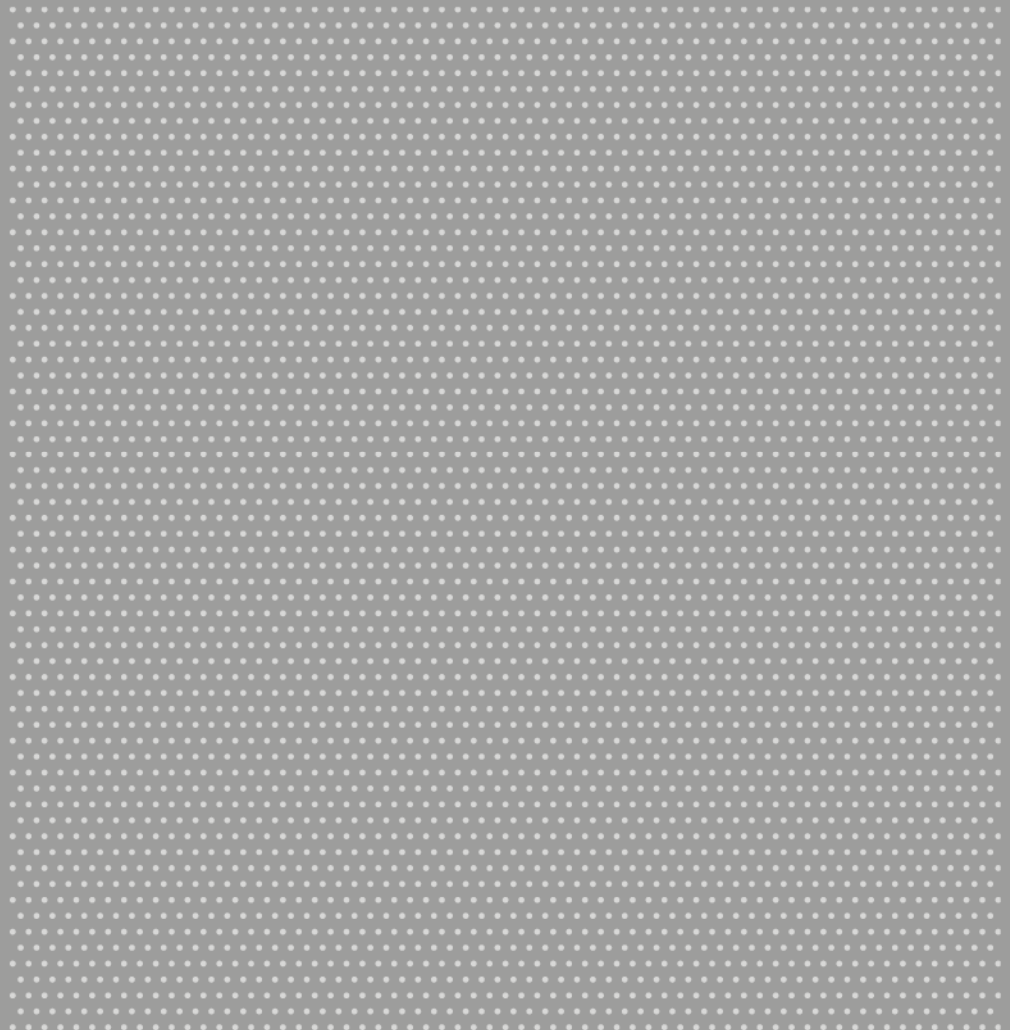


1/2010

# IFA-Report

GonKatast  
– Ein Messwertkataster  
zu beruflichen Kniebelastungen –



Verfasser: Dirk Ditchen, Rolf Ellegast  
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen  
Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin  
  
Gerald Rehme  
Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU),  
Böblingen

Teile des Reports sind Bestandteil der Dissertationsschrift von Herrn Dirk Ditchen an der Universität Witten/Herdecke (UWH), Fakultät für Medizin (Promotionskomitee: Prof. Dr. med. Monika A. Rieger (Institut für Allgemeinmedizin und Familienmedizin, UWH, und Institut für Arbeits- und Sozialmedizin, Universitätsklinikum Tübingen), Prof. Dr. med. Bernd Hartmann (Arbeitsmedizinischer Dienst der BG BAU, Hamburg), Dr. rer. nat. Rolf Ellegast (IFA, Sankt Augustin)).

Herausgeber: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen  
Unfallversicherung (IFA)  
Alte Heerstr. 111, 53757 Sankt Augustin  
Telefon: 02241/231-02  
Telefax: 02241/231-2234  
Internet: [www.dguv.de/ifa](http://www.dguv.de/ifa)  
  
– August 2010 –

ISBN: 978-3-88383-841-0

ISSN: 2190-7994

## **GonKatast**

– Ein Messwertkataster zu beruflichen Kniebelastungen –

### **Kurzfassung**

Kniebelastende Haltungen wie Knien oder Hocken zählen zu den Risikofaktoren für Verletzungen und Erkrankungen des Kniegelenks. Da solche Haltungen auch im Berufsleben eine bedeutende Rolle spielen, gelten sie auch als (Mit-)Auslöser berufsbedingter Erkrankungen wie Meniskopathien, chronischer Schleimbeutelentzündungen oder Kniegelenksarthrosen (Gonarthrosen). Sie rücken dadurch auch in den Fokus der gesetzlichen Unfallversicherungsträger. Diese sind auf wissenschaftliche Erkenntnisse zu den Risikofaktoren berufsbedingter Gesundheitsgefahren angewiesen, um ihrem Auftrag der Kompensation und Prävention gerecht werden zu können. Da der Kenntnisstand zu Art, Vorkommen und Häufigkeit von Kniebelastungen in den verschiedenen Berufen relativ niedrig ist, initiierten verschiedene Unfallversicherungsträger unter Federführung des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) ein Forschungsprojekt zur messtechnischen Untersuchung kniebelastender Tätigkeiten. Ziel dieser Studie sollte der Aufbau eines berufsspezifischen Katasters auf der Grundlage valider Daten sein, die mithilfe des Messsystems CUELA (Computer-Unterstützte Erfassung und Langzeit-Analyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems) direkt an den Arbeitsplätzen zu erheben waren. Die Untersuchung umfasste einzelne Tätigkeiten während einer vollständigen Arbeitsschicht (sogenannte Tätigkeitsmodule). Auf diese Weise ließ sich die Heterogenität der Arbeitsinhalte in den einzelnen Berufen berücksichtigen. Das auf der Grundlage von insgesamt ca. 530 Messstunden entwickelte Kataster enthält Daten zu 16 Berufen mit insgesamt 242 Arbeitsschichtaufnahmen. Es bietet eine wichtige Hilfe für Ermittlungen im Zusammenhang mit Fällen von Berufskrankheiten und bei der Entwicklung geeigneter Präventionsmaßnahmen.

## **GonKatast**

- A measured value register of occupational knee stress –

### **Abstract**

Postures involving stress upon the knee, such as kneeling and squatting, are among the risk factors for knee joint injuries and disorders. Since such postures are also significant in vocational life, they are regarded as one cause of occupational diseases such as diseases of the meniscus, chronic bursitis or osteoarthritis of the knee. As a result, they also attract the attention of the statutory accident insurance institutions. In order to be able to fulfil their mandates of compensation and prevention, these institutions are dependent upon scientific observations concerning the risk factors associated with occupational health hazards. Since relatively little is known about the form, incidence and frequency of knee stress in various occupations, a number of accident insurance institutions launched a research project under the overall control of the Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (IFA). In the project, measurements were to be performed during tasks resulting in loading of the knee. The objective of this study was the creation of a vocation-specific registry based upon valid data which in turn would be obtained directly at workplaces by means of the CUELA system of computer-assisted measurement and long-term analysis of musculoskeletal workloads. The study encompassed individual tasks ("task modules") performed during an entire working shift. This enabled consideration to be given to the heterogeneity of the type of work performed within the individual vocations. The registry, which is based on approximately 530 hours of measurement in total, contains data on 16 vocations with a total of 242 working shift recordings. It serves as a useful tool during investigations into individual cases of suspected occupational disease and for the development of suitable prevention measures.

## **GonKatast**

– Un répertoire de valeurs de mesure relatives à des sollicitations du genou dues à des activités professionnelles –

### **Résumé**

Les postures générant des sollicitations du genou, telles que les positions agenouillées et accroupies, sont des facteurs de risque pouvant entraîner des lésions et des pathologies de l'articulation du genou. Comme ces postures sont également fréquentes dans certains secteurs d'activité, elles sont considérées comme étant des sources de pathologies professionnelles telles que les ménisques, les synovites chroniques ou les gonarthroses. C'est pourquoi les organismes d'assurance accidents se sont également penchés sur les problèmes liés à ces postures. Pour remplir leur mission de dédommagement et de prévention, ceux-ci ne peuvent se passer de connaissances scientifiques sur les facteurs de risque pour la santé liés à l'activité professionnelle. Comme on ne dispose que de relativement peu de connaissances sur la nature, la survenue et la fréquence de sollicitations du genou dans les différentes professions, plusieurs organismes d'assurance accidents ont initié, sous la direction de l'Institut de sécurité du travail des caisses légales allemandes d'assurance accidents (IFA), un projet d'analyse métrologique des activités génératrices de sollicitations du genou.

L'objectif de cette étude était l'élaboration d'un répertoire des sollicitations du genou pour les différentes professions sur la base de données valides enregistrées directement aux postes de travail à l'aide du système de mesure CUELA (enregistrement et analyse sur une longue période assistés par ordinateur de sollicitations du système musculosquelettique). L'analyse portait sur diverses activités exercées au cours d'une période de travail complète (« modules d'activités »). Cette façon de procéder a permis de tenir compte de l'hétérogénéité du travail dans les différentes professions. Le répertoire, qui a été établi sur la base d'environ 530 heures de mesure, comporte des données relatives à 16 professions et collectées au cours de 242 enregistrements. Il constitue une aide précieuse lors d'investigations en relation avec des cas de maladies professionnelles et lors de l'élaboration de mesures de prévention appropriées.

## **GonKatast**

– Registro de valor de medición en relación a las profesiones en que se da una sobrecarga en las rodillas –

### **Resumen**

Toda posición que suponga una sobrecarga para las rodillas, como por ejemplo arrodillarse o agacharse, hacen parte de los factores de riesgo de padecer lesiones y enfermedades en la articulación de la rodilla. Ya que dichas posturas también juegan un papel importante en la vida profesional, se consideran factores coadyuvantes de padecimientos profesionales como meniscopatías, sinovitis crónicas o artrosis de la articulación de las rodillas (gonartrosis). Por este motivo las compañías aseguradoras de accidentes legales centran su atención en estas posturas que, en base a investigaciones científicas, han sido asignadas a los factores de riesgo y de peligrosidad laboral con el fin de satisfacer ciertas medidas compensatorias y preventivas. Puesto que el estado de los conocimientos relativos al tipo, la prevalencia y la frecuencia de la sobrecarga en las rodillas es relativamente reducido en los diversos sectores profesionales, varias instituciones dedicadas a los seguros de accidentes han iniciado bajo la dirección del Instituto de Sociedad Cooperativa Profesional de Seguridad y Salud Ocupacional Alemán (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, IFA) un proyecto de investigación destinado a la exploración con técnica de medición de aquellos trabajos que supongan una sobrecarga en las rodillas. Este estudio tiene como objetivo la creación de un registro en relación específica a ciertas profesiones partiendo de datos válidos que se obtengan por medio del sistema de medición CUELA (<sup>1</sup> Computer-Unterstützte Erfassung und Langzeit-Analyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems) directamente en los puestos de trabajo. La exploración abarca algunas actividades que se desarrollan durante un turno completo de trabajo (los llamados módulos de actividades). De este modo puede tenerse en cuenta la heterogeneidad de los aspectos del trabajo en cada una de las profesiones. El registro desarrollado a partir de unas 530 horas de medición en total contiene datos de 16 profesiones con un total de 242 grabaciones de turnos de trabajo y ofrece una importante ayuda a la hora de estudiar casos de padecimientos profesionales y desarrollar medidas preventivas apropiadas.

---

<sup>1</sup> Registro asistido por ordenador y análisis a largo plazo de sobrecargas en el sistema musculoesquelético.

## Danksagung

Der Dank der Autoren gilt den Initiatoren des Projektes sowie allen Freiwilligen, Mitstreitern, Beratern und Helfern, ohne deren Einsatz und Mitarbeit die Studie in dieser Form nicht durchführbar gewesen wäre.

In erster Linie gebührt an dieser Stelle den Betrieben und Probanden ein Dank, die sich freiwillig zur Teilnahme an den Untersuchungen bereit erklärt haben.

Stellvertretend für alle beteiligten gesetzlichen Unfallversicherungsträger soll den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern gedankt werden, die für Durchführung und Organisation der Messungen sowie die fachliche Begleitung des Projekts verantwortlich waren (in alphabetischer Reihenfolge für die einzelnen Projektpartner):

BG BAU – Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft: G. Ebermann, C. Fengler, R. Frey, S. Gütschow, E. Hirschl, S. Kunzelmann, A. Lutz, R. Schäfer, C. Schewe, M. Schulte-Werflinghoff, U. Slavik, W. Specht, E. Stengelin, S. Werner, Berufsgenossenschaft Metall Nord Süd – BGM: M. Bihl, D. Kern, Dr. C. Hecker, Holz-Berufsgenossenschaft – HBG: Dr. A. Hammel, D. Hunger, Dr. M. Meier, Berufsgenossenschaft für Transport und Verkehrswirtschaft – BG Verkehr: Dr. C. Backhaus, K. Jubt, Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie – BG RCI, Branche Lederindustrie: Dr. I. Genge, H. Scheuer, Maschinenbau- und Metall-Berufsgenossenschaft – MMBG: M. Lüdke, T. Meixner, M. Schweer, R. Seesing, Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medien-erzeugnisse – BG ETEM: H. Kusserow, T. Ryback, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA): M. Brütting, PD Dr. U. Glitsch, I. Hermanns, Dr. U. Hoehne-Hückstädt, R. Lietz, L. Neumann, M. Post, B. Weber und S. Winkler.

Für die arbeitsmedizinische Beratung und wissenschaftliche Anregungen danken die Autoren Frau Prof. Dr. M. A. Rieger (Institut für Allgemeinmedizin und Familienmedizin, Private Universität Witten/Herdecke und Institut für Arbeits- und Sozialmedizin, Universitätsklinik Tübingen) und Herrn Prof. Dr. B. Hartmann (Arbeitsmedizinischer Dienst der BG BAU, Hamburg).





# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Das Kniegelenk</b> .....	<b>13</b>
2.1	Aufbau und Funktion des Kniegelenks .....	13
2.2	Verletzungen und Erkrankungen des Kniegelenks.....	16
2.2.1	Akute Verletzungen .....	16
2.2.2	Stoffwechselerkrankungen .....	17
2.2.3	Entzündliche Erkrankungen.....	17
2.2.4	Degenerative Erkrankungen.....	17
2.3	Kniegelenkserkrankungen als Berufskrankheiten .....	19
<b>3</b>	<b>Berufliche Kniebelastungen</b> .....	<b>23</b>
3.1	Knien ohne Abstützung des Oberkörpers.....	23
3.2	Knien mit Abstützung des Oberkörpers.....	25
3.3	Knien im Fersensitz .....	27
3.4	Hocken .....	27
3.5	Kriechen .....	30
<b>4</b>	<b>Methodik</b> .....	<b>33</b>
4.1	Auswahl der zu untersuchenden Berufe.....	33
4.2	Rekrutierung der Betriebe und Probanden .....	35
4.3	Untersuchung von Tätigkeitsmodulen .....	38
4.4	Messtechnik.....	40
4.5	Aufbereitung der Messdaten .....	42
4.6	Erstellung von Katasterdaten .....	44
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>45</b>
5.1	Beton- und Stahlbetonbauer.....	45
5.2	Bodenleger/Raumausstatter.....	47
5.3	Dachdecker .....	50
5.4	Estrichleger.....	59
5.5	Fahrzeugsattler.....	64
5.6	Fliesenleger .....	65
5.7	Flugzeugabfertiger.....	69
5.8	Formenbauer .....	71
5.9	Installateur .....	73

5.10	Maler und Lackierer .....	80
5.11	Natur- und Kunststeinleger .....	84
5.12	Parkettleger .....	88
5.13	Pflasterer .....	93
5.14	Rohrleitungsbauer .....	95
5.15	Schweißer (im Behälterbau) .....	98
5.16	Werftarbeiter .....	99
<b>6</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>103</b>
6.1	Vergleich der eingesetzten Methodik mit Angaben aus der Fachliteratur .....	103
6.1.1	Auswahl der untersuchten Berufe .....	103
6.1.2	Arten der Expositionsermittlung von beruflichen Kniebelastungen.....	107
6.1.3	Stärken und Schwächen der in GonKatast eingesetzten Methodik.....	110
6.1.4	Vergleich der Ergebnisse mit Angaben aus der Fachliteratur .....	113
<b>7</b>	<b>Empfehlungen zur Prävention kniebelastender Tätigkeiten .....</b>	<b>119</b>
7.1	Verhältnisprävention .....	119
7.2	Verhaltensprävention.....	121
<b>8</b>	<b>Schlussfolgerungen und Ausblick.....</b>	<b>123</b>
<b>9</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>125</b>
	<b>Anhang – Kurzdarstellung der Ergebnisse.....</b>	<b>133</b>

## 1 Einleitung

Belastungen des Kniegelenks im Berufsleben und damit einhergehende Beschwerden, Verletzungen und Erkrankungen stehen schon lange im Fokus von Arbeitswissenschaft, Arbeitsmedizin, Epidemiologie, Sozialgesetzgebung und gesetzlicher Unfallversicherung. So können bereits seit den 1950er Jahren Meniskopathien bei Bergleuten, die unter Tage gearbeitet haben, als Berufskrankheit (BK) anerkannt werden (BK 2102, [1]). Später wurde diese Berufskrankheit auch auf andere Berufsgruppen ausgeweitet. In den 1960er Jahren sind darüber hinaus auch „chronische Erkrankungen der Schleimbeutel durch ständigen Druck“ in die Liste der Berufskrankheiten aufgenommen worden (BK 2105, [2]). Aktuell ist nun im Jahr 2009 mit der Einführung der berufsbedingten Kniegelenksarthrose bzw. Gonarthrose als neue Berufskrankheit eine weitere Kniegelenkerkrankung in den Blickpunkt des arbeitswissenschaftlichen Interesses gerückt (BK 2112, [3]).

Diese Auflistung berufsbedingter Erkrankungen der Kniegelenke verdeutlicht bereits, dass berufliche Kniebelastungen ein wichtiges Feld für die Prävention darstellen. Um gezielte und Erfolg versprechende Präventionsmaßnahmen einleiten zu können, ist eine umfangreiche Kenntnis der relevanten Risikofaktoren die entscheidende Voraussetzung. Gerade im Falle der Arthrosen, die als die weltweit häufigsten Gelenkerkrankungen gelten [4], und speziell für die Kniegelenksarthrose, wird in der wissenschaftlichen Literatur die Bedeutung einer ganzen Reihe von Risikofaktoren wie Alter, Geschlecht, Übergewicht, genetische Veranlagung, Fehlstellungen der Beine (z. B. O- oder X-Beine), frühere Kniegelenksverletzungen (z. B. durch bestimmte Sportarten), manuelle Lastenhandhabungen oder kniende Tätigkeiten diskutiert. Ein Überblick über die aktuelle Forschung zur Gonarthrose aus epidemiologischer, orthopädischer und gutachterlicher Sicht findet sich z. B. bei *Engelhardt* [4], *Maetzel et al.* [5], *Schouten et al.* [6], *McMillan & Nichols* [7] und *Jensen* [8] bzw. bei *Weber* [9] sowie bei *Thomann et al.* [10].

Neben dem persönlichen Schicksal der Betroffenen ist auch der wirtschaftliche Schaden durch Produktionsausfall und Arbeitsunfähigkeit (AU) infolge degenerativer Kniegelenkerkrankungen immens: So wurden beispielsweise im Jahr 2003 laut Angaben der gesetzlichen Krankenkassen in Deutschland 2,71 Mio. AU-Tage aufgrund der Diagnose „Gonarthrose“ und 4,40 Mio. AU-Tage aufgrund der Diagnose „Kniebinnenschaden“ verursacht [11].

Unter den beruflichen Aktivitäten stehen in erster Linie länger andauernde Tätigkeiten im Knien, Hocken oder Kriechen im Verdacht, Risikofaktoren für die Entstehung einer Kniegelenksarthrose zu sein. In Bezug auf die Beurteilung der arbeitstechnischen Voraussetzungen in BK-Feststellungsverfahren einerseits und eine zielgerichtete Prävention andererseits stellen sich den gesetzlichen Unfallversicherungsträgern demnach eine Reihe von Fragen:

- Welche Formen der Kniebelastung kommen in der beruflichen Praxis vor?
- Wie häufig treten solche Belastungen bei unterschiedlichen beruflichen Tätigkeiten auf?
- Lässt sich für derartige Belastungen ein Kataster auf der Grundlage valider Daten zu verschiedenen Berufen erstellen, das als Hilfsmittel bei der Beurteilung der arbeitstechnischen Voraussetzungen in BK-Feststellungsverfahren eingesetzt werden kann?
- Lassen sich mithilfe eines solchen Katasters konkrete Präventionskonzepte ableiten?

In der wissenschaftlichen Literatur sind zu Vorkommen und Häufigkeit kniebelastender Tätigkeiten in einzelnen Berufen nur sehr wenige Angaben zu finden, die meist auf der retrospektiven Selbsteinschätzung von Probanden beruhen und demnach als relativ ungenau einzustufen sind (z. B. *Vingard et al.* [12], *Felson et al.* [13], *Cooper et al.* [14], *Coggon et al.* [15], *Sandmark et al.* [16], *Seidler et al.* [17]). Nur in wenigen Studien dienten Videoanalysen

oder Messungen zur Expositionserhebung, die dann in der Regel auf kleine Probandenzahlen oder wenige Einzeltätigkeiten beschränkt blieben (z. B. *Jensen et al.* [18], *Burdorf et al.* [19], *Bolm-Audorff et al.* [20]). Auch auf dem von der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) einberufenen interdisziplinären Fachgespräch „Gonarthrose“ im März 2007 in Bonn-Bad Godesberg [21] wurde das Fehlen valider Daten zu beruflichen Kniebelastungen angemahnt. Als Fazit dieser Diskussionsrunde ließ sich deshalb ein hoher Forschungsbedarf zum Thema „Gonarthrose und Kniebelastungen“ in den Bereichen Medizin, Biomechanik und Arbeitstechnik feststellen.

In Bezug auf die Arbeitstechnik starteten bereits im Jahr 2006 mehrere Unfallversicherungsträger unter Federführung des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) das Forschungsprojekt *GonKatast* (Kunstwort aus *Gonarthrose* und *Kataster*). Ziel des Projekts war der Aufbau eines Katasters zu kniebelastenden Tätigkeiten im Sinne der BK 2112 auf der Grundlage valider Messdaten, die mit Hilfe des Messsystems CUELA (Computer-Unterstützte Erfassung und Langzeit-Analyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems) erhoben werden sollten. Im Vordergrund standen dabei die im Merkblatt genannten „Risikoberufe“. Da die Arbeitsinhalte der einzelnen Berufe sehr heterogen sein können, sollte das Kataster keine verallgemeinernden Angaben zur Belastung in einem Beruf enthalten (z. B. „Kniebelastung des Fliesenlegers“). Vielmehr galt es, eine feine Differenzierung der berufsspezifischen Arbeitsinhalte in „Tätigkeitsmodule“ vorzunehmen (z. B. Kniebelastung des Fliesenlegers beim „Verlegen von Bodenfliesen“ oder beim „Verfugen von Wandfliesen“).

Die Ergebnisse des Projekts sind in diesem Report dargestellt. In Kapitel 2 werden Anatomie, Funktion und Erkrankungen des Kniegelenks skizziert. Kapitel 3 beschreibt die verschiedenen Arten der Kniebelastung, die in dieser Studie untersucht wurden: Knien mit und ohne Abstützung des Oberkörpers, Knien im Fersensitz, Hocken und Kriechen. Die bei der Planung und Durchführung des Projekts eingesetzten Methoden, insbesondere die Messtechnik (CUELA) und die Aufbereitung der Messdaten im Hinblick auf vollständige Arbeitsschichtprofile werden in Kapitel 4 erläutert. In Kapitel 5 sind die Ergebnisse der Messungen je Berufsgruppe ausführlich dargestellt und die jeweils untersuchten Tätigkeitsmodule in Wort und Bild beschrieben. Eine Kurzdarstellung der Ergebnisse in Tabellenform findet sich im Anhang. In Kapitel 6 werden Vor- und Nachteile der Studie diskutiert, die Projektergebnisse im Zusammenhang mit der wissenschaftlichen Literatur bewertet und die Möglichkeiten, die sich aus dem Projekt für die Prävention ergeben, besprochen.

Dieser Report richtet sich an alle, die mit beruflichen Kniebelastungen und beruflichen Knieerkrankungen befasst sind. Insbesondere soll er eine Hilfe bei der Beurteilung der arbeitstechnischen Voraussetzungen in BK-Verfahren darstellen und den Präventionsdiensten der Unfallversicherungsträger eine breite Datengrundlage für ihre Arbeit bieten.

## 2 Das Kniegelenk

Zum besseren Verständnis kniebelastender Tätigkeiten werden an dieser Stelle Anatomie, Funktion und Erkrankungen des Kniegelenks kurz vorgestellt und Begrifflichkeiten sowie medizinische Fachausdrücke erläutert. Für die vertiefte Beschäftigung mit dieser Materie wird auf die Fachliteratur verwiesen.

### 2.1 Aufbau und Funktion des Kniegelenks

Das Kniegelenk (*Articulatio genus*) ist vor Hüfte und Schulter das größte Gelenk im menschlichen Körper und gilt gemeinhin auch als das komplexeste. Als zusammengesetztes Gelenk besteht es aus zwei Kompartimenten, dem Kniekehlgelenk (Kniehauptgelenk bzw. *Tibiofemoralgelenk*) und dem Kniescheibengelenk (*Retropatellar-* bzw. *Femoropatellargelenk*): Das Tibiofemoralgelenk liegt zwischen Oberschenkelknochen (*Femur*) und Schienbein (*Tibia*), das Retropatellargelenk zwischen Kniescheibe (*Patella*) und Femur (Abbildung 1).

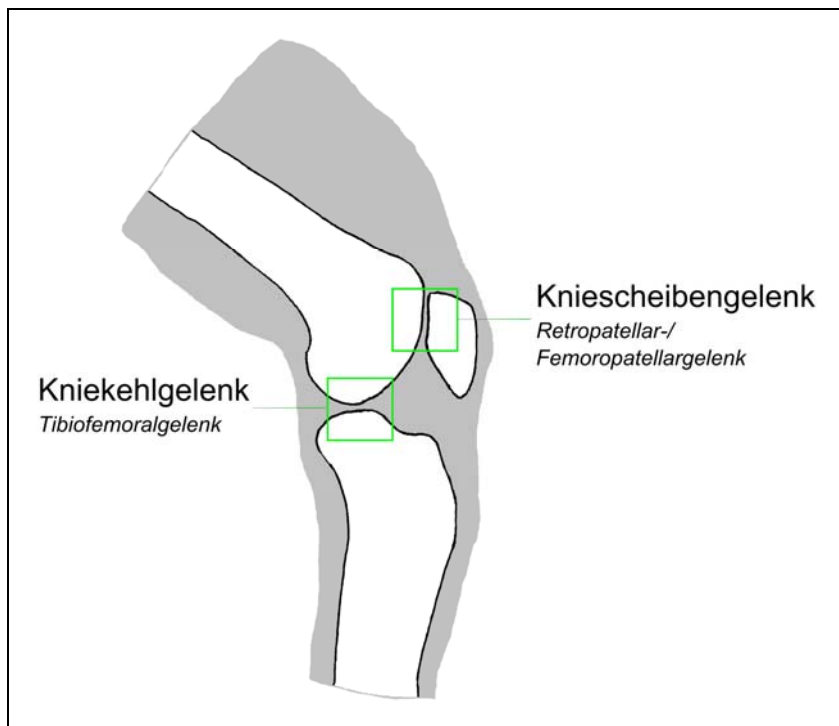
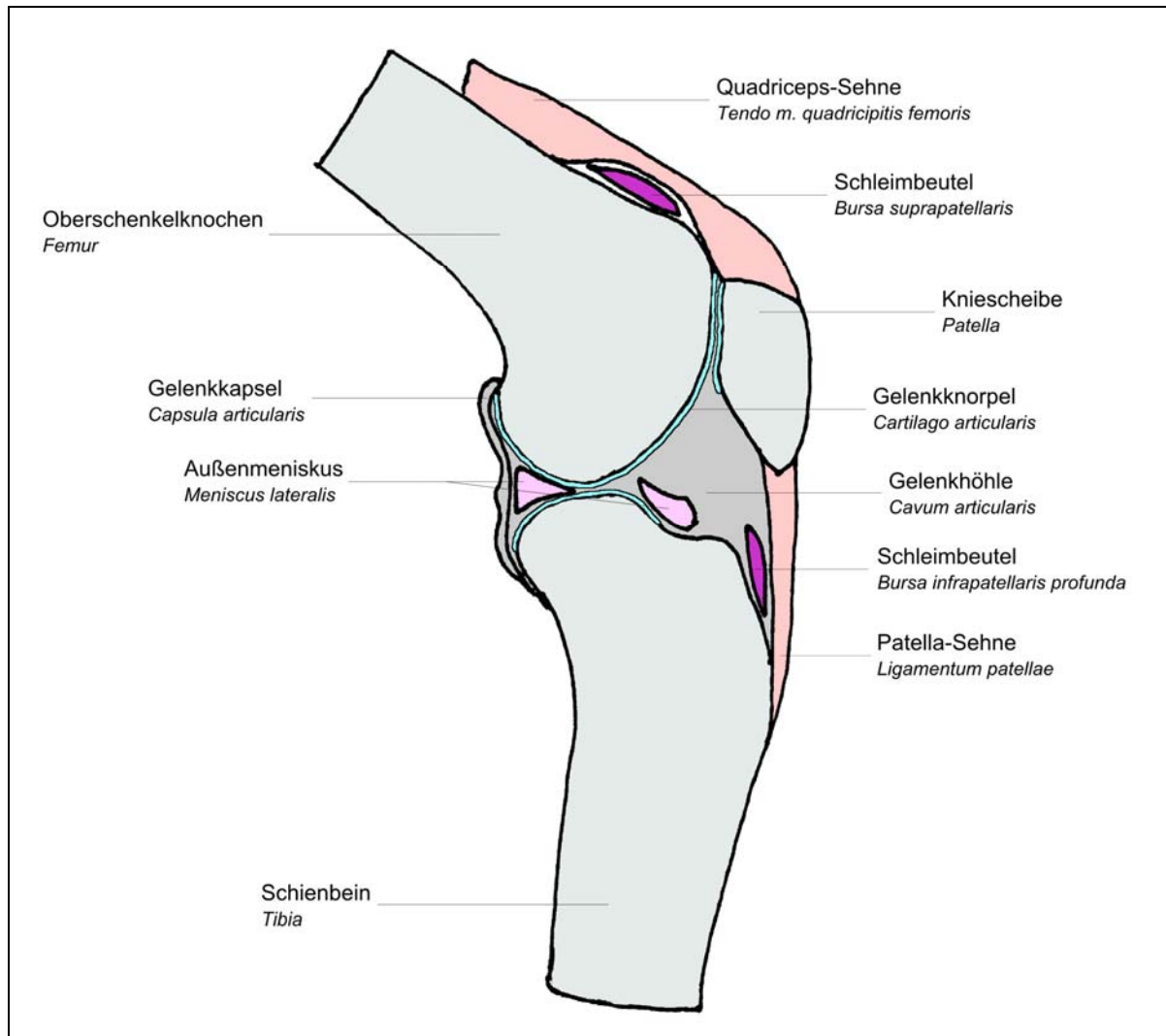


Abbildung 1:  
Das Kniegelenk  
– ein zusammengesetztes Gelenk

Die Patella ist als sog. „Sesambein“<sup>2</sup> in die Quadrizeps-Sehne, die Sehne des größten Oberschenkelmuskels (*M. quadriceps femoris*), eingelagert und wird mit dieser über eine entsprechende Vertiefung am Oberschenkelknochen geführt (Abbildung 2). Anatomie und Position der Patella verhindern einen Verschleiß der Quadrizepssehne durch direkte Reibung an den Oberschenkelrollen und verbessern die Hebelverhältnisse am Kniegelenk. Die Verbindung zum Unterschenkel erfolgt über die Patellasehne (*Ligamentum patellae*).

<sup>2</sup> *Sesambeine*: In Sehnen, Bänder oder Gelenkkapseln eingefügte Schaltknochen, die z. B. Druckbelastungen von Sehnen reduzieren helfen.

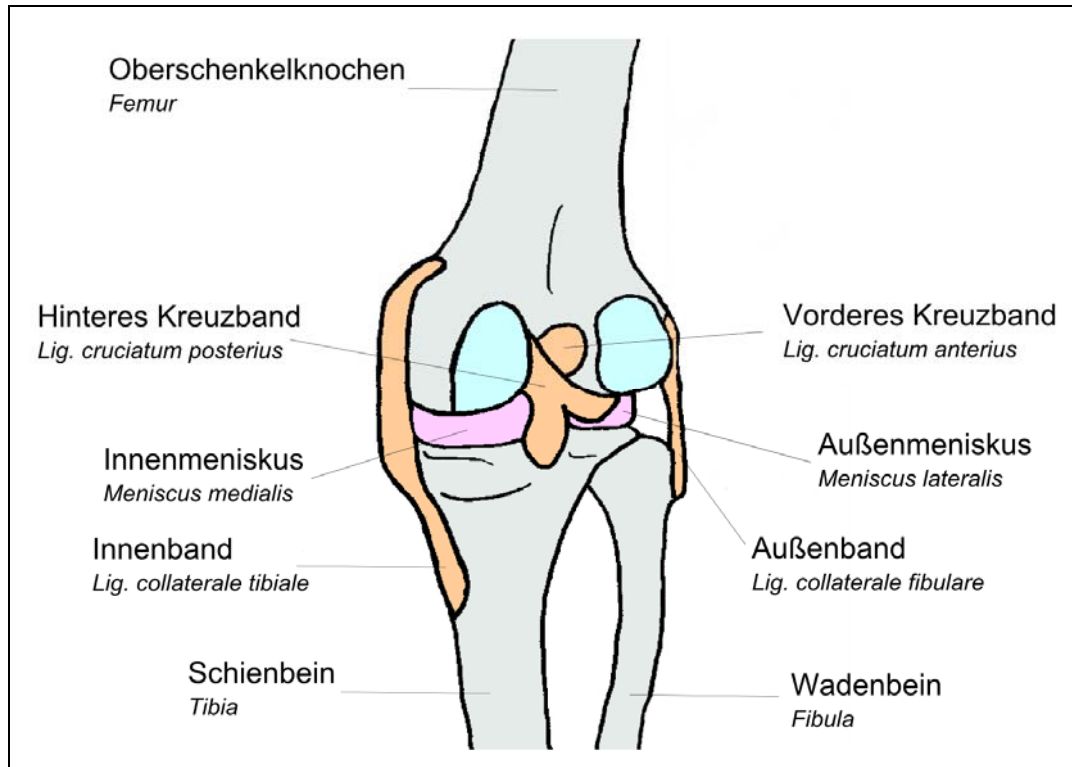
Abbildung 2:  
Sagittalschnitt durch ein rechtes Kniegelenk in der Ansicht von der Außenseite (lateral)  
(Schema verändert nach Tillmann [22])



Als Scharniergelenk erlaubt das Knie durch einen komplizierten Roll-Gleit-Vorgang eine Beugung und Streckung des Unterschenkels gegenüber dem Oberschenkel, darüber hinaus ist in der Kniebeuge eine Drehung um die Unterschenkelachse möglich, sodass das Knie als *Drehscharniergelenk* bezeichnet werden kann [23].

Die knöchernen Bestandteile des Kniegelenks sind zueinander inkongruent, anders als etwa die Gelenkpartner im Hüftgelenk passen die Gelenkrollen (*Kondylen*) von Femur und Tibia nicht exakt aufeinander. Diese Inkongruenz oder Ungleichheit wirkt sich nachteilig auf die Druckverteilung und die Stabilität im Kniegelenk aus. Da zwischen beiden Gelenkpartnern nur eine punktuelle oder linienförmige Kontaktfläche besteht, können bei Belastung sehr hohe Druckwerte an den Gelenkoberflächen entstehen [24]. Um derartige Belastungen auszugleichen, tritt als stabilisierendes Element ein umfangreicher Weichteilapparat zu den knöchernen Strukturen hinzu. Muskeln, Sehnen, Gelenkkapsel, Seiten- und Kreuzbänder, Gelenkknorpel, Menisken und Schleimbeutel sorgen für die nötige Stabilität, Gleitfähigkeit und Druckverteilung im Kniegelenk (Abbildung 2 und Abbildung 3).

Abbildung 3:  
 Schema des rechten Knies in Streckstellung, Gelenkkapsel entfernt, Ansicht von hinten  
 (hellblau: Gelenkknorpel)



Die Kniegelenkkapsel (*Capsula articularis genu*) umschließt das Gelenk und grenzt es gegen die Umgebung ab. Sie ist innen mit Schleimhaut (*Synovialis*) ausgekleidet. Die von ihr produzierte Gelenkflüssigkeit (*Synovia*) übernimmt wichtige Aufgaben bei der Schmierung und Ernährung der knorpeligen Gelenkanteile, da diese nicht über Blutgefäße versorgt werden. Bewegungen des Gelenks verbessern die Ernährung des Knorpels, indem sie die „Durchsättigung“ und damit die Diffusion der Nährstoffe in den Knorpel fördern („Schwamm-Prinzip“).

Die Ungleichheit der Gelenkflächen zwischen Ober- und Unterschenkel wird im Wesentlichen durch die beiden halbmondförmigen Menisken – Innen- und Außenmeniskus (*Meniscus medialis* und *lateralis*) – ausgeglichen. Die Menisken bestehen aus strapazierfähigem Fasernknorpel und sind keilförmig ausgebildet, d. h. ihre Höhe nimmt vom Rand zum Zentrum hin ab. Ihre Aufgabe besteht zum einen darin, ein Verrutschen der Oberschenkelrolle auf dem Schienbeinkopf zu verhindern, zum anderen als Gelenkzwischenscheiben den Belastungsdruck zwischen Ober- und Unterschenkel abzdämpfen [25]. Sie üben demnach eine ähnliche Stoßdämpferfunktion aus wie die Bandscheiben der Wirbelsäule und schützen so den hyalinen Gelenkknorpel (*Cartilago articularis*), der die Gelenkflächen überzieht und eine möglichst reibungsfreie Bewegung garantieren soll. Mehrere Schleimbeutel wie die *Bursa suprapatellaris* erleichtern das Aufeinandergleiten der verschiedenen Schichten von Knochen, Muskeln, Sehnen, Gelenkkapsel oder Haut [26].

Der komplexe Bandapparat aus Seiten- und Kreuzbändern sowie den Bandzügen der Gelenkkapsel dient in erster Linie der Stabilisierung des Kniegelenks bei Beugung und Streckung. Die beiden Seiten- oder Kollateralbänder verlaufen an der Innen- und Außenseite des Kniegelenks. Das Innenband (*Ligamentum collaterale tibiale*) verbindet den Oberschenkelknochen mit dem Schienbein, das am Gelenk gegenüberliegende Außenband (*Ligamentum*

*collaterale fibulare*) den Oberschenkelknochen mit dem Wadenbein (*Fibula*). Beide stabilisieren das Kniegelenk gegen seitliches Aufklappen im gestreckten Zustand. Beim Beugen des Knies entspannen sich die Seitenbänder, sodass eine Rotation der Tibia gegenüber dem Femur nach innen und außen möglich wird.

Die beiden Kreuzbänder dienen ebenfalls der Stabilisierung des Gelenks und verhindern ein Verschieben der Gelenkpartner nach vorne oder hinten. Das vordere Kreuzband (*Ligamentum cruciatum anterius*) verläuft von der Innenseite der äußeren Oberschenkelrolle (*Condylus lateralis*) zum vorderen Bereich der zentralen Erhebung am Schienbeinkopf. Das hintere Kreuzband (*Ligamentum cruciatum posterius*) verläuft entgegengesetzt von der Innenseite der inneren Oberschenkelrolle (*Condylus medialis*) zu einer weiter hinten und außen liegenden Erhebung am Schienbeinkopf und „kreuzt“ somit das vordere Kreuzband.

Zusätzliche Stabilisierung gewähren die Bandzüge der Gelenkkapsel im Bereich der Kniekehle, die einer Verdrehung des Gelenks in gestrecktem oder leicht gebeugtem Zustand entgegenwirken. Im vorderen Bereich des Gelenks sorgen die Gelenkkapselverstärkungen für die Zentrierung der Kniescheibe in ihrer „Führungsrinne“ bei Kniebeugung.

## 2.2 Verletzungen und Erkrankungen des Kniegelenks

Aufgrund seines komplexen Aufbaus, seiner Nährstoffversorgung, seiner Funktion sowie seiner exponierten Lage ist das Kniegelenk durch Unfälle, Fehl- oder Überbelastungen und Degenerationserscheinungen besonderen Gefährdungen ausgesetzt [25; 27].

Bei der Schädigung des Kniegelenks ist zwischen traumatischen Schädigungen (Verletzungen), die beispielsweise als Folge eines Unfalls auftreten, Stoffwechselerkrankungen, entzündlichen Veränderungen und degenerativen Erkrankungen zu unterscheiden. Die einzelnen Schädigungen können auch in Kombination oder als Folgeerscheinung auftreten, sodass deren Übergänge fließend sind. Im Folgenden sollen, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, einige Verletzungen und Erkrankungen kurz vorgestellt werden. Eine ausführliche Darstellung findet sich z. B. bei *Wirth* [28], *Hackenbroch* [29] oder *Grifka* [25].

### 2.2.1 Akute Verletzungen

Akute Verletzungen (*Traumata*) treten in unterschiedlichen Situationen auf und sind in allen Bereichen des Kniegelenks zu finden.

Die knöchernen Strukturen können durch äußere Krafteinwirkung brechen, sodass z. B. in Folge eines Sport-, Arbeits- oder Verkehrsunfalls Frakturen an *Femur*, *Tibia*, *Fibula* oder auch *Patella* auftreten. Insbesondere ältere Menschen sind bereits nach leichten Stürzen aufgrund osteoporotisch vorgeschädigter Knochen anfällig für Brüche des Oberschenkelknochens im Bereich des Knies [30].

Äußere Krafteinwirkung, angeborene Fehlstellungen (z. B. „X-Beine“, *Genu valgum*) oder Deformationen der Gelenkpartner sind die Ursachen für die relativ häufig auftretende Kniescheibenverrenkung, bei der die Kniescheibe aus ihrer Führung heraus (*Luxation*) und auch wieder zurück (*Reposition*) springen kann.

Stürze oder Stöße gegen das Kniegelenk führen häufig zu schmerzhaften Schwellungen des Kniegelenks als Folge von Blutergüssen, Gelenkergüssen oder Schleimbeutelreizungen (Prellung).

Auch im Bereich des Bandapparates können akute Verletzungen auftreten. Als typische und schwerwiegende Sportverletzungen z. B. beim Fußball oder Skifahren (alpin) sind Dehnungen und Risse (*Rupturen*) der Kreuz- oder Seitenbänder berüchtigt, wobei in der Regel



Gelenkverdrehungen für die Überdehnung oder das Reißen der Bänder verantwortlich sind. In Extremfällen sind auch (Ab-)Risse der Quadrizeps- oder der Patellasehne möglich.

Der häufigste „Knie-Binnenschaden“ ist ein Meniskusriss durch indirekte Gewalteinwirkung. Dabei wird meistens der Innenmeniskus im hinteren Bereich zwischen Schienbein und Oberschenkelrolle eingeklemmt und durch eine nachfolgende Drehung des Unterschenkels gegenüber dem Oberschenkel zerrissen. Solche traumatischen Ereignisse treten typischerweise bei Ballsportarten (ruckartige Drehung des Körpers bei feststehendem Fuß) und beim alpinen Skilauf (Verdrehung des Unterschenkels gegenüber dem Oberschenkel durch Verkanten des Skis) auf. Risse im faserigen Knorpel des Meniskus heilen selten aus.

### **2.2.2 Stoffwechselerkrankungen**

Bestimmte Stoffwechselerkrankungen können z. B. durch Ablagerung von Kristallen im Kniegelenk dessen Funktion beeinträchtigen und zu Schmerzen führen. Dies trifft etwa bei der als Wohlstandskrankheit bezeichneten Gicht zu. Bei diesem Krankheitsbild lagern sich Harnsäurekristalle typischerweise in den Großzehgelenken ab, aber auch das Kniegelenk kann auf diese Weise beeinträchtigt werden. Die Kristalle führen zu einer langsamen Zerstörung der knöchernen Gelenkstrukturen. Bei anderen Stoffwechselerkrankungen zerstören Calciumpyrophosphat-Kristalle den Gelenkknorpel, man spricht hier von Pseudogicht (*Chondrokalzinose*).

### **2.2.3 Entzündliche Erkrankungen**

Eine Entzündung des Kniegelenks kann akut oder schleppend verlaufen und durch Keime verursacht sein oder eine Reaktion auf eine Reizung darstellen. Teilweise gehen Kniegelenkentzündungen auf spezifische Erreger (z. B. Tuberkulose) zurück und führen dann zu gefährlichen Infektionen, was aber eher selten ist.

Im Zuge einer rheumatischen Allgemeinerkrankung kann auch das Kniegelenk entzündlich verändert sein. Die häufigste Erkrankung in diesem Zusammenhang ist der chronische Gelenkrheumatismus (*Polyarthritis*), der üblicherweise an den Fingergelenken beginnt, sich aber auch auf das Kniegelenk ausweiten kann. Gelenkveränderungen wie schmerzhafte Schwellungen oder fixierte Gelenkstellungen sind hier Folge einer Entzündung der Gelenkinnenhäute (*Synovialitis*). Letzten Endes führt die Entzündung zur Zerstörung des Gelenkknorpels und des darunter liegenden Knochens.

Im Rahmen chronischer Entzündungsvorgänge kommt es zur verstärkten Produktion von Gelenkflüssigkeit. Gelegentlich verursacht diese Volumenzunahme eine Ausstülpung der hinteren Kniegelenkscapsel, der *Baker-Zyste*. Die Folgen sind Schmerzen und Bewegungseinschränkungen.

### **2.2.4 Degenerative Erkrankungen**

Unter degenerativen Veränderungen des Kniegelenks versteht man Abnutzungserscheinungen, die im Laufe des Lebens als fester Bestandteil des Alterungsprozesses des menschlichen Körpers anzusehen sind. Krankhaft werden solche Erscheinungen erst, wenn sie in übermäßigem Maße oder verfrüht im Laufe des Lebens auftreten. Man spricht in einem solchen Fall auch von einer „Linksverschiebung“ der degenerativen Veränderungen, da diese – im Gegensatz zum natürlichen Altersgang – auf der Zeitachse nach links verschoben sind, also bereits in jüngeren Jahren auftreten.

Degenerative Erkrankungen können die einzelnen Strukturen des Kniegelenks derart schädigen, dass diese anfälliger für traumatische Verletzungen werden. Andererseits können akute Verletzungen auch Ausgangspunkt für die Entstehung degenerativer Erkrankungen sein, indem z. B. nach einem Unfall mit Meniskusschaden der Schutz- und Stützmechanismus der Menisken wegfällt und deshalb der Gelenkknorpel verstärkter Abnutzung unterliegt. Die genaue Unterscheidung der Ursachen einer Kniegelenkerkrankung ist deshalb oftmals Gegenstand gutachterlicher Streitfälle in Berufskrankheiten-Feststellungsverfahren.

Nicht altersbedingte Verschleißerscheinungen im Kniegelenk sind häufig Folge von Bein-Fehlstellungen wie „X-Beine“ (*Genu valgum*) oder „O-Beine“ (*Genu varum*), erblicher Veranlagung, Übergewicht und Fettleibigkeit (Adipositas) oder überdurchschnittlich hohen Belastungen in Beruf, Sport oder Freizeit [31]. Auch das Geschlecht spielt eine Rolle: Frauen sind in der Regel stärker betroffen als Männer.

Durch solche Risikofaktoren ausgelöste Abnutzungserscheinungen treten in verschiedenen Strukturen des Kniegelenks auf und rufen dort meist chronische Erkrankungen hervor. So können beispielsweise die Schleimbeutel durch wiederholte Druckbelastungen, etwa bei langandauerndem Knien, derart geschädigt werden, dass eine chronische Entzündung (*Bursitis*) entsteht. Auch bei den Menisken sind chronische Schädigungen häufig, in deren Folge der Meniskus reißen kann.

Die am häufigsten vorkommenden degenerativen Veränderungen in Gelenken sind die Arthrosen (*Arthrosis deformans*), die mit einer Zerstörung des Gelenkknorpels einhergehen [25]. Arthrosen sind die häufigsten Gelenkerkrankungen überhaupt, haben durch die hervorgerufenen Funktionseinschränkungen und Schmerzen erhebliche Auswirkungen auf das physische und psychosoziale Leben der Betroffenen und verschulden darüber hinaus z. B. durch Behandlungskosten und Ausfalltage erhebliche wirtschaftliche Schäden in Höhe von 1 bis 2,5 % des Bruttosozialprodukts in Staaten wie den USA oder Frankreich [32]. Für Deutschland existieren bisher keine repräsentativen Bevölkerungsuntersuchungen zur Häufigkeit radiologisch gesicherter Arthrosen.

Die Kniegelenksarthrose (*Gonarthritis*, engl. *knee osteoarthritis*, OA) ist die häufigste Form der Arthrose. Laut einer Schätzung des Robert Koch-Instituts ist davon auszugehen, dass in Deutschland eine radiologische Hüft- oder Kniegelenksarthrose etwa bei 10 bis 20 % der über 50- bis 60-Jährigen nachweisbar ist und etwa die Hälfte von diesen auch Schmerzen empfindet [33].

Bei den Arthrosen unterscheidet man zwischen *Primären Arthrosen*, bei denen die Verschleißerscheinungen von selbst eingetreten sind, z. B. durch den Alterungsprozess, und den *Sekundären Arthrosen*, die als Folge von Fehlbelastungen des Gelenks in Erscheinung treten. Letztere sind in diesem Zusammenhang auf äußere Ursachen (z. B. übermäßige Kniebelastungen), Fehlstellungen (z. B. X- oder O-Beine), Übergewicht, Stoffwechselerkrankungen (z. B. Diabetes mellitus, Gicht, Hormonstörungen) oder Verletzungen (z. B. Meniskopathien) zurückzuführen, die zur Aufhebung einer adäquaten Druckverteilung im Gelenk führen [29].

Je nach Schweregrad der Arthrose unterscheidet man nach *Kellgren et al.* [34] vier Stadien, die im Röntgenbild nachzuweisen sind:

- |        |  |
|--------|--|
| Grad 0 | Ohne Befund.   |
| Grad I | Der Gelenkspalt kann eventuell verschmälert sein und u. U. zeigen sich erste Osteophyten: Die zunehmende Zerstörung des Gelenkknorpels führt dazu, dass sich die Belastung an den Rändern der Gelenkfläche erhöht. Zur Kompensation bildet der Körper an diesen Stellen kleine Knochenwülste oder „Randzacken“ ( <i>Osteophyten</i> ). |

Grad II	Die Gelenkoberfläche erscheint unregelmäßig, es zeigen sich definitiv Osteophyten, der Gelenkspalt ist etwas verschmälert.
Grad III	Im Röntgenbild zeigen sich deutliche Unregelmäßigkeiten der Gelenkflächen, eine ausgeprägte (multiple) Osteophytenbildung und ein deutlich verschmälertes Gelenkspalt. Die Gelenkpartner können Verformungen aufweisen und es zeigt sich eine geringe <i>subchondrale Sklerosierung</i> , d. h. der Gelenkknochen, auf dem der Knorpel aufliegt, verdichtet und verhärtet sich.
Grad IV	Der Gelenkspalt ist im Röntgenbild ausgeprägt verschmälert oder völlig verschwunden. Die Gelenkpartner weisen deutliche Deformationen auf und die Sklerosierung ist weit fortgeschritten.

Durch die Entwicklung neuer Technologien wie der Magnetresonanztomographie (MRT) oder der Arthroskopie sind heute auch Einteilungen direkt anhand der Knorpelschädigung möglich (Einteilung modifiziert nach *Thomann et al.* [10], *Grifka* [25], *Outerbridge* [35] und *Zacher et al.* [36]):

Grad 0	Ohne Befund.
Grad I	Der Knorpel kann in diesem Stadium leicht aufquellen und dadurch dicker und weicher werden, die Knorpeloberfläche ist aber noch glatt.
Grad II	Es kommt zu einer Auffaserung der Knorpeloberfläche bis hin zu Zerklüftungen.
Grad III	Die Knorpeloberfläche ist stark und unregelmäßig zerklüftet, z. T. mit losgelösten Bereichen. Die Schleimhaut ist massiv entzündet und der Knochen an der Knorpel-Knochen-Grenze durch entzündliches Gewebe ersetzt. Als Folge zeigt sich ein Kniegelenkserguss mit Zersetzungspartikeln.
Grad IV	Das Gelenk ist weitgehend zerstört, der Knorpel stellenweise völlig abgetragen, sodass der Knochen offen liegt („Knorpelglätzen“). Es tritt ein massiver Kniegelenkserguss mit Zersetzungspartikeln auf.

Wie der Faserknorpel des Meniskus besitzt auch der hyaline Gelenkknorpel keine direkte Nährstoffversorgung über Blutgefäße, sondern wird indirekt durch die Synovialflüssigkeit ernährt. Eine Zerstörung des Knorpels ist deshalb durch Selbstheilung nicht umkehrbar. Im Gegenteil führen die punktuelle Aufrauung der Knorpeloberfläche und die Abspaltung von Zersetzungspartikeln zu einer immer weiterführenden Zerstörung der noch intakten Knorpeloberflächen. Die damit verbundenen Schmerzen bewirken beim Patienten eine Vermeidung von Kniebewegungen, sodass die Ernährungslage des Knorpels aufgrund fehlender „Durchsättigung“ mit Gelenkschmiere noch schlechter wird. Ein Teufelskreis entsteht. Im Anfangsstadium der Gonarthrose wird in der Regel versucht, ein Fortschreiten mittels Medikamenten, Krankengymnastik u. ä. zu verhindern. Bei fortgeschrittener Gonarthrose sind dann meist nur noch operative Eingriffe zur Knorpelglättung bis hin zu gelenkersetzenden Operationen (Prothesen, [37]) möglich.

### 2.3 Kniegelenkserkrankungen als Berufskrankheiten

Degenerative Kniegelenkserkrankungen spielen auch im Bereich berufsbezogener Krankheiten eine große Rolle. Dies ist darin begründet, dass einige der bekannten Risikofaktoren gerade auch im beruflichen Bereich weite Verbreitung finden, so etwa langandauernde oder häufige wiederkehrende Zwangshaltungen im Knien oder Hocken. In der aktuellen Berufs-

krankheiten-Verordnung [38] werden unter den Nummern 2102, 2105 und 2112 drei verschiedene Kniegelenkserkrankungen als Berufskrankheiten (BK) geführt<sup>3</sup>:

### **BK 2102**

*„Meniskusschäden nach mehrjährigen andauernden oder häufig wiederkehrenden, die Kniegelenke überdurchschnittlich belastenden Tätigkeiten.“ [1].*

Zu diesem Krankheitsbild zählen chronische Meniskusschäden (*Meniskopathien*), die in ursächlichem Zusammenhang zu überdurchschnittlichen beruflichen Belastungen der Kniegelenke stehen. Insbesondere Dauerzwangshaltungen wie Knien oder Hocken, aber auch eine deutlich verstärkte Bewegungsbeanspruchung, etwa beim Laufen oder Springen, können zu einer erhöhten Belastung der Menisken führen. In der Folge führen Deformationen, Unterernährung und Verlust von Elastizität und Gleitfähigkeit der Menisken dazu, dass diese vorgeschädigt und für Verletzungen anfälliger werden.

Laut Merkblatt finden sich adäquate überdurchschnittliche berufliche Belastungen der Kniegelenke *„z. B. im Bergbau unter Tage, ferner bei Ofenmaurern, Fliesen- oder Parkettlegern, bei Rangierarbeitern, bei Berufssportlern und bei Tätigkeiten unter besonders beengten Raumverhältnissen.“*

### **BK 2105**

*„Chronische Erkrankungen der Schleimbeutel durch ständigen Druck.“ [2].*

Fortgesetzte und langanhaltende berufliche Druckbelastungen im Bereich der Knie-, Ellbogen- und Schultergelenke können zu chronischen Erkrankungen der Schleimbeutel führen. Im entsprechenden Merkblatt werden als Risikoberufe Bergleute, Bodenleger und -abzieher, Fliesenleger, Straßenbauer, Steinsetzer, Reinigungspersonal, Glas- und Steinschleifer sowie Lastenträger genannt.

### **BK 2112**

*„Gonarthrose durch eine Tätigkeit im Knien oder vergleichbare Kniebelastung mit einer kumulativen Einwirkungsdauer während des Arbeitslebens von mindestens 13.000 Stunden und einer Mindesteinwirkungsdauer von insgesamt einer Stunde pro Schicht.“ [3]*

Seit dem 1. Juli 2009 kann die Gonarthrose als Berufskrankheit anerkannt werden, wenn die medizinischen und arbeitstechnischen Voraussetzungen erfüllt sind. In der wissenschaftlichen Begründung zur BK 2112 [40] wird als Ursache *„eine erhöhte Druckkraft während einer beruflichen Tätigkeit im Knien oder einer vergleichbaren Kniebelastung auf den Gelenkknorpel im Retropatellar- und Tibiofemoralgelenk angenommen.“*

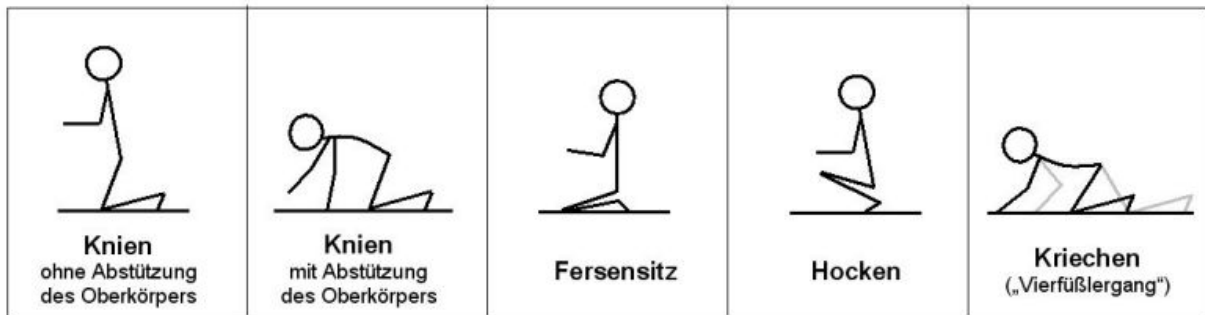
Für die Diagnose einer Gonarthrose im Sinne der BK 2112 müssen drei medizinische Voraussetzungen erfüllt sein: Der Patient muss chronische Kniegelenksbeschwerden aufweisen, bei der orthopädischen Untersuchung müssen Funktionsstörungen in Form einer eingeschränkten Streckung oder Beugung im Kniegelenk vorliegen und die röntgenologische Diagnose der Gonarthrose muss mindestens Grad II bis Grad IV der Klassifikation nach *Kellgren et al.* [34] entsprechen (s. o.).

Unter den beruflichen Tätigkeiten im Knien oder vergleichbaren Kniebelastungen sind fünf verschiedene Körperhaltungen zu verstehen: Knien mit und ohne Abstützung des Oberkörpers, Knien im Fersensitz, Hocken und Kriechen (Abbildung 4).

---

<sup>3</sup> Bezüglich ihres Entstehungsorts kann die Schädigung des *N. peroneus* durch Kompression am Wadenbeinköpfchen im weitesten Sinne auch als Kniegelenkserkrankung angesehen werden (BK 2106, „Druckschädigung der Nerven“, [39]). Da die damit verbundenen Auswirkungen aber die Unterschenkelmuskulatur und nicht das Kniegelenk selbst betreffen, soll dies hier vernachlässigt werden.

Abbildung 4:  
„Kniebelastende Tätigkeiten“ gemäß BK 2112 „Gonarthrose“



In der wissenschaftlichen Begründung werden 17 „Risikoberufe“ genannt, in denen solche Tätigkeiten verstärkt auftreten könnten: Fