung und körperliche Untersuchung sowie eine eingehende ergonomische Bewertung der Arbeitsplätze durchgeführt. Bei den Fischereiarbeitern fand sich häufiger eine Tendopathie im Bereich des Musculus supraspinatus als bei den Kontrollprobanden (3 versus 1%) und eine Tendopathie im Bereich des Musculus infraspinatus (3 versus 1%).

Frost und Andersen (1999) berichteten über die Ergebnisse einer Querschnittstudie bei 576 jetzigen und 167 ehemaligen männlichen Schlachthofarbeitern und einer Kontrollgruppe von 398 altersvergleichbaren Beschäftigten in der Chemieindustrie, die in eine historische Kohortenstudie eingebettet war. Bei jetzigen Schlachthofarbeitern fand sich eine signifikant um den Faktor 5,27 (95%-KI 2,09-13,26) erhöhte Prävalenzratio in Bezug auf ein klinisch diagnostiziertes Impingementsyndrom der Schulter. Das für Alter adjustierte Risiko für die Entwicklung eines Impingementsyndroms der Schulter war bereits bei einer Expositionsdauer von fünf Jahren signifikant um etwa den Faktor 7 erhöht (genauere Angaben lassen sich der Abbildung nicht entnehmen). Mit zunehmender Expositionsdauer verblieb das Risiko etwa in diesem Bereich. Bei einer Expositionsdauer von mehr als 30 Jahren stieg das Risiko weiter an und erreichte ein Maximum mit einem relativen Risiko von etwa 10 bei einer Expositionsdauer von 45 Jahren. Bei ehemaligen Schlachthofarbeitern war die Prävalenzratio für die Entwicklung eines Impingementsyndroms der Schulter signifikant um den Faktor 7,9 (95%-KI 2,94-21,18) erhöht. Schlachthofarbeiter waren im Bereich der Schulter exponiert durch repetitive Bewegungen im Schultergelenk mit

einer Armanhebung über 30° mit einer Häufigkeit von ca. zehn pro Minute, durch eine anhaltende Anhebung des Arms um mindestens 30° während eines Schichtanteils von 48% und die Handhabung von Fleischprodukten mit einem Lastgewicht zwischen 5-12 kg. Die Studie leidet darunter, dass der Teil der Schlachthofarbeiter, die vor 1986 aus der Kohorte ausgeschieden waren, nicht erfasst wurde. Ferner nahmen die Autoren eine positive Selektion dadurch an, dass Schlachthofarbeiter ihre Tätigkeit erst nach einem 3-monatigen Praktikum begonnen haben. Dadurch wurden Beschäftigte, die anlagebedingte Schultererkrankungen aufwiesen, zumindest zum Teil ausselektiert.

3.1.4 Querschnittstudien in sonstigen Branchen

Stenlund et al. (1993) legten die Ergebnisse einer Querschnittstudie bei 54 Maurern und 55 Steinbrechern in Schweden sowie einer Kontrollgruppe von 98 Vorarbeitern vor, bei denen eine standardisierte Befragung in Bezug auf die lebenslange Belastung durch Lastenhandhabung, Hand-Arm-Schwingungen und Belastungen der Schultergelenke durch sportliche Aktivitäten sowie eine klinische Untersuchung der Schulter durchgeführt wurden. In der Studie fand sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen einer hohen Einwirkung durch Hand-Arm-Schwingungen und der Entwicklung einer rechts- oder linksseitigen, klinisch diagnostizierten Schulter-Tendopathie im Bereich der Rotatorenmuskulatur (relatives Risiko 1,7 (95%-KI 1,06-2,6) bzw. 1,8 (95%-KI 1,1-3,1)). Zwischen dem kumulativ gehobenen Lastgewicht und einer rechtsseitigen Schulter-Tendopathie bestand kein Zusammenhang (OR=1,0, 95%-KI 0,05-1,8). Dagegen bestand für eine Schulter-Tendopathie im Bereich der linken Schulter ein grenzwertig signifikanter Zusammenhang (OR=1,8, 95%-KI 0,95-3,4). Ferner fand sich bei Steinbrechern ein signifikant um den Faktor 3,3 (95%-KI 1,2-9,1) erhöhtes Risiko für eine klinisch diagnostizierte, linksseitige Schulter-Tendopathie im Bereich der Rotatorenmanschette und/oder des Musculus biceps brachii und ein nicht signifikant um den Faktor 1,7 (95%-KI 0,7-4,2) erhöhtes Risiko für eine Schulter-Tendopathie auf der rechten Seite. Dagegen zeigte sich ein nicht signifikant auf 0,4 (95%-KI 0,2-1,2) erniedrigtes Risiko für eine rechtsseitige Schulter-Tendopathie bei Maurern. Auf der linken Seite zeigten sich zu wenige Erkrankungen bei Maurern, so dass hierfür kein Risiko berechnet werden konnte. Beschäftigte mit einer hohen Belastung durch Heben schwerer Lasten wiesen im Vergleich zu niedrig Belasteten ein nicht signifikant um den Faktor 1,8 erhöhtes Risiko für die Entwicklung einer

linksseitigen Schulter-Tendopathie auf, während das Risiko rechts unauffällig war (relatives Risiko 1,0).

Hansson et al. (2000) berichteten über eine Querschnittstudie bei 87 Frauen, die laminierte Platten in Schweden herstellten, einer Gruppe von 55 ehemaligen Beschäftigten an diesen Arbeitsplätzen und einer Kontrollgruppe von 35 weiblichen Beschäftigten mit verschiedenen industriellen Tätigkeiten und einer zweiten Kontrollgruppe von 33 Verwaltungsbeschäftigten. Die Tätigkeit der Beschäftigten in der Herstellung von laminierten Platten wird als hochgradig repetitiv mit 0,4 Hand- und Armbewegungen pro Sekunde beschrieben. In allen drei Gruppen wurde eine standardisierte Befragung zu Schulterbeschwerden und eine standardisierte Schulteruntersuchung nach der Methode von Ohlsson et al. (1994a) durchgeführt. Die Höhe der Schulterbelastung wurde durch eine Oberflächenelektromyografie im Bereich des Musculus trapezius und des Musculus infraspinatus ermittelt. Ferner wurde das Ausmaß der Armhebung mittels Inclinometer erhoben. Die Beschäftigten in der Plattenlaminiierung hatten eine signifikant höhere Belastung im Bereich des Musculus trapezius und des Musculus infraspinatus als die beiden Kontrollgruppen. Bei den Handlaminiiererinnen wurde ein Rotatorenmanschettensyndrom (8 versus 0 und 0%) häufiger als bei den Kontrollen diagnostiziert.

Frost et al. (2002) legten die Ergebnisse einer Querschnittstudie bei 1.961 weiblichen und männlichen Beschäftigten in verschiedenen Branchen in Dänemark vor, darunter die Lebensmittelindustrie (u.a. Schlachthöfe), die Textilindustrie, die Elektroindustrie, die Herstellung von Spanplatten, Postverteilungszentren, Supermärkte und Banken. Bei den Beschäftigten wurde durch ergonomische Experten anhand von Videoaufnahmen die Häufigkeit einer Schulterbelastung durch repetitive Bewegungen erfasst und die Höhe der erforderlichen Kraft im Bereich der Schultermuskulatur eingeschätzt. Insgesamt wurden durch die ergonomischen Experten 300 repetitive Tätigkeiten in 103 Expositionsgruppen in den 19 Industriebetrieben, die an der Studie teilnahmen, untersucht. Beschäftigte in den Betrieben ohne repetitive Tätigkeiten, z. B. bestimmte Bürobeschäftigte ohne repetitive Tätigkeiten, Beschäftigte im innerbetrieblichen Transport oder Vorgesetzte, fungierten als interne Kontrollgruppe. In 98% der Expositionsgruppen mussten repetitive Bewegungen im Bereich der Schulter durchgeführt werden, die den Empfehlungswert von 2,5 Bewegungen pro Minute von Kilbom (1994) überschritten. In 20% der Expositionsgruppen mussten hohe Kräfte im Bereich der Schulter aufgebracht werden, die mindestens 30% der maximal

möglichen Kraft entsprachen. Dagegen traten in der Untersuchungsgruppe Belastungen durch eine Armhebung, die den Empfehlungswert von 60° nach Bernard (1997) übertrafen, so gut wie nicht auf (0,7% der Zykluszeit der Schulterbewegungen) (Fallentin et al. 2001). Die Häufigkeit einer Schultertendopathie wurde im Rahmen einer ärztlichen Untersuchung sowie im Rahmen einer Befragung zu Schulterbeschwerden ermittelt. Die verwendeten klinischen Tests (Schulterschmerzen bei Abduktion im Schultergelenk gegen Widerstand, Druckschmerz im Bereich des Tuberculum majus humeri sowie Schmerzen bei der Innenrotation des um 90° im Schultergelenk abduzierten Oberarms) erfassten eine Tendopathie im Bereich des Musculus supraspinatus (Ohlsson et al. 1994b, Harrington et al. 1998, Buckup und Buckup 2012, S. 107 und 127). Bei 3,2% der Probanden wurde eine Schultertendopathie diagnostiziert. Zwischen der Höhe der erforderlichen Kraft im Bereich der Schultergelenke und dem Risiko für eine Schultertendopathie bestand eine positive Expositions-Wirkungs-Beziehung. Bei Beschäftigten mit einer erforderlichen Kraft unterhalb von 10% der maximal möglichen Kraft war das Risiko für eine Schultertendopathie nicht signifikant um den Faktor 2,2 (95%-KI 0,8-5,6) im Vergleich zu nicht Belasteten erhöht. Bei Beschäftigten, deren Tätigkeit eine hohe Kraft im Bereich der Schultergelenke erforderte, die mindestens 10% der maximal möglichen Kraftanstrengung entsprach, fand sich ein signifikant um den Faktor 4,2 (95%-KI 1,7-10,4) erhöhtes Risiko für eine Schultertendopathie, das u.a. für Alter, Geschlecht, relatives Körpergewicht, Schulterverletzungen, Sport und Schmerzempfindlichkeit adjustiert war. Die Autoren werteten das Heben und Tragen von Lasten als eine Tätigkeit, die mit einer erhöhten Kraft im Bereich der Schultergelenke einhergeht. Es bestand eine positive Expositions-Risiko-Beziehung zwischen der Häufigkeit repetitiver Bewegungen im Bereich der Schultergelenke und dem Risiko für eine Schultertendopathie. Beschäftigte, deren Arbeit eine Belastung durch repetitive Bewegungen im Schultergelenk mit einer Häufigkeit von 1-14 Bewegungen pro Minute ausführen mussten, hatten ein signifikant um den Faktor 2,9 (95%-KI 1,2-7,4) erhöhtes Risiko für eine Schultertendopathie. Beschäftigte, deren Arbeit mindestens 15 Schultergelenksbewegungen pro Minute erforderte, wiesen ein signifikant um den Faktor 3,3 (95%-KI 1,3-8,1) erhöhtes Risiko für Schultertendopathie auf. Wenn beide Belastungen vorlagen, d.h. sowohl hohe Kräfte als auch repetitive Bewegungen erforderlich waren, fand sich ein um den Faktor 4,8 (95%-KI 1,9-12,5) erhöhtes Risiko für eine Schultertendopathie.

Svendsen et al. (2004a) untersuchten im Rahmen einer Querschnittstudie 1.086 männliche Beschäftigte in Dänemark, darunter 599 Kfz-Mechaniker und 758 Hausmaler mit Schultergelenksbelastungen durch Überschulterarbeit sowie eine Kontrollgruppe von 529 Maschinisten. Die Dauer der beruflichen Einwirkung durch Abduktion des Oberarms im Schultergelenk wurde mit Hilfe eines Inclinometers während eines Zeitraums von mindestens vier Arbeitstagen bei einer Subgruppe von 72 der untersuchten Beschäftigten erfasst. In der Studie fand sich ein signifikanter Trend zwischen der Dauer der täglichen Arbeit mit Abduktion des Oberarms im Schultergelenk um mehr als 90° und dem Risiko für die Entwicklung einer klinisch diagnostizierten Supraspinatustendopathie. Die Prävalenz der klinisch diagnostizierten Supraspinatustendopathie bei Malern, Kfz-Mechanikern und Maschinisten lag bei 4,4%, 1,4% und 2,0%. Das Risiko für die Entwicklung einer Supraspinatustendopathie stieg bei einer Zunahme der Dauer der Abduktion um mindestens 90° im Schultergelenk um einen Schichtanteil von 1% signifikant um den Faktor 1,23 (95%-KI 1,10-1,39). Bei den Beschäftigten mit der höchsten Belastung mit einer Dauer der Abduktion um mindestens 90° im Schultergelenk während eines Schichtanteils von 6-9% war das Risiko für die Entwicklung einer Supraspinatustendopathie um den Faktor 4,7 (95%-KI 2,1-10,7) signifikant erhöht. Zwischen der Dauer der beruflichen Einwirkung durch Arbeiten mit Abduktion des Oberarms im Schultergelenk um mehr als 90° und der Entwicklung einer Supraspinatustendopathie fand sich ein grenzwertig signifikanter Trend mit einem relativen Risiko in Höhe von 1,1 (95%-KI 0,97-1,3) bei Zunahme der Expositionsdauer um sechs Monate. In der höchsten Klasse der Einwirkungsdauer von mindestens zwei Jahren war das Risiko für die Entwicklung einer Supraspinatustendopathie nicht signifikant um den Faktor 1,9 (95%-KI 0,8-4,4) erhöht.

Svendsen et al. (2004b) führten ferner in einer Subgruppe der o.g. Studie bei 136 männlichen Beschäftigten, darunter 49 Kfz-Mechaniker, 45 Hausmaler und einer Kontrollgruppe von 42 Maschinisten, Untersuchungen zur Häufigkeit der Supraspinatustendopathie mit Hilfe einer Magnetresonanztomographie auf der dominanten Seite durch. Die Häufigkeit einer Supraspinatustendopathie wurde in Abhängigkeit von der kumulativen Dauer der Überschulterarbeit mit einer Abduktion im Schultergelenk um >90° dargestellt. Die Dauer dieser Überschulterarbeit wurde in einer Subgruppe der Beschäftigten wie oben geschildert mit Hilfe eines Inclinometers

ermittelt und anhand der anamnestisch angegebenen Dauer der Tätigkeit für das gesamte Arbeitsleben aufsummiert und als kumulative Monate mit Überschulterarbeit angegeben. Dabei entspricht ein kumulativer Monat mit Überschulterarbeit einer ganzschichtigen Tätigkeit mit Überschulterarbeit an allen Arbeitstagen eines Monats. Die Studie ergab eine Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen der kumulativen Dauer der Überschulterarbeit und dem Risiko einer in der Magnetresonanztomographie diagnostizierten Supraspinatustendopathie. Ein Anstieg der Überschulterarbeit um fünf Monate führte zu einem signifikant um den Faktor 1,3 (95%-KI 1,02–1,6) erhöhten Risiko für die Entwicklung einer Supraspinatustendopathie. Beschäftigte mit einer kumulativen Dauer der Überschulterarbeit von mindestens 20 Monaten hatten ein um den Faktor 2,3 (95%-KI 0,9-5,8) grenzwertig signifikant erhöhtes Risiko für die Entwicklung einer Supraspinatustendopathie im Vergleich zu Beschäftigten mit einer kumulativen Dauer der Überschulterarbeit von 0-<10 Monaten. Ferner wurde in der Studie durch Experten eingestuft, in welchem Umfang die Tätigkeit der Kfz-Mechaniker, Hausmaler und Maschinisten eine erhöhte Kraft im Schultergelenk der dominanten Seite erforderte. Es zeigte sich kein Zusammenhang zwischen dieser Kraft im Schultergelenk und einer in der Magnetresonanztomographie diagnostizierten Supraspinatustendopathie.

Miranda et al. (2005) legten die Ergebnisse einer Querschnittstudie bei einer Zufallsstichprobe von 4.071 Beschäftigten in Finnland über den Zusammenhang zwischen beruflichen Risikofaktoren und der Prävalenz des klinisch diagnostizierten Rotatorenmanschettensyndroms vor. Zwischen der Dauer der Tätigkeit der Überschulterarbeit (mindestens eine Stunde pro Tag) und der Odds Ratio für ein klinisch diagnostiziertes Rotatorenmanschettensyndrom fand sich eine positive Beziehung mit einem signifikant um den Faktor 4,7 (95%-KI 2,4-9,1) erhöhten Risiko nach 14-23-jähriger Expositionsdauer (3. Quartil). Im obersten Quartil mit mehr als 23-jähriger Expositionsdauer war das Risiko signifikant um den Faktor 2,3 (95%-KI 1,1-4,9) erhöht.

Melchior et al. (2006) berichteten über eine Querschnittstudie in einer Zufallsstichprobe von 2.656 Beschäftigten in Frankreich, bei denen unter anderem der Zusammenhang zwischen beruflichen Belastungen und der Häufigkeit des klinisch diagnostizierten Rotatorenmanschettensyndroms untersucht wurde. Beschäftigte mit Überschulterarbeit mit einer Dauer von mindestens zwei Stunden pro Tag hatten bei Männern ein signifikant um den Faktor 2,57 (95%-KI 1,67-3,97) erhöhtes Risiko für die

Entwicklung eines Rotatorenmanschettensyndroms. Bei Frauen war das Risiko signifikant um den Faktor 1,7 (95%-KI 1,09-2,83) erhöht. Männer, deren berufliche Tätigkeit mit kraftvollen Armbewegungen mit einer Dauer von mindestens zwei Stunden pro Tag verbunden war, hatten ein signifikant um den Faktor 1,65 (95%-KI 1,03-2,61) erhöhtes Risiko für die Entwicklung eines Rotatorenmanschettensyndroms. Bei Frauen war kein erhöhtes Risiko feststellbar. Bei Männern, deren berufliche Tätigkeit mit repetitiven Armbewegungen verbunden war, fand sich ein signifikant um den Faktor 2,1 (95%-KI 1,43-3,15) erhöhtes Risiko für die Entwicklung eines Rotatorenmanschettensyndroms. Bei Frauen war diese Tätigkeit mit einem signifikant um den Faktor 1,83 (95%-KI 1,21-2,74) erhöhten Risiko verbunden.

Silverstein et al. (2008) berichteten über die Ergebnisse einer Querschnittstudie bei 733 Beschäftigten in verschiedenen Industriebetrieben in den USA in der Metall-, Elektro- und Holzindustrie sowie dem Gesundheitswesen. An den Arbeitsplätzen wurden die erforderliche Handkraft und das Ausmaß der Repetition mit Hilfe von Videoanalysen ermittelt. Ferner wurde bei den Beschäftigten eine klinische Untersuchung in Bezug auf die Häufigkeit des Rotatorenmanschettensyndroms durchgeführt. Beschäftigte, deren Tätigkeit mindestens fünfmal pro Minute eine Kraftanstrengung im Bereich der Hände und Arme erforderte, wiesen ein signifikant um den Faktor 2,02 (95%-KI 1,01-4,07) erhöhtes Risiko für die Entwicklung eines Rotatorenmanschettensyndroms auf. Bei Beschäftigten, deren Tätigkeit eine Armanhebung um mindestens 45° im Schultergelenk für mindestens 18% der Arbeitszeit erforderte, war das Risiko für die Entwicklung eines Rotatorenmanschettensyndroms signifikant um den Faktor 2,16 (95%-KI 1,22-3,83) erhöht. Bei Beschäftigten, bei denen sowohl eine häufige Armanhebung als auch häufige Belastungen durch Kraftanstrengung im Bereich der Hände und Arme erforderlich waren, war das Risiko für die Entwicklung eines Rotatorenmanschettensyndroms signifikant um den Faktor 2,59 (95%-KI 1,12-6,01) erhöht.

Nordander et al. (2008) bearbeiteten die Fragestellung, ob sich bei Frauen und Männern bei identischer Tätigkeit unterschiedliche Risiken in Bezug auf die Entwicklung einer Schultererkrankung nachweisen lassen. Untersucht wurden 172 Frauen und 105 Männer in der Gummi- und Kfz-Zulieferindustrie. Wegen der vergleichbaren Belastungen im Hand-Arm-Bereich in beiden Arbeitsbereichen wurden die Daten zusammengefasst. Die Höhe der Schultergelenksbelastungen wurden

anhand einer Oberflächen-Elektromyographie im Bereich des Musculus trapezius, des Musculus infraspinatus und der Fingerextensoren ermittelt und als Prozent der maximalen Kontraktion ausgedrückt. Ferner wurde die maximale Kraft ermittelt, die vom Musculus trapezius aufgebracht werden kann. Zusätzlich wurde eine Befragung in Bezug auf Beschwerden im Bereich der Schulter und des Nackens durchgeführt. Schließlich erfolgte eine standardisierte körperliche Untersuchung. Bei 86 Frauen und 71 Männern, die die Betriebe während der letzten Jahre verlassen hatten, wurde ausschließlich die Befragung durchgeführt. Die Untersuchung zeigte, dass trotz völlig identischer Arbeitsplätze und Tätigkeiten Frauen eine höhere Beanspruchung des Musculus trapezius aufwiesen. Die Unterschiede waren für die 90. Perzentile signifikant (18 versus 12% der maximal möglichen Kontraktion). Von Frauen konnte eine maximale Kraft mit Hilfe des Musculus trapezius in Höhe von 133 ± 32 Newton und von Männern in Höhe von 266 ± 40 Newton aufgebracht werden. Bei Frauen fand sich im Vergleich zu Männern deutlich häufiger eine klinisch diagnostizierte Schultertendopathie (16 versus 6%). Die Autoren gehen davon aus, dass sich das erhöhte Krankheitsrisiko von Frauen im Vergleich zu Männern mit der bei gleicher Tätigkeit relativ höheren Beanspruchung der Schultermuskulatur von Frauen wegen der geringeren Kraft im Bereich der Schultermuskulatur erkläre. Weitere mögliche Ursachen sehen die Autoren darin, dass Frauen eine geringere Schmerzgrenze und eine stärkere Antwort auf chemisch induzierte Muskelbeschwerden, die durch statische Muskelbeanspruchungen entstehen würden, aufweisen.

Nordander et al. (2009) veröffentlichten eine Metaanalyse mehrerer Querschnittstudien, die eine standardisierte Befragung in Bezug auf Schulterbeschwerden bei 3.720 Frauen und 1.241 Männern und eine standardisierte körperliche Untersuchung in Bezug auf das Vorliegen von spezifischen Schulerkrankungen bei 1.762 Frauen und 915 Männern nach der Methode von Ohlsson et al. (1994b) umfassten. Die Beschäftigten wurden in die beiden folgenden Belastungsgruppen eingeteilt:

1. Tätigkeit mit repetitiven Bewegungen mit einer Zykluszeit unter 30 Sekunden und/oder Tätigkeiten mit Zwangshaltungen in unangenehmen Körperhaltungen (constrained work in awkward postures), darunter folgende industrielle Tätigkeiten (Fleisch- und Fischverarbeitung, Schweißen, Fließbandarbeit) und folgenden Dienstleistungstätigkeiten (Zahnärzte, Friseure, Reinigungstätigkeiten, Dateneingabe in Computer).

2. Kontrollprobanden mit variabler mobiler Tätigkeit, darunter folgende Dienstleistungstätigkeiten (variable Bürotätigkeiten mit zeitweiliger Arbeit an Computern, Flugbegleiter, Telefonservice, Krankenschwestern, Altenpflegerinnen, Kindergärtnerinnen) und folgende industrielle Tätigkeiten (Arbeiten in der Gummiindustrie, variable industrielle Tätigkeiten).

In der exponierten Gruppe fand sich ein signifikant erhöhtes relatives Risiko (Prävalenzratio) im Vergleich zu den Kontrollprobanden sowohl für die Supraspinatustendopathie als auch die Infraspinatustendopathie (Tabelle 1).

Tabelle 1: Prävalenz und relatives Risiko (Prävalenzratio) für spezifische Schultererkrankungen bei exponierten Probanden und Kontrollprobanden in der Studie von Nordander et al. (2009)

Diagnose	Frauen			Männer		
	Prävalenz		PR ¹ (95%-KI ²)	Prävalenz		PR ¹ (95%-KI ²)
Expo- nierte (%)	Kontrol- len (%)	Expo- nierte (%)		Kontrol- len (%)		
Supraspinatus- tendopathie	6,1	2,5	2,5(1,4-4,2)	5,6	2,1	2,7(1,3-5,4)
Infraspinatus- tendopathie	4,3	1,4	3,1(1,6-6,4)	4,6	1,1	4,0(1,6-9,9)

¹ PR= Prävalenzratio, ² 95% KI=95%-Konfidenzintervall

Bodin et al. (2012a) fanden in einer Querschnittstudie in einer bevölkerungsbezogenen Zufallsstichprobe von 3.710 Beschäftigten in Frankreich, dass eine mindestens 2-stündige Exposition pro Tag mit Armabduktion um >90° das Risiko für die Entwicklung eines klinisch diagnostizierten Rotatorenmanschettensyndroms signifikant um den Faktor 2,4 (95%-KI 1,4-4,1) erhöht. Bei Frauen bestand diesbezüglich kein signifikant erhöhtes Risiko. Tätigkeiten, die mit einer hohen körperlichen Belastung des Arms einhergingen, waren bei Männern, nicht jedoch bei Frauen, mit einem signifikant um den Faktor 2,2 (95%-KI 1,4-3,4) erhöhten Risiko für ein Rotatorenmanschettensyndrom verbunden. Bei Frauen, nicht jedoch bei Männern, waren repetitive Armbewegungen während eines Schichtanteils von mindestens vier Stunden pro Tag mit einem signifikant um den Faktor 2,3 (95%-KI 1,4-3,8) erhöhten Risiko für ein Rotatorenmanschettensyndrom verbunden.

Nordander et al. (2016) legten die Ergebnisse einer Metaanalyse von mehreren Querschnittstudien vor, die von den Autoren in den letzten 25 Jahren mit

vergleichbarer Methodik durchgeführt wurden. In die Metaanalyse wurden Daten von 3.141 Beschäftigten einbezogen, darunter 2.324 Frauen und 817 Männer. Die Beschäftigten waren in unterschiedlichen Industriebranchen (Lebensmittelindustrie, Kfz-Industrie, Gummiindustrie), verschiedenen Branchen des Dienstleistungsgewerbes, z. B. Reinigungsdienste, Altenpflege und Friseurhandwerk sowie als Bürobeschäftigte tätig. Teile der Originalstudien wurden im Abschnitt 3.1 dargestellt (Ohlsson et al. 1994a und 1995, Nordander et al. 1999). Bei allen Beschäftigten wurde eine standardisierte Befragung u.a. zu Schulterbeschwerden sowie in 23 der 33 untersuchten Tätigkeitsgruppen eine standardisierte medizinische Untersuchung u.a. der rechten Schulter nach der Methodik von Ohlsson et al. (1994b), Messungen der Anhebung des Oberarmes mit einem Inklinometer in 24 der 33 untersuchten Tätigkeitsgruppen sowie Ableitung der Aktivität des rechten Musculus trapezius mit Hilfe des Oberflächen-EMG durchgeführt. Ferner wurde in 30 der 33 Tätigkeitsgruppen die Bewegung im Handgelenk mit einem Elektrogoniometer ermittelt. Der Medianwert der Armhebung im Schultergelenk schwankte zwischen 25-41° und die Spitzenwerte der Oberarmhebung zwischen 53-101° (99%-Perzentile der Messwerte). Die 10%-Perzentile der Aktivität des Musculus trapezius schwankte zwischen 0,1-4,6% der maximalen Kontraktion und die 90%-Perzentile schwankte zwischen 7-24% der maximalen Kontraktion. Zwischen der 10%-Perzentile der Aktivität des Musculus trapezius und der Prävalenz der Supraspinatustendopathie fand sich in der univariaten Analyse ein signifikanter Trend mit einer Zunahme der Prävalenz der Supraspinatustendopathie um 2,0% (95% - KI 0,9-3,1%) pro Zunahme der Aktivität des Musculus trapezius um 1% der maximal möglichen Kontraktion. Bezüglich der klinischen Diagnose einer Infraspinatustendopathie zeigte sich eine Zunahme der Prävalenz um 1,8% (95% - KI 0,8-2,7) bei Zunahme der 10%-Perzentile der Aktivität des Musculus trapezius um 1% der maximalen Kontraktion. Ferner fand sich eine signifikante univariate Beziehung zwischen der Geschwindigkeit der Oberarmbewegung und der Prävalenz der Infraspinatustendopathie, nicht jedoch in Bezug auf die Supraspinatustendopathie. Im multivariaten Modell war der Interaktionsterm zwischen der Aktivität des Musculus trapezius und niedriger Kontrolle über den Arbeitsablauf weiterhin ein signifikanter Prädiktor für die Prävalenz der Supraspinatustendopathie, nicht jedoch die Aktivität des Musculus trapezius allein. Die Studie leidet darunter, dass die Beziehung zwischen dem Ausmaß der erforderlichen Armhebung im Schultergelenk und der Häufigkeit der spezifischen

Schultergelenkerkrankungen nicht dargestellt wird. Ferner wurde lediglich die Aktivität des Musculus trapezius im EMG abgeleitet, nicht jedoch die Aktivität der hauptsächlich im Bereich der Schulter erkrankten Muskeln, insbesondere des Musculus supraspinatus. Die Studie zeigt starke Überschneidungen mit der Metaanalyse von Nordander et al. (2009).

3.2 Fall-Kontroll-Studien

Punnett et al. (2000) berichteten über die Ergebnisse einer Fall-Kontroll-Studie bei 93 Fällen, die sich wegen einer Schultererkrankung während eines 10-monatigen Zeitraums beim Betriebsarzt eines amerikanischen Automobilherstellers vorstellten und einer Kontrollgruppe von 125 Beschäftigten, die in der selben Fabrik arbeiteten und keine Beschwerden im Bereich der Schulter, des Nackens oder des Rückens aufwiesen. Die Fälle und Kontrollen waren eingebettet in eine Kohorte von 1.335 Automobilarbeitern. Bei Fällen und Kontrollen wurde eine standardisierte Befragung und medizinische Untersuchung der Schulter sowie eine eingehende ergonomische Beurteilung der Arbeitsplätze inklusive Videoanalyse durchgeführt. Insgesamt lag die Inzidenz von Schultererkrankungen in dieser Fabrik bei 8,4 Fällen pro 100 Personenjahre. Die Inzidenz streute zwischen 2,0/100 in der Lackiererei und 10,0/100 in der PKW-Montage. 35% der Fälle wurden wegen der Schulterbeschwerden physiotherapeutisch oder analgetisch behandelt. 70 der 104 Beschäftigten, die wegen Schulterbeschwerden den Betriebsarzt aufsuchten, erfüllten die Falldefinition von mindestens dreimaligem Auftreten von Schulterschmerzen für mehr als eine Woche während des letzten Jahres. Die Fälle wurden weiterhin aufgeteilt, ob sie bei mindestens einem der durchgeführten klinischen Untersuchungstests im Bereich der Schulter einen pathologischen Befund aufwiesen oder nicht. Von den 79 Fällen, die die Falldefinition erfüllten, wiesen 67% eine Einschränkung der aktiven Anteversion oder Abduktion im Schultergelenk auf der linken und 46% eine Einschränkung der Beweglichkeit auf der rechten Seite auf. 46% der Beschäftigten gaben Schmerzen bei der Schultergelenksbewegung gegen Widerstand in verschiedenen Testverfahren auf der linken Seite und 54% auf der rechten Seite an, darunter 33% Schmerzen bei der Abduktion im Schultergelenk gegen Widerstand auf der linken und 38% auf der rechten Seite an. Dieser Test ist kennzeichnend für eine Schädigung der Sehne des Musculus supraspinatus (Ohlsson et al. 1994b, Harrington et al. 1998 und Buckup und Buckup 2012, Seite 107). Die Fälle waren während eines signifikant längeren Anteils der

Zykluszeit, die per Video beobachtet wurde, einer Belastung durch eine Armhebung um $>90^\circ$ sowohl im Bereich der rechten Schulter (4,7 vs. 2,4%, $p<0,01$) als auch der linken Schulter (5,3 vs. 1,6%, $p<0,0002$) ausgesetzt. Dagegen fanden sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Belastung einer Armhebung um $>45-90^\circ$ zwischen Fällen und Kontrollen weder im Bereich der rechten Schulter (28,2 vs. 27,0%, nicht signifikant [n.s.]) noch der linken Schulter (24,7 vs. 22,3%, n.s.). Die Fälle übten signifikant häufiger Schulterbewegungen mit ausgeprägter Armhebung um $>90^\circ$ aus als die Kontrollen. Dies traf sowohl auf die rechte Schulter (1,1 vs. 0,6 Bewegungen pro Minute, $p<0,009$) als auch die linke Schulter (1,0 vs. 0,4 Bewegungen pro Minute, $p<0,0001$) zu. Auch repetitive Bewegungen mit einer Armhebung um $>45-90^\circ$ wurden von den Fällen häufiger durchgeführt als von den Kontrollen. Im Bereich der rechten Schulter war der Unterschied grenzwertig signifikant (6,0 vs. 5,4 Bewegungen pro Minute, $p<0,07$), während der Unterschied im Bereich der linken Schulter signifikant war (4,9 vs. 4,0 Bewegungen pro Minute, $p<0,007$). Bei den Fällen fanden sich um den Faktor 2,3 (95%-KI 1,2-4,8) häufiger als bei den Kontrollen eine Schultergelenkerkrankung mit einem pathologischen Untersuchungsbefund im Bereich der rechten Schulter. Im Bereich der linken Schulter war das relative Risiko ausgeprägter (OR 3,2, 95%-KI 1,5-6,5). Zwischen dem Anteil der per Video beobachteten Zykluszeit mit einer Armhebung um $>90^\circ$ und dem Risiko für eine Schultergelenkskrankheit mit pathologischem Untersuchungsbefund fand sich eine positive Dosis-Wirkungs-Beziehung, die im Bereich der linken Schulter ausgeprägter war als im Bereich der rechten Schulter (Tabelle 2).

Tabelle 2: Risiko für die Entwicklung einer Schultererkrankung mit pathologischem Untersuchungsbefund für die aktive Schulterbeweglichkeit oder Schulterbewegungen gegen Widerstand in Abhängigkeit von der Zykluszeit mit Armanhebung um $>90^\circ$ (nach Punnett et al. 2000)

Linkes Schultergelenk			Rechtes Schultergelenk		
$>0-<10\%^1$	$>10\%^1$	Signifikanz ²	$>0-<10\%^1$	$>10\%$	Signifikanz ²
2,5 ³	5,1 ³	0,0001	1,7 ³	2,8 ³	0,02
2,5 ³	6,1 ³	0,0004	2,0 ³	3,9 ³	0,0007

¹Zykluszeit mit Armhebung um $>90^\circ$ nach dem Ergebnis der Videoanalyse

²Signifikanz des linearen Trendtests, ³Odds Ratio

Beschäftigte, die Lasten mit einem Lastgewicht von 44,5 Newton, entsprechend ca. 4,5 kg, handhabten, wiesen kein erhöhtes Risiko für die Entwicklung einer

Schultererkrankung mit pathologischem Untersuchungsbefund auf (OR 1,1, 95%-KI 0,4-3,1). Beschäftigte, die bei der Arbeit eine handgeführte Maschine bedienen, wiesen im Vergleich zu Beschäftigten ohne diese Belastung ein nicht signifikant um den Faktor 2,0 (95%-KI 0,6-7,0) erhöhtes Risiko für eine Schultergelenkerkrankung auf. An der Studie ist zu kritisieren, dass die statistische Power nicht ausreichte, um Aussagen über den Zusammenhang zwischen arbeitsbedingten Belastungen und spezifischen Schultererkrankungen zu machen. Allerdings zeigen die Daten, dass 38% der Fälle im Bereich der rechten Schulter und 33% der Fälle im Bereich der linken Schulter Schmerzen bei der Abduktion im Schultergelenk gegen Widerstand angaben. Dabei handelt es sich um einen Untersuchungsbefund, der für eine Tendopathie im Bereich des Musculus supraspinatus spricht (Ohlsson et al. 1994b, Harrington et al. 1998, Buckup und Buckup 2012, Seite 107). Ferner ist zu kritisieren, dass eine Armhaltung mit einer Armhebung um $>0-45^\circ$ als neutral eingeschätzt wurde. Dies widerspricht den Untersuchungen von Järvholm et al. (1988a+b), die bereits bei einer Abduktion im Schultergelenk um 30° eine deutliche Druckerhöhung im Bereich des Musculus supraspinatus nachwiesen, der zu einer signifikanten Senkung des intramuskulären Blutflusses in diesem Muskel führt. Schließlich ist zu kritisieren, dass die Art und das Lastgewicht der handgeführten Maschinen, die die Beschäftigten verwendeten, nicht mitgeteilt werden. Nach Kenntnis dieser Arbeitsplätze dürfte es sich überwiegend um Akkuschrauber, evtl. auch Spritzpistolen oder Schweißgeräte, handeln.

Rolf et al. (2006) verglichen die berufliche Tätigkeit von 472 männlichen Patienten, bei denen eine operative Behandlung wegen eines Rotatorenmanschettsyndroms durchgeführt wurde, mit der Häufigkeit dieser Berufe in der Erwerbsbevölkerung in Bayern. Dabei zeigte sich ein erhöhtes Risiko von Landwirten (6,4% der Fälle vs. 1,1% der Kontrollen) und Bauarbeitern (35,1% der Fälle und 13,4% der Erwerbsbevölkerung). Die Studie leidet darunter, dass nur eine grobe Berufsklassifikation verwendet wurde, die keine Zuordnung des erhöhten Risikos zu bestimmten Berufen in der Bauindustrie oder in der Landwirtschaft gestattet. Ferner ist zu kritisieren, dass der o.g. Vergleich ohne Altersadjustierung durchgeführt wurde. Schließlich fehlt in der Studie die Untersuchung einer Kontrollgruppe aus der lokalen Erwerbsbevölkerung. Der Vergleich zwischen den Fällen, die in der Würzburger Universitätsklinik operativ behandelt wurden, mit der Erwerbsbevölkerung im

gesamten Land Bayern ist möglicherweise fehlerbehaftet, weil die Erwerbsstruktur im Raum Würzburg nicht vergleichbar ist mit der im gesamten Bundesland Bayern. Seidler et al. (2011) legten eine populationsbezogene Fall-Kontroll-Studie in Frankfurt und Wiesbaden bei 483 männlichen Patienten mit partieller oder totaler Ruptur der Supraspinatussehne und einer Kontrollgruppe von 300 männlichen Probanden aus der allgemeinen Erwerbsbevölkerung vor. Bei Fällen und Kontrollen wurde ein standardisiertes Interview in Bezug auf die Häufigkeit von Überkopfarbeit, einer Belastung der Schultergelenke durch Lastenhandhabung mit einem Lastgewicht von über 20 kg und einer Hand-Arm-Schwingungsbelastung durch druckluftbetriebene Maschinen durchgeführt. Es fand sich eine Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen der Dauer der Überkopfarbeit und dem Risiko für eine Supraspinatus-Ruptur oder – Teilruptur mit einem signifikant um den Faktor 2,0 (95%-KI 1,1-3,5) erhöhten Risiko bei einer kumulativen Expositionsdauer von über 3.195 Stunden (oberstes Tertil) während des Arbeitslebens. Ferner fand sich eine Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen der Dauer einer Schultergelenksbelastung durch Lastenhandhabung mit einer signifikant um den Faktor 1,8 (95%-KI 1,0-3,2) erhöhten Risiko für die Entwicklung einer Supraspinatus-Ruptur oder -Teilruptur in der höchsten Expositionskategorie. Schließlich ließ sich ein um den Faktor 3,2 (95%-KI 1,7-5,9) signifikant erhöhtes Risiko für die Entwicklung einer Supraspinatus-Ruptur oder Teilruptur bei Beschäftigten mit Hand-Arm-Schwingungsbelastungen über einen Zeitraum von mindestens 16 Jahren nachweisen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Zusammenhang zwischen arbeitsbedingten Einwirkungen und dem Risiko für eine Ruptur oder Teilruptur des Musculus supraspinatus (nach Seidler et al. 2011)

Variable	Fälle		Kontrollen		Adj. OR ¹ (95%-KI)	Adj. OR ² (95%-KI)
	N	%	N	%		
Kumulatives Heben und Tragen von Lasten von 20 kg und mehr (h)						
Kein Heben oder Tragen von Lasten von 20 kg und mehr	202	41,8	185	61,7	1,0	1,0
>0 - <9,6 h ³	52	10,8	35	11,7	1,4 (0,8-2,4)	0,9 (0,5-1,7)
9,6 - <77 h ⁴	77	15,9	36	12,0	2,0 (1,2-3,3)	1,2 (0,6-2,1)
77 - 9.038 h ⁵	141	29,2	35	11,7	3,3 (2,1-5,2)	1,8 (1,0-3,2)
Kumulative Belastung durch Überschulterarbeit (h)						
Keine Überschulterarbeit	167	34,6	184	61,3	1,0	1,0
>0 - <610 h ³	52	10,8	36	12,0	1,7 (1,0-2,8)	1,0 (0,6-1,8)
610 - <3.195 h ⁴	85	17,6	36	12,0	2,6 (1,6-4,2)	1,4 (0,8-2,4)
3.195 - 64.057 h ⁵	173	35,8	36	12,0	4,1 (2,6-6,4)	2,0 (1,1-3,5)
Kumulative Belastungsdauer in Jahren durch Hand-Arm-Vibration						
Keine Hand-Arm-Vibration	250	51,8	244	81,3	1,0	1,0
>0 - <4,4 Jahre ³	45	9,3	18	6,0	2,5 (0,9-8,8)	2,7 (1,3-5,6)
4,4 - <16 Jahre ⁴	68	14,1	19	6,3	3,9 (2,2-7,2)	3,1 (1,5-6,1)
16 - 51,6 Jahre ⁵	120	24,8	19	6,3	4,6 (2,7-7,8)	3,2 (1,7-5,9)

OR¹ adjustiert für Alter und Region, OR² adjustiert für Alter, Region, Lastenhandhabung, Überschulterarbeit, Hand-Arm-Vibration (ohne die jeweils betrachtete Variable) sowie für sportliche Belastungen.³Unteres, ⁴mittleres und ⁵oberes Tertil der Belastungsverteilung der Kontrollprobanden

3.3 Kohortenstudien

Sutinen et al. (2006) legten eine Kohortenstudie bei 52 Forstarbeitern in Finnland vor, die zwischen 1976-1995 insgesamt elfmal arbeitsmedizinisch untersucht wurden. Ferner wurde bei den Kohortenmitgliedern die lebenslange Vibrationsenergie-dosis ermittelt. Die Abschätzung der lebenslangen Vibrationsenergie-dosis basierte auf Messungen der Schwingungsbelastungen der im Untersuchungszeitraum verwendeten Kettensägen und der anamnestisch ermittelten Expositionsdauer in Stunden pro Tag, Tagen pro Jahr und Jahren insgesamt. Die mittlere Expositionsdauer bei der Verwendung von Kettensägen lag bei 21.600 ± 4.600 Stunden und die mittlere Vibrationsenergie-dosis bei $84 \pm 66 \times 10^6$ [(m²/s⁴) hd]. Während der elf Untersuchungen erfolgte eine standardisierte Befragung zu Muskel- und Skelettbeschwerden sowie eine standardisierte klinische Untersuchung nach den Kriterien von Waris et al. (1979). Ein Rotatorenmanschettensyndrom wurde diagnostiziert, wenn die Probanden Schulterschmerzen bei der Abduktion oder Außenrotation gegen Widerstand oder Schmerzen bei der aktiven Abduktion zwischen 60-120°, dem so genannten schmerzhaften Bogen, angaben. Die genannten Testverfahren weisen auf eine Läsion des Musculus supraspinatus hin (Waris et al. 1979, Buckup und Buckup 2012, Seite 107 und 121). Bei 19% der Forstarbeiter fand sich im Verlaufe der Studie ein Rotatorenmanschettensyndrom im Bereich der rechten und bei 14% im Bereich der linken Schulter. Es fand sich eine lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen der lebenslangen Vibrationsenergie-dosis und dem Risiko für die Entwicklung eines Rotatorenmanschettensyndroms. Pro Einheit der lebenslangen Vibrationsenergie-dosis [10^6 (m²/s⁴) hd] stieg das Risiko für die Entwicklung eines Rotatorenmanschettensyndroms um 4% signifikant an (OR 1,04, 95%-KI 1,00-1,07, p=0,032). Die OR war für Alter, Rauchen und BMI adjustiert.

Nicoletti et al. (2008 a-c) legten eine prospektive Studie bei 5.477 Beschäftigten in der italienischen Polstermöbelindustrie vor, bei denen die Häufigkeit einer neu aufgetretenen Schulterendopathie, die mit Hilfe einer Ultraschalluntersuchung diagnostiziert wurde, während eines einjährigen Zeitraums ermittelt wurde. Die Höhe der Schultergelenksbelastung wurde mit Hilfe des OCRA-Index eingeschätzt. Der OCRA-Index bewertet die Schultergelenksbelastungen durch Repetition, Kraftaufwand und eine Haltung des Schultergelenkes außerhalb des physiologischen Bereiches mit einer Anteversion um mehr als 80° bzw. eine Abduktion um mehr als 45° (Hoehne-Hückstedt et al. 2007). Von den 5.477 Beschäftigten waren 3.481

Produktionsarbeiter und 1.996 Kontrollprobanden. Bei Lederzuschneidern fand sich im Vergleich zur Kontrollgruppe eine signifikant um den Faktor 4,97 (95%-KI 2,03-12,16) erhöhte Inzidenzrate bezüglich einer Schultertendopathie. Auch bei Polsterern war das Risiko für eine Schultergelenkstendopathie signifikant um den Faktor 2,72 (95%-KI 1,07-6,89) erhöht. Bei Nähern und Zurichtern war das Risiko für eine Schultertendopathie nicht signifikant um den Faktor 1,69 (95%-KI 0,63-4,51) bzw. 2,45 (95%-KI 0,64-9,23) erhöht. Zwischen dem OCRA-Index und dem Risiko für die Entwicklung einer Schultertendopathie fand sich keine positive Dosis-Wirkungs-Beziehung. Die Autoren weisen darauf hin, dass der OCRA-Index im Wesentlichen für die Beschreibung der Muskel- und Skelettbelastung der oberen Extremität in Industriearbeitertätigkeiten mit hoher Repetition entwickelt wurde. Dagegen zeichnet sich die Tätigkeit in der Polsterindustrie durch eine sehr geringe Repetition und die Notwendigkeit für eine hohe Kraftaufwendung aus.

Gold et al. (2009) legten die Ergebnisse einer prospektiven Studie bei 1.214 Beschäftigten in der amerikanischen Automobilindustrie vor, von denen 790 nach einem Jahr und 519 nach sechs Jahren nachuntersucht wurden. Bei den Beschäftigten wurde an allen drei Untersuchungszeiträumen eine körperliche Untersuchung nach der Methode von Silverstein und Fine (1984) durchgeführt. Ferner wurde bei den Beschäftigten zum Zeitpunkt der Erstuntersuchung die Höhe beruflicher Belastungen in Form einer repetitiven Tätigkeit, der Notwendigkeit, hohe Kräfte aufzubringen, und von Zwangshaltungen ermittelt. Daraus wurde ein Summenindex der körperlichen Belastung gebildet, der für die vorliegende Analyse in hoch und niedrig Belastete dichotomisiert wurde. Die Prävalenz des klinisch diagnostizierten Rotatorenmanschettensyndroms lag zum Zeitpunkt der Erstuntersuchung bei 12,0%, bei der Nachuntersuchung nach einem Jahr bei 11,1 % und bei der Nachuntersuchung nach sechs Jahren bei 9,3%. Beschäftigte, die eine hohe ergonomische Belastung angaben, hatten im Vergleich zu niedrig Belasteten eine grenzwertig signifikant erhöhte Prävalenzratio (PR) für die Entwicklung eines Rotatorenmanschettensyndroms von 1,4 (95%-KI 1,0-2,0). Bei der Nachuntersuchung war die PR signifikant um den Faktor 1,7 (95%-KI 1,1-2,6) und nach sechs Jahren grenzwertig signifikant um den Faktor 1,8 (95%-KI 0,9-3,3) erhöht.

Kaerlev et al. (2008) legten die Ergebnisse einer Kohortenstudie bei 4.570 Fischern, 5.170 Seeleuten und 5.061 Schiffsoffizieren in Dänemark vor, bei denen die Inzidenz einer Krankenhausbehandlung wegen eines Rotatorenmanschettensyndroms mit der

dänischen Erwerbsbevölkerung verglichen wurde. Der Vergleich erfolgte für den Zeitraum 1994 bis 1998 sowie 1999 bis 2003. Bei Fischern fand sich in beiden Zeiträumen ein signifikant um den Faktor 2,25 (95%-KI 1,38-3,48) bzw. 2,05 (95%-KI 1,27-3,13) erhöhtes Risiko für die Behandlung wegen eines Rotatorenmanschettensyndroms, nicht jedoch bei Seeleuten und Schiffsoffizieren. Die Studie leidet darunter, dass keine Informationen über die beruflichen Belastungen der Kohorte verfügbar waren.

Bodin et al. (2012b) berichteten über die Ergebnisse einer prospektiven Studie bei 839 Männern und 617 Frauen in Frankreich, bei denen die Inzidenz des klinisch diagnostizierten Rotatorenmanschettensyndroms während eines Zeitraums von fünf Jahren erfasst wurde. Männliche Beschäftigte, die bei der Basisuntersuchung Überschulterarbeit für mindestens zwei Stunden pro Tag sowie eine hohe körperliche Belastung angegeben hatten, wiesen eine signifikant um den Faktor 3,7 (95%-KI 1,4-10,0) erhöhte Inzidenz des Rotatorenmanschettensyndroms auf. Bei Frauen war wiederholte und anhaltende Arbeit mit Armhebung um 60-90° mit einer signifikant um den Faktor 3,3 (95%-KI 1,6-6,9) erhöhten Inzidenz des Rotatorenmanschettensyndroms verbunden.

Svendsen et al. (2013) legten die Ergebnisse einer prospektiven Studie bei 37.402 Personen in Dänemark vor, bei denen die Häufigkeit von Schulterbeschwerden und Angaben zur Berufstätigkeit ermittelt wurden. Ferner wurde anhand des ausgeübten Berufes durch Experten eine Berufs-Expositions-Matrix in Bezug auf die folgenden beruflichen Schultergelenksbelastungen entwickelt:

1. Die Kraft, die mit den Händen und den Armen während der Arbeit aufgebracht werden muss
2. Die Dauer der beruflichen Tätigkeit mit einer Armanhebung im Schultergelenk um $>90^\circ$
3. Die Dauer von repetitiven Bewegungen im Schultergelenk

Berufe wurden dann als hochgradig schultergelenksbelastend eingestuft, wenn sie mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllten:

- a) Die erforderliche Kraft, die mit den Händen und Armen während der Arbeit aufgebracht werden musste, wurde als sehr hoch eingestuft.

- b) Die Dauer der beruflichen Tätigkeit mit einer Armanhebung um $>90^\circ$ betrug mindestens eine Stunde pro Tag.
- c) Die Dauer einer hochgradigen repetitiven Tätigkeit mit mindestens 15 Bewegungen im Schultergelenk pro Minute betrug mindestens 30 Minuten pro Tag oder die Dauer einer mittelgradig ausgeprägten repetitiven Tätigkeit mit 4-14 Schultergelenksbewegungen pro Minute lag bei mindestens vier Stunden pro Tag.

Ein Beruf wurde als mittelgradig schultergelenksbelastend eingestuft, wenn er mit repetitiven Bewegungen im Bereich des Schultergelenkes mit einer Häufigkeit von mindestens 15 pro Minute für eine Dauer von unter 30 Minuten pro Tag verbunden war und mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllte:

- a) Die erforderliche Kraft, die mit den Händen oder den Armen aufgebracht werden musste, wies einen Kraftwert von $>1,5 - <3$ auf folgender Skala von Moore und Garg (1995) auf: 0=gering (light), 1=etwas erhöht (somewhat hard), 2=hoch (hard), 3=sehr hoch (very hard), 4=nahezu maximal (near maximal).
- b) Die Dauer der beruflichen Tätigkeit mit einer Armanhebung um $>90^\circ$ lag bei mindestens 30 bis unter 60 Minuten pro Tag.
- c) Die Dauer einer repetitiven Tätigkeit im Bereich des Schultergelenkes mit 4-14 Bewegungen pro Minute betrug mindestens zwei bis unter vier Stunden pro Tag.

Alle anderen Berufe wurden als gering schultergelenksbelastend eingestuft.

In der Kohorte wurde die Häufigkeit einer Schultergelenksoperation wegen eines subakromiellen Impingementsyndroms (SIS) mit Hilfe des dänischen Krankenhausentlassungsregisters ermittelt. Als SIS wurden folgende Diagnosen angesehen:

1. Läsionen der Rotatorenmanschette (Internationale Klassifikation der Krankheiten [ICD], (10. Revision: M 75.1)
2. Tendopathie des Musculus biceps brachii (ICD: M 75.2)
3. Tendinitis calcarea im Schulterbereich (ICD: M 75.3)
4. Impingementsyndrom der Schulter (ICD: M 75.4)
5. Bursitis im Schulterbereich (ICD: M 75.5)
6. Sonstige Schulterläsionen (ICD: M 75.8)

7. Nicht näher bezeichnete Schulterläsionen (ICD: M 75.9)
8. Arthrose im Bereich der Schulter (ICD: M 19)

Ausgeschlossen war eine Erkrankung an adhäsiver Entzündung der Schultergelenkkapsel (Frozen Shoulder, Periarthropathia humeroscapularis [ICD: M 75.0]).

Die Studie ergab eine positive Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen der erforderlichen Kraft, die mit den Händen oder den Armen aufgebracht werden musste, der Dauer der beruflichen Armanhebung im Schultergelenk um $>90^\circ$ und dem Ausmaß der repetitiven Bewegungen im Schultergelenk sowie dem relativen Risiko für eine Schultergelenksoperation wegen SIS (Tabelle 4).

Die Studie leidet darunter, dass das relative Risiko für eine Operation wegen einzelner Schultererkrankungen (M 75.1 – M 75.9 sowie M 19) nicht mitgeteilt wird, sondern nur für alle Schultergelenkserkrankungen insgesamt ohne M 75.0.

Chung et al. (2013) veröffentlichten die Ergebnisse einer Kohortenstudie bei 3.914 Beschäftigten in der Krankenpflege in Taiwan, darunter 3.861 Frauen und 53 Männer sowie einer Kontrollgruppe von 11.744 Personen aus der Wohnbevölkerung in Taiwan, die nach Alter und Geschlecht vergleichbar war. Bei den Pflegebeschäftigten und Kontrollprobanden wurde die Inzidenz der Behandlung wegen eines Rotatorenmanschettensyndroms im Jahr 2010 anhand der Daten des nationalen Gesundheitswesens ermittelt. Bei Beschäftigten in der Krankenpflege fand sich im Vergleich zur Kontrollgruppe ein signifikant um den Faktor 4,33 (95%-KI 2,51-7,47) erhöhtes Risiko für die Behandlung wegen eines Rotatorenmanschettensyndroms. Die Inzidenz dieser Erkrankung bei den Beschäftigten in der Krankenpflege lag bei 8,3 Fällen pro 1.000 Personen im Jahr 2010. Die Studie leidet darunter, dass der Veröffentlichung nicht zu entnehmen ist, ob die Diagnosen während einer ambulanten oder stationären Behandlung gewonnen wurden.

Tabelle 4: Risiko für eine Operation wegen eines subakromiellen Impingementsyndroms (SIS) in Abhängigkeit von spezifischen beruflichen Belastungen (nach Svendsen et al. 2013)

Exposition	Fälle	Personenjahre unter Risiko	HR _{roh} ^a	HR _{adj} ^b	95%-KI ^c
Kraftwert^d					
<1,5 Punkte	136	111.554	1	1	-
≥1,5-<2,5 Punkte	282	113.441	1,52	1,52	1,11-2,07
≥2,5 Punkte	139	55.131	2,22	1,74	1,16-2,64
Armhebung um >90°					
0 Stunden/Tag	274	154.856	1	1	-
>0-<1 Stunden/Tag	127	64.689	1,60	1,53	1,14-2,05
≥1 Stunden/Tag	156	60.581	1,98	1,61	1,06-2,45
Repetitive Arbeit					
Mittelgradige repetitive Arbeit <2 Stunden/Tag	353	193.648	1	1	-
Mittelgradige repetitive Arbeit ≥2-<4 Stunden/Tag	35	16.119	1,20	1,20	0,78-1,83
Mittelgradige repetitive Arbeit ≥4 Stunden/Tag	75	33.382	1,41	1,34	0,88-2,05
Hochgradige repetitive Arbeit	94	36.976	1,87	1,76	1,05-2,96
Schulterbelastung					
Niedrig	115	100.792	1	1	-
Mittelgradig	236	96.682	1,63	1,64	1,19-2,26
Hoch	206	82.651	2,18	1,96	1,33-2,89

^aRelatives Risiko (Hazard Ratio) nach der Cox-Regression adjustiert für Alter,

^bRelatives Risiko (Hazard Ratio) nach der Cox-Regression adjustiert für Alter, Geschlecht, psychische Arbeitsbelastungen nach dem Modell von Karasek et al. (1998), Raucherstatus und Körpermasseindex,

^c95%-Konfidenzintervall,

^derforderliche Kraft, die mit den Händen oder Armen aufgebracht werden muss.

Dalbøge et al. (2014) veröffentlichten eine Kohortenstudie der gesamten dänischen Erwerbsbevölkerung der Geburtsjahrgänge 1933-1977 (insgesamt 13,3 Millionen Erwerbstätige), deren berufliche Tätigkeiten mit Hilfe verschiedener Register ermittelt und deren berufliche Schulterbelastungen mit Hilfe einer Berufs-Expositions-Matrix wie folgt eingestuft wurden:

1. Dauer der beruflichen Einwirkung mit einer Schultergelenksbelastung durch eine Armhebung um $>90^\circ$ für einen Zeitraum von mindestens 0,5 Stunden pro Tag (sogenannte Armelevationsjahre)
2. Dauer einer Tätigkeit mit mindestens vier Stunden täglicher Belastung durch 4-14 Schultergelenksbewegungen pro Minute (moderate Repetition) oder mindestens eine Stunde Belastung durch mindestens 15 Bewegungen pro Minute im Schultergelenk (hochgradige Repetition) (sogenannte Repetitionsjahre)
3. Dauer der Belastung durch Kraftausübung im Schultergelenk anhand des Kraft-Scores von Moore und Garg (1995) von mindestens zwei auf einer fünfstufigen Skala nach Experteneinstufung (sogenannte Kraftjahre)
4. Dauer der Belastung durch eine Hand-Arm-Schwingungsbelastung im Schultergelenk von mindestens einer Stunde mit einer Hand-Arm-Schwingungsbelastung von $<3 \text{ m/s}^2$ oder einer halben Stunde mit einer Hand-Arm-Schwingungsbelastung von mindestens $3-10 \text{ m/s}^2$ (sogenannte Schwingungsjahre)
5. Dauer der Belastung mit einer mittleren Exposition gegenüber kraftvoller Schulterarbeit, Armelevation von mindestens 90° oder repetitiver Schulterbelastung (sogenannte Schulterbelastungsjahre)

Der Zusammenhang zwischen den o.g. Belastungen und dem Risiko für eine erstmalige Operation wegen eines subakromiellen Impingementsyndroms (Definition siehe Studie von Svendsen et al. 2013) während eines sechsjährigen Zeitraums wurde anhand des dänischen Krankenhausentlassungsregisters erfasst. In der Studie fand sich eine positive Beziehung zwischen der kumulativen Dauer aller fünf o.g. Belastungstypen und dem Risiko für eine Operation wegen eines subakromiellen Impingementsyndroms. Bei einer mehr als zehnjährigen Expositionsdauer mit Armelevation war das Risiko für diese Operation signifikant um den Faktor 2,1 (95%-KI 2,0-2,2) erhöht. Bei mehr als zehn Jahren mit Belastung durch repetitive Bewegungen im Bereich des Schultergelenkes war das Risiko für diese Operation

signifikant um den Faktor 1,9 (95%-KI 1,8-2,0) erhöht. Bei mehr als zehnjähriger Expositionsdauer mit einer Tätigkeit, die eine Kraftanwendung im Bereich des Schultergelenkes erforderlich macht, fand sich ein signifikant um den Faktor 1,7 (95%-KI 1,6-1,8) erhöhtes Risiko für diese Operation. Bei einer mindestens fünfjährigen Einwirkung durch Hand-Arm-Schwingungen war das Risiko für diese Operation signifikant um den Faktor 1,5 (95%-KI 1,4-1,6) erhöht (Tabelle 5).

Tabelle 5: Risiko für eine Operation wegen eines subakromiellen Impingementsyndroms (SIS) in Abhängigkeit von beruflichen Belastungen (nach Dalbøge et al. 2014)

Exposition	Fälle (n)	OR _{roh} ¹	95% - KI	OR _{adj} ²	95% - KI
Arm-Elevations-Jahre					
0	3.294	1,0	-	1,0	-
>0-2	3.359	1,3	1,3 - 1,4	1,4	1,4 - 1,5
>2-5	2.197	1,4	1,3 - 1,5	1,5	1,5 - 1,6
>5-10	2.147	1,7	1,6 - 1,8	1,8	1,7 - 1,9
>10-56	3.121	1,9 p für den Trend <0,001	1,8 - 2,0	2,1 p für den Trend <0,001	2,0 - 2,2
Repetitions-Jahre					
0	6.001	1,0	-	1,0	-
>0-1	1.872	1,0	1,0 - 1,1	1,2	1,1 - 1,3
>1-2	1.423	1,4	1,3 - 1,5	1,5	1,5 - 1,6
>2-10	2.357	1,5	1,4 - 1,5	1,6	1,5 - 1,6
>10-68	2.465	1,9 p für den Trend <0,001	1,8 - 2,0	1,9 p für den Trend <0,001	1,8 - 2,0
Kraftjahre					
<5	2.982	1,0	-	1,0	-
5	1.643	0,8	0,8 - 0,9	0,7	0,6 - 0,7
>5-7,5	3.770	1,3	1,2 - 1,3	1,2	1,1 - 1,2
>7,5-10	2.933	1,7	1,6 - 1,8	1,5	1,4 - 1,6
>10-20	2.790	1,9 p für den Trend <0,001	1,8 - 2,0	1,7 p für den Trend <0,001	1,6 - 1,8

Tabelle 5 (Forts.): Risiko für eine Operation wegen eines subakromiellen Impingementsyndroms (SIS) in Abhängigkeit von beruflichen Belastungen (nach Dalbøge et al. 2014)

Exposition	Fälle (n)	OR _{roh} ¹	95% - KI	OR _{adj} ²	95% - KI
Schwingungs- jahre					
0	8.064	1,0	-	1,0	-
>0-5	3.937	1,1	1,0 - 1,2	1,3	1,2 - 1,3
>5-58	2.117	1,5 p für den Trend <0,001	1,4 - 1,5	1,5 p für den Trend <0,001	1,4 - 1,6

¹ Die OR kann als Hazard Ratio interpretiert werden.

² Adjustiert für Alter, Geschlecht, Wohnregion und Kalenderjahr

Es ist davon auszugehen, dass sich die Studien von Svendsen et al. (2013) und Dalbøge et al. (2014) teilweise überschneiden. Auch an dieser Studie ist zu kritisieren, dass der Zusammenhang zwischen arbeitsbedingten Einwirkungen und einzelnen Schultererkrankungen nicht untersucht wurde, sondern nur Schultererkrankungen insgesamt ohne M 75.0. Aufgrund einer Bitte des Ärztlichen Sachverständigenbeirates Berufskrankheiten haben die Autoren der Studie von Dalbøge et al. (2014) eine Reanalyse bezüglich des Zusammenhangs zwischen der beruflichen Einwirkung durch Armhebung um >90° (so genannte Arm-Elevationsjahre, Definition s.o.) und einer Läsion der Rotatorenmanschette durchgeführt. Dabei zeigte sich eine positive Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen der Variable Arm-Elevationsjahre und dem Risiko für eine Operation wegen einer Läsion der Rotatorenmanschette (ICD M75.1, Tabelle 6).

Tabelle 6: Risiko für eine Operation wegen einer Läsion der Rotatorenmanschette in Abhängigkeit von der Dauer der beruflichen Einwirkung durch eine Armhebung um >90° (Svendsen 2017)

Arm-Elevations-Jahre	OR ¹	95% CI
0	1.0	–
>0-2	1.5	1.3–1.7
>2-5	1.6	1.4–1.9
>5-10	1.9	1.7–2.2
>10-56	2.4	2.1–2.8

¹ Die OR kann als Hazard-Ratio interpretiert werden und ist adjustiert für Alter, Geschlecht, Wohnregion und Kalenderjahr

Thygesen et al. (2016) legten die Ergebnisse einer Kohortenstudie bei 3.396 Transportarbeitern auf dem Flughafen Kopenhagen und einer Kontrollgruppe von 63.909 ungelernten Arbeitern im Großraum Kopenhagen vor. Zu den Aufgaben der Transportarbeiter gehört es, die Koffer mit einem mittleren Lastgewicht von ca. 15 kg zu transportieren. Die Kontrollgruppe arbeitete auf dem Flughafen oder in anderen Betrieben als Wach- oder Sicherheitspersonal, Reparaturarbeiter, im Bereich der Reinigung oder der Feuerwehr. In beiden Gruppen wurde die stationäre Behandlung oder Operation wegen einer Erkrankung an einer subakromiellen Schultererkrankung mit Hilfe des nationalen Patientenregisters ermittelt. Die Definition dieser Erkrankungsgruppe umfasst alle Schultererkrankungen (ICD₁₀: M 75.1-M 75.9 mit Ausnahme der adhäsiven Entzündung der Schultergelenkkapsel (Frozen Shoulder, Periarthropathia humeroscapularis (ICD₁₀: M 75.0) sowie Arthrosen im Bereich der Schulter (ICD₁₀: M 19). Es fand sich eine positive Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen der Dauer der Tätigkeit als Transportarbeiter und dem relativen Risiko (Inzidenzratio) für eine stationäre Behandlung oder Operation wegen subakromieller Schultererkrankung, das bei einer Expositionsdauer von 10-<20 Jahren um den Faktor 1,92 (95%-KI 1,17-3,16) signifikant erhöht war. Bei Beschäftigten mit mindestens 20-jähriger Expositionsdauer fand sich ein nicht signifikant um den Faktor 1,75 (95%-KI 0,92-3,31) erhöhtes Risiko. Wahlström et al. (2016) ermittelten bei 26 zufällig ausgewählten Transportarbeitern auf dem Flughafen Stockholm, bei denen 79 Messungen der Oberarmhaltung mittels Inclinometer während eines Zeitraums von insgesamt 79 Arbeitsschichten durchgeführt wurden, dass während eines Schichtanteils von 6,4 bzw. 6,3% der rechte und der linke Arm um mehr als 60° im Schultergelenk angehoben wurde. Oberarmhebungen um mehr als 90° kamen während eines Schichtanteils von 1,1 bzw. 0,9% der Arbeitsschicht im rechten und linken Oberarm vor. Transportarbeiter, die im Flugzeug und auf dem Vorfeld tätig waren, arbeiteten im Vergleich zu Transportarbeitern in der Sortierhalle während eines signifikant längeren Schichtanteils mit einer Armanhebung um >90° im Schultergelenk (1,3 versus 0,7%, $p < 0,02$).

Dalbøge et al. (2017) legten die Ergebnisse einer Fall-Kontroll-Studie bei 1.564 Fällen mit einer Operation wegen eines subakromiellen Impingementsyndroms (ICD-10: N75.1-N75.5, N75.8-N75.9 sowie N19, Beschreibung der ICD-Ziffern siehe Svendsen et al. 2013), die mit Hilfe des dänischen Krankenhausentlassungsregisters ermittelt wurden, sowie einer Kontrollgruppe von 2.234 Personen ohne Operation vor. Fälle und

Kontrollpersonen entstammten im Sinne einer eingebetteten Fall-Kontroll-Studie der Kohortenstudie von Dalbøge et al. (2014). Bei den Fällen und Kontrollpersonen wurde eine standardisierte Befragung zur Arbeitsanamnese sowie zu außerberuflichen konkurrierenden Ursachenfaktoren (BMI, Aktivrauchen von Tabakprodukten sowie Sportbelastung der Schultergelenke) durchgeführt. Die berufliche Exposition wurde anhand einer Berufs-Expositions-Matrix eingeschätzt, die u.a. auf Messungen der Armhebung und repetitiver Bewegungen des Oberarms im Schultergelenk basiert (Dalbøge et al. 2016). Es fand sich eine positive Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen der beruflichen Schultergelenksbelastung durch Armhebung, Repetition, Kraftanwendung und Hand-Arm-Schwingungen und dem Risiko für eine Operation wegen eines subakromiellen Impingementsyndroms (Tabelle 7).

Dalbøge et al. (2018) analysierten auf der Grundlage ihrer bereits dargestellten Kohortenstudie innerhalb der gesamten dänischen Erwerbsbevölkerung ($n = 2.374.403$; vgl. Dalbøge et al. 2014) die beruflichen Schulterbelastungen mit dem Ziel, Belastungsintensitäten zu identifizieren, unterhalb derer das Risiko für eine Operation wegen eines subakromiellen Impingements nicht mehr erhöht ist. Bezüglich der einbezogenen Diagnosen wird auf die Studie von Svendsen et al. (2013) sowie Dalbøge et al. (2014 und 2017) verwiesen. Es fand sich eine positive Beziehung zwischen der Dauer einer beruflichen Schulterbelastung durch Kraftanwendung mit einem Kraftwert nach Moore und Garg (1995) von $\geq 1,5$ - ≤ 3 und dem Risiko für eine Operation wegen eines subakromiellen Impingementsyndroms mit einem signifikant um den Faktor 2,5 (95%-KI 2,1-2,9) erhöhten Risiko nach einer neunjährigen Einwirkung. Zwischen der Dauer einer beruflichen Schulterbelastung durch Armhebung um $>90^\circ$ während eines Schichtanteils von ≥ 10 - ≤ 30 Minuten pro Tag und dem Risiko für eine Operation wegen eines subakromiellen Impingementsyndroms fand sich ebenfalls eine positive Beziehung mit einem signifikant um den Faktor 1,7 (95%-KI 1,5-2,0) erhöhten Risiko für eine Operation wegen eines subakromiellen Impingements nach neunjähriger Einwirkung. Bei Beschäftigten mit einer Schulterbelastung durch Repetition in Höhe von ≥ 45 - $\leq 70^\circ/s$ fand sich ein signifikant um den Faktor 1,5 (95%-KI 1,3-1,8) erhöhtes Risiko für eine Operation wegen eines subakromiellen Impingements nach einer Einwirkungsdauer von ein bis zwei Jahren ohne weiteren Anstieg nach längerer Einwirkung. Dagegen bestehe bei einer Repetition in Höhe von $<45^\circ/s$ kein erhöhtes Risiko. Alle o.g. Risiken waren für Alter, Geschlecht, Region und die jeweils anderen beruflichen Einwirkungen adjustiert.

Tabelle 7: Risiko für eine Operation wegen eines subakromiellen Impingementsyndroms (SIS) in Abhängigkeit von beruflichen Belastungen (nach Dalbøge et al. (2017))

Exposition	Männer						Frauen					
	Mittlere kumulative Einwirkung	Operation wegen SIS (n)	Matched OR ¹	95% KI	Adjustierte OR ¹	95% KI	Mittlere kumulative Einwirkung	Operation wegen SIS (n)	Matched OR ¹	95% KI	Adjustierte OR ¹	95% KI
Arm-Elevations-Jahre												
0	0,0	232	1,0	-	1,0	-	0,0	493	1,0	-	1,0	-
>0-10	3,7	264	2,0	1,6-2,5	2,0	1,5-2,5	4,1	258	1,6	1,3-1,9	1,5	1,2-1,9
>10-60	23,5	205	2,3	1,8-3,0	2,3	1,8-3,0	22,2	112	1,9	1,4-2,6	1,9	1,4-2,6
Repetitions-Jahre												
0	0,0	393	1,0	-	1,0	-	0,0	636	1,0	-	1,0	-
>0-10	4,8	272	1,7	1,4-2,1	1,6	1,3-2,0	5,5	210	1,5	1,2-1,9	1,5	1,2-1,9
>10-17,5	12,7	36	2,6	1,5-4,6	2,2	1,2-4,1	11,8	17	2,0	1,0-4,4	1,9	0,9-4,2
Kraft-Jahre												
0	0,0	234	1,0	-	1,0	-	0,0	380	1,0	-	1,0	-
>0-10	5,7	245	2,0	1,6-2,5	2,0	1,6-2,6	6,4	409	1,7	1,4-2,1	1,7	1,4-2,0
>10-30	16,6	222	2,6	2,0-3,4	2,5	1,9-3,5	17,7	74	2,3	1,6-3,3	2,0	1,3-2,9
Schwingungs-Jahre												
0	0,0	489	1,0	-	1,0	-	0,0	798	1,0	-	1,0	-
>0-58/20 ²	14,5	212	1,9	1,5-2,4	1,9	1,5-2,5	10,6	65	1,8	1,3-2,6	1,7	1,2-2,5

¹Adjustiert für BMI, Aktivrauchen, Schulterbelastungen durch Sport, Diabetes mellitus, psychosoziale Belastungen und Region

²Männer/Frauen

3.4 Systematische Reviews

Van Rijn et al. (2010) veröffentlichten einen systematischen Review über den Zusammenhang zwischen beruflichen Belastungen und spezifischen Schultererkrankungen. Einbezogen in den Review wurden 14 Querschnittstudien, eine Fall-Kontroll-Studie und eine Kohortenstudie, die in Abschnitt 3 beschrieben wurden. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass in mehreren Studien mit hoher Qualität ein Zusammenhang zwischen häufiger Lastenhandhabung, repetitiver Arbeit, Überschulterarbeit sowie Hand-Arm-Schwingungen und der Entwicklung eines subakromiellen Impingementsyndroms festgestellt wurde. Allerdings betonten die Autoren die Notwendigkeit, dass diese Zusammenhänge in prospektiven Studien bestätigt werden.

Van der Molen et al. (2017) veröffentlichten einen weiteren systematischen Review zu beruflichen Risikofaktoren subakromieller Schmerzsyndrome verursacht durch eine Supraspinatustendopathie, eine Teiltraktur der Rotatorenmanschette, eine Bizepstendopathie, eine Degeneration im Bereich der Schultersehnen, eine Tendinitis calcarea oder eine Bursitis im Bereich der Schulter. In die Metaanalyse über den Zusammenhang zwischen beruflichen Einwirkungen und dem Risiko für die Entwicklung eines subakromiellen Schmerzsyndroms wurden sieben Kohortenstudien (Sutinen et al. 2006, Bodin et al. 2012b, Herin et al. 2012, Bugajska et al. 2013, Svendsen et al. 2013, Dalbøge et al. 2014), acht Querschnittstudien (Frost et al. 2002, Svendsen et al. 2004a und 2004b, Miranda et al. 2005, Silverstein et al. 2008, Nordander et al. 2009 und 2016, Grzywacz et al. 2012) sowie die Fall-Kontroll-Studie von Seidler et al. (2011) einbezogen. In der Metaanalyse fanden sich folgende Risikofaktoren für die Entwicklung eines subakromiellen Schmerzsyndroms:

1. Arbeiten mit Armhebung: OR 1,91 (95%-KI 1,47-2,47), basierend auf drei Kohortenstudien (Bodin et al. 2012b, Svendsen et al. 2013, Dalbøge et al. 2014) und einer Fall-Kontroll-Studie (Seidler et al. 2011). Bei Einbeziehung von fünf Querschnittstudien mit ausreichender Qualität (Frost et al. 2002, Svendsen et al. 2004 a und b, Miranda et al. 2005 sowie Silverstein et al. 2008) lag die OR bei 2,12 (95%-KI 1,74-2,58)
2. Schulterbelastung: OR 2,00 (95%-KI 1,90-2,10), basierend auf den Kohortenstudien von Svendsen et al. 2013 und Dalbøge et al. 2014

3. Erforderliche Kraft, die mit den Händen oder Armen aufgebracht werden muss: OR 1,53 (95%-KI 1,25-1,87), basierend auf vier Kohortenstudien (Svendsen et al. 2013, Dalbøge et al. 2014, Herin et al. 2012 und Bodin et al. 2012b) sowie der Fall-Kontroll-Studie von Seidler et al. (2011)
4. Repetitive Bewegung mit den Händen und/oder Armen: OR 1,70 (95%-KI 1,18-2,46), basierend auf drei Kohortenstudien (Herin et al. 2012, Svendsen et al. 2013 und Dalbøge et al. 2014) sowie zwei Querschnittstudien (Frost et al. 2002, Miranda et al. 2005)
5. Hand-Arm-Schwingungen: OR 1,34 (95%-KI 1,01-1,77), basierend auf drei Kohortenstudien (Sutinen et al. 2006, Herin et al. 2012 und Dalbøge et al. 2014) sowie der Fall-Kontroll-Studie von Seidler et al. (2011)

Der systematische Review von van der Molen et al. (2017) leidet darunter, dass keine beruflichen Risikofaktoren zu spezifischen Schultererkrankungen, beispielsweise einer Läsion der Rotatorenmanschette, betrachtet werden.

Seidler et al. (2020) legten die Ergebnisse eines systematischen Reviews vor, in dem die Kriterien von van der Molen et al. (2017) angewendet wurden. In dem Review fand sich folgende Verdoppelungsdauer für eine Läsion der Rotatorenmanschette für verschiedene Schulterbelastungen:

1. Einwirkung durch Arbeiten mit den Händen auf Schulterniveau oder darüber mit einer kumulativen Dauer während des Arbeitslebens von 3.600 Stunden
2. Repetitive Bewegungen des Oberarms im Schultergelenk: Kumulative Dauer von Bewegungen des Oberarms im Schultergelenk mit moderater Repetition (4-14 Schultergelenksbewegungen pro Minute) in Höhe von 38.000 Stunden während des Arbeitslebens bzw. kumulative Dauer von Tätigkeiten mit hochgradiger Repetition von Bewegungen des Oberarms im Schultergelenk (≥ 15 Schultergelenksbewegungen pro Minute) in Höhe von 9.400 Stunden während des Arbeitslebens
3. Tätigkeiten mit Kraftanwendung im Schultergelenk bzw. Lastenhandhabung: 40 Kraftjahre. Ein Kraftjahr entspricht einer Tätigkeit mit einer Kraftanwendung im Schultergelenk von mindestens 2 nach der Methode von Moore und Garg (1995). Lastenhandhabung: Kumulative Dauer während des Arbeitslebens in Höhe von

etwa 200 Stunden betreffend das Heben oder Tragen von Lasten mit einem Lastgewicht von mindestens 20 kg

4. Hand-Arm-Schwingungen:

Schwingungsbeschleunigung $<3 \text{ m/s}^2$: Kumulative Dauer während des Arbeitslebens: 11.000 Stunden

Schwingungsbeschleunigung $\geq 3-10 \text{ m/s}^2$: Kumulative Dauer während des Arbeitslebens: 5.300 Stunden

Dem systematischen Review von Seidler et al. (2020) ist zu entnehmen, dass sich für Männer und Frauen keine unterschiedlichen Grenzwerte ableiten lassen.

4. Krankheitsbild

Die Rotatorenmanschette besteht aus den vier Sehnen des Musculus supraspinatus, infraspinatus, subscapularis und teres minor sowie der Gelenkkapsel. Die Aufgabe der Rotatorenmanschette ist die Zentrierung des Humeruskopfes in der flachen Gelenkpfanne (Hedtmann und Fett 2002). Die Diagnose einer Läsion der Rotatorenmanschette im Sinne dieser Berufskrankheit hat folgende Voraussetzungen (Hedtmann und Fett 2002, Buckup und Buckup 2012, Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und orthopädische Chirurgie 2017):

1. Schmerzen im Bereich des Schultergelenks, die häufig nachts und nach Schultergelenksbelastungen auftreten
2. Funktionsstörungen im Bereich der Schulter in Form einer Einschränkung der aktiven Beweglichkeit
3. Verminderte Kraft des betroffenen Muskels
 - a) Läsion des Musculus supraspinatus: Positiver Jobe-Test und 0-Grad-Abduktionstest
 - b) Läsion des Musculus infraspinatus: Positiver 0-Grad-Außenrotationstest, positives Hornblower-Zeichen
 - c) Läsion des Musculus subscapularis: Positiver Lift-off-Test, Belly-press-Test, Belly-off-Test und Bear-hug-Test

4. Chirurgische Beschreibung der Läsion nach Ellman (1990):

- a) Ein Sehnenriss, der durch die gesamte Sehne reicht, ein so genannter Full-Thickness Tear, erfüllt in jedem Fall die Voraussetzungen für das Krankheitsbild im Sinne dieser Berufskrankheit.
- b) Ein Sehnenriss, der nicht durch die gesamte Sehne reicht, ein so genannter Partial-Thickness Tear, muss mindestens den Grad 2, d.h. eine Tiefe von 3-6 mm oder einen Grad 3, d. h. eine Tiefe von > 6 mm, aufweisen.

5. Radiologische Beschreibung der Läsion:

Folgende bildgebende Untersuchungen sind erforderlich:

1. Röntgenuntersuchung des Schultergelenks und Schulterreckgelenks in zwei Ebenen.
2. Magnetresonanztomographie der Schulter in Rückenlage mit deckenwärts gedrehter Handfläche und Armposition entlang des Körpers. Es sind vier Sequenzen obligat (ax. PD fs; cor PD oder Ts fs; sag T1 und sag. PD fs). Diese Sequenzen zielen auf die Insertionstendopathien und auf das AC-Gelenk ab. Eine i.v.-gestützte Kontrastmittelapplikation für die indirekte Arthrographie ist nicht notwendig.

Nach Elmann (1990) sind Sehnen-Degenerationen, -Kalzifikationen, -Rupturen und Insertionsverknöcherungen zu erfassen. Gelenk- bzw. bursaseitige und interstitielle Partialrupturen sind von transmuralen „kompletten“ Läsionen zu trennen (Braunschweig 2021).

5. Besondere Personengruppe im Sinne des § 9 Absatz 1 SGB VII

Als besondere Personengruppe im Sinne des § 9 Absatz 1 SGB VII sind entsprechend dem systematischen Review von Seidler et al. (2020) Beschäftigte mit einer der folgenden Einwirkungen anzusehen:

- a) Einwirkung durch Arbeiten mit den Händen auf Schulterniveau oder darüber mit einer kumulativen Dauer während des Arbeitslebens von 3.600 Stunden.
- b) Repetitive Bewegungen des Oberarms im Schultergelenk: Kumulative Dauer von Bewegungen des Oberarms im Schultergelenk mit moderater Repetition (4-14 Schultergelenksbewegungen pro Minute) in Höhe von 38.000 Stunden während

des Arbeitslebens oder kumulative Dauer von Tätigkeiten mit hochgradiger Repetition von Bewegungen des Oberarms im Schultergelenk (≥ 15 Schultergelenksbewegungen pro Minute) in Höhe von 9.400 Stunden während des Arbeitslebens. Wenn sowohl moderate als auch hochgradige repetitive Bewegungen vorliegen, sind die prozentualen Anteile an der jeweiligen Verdopplungsdauer zu summieren. Sofern sich daraus ein Prozentwert von $\geq 100\%$ ergibt, ist von einem Erreichen der Verdoppelungsdauer auszugehen.

- c) Kraftanwendungen im Schulterbereich in Form von Lastenhandhabung: Kumulative Dauer der Exposition während des Arbeitslebens in Höhe von 200 Stunden betreffend das ein- oder beidhändige Heben von Lasten mit einem Lastgewicht von mindestens 20 kg. Dies entspricht bei einer angenommenen Dauer von 2,5 Sekunden pro Hebevorgang 288.000 Hebevorgängen von Lastgewichten von mindestens 20 kg während des Arbeitslebens. Sofern bei bestimmten Formen der Lastenhandhabung von einer längeren Dauer als 2,5 Sekunden pro Hebevorgang auszugehen ist, z.B. bei Patiententransfers (7,5 Sekunden), ist diese Dauer bei der Berechnung der kumulativen Dauer zu berücksichtigen. Das Heben von Lasten mit Hebehilfen oder Exoskeletten gilt nicht als Belastung im Sinne dieser Berufskrankheit.

Das Tragen von Lasten oder andere Formen der Lastenhandhabung werden ebenfalls nicht als belastende Tätigkeit berücksichtigt.

- d) Hand-Arm-Schwingungen mit einer Schwingungsbeschleunigung von $\geq 3 \text{ m/s}^2$ mit einer kumulativen Dauer während des Arbeitslebens von 5.300 Stunden. Die Ergebnisse des systematischen Reviews von Seidler et al. (2020) betreffend eine Schwingungsbeschleunigung von $< 3 \text{ m/s}^2$ werden wegen des fehlenden unteren Abschneidekriteriums nicht berücksichtigt.

Der Ableitung der Grenzwerte nach Buchstabe a) bis d) liegen überwiegend Studien zugrunde, die nicht für die jeweils anderen Einwirkungen adjustiert haben. Dies bedeutet, dass z.B. Beschäftigte, die einer Einwirkung durch Arbeiten mit den Händen auf Schulterniveau oder darüber ausgesetzt waren, auch einer der anderen Expositionen nach Buchstabe b) bis d) ausgesetzt gewesen sein können. Deshalb ist Voraussetzung für die Anerkennung dieser Berufskrankheit, dass der Grenzwert mindestens einer der Einwirkungen nach Buchstabe a) bis d) erreicht oder überschritten wird.

Dem systematischen Review von Seidler et al. (2020) ist zu entnehmen, dass sich für Männer und Frauen keine unterschiedlichen Grenzwerte für die o.g. Einwirkungen ableiten lassen.

6. Berufskrankheiten-Verdachtsanzeige

Eine Verdachtsanzeige auf das Vorliegen der Berufskrankheit ist zu erstatten, wenn die beiden folgenden Bedingungen erfüllt sind:

1. Es liegt eine Läsion der Rotatorenmanschette im Sinne des Abschnitts 4 vor.
2. Es liegt eine berufliche Einwirkung im Sinne des Abschnitts 5 vor.

Literatur

Andersen JH, Gaardboe O (1993) Musculoskeletal disorders of the neck and upper limb among sewing machine operators: a clinical investigation. *Am J Industr Med* 24: 689-700

Backman C, Boquist L, Friden J, Lorentzon R, Toolanen G (1990) Chronic Achilles paratenonitis with tendinosis: an experimental model in the rabbit. *J Orthop Res* 8: 541-547

Barbe MF, Barr AE, Gorzelany I, Amin M, Gaughan JP, Safadi FF (2003) Chronic repetitive reaching and grasping results in decreased motor performance and widespread tissue responses in a rat model of MSD. *J Orthop Res* 21: 167-176

Barbe MF, Elliott MB, Abdelmagid SM, Amin M, Popoff SN, Safadi FF, Barr AE (2008) Serum and tissue cytokines and chemokines increase with repetitive upper extremity tasks. *J Orthop Res* 26: 1320-1326

Bernard BP (editor) (1997) *Musculoskeletal disorders and workplace factors: a critical review of epidemiologic evidence for work related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back*. Cincinnati (OH): US Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health

Bodin J, Ha C, Chastang JF, Descatha A, Leclerc A, Goldberg M, Imbernon E, Roquelaure Y (2012a) Comparison of risk factors for shoulder pain and rotator cuff syndrome in the working population. *Am J Industr Med* 55: 605-615

Bodin J, Ha C, Petit Le Manac'h A, Sérazin C, Descatha A, Leclerc A, Goldberg M, Roquelaure Y (2012b) Risk factors for incidence of rotator cuff syndrome in a large working population. *Scand J Work Environ Health* 38: 436-446

Braunschweig R (2021) Arbeitsgruppe MSK-Bildgebung der Deutschen Röntgengesellschaft, Bildgebung bei Schadensbildern der Rotatorenmanschette, unveröffentlichtes Manuskript

Buckup K, Buckup J (2012) Klinische Tests an Knochen, Gelenken und Muskeln – Untersuchung, Zeichen, Phänomene, Stuttgart, Thieme-Verlag, Seite 92

Burns WC, Whipple TL (1993) Anatomic relationships in the shoulder impingement syndrome. *Clin Orthop Relat Res* 294: 96-102

Chung YC, Hung CT, Li SH, Lee HM, Wang SG, Chang SC, Pai LW, Huang CN, Yang JH (2013) Risk of musculoskeletal disorder among Taiwanese nurses cohort: a nationwide population-based study. *BMC Musculoskeletal Disorders* 14: 144

Dalbøge A, Frost P, Andersen JH, Svendsen SW (2014) Cumulative occupational shoulder exposures and surgery for subacromial impingement syndrome: a nationwide Danish cohort study. *Occup Environ Med* 71: 750-756

Dalbøge A, Hansson GA, Frost P (2016) Upper arm elevation and repetitive shoulder movements: a general population job exposure matrix based on expert ratings and technical measurements. *Occup Environ Med* 73: 553-560

Dalbøge A, Frost P, Andersen JH, Svendsen SW (2017) Surgery for subacromial impingement syndrome in relation to occupational exposures, lifestyle factors and diabetes mellitus: a nationwide nested case-control study. *Occup Environ Med* 74: 728-736.

Dalbøge A, Frost P, Hviid Andersen J, Svendsen SW (2018) Surgery for subacromial impingement syndrome in relation to intensities of occupational mechanical exposures across 10-year time windows. *Occup Environ Med* 75: 176-182

Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und orthopädische Chirurgie (2017) S2e-Leitlinie „Rotatorenmanschette“, AWMF – Registernummer: 033 – 041, Version vom März 2017, http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/033-041l_S2e_Rotatorenmanschette_2017-04_02.pdf

,Zugriff möglich am 15.6.2021

Ellman H (1990) Diagnosis and treatment of incomplete rotator cuff tears. *Clin Orthop Rel Res* 254: 64-74

Fallentin N, Juul-Kristensen B, Mikkelsen S, Andersen JH, Bonde JP, Frost P, Endahl L (2001) Physical exposure assessment in monotonous repetitive work – the PRIM study. *Scand J Work Environ Health* 27: 21-29

Fedorczyk JM, Barr AE, Rani S, Gao H, Amin M, Amin S, Litvin J, Barbe MF (2010) Exposure dependent increases in IL-1beta, substance P, CTGF and tendinosis in flexor digitorum tendons with upper extremity repetitive strain injury. *J Orthop Res* 28: 298-307

Flatow EL, Soslowsky LJ, Ticker JB, Pawluk RJ, Hepler M, Ark J, Now VC, Bigliani LU (1994) Excursion of the rotator cuff under the acromion, patterns of subacromial contact. *Am J Sports Med* 22: 779-788

Frost P, Andersen JA (1999) Shoulder impingement syndrome in relation to shoulder intensive work. *Occup Environ Med* 56: 494-498

Frost P, Bonde JPE, Mikkelsen S, Andersen JH, Fallentin N, Kaergard A, Thomsen JF (2002) Risk of shoulder tendinitis in relation to shoulder loads in monotonous repetitive work. *Am J Industr Med* 41:11-18.

Gold JE, d'Errico A, Katz JF, Gore R, Punnet L (2009) Specific and non-specific upper extremity musculoskeletal disorder syndromes in automobile manufacturing workers. *Am J Industr Med* 52: 124 - 132

Hagberg M (1981) Elektromyographic signs of shoulder muscular fatigue in two elevated arm positions. *Am J Phys Med* 60: 111-121

Hansson GA, Balogh I, Ohlsson K, Palsson B, Rylander L, Skerfving S (2000) Impact of physical exposure on neck and upper limb disorders in female workers. *Appl Ergon* 31: 301 – 310

Harrington JM, Carter JT, Birrell L, Gompertz D (1998) Surveillance case definitions for work related upper limb pain syndromes. *Occup Environ Med* 55:264-271

Hedtmann A, Fett H (2002) Erkrankungen der Rotatorenmanschette, In: Gohlke F, Hedtmann A (Hg.): *Orthopädie und orthopädische Chirurgie, das Standardwerk für Klinik und Praxis, Teilband Schulter*, Stuttgart, Thieme-Verlag, Seite 246-286

Herberts P, Kadefors R (1976) A study of painful shoulder in welders. *Acta Orthop Scand* 47: 381-387

Herberts P, Kadefors R, Högfors C, Sigholm G (1984) Shoulder pain and heavy manual labor. *Clin Orthop* 191: 166-178

Herin F, Vézina M, Thaon I, Soulat JM, Paris C; ESTEV group (2012) Predictors of chronic shoulder pain after 5 years in a working population. *Pain* 153: 2253-2259.

Hoehne-Hückstädt U, Herda C, Ellegast R, Hermanns I, Hamurger R, Ditchen D (2007) Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität, Entwicklung eines Systems zur Erfassung und arbeitswissenschaftlichen Bewertung von komplexen Bewegungen der oberen Extremität bei beruflichen Tätigkeiten, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (Hg.) *BGIA-Report 2/2007*, St. Augustin, ISBN 978-3-88383-722-9

Järvholm U, Palmerud G, Styf J, Herts P, Kadefors R (1988a) Intramuscular pressure in the supraspinatus muscle. *J Orthop Res* 6:230 – 238

Järvholm U, Styf J, Suurkula M, Herberts P (1988b) Intramuscular pressure and muscle blood flow in supraspinatus muscle. *Eur J Appl Physiol* 58:219-224

Järvholm U, Palmerud G, Herberts P, Högfors C, Kadefors R (1989) Intramuscular pressure and electromyography in the supraspinatus muscle at shoulder abduction. *Clin Orthop* 245: 102-109

Järvholm U, Palmerud G, Karlsson D, Herberts P, Kadefors R (1991) Intramuscular pressure and electromyography in four shoulder muscles. *J Orthop Res* 9: 608-619

Kadefors R, Petersen I, Herberts P (1976) Muscular reaction to welding work: an electromyographic investigation. *Ergonomics* 19: 543-558

Kaergard A, Andersen JH (2000) Musculoskeletal disorders of the neck and shoulders in female sewing machine operators: prevalence, incidence, and prognosis. *Occup Environ Med* 57: 528-534

Kaerlev L, Jensen A, Nielsen PS, Olsen J, Hanners H, Tüchsen F (2008) Hospital contacts for injuries and musculoskeletal diseases among seamen and fishermen: A population-based cohort study. *BMC Musculoskeletal Disorders* 9:8

Karasek R, Brisson C, Kawakami N, Houtman I, Bongers P, Amick B (1998) The job content questionnaire (JFQ): an instrument for internationally comparative assessment of psychosocial job characteristics, *J Occup Health Psychol* 3: 322-355

Kilbom A. Repetitive work of the upper extremity. Part 1- guidelines for the practitioner. *Int J Ind Ergon* 1994:14:51-7

Luopajarvi T, Kuorinka I, Virolainen M, Homberg M (1979). Prevalence of tenosynovitis and other injuries of the upper extremities in repetitive work. *Scand Work Environ & Health* 5: Suppl. 3, 48-55

Melchior M, Roquelaure Y, Evanoff B, Chastang JF, Ha C, Imbernon E, Goldberg M, Leclerc A, Pays de la Loire Study Group (2006) Why are manual workers at high risk of upper limb disorders? The role of physical work factors in a random sample of workers in France (the Pays de la Loire study). *Occup Environ Med* 63: 675-761

Miranda H, Juntura EV, Heistaro S, Heliövaara M, Riihimäki H (2005) A population study on differences in the determinants of a specific shoulder disorder versus nonspecific shoulder pain without clinical findings. *Am J Epidemiol* 161: 847-855

Moore JS, Garg A (1995) The strain index: a proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders. *Am Ind Hyg Assoc J* 56: 443-458

Nakama LH, King KB, Abrahamsson S, Rempel DM (2005) Evidence of tendon microtears due to cyclical loading in an in vivo tendinopathy model. *J Orthop Res* 23: 1199-1205

Nakama LH, King KB, Abrahamsson S, Rempel DM (2007) Effect of repetition rate on the formation of microtears in tendon in an in vivo cyclical loading model. *J Orthop Res* 25: 1176-1184

Nicoletti S, Carino M, Di Leone G, Trani G, Colombini D, Occhipinti E (2008a) Valutazione del rischio da movimenti e sforzi ripetuti degli arti superiori in trenta aziende del comparto del mobile imbottito (Risk assessment of work-related upper limb musculoskeletal disorders in thirty factories in the upholstered furniture industry) *La Medicina del Lavoro* 99: 262-270

Nicoletti S, Carino M, Di Leone G, Trani G, Carella F, Rubino G, Leone E, Popolizio R, Colafoglio S, Ambrosi L (2008b) Prevalenza delle patologie da sovraccarico biomeccanico degli arti superiori negli addetti del comparto del mobile imbottito (Prevalence of upper limb work-related musculoskeletal disorders [UL-WMSDs] in workers of the upholstered furniture industry). *La Medicina del Lavoro* 99: 271-280

Nicoletti S, Consonni D, Carino M, Di Leone G, Trani G, Battevi N, Colombini D, Ambrosi L (2008c) Patologia da sovraccarico biomeccanico degli arti superiori: studio retrospettivo di coorte in tre grandi aziende del mobile imbottito (Upper limb work-related musculoskeletal disorders [UL-WMSDs]: a retrospective cohort study in three large factories of the upholstered furniture industry) *La Medicina del Lavoro* 99: 281-296

Nordander C, Ohlsson K, Balogh I, Rylander L, Palsson B, Skerfving S (1999) Fish processing work: the impact of two sex dependent exposure profiles on musculoskeletal health. *Occup Environ Med* 56: 256-264

Nordander C, Ohlsson K, Balogh I, Hansson GA, Axmon A, Persson R, Skerfving S. (2008) Gender differences in workers with identical repetitive industrial tasks: exposure and musculoskeletal disorders. *Int Arch Occup Environ Health* 81: 939-947

Nordander C, Ohlsson K, Akesson I, Arvidsson I, Balogh I, Hansson GA, Strömberg U, Rittner R, Skerfving S (2009) Risk of musculoskeletal disorders among females and males in repetitive/constrained work. *Ergonomics* 52: 1226-1239

Nordander C, Hansson GA, Ohlsson K, Arvidsson I, Balogh I, Strömberg U, Rittner R, Skerfving S (2016) Exposure-response relationships for work-related neck and shoulder musculoskeletal disorders – Analyses of pooled uniform data sets. *Appl Ergon* 55: 70-84

Ohlsson K, Hansson GA, Balogh I, Strömberg U, Palsson B, Nordander C, Rylander L, Skerfving S (1994a) Disorders of the neck and upper limbs in women in the fish processing industry. *Occup Environ Med* 51: 826-832

Ohlsson K, Attewell RG, Johnsson B, Ahlm A, Skerfving S (1994b) An assessment of neck and upper extremity disorders by questionnaire and clinical examination. *Ergonomics* 37:891-897

Ohlsson K, Attewell RG, Palsson B, Karlsson B, Balogh I, Johnsson B, Ahlm A, Skerfving S (1995) Repetitive industrial work and neck and upper limb disorders in females. *Am J Industr Med* 27: 731-747

Palmerud G, Forsman M, Sporrang H, Herberts P, Kadefors R (2000) Intramuscular pressure of the infra- and supraspinatus muscles in relation to hand load and arm posture. *Eur J Appl Physiol* 83: 223-230

Perry SM, Stephen BS, McIlhenny E, Hoffman MC, Soslowsky LJ (2005) Inflammatory and angiogenic mRNA levels are altered in a supraspinatus tendon overuse animal model. *J Shoulder Elbow Surg* 14: 79 S – 83 S

Punnet L, Fine LJ, Keyserling WM, Herrin GD, Chaffin DB (2000) Shoulder disorders and postural stress in automobile assembly work. *Scand J Work Environ Health* 26: 283-291.

Riley G (2005) Chronic tendon pathology: molecular basis and therapeutic implications. *Expert Rev Mol Med* 7: 1-25

Rolf O, Ochs K, Böhm TD, Baumann B, Kirschner S, Gohlke F (2006) Rotatorenmanschettenruptur – eine Berufskrankheit? Eine epidemiologische Analyse. *Z Orthop Grenzgeb* 144:519-523

Seidler A, Bolm-Audorff U, Petereit-Haack G, Ball E, Klupp M, Krauss N, Elsner G (2011) Work-related lesions of the supraspinatus tendon: a case-control study. *Int Arch Occup Environ Health* 84: 425-433

Seidler A, Starke KR, Freiberg A, Hegewald J, Nienhaus A, Bolm-Audorff U (2020) Dose-response relationship between physical workload and specific shoulder diseases – a systematic review with meta-analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17, 1243; doi:10.3390/ijerph17041243

Sigholm G, Herberts P, Almström C, Kadefors R (1984) Electromyographic analysis of shoulder muscle load. *J Orthop Res* 1: 379-386

Silverstein BA, Fine LJ (1984) Evaluation of upper extremity and low back cumulative trauma disorders: a screening manual, Ann Arbor, University of Michigan, School of Public Health, Center for Ergonomics, zitiert nach Gold et al. (2009)

Silverstein BA, Bao SS, Fan ZJ, Howard N, Smith C, Spielholz P, Bonauto D, Viikari-Juntura E (2008) Rotator cuff syndrome: personal, work-related psychosocial and physical load factors. *J Occup Environ Med* 50: 1062-1076

Soslowsky LJ, Thomopoulos S, Tun S, Flanagan C, Keefer C, Mastaw J, Carpenter JE (2000) Overuse activity injures the supraspinatus tendon in an animal model: histologic and biomechanical study. *J Shoulder Elbow Surg* 9: 79-84.

Soslowsky LJ, Thomopoulos S, Esmail A, Flanagan CL, Iannotti JP, Williamson III JD, Carpenter JE (2002) Rotator cuff tendinosis in an animal model Role of extrinsic and overuse factors. *Ann Biomed Eng* 30: 1057 – 1063

Stenlund B, Goldie I, Hagberg M, Hogstedt MD (1993) Shoulder tendinitis and its relation to heavy manual work and exposure to vibration. *Scand J Work Environ Health* 19: 43-49.

Sutinen P, Toppila E, Starck J, Brammer A, Zou J, Pyykkö I (2006) Hand-arm vibration syndrome with use of anti-vibration chain saws: 19-year follow-up study of forestry workers. *Int Arch Occup Environ Health* 79: 665-671.

Svendsen SW, Bonde JP, Mathiassen SE, Stengaard-Pedersen K, Frich LH (2004a) Work related shoulder disorders: quantitative exposure-response relations with reference to arm posture. *Occup Environ Med* 61: 844-853.

Svendsen SW, Gelineck J, Mathiassen SE, Bonde JP, Frich LH, Stengaard-Pedersen K, Egund N (2004b) Work above shoulder level and degenerative alterations of the rotator cuff tendons: a magnetic resonance imaging study. *Arthritis Rheum* 50: 3314-3322.

Svendsen SW, Dalbøge A, Andersen JH, Thomsen JF, Frost P (2013) Risk of surgery for subacromial impingement syndrome in relation to neck/shoulder complaints and occupational biomechanical exposures: a longitudinal study. *Scand J Work Environ Health* 39: 568-577

Svendsen SW (2017) Persönliche Mitteilung am 14.7.2017

Thygesen LC, Mikkelsen S, Botker Pedersen E, Lauengorg Moller K, Alkjaer T, Koblauch H, Simonsen EB, Pagh Moller S, Brauer C (2016) Subracromial shoulder disorders among baggage handlers: an observational cohort study. *Int Arch Occup Environ Health* 89: 867-876

Van der Molen HF, Foresti C, Daams JG, Frings-Dresen MHW, Kujier PPFM (2017) Work-related risk factors for specific shoulder disorders: a systematic review and meta-analysis. *Occup Environ Med* 74: 745-755.

van Rijn RM, Huisstede BMA, Koes BW, Burdorf A (2010) Associations between work-related factors and specific disorders of the shoulder – a systematic review of the literature. *Scand J Work Environ Health* 36: 189-201

Wahlström J, Bergsten E, Trask C, Mathiassen SE, Jackson J, Forsman M (2016) Full-shift trunk and upper arm postures and movements among aircraft baggage handlers. *Ann Occup Hyg* 60:977-990

Wang JHC, Iosifidis I, Fu FH (2006) Biomechanical basis for tendinopathy. *Clin Orthop Rel Res* 443: 320-332

Waris P, Kuorinka I, Kurppa K, Luopajarvi T, Virolainen M, Pesonen K, Nummi J, Kukkonen R (1979) Epidemiologic screening of occupational neck and upper limb disorders – Methods and criteria *Scand J Work Environ & Health* 5: Suppl. 3, 25-38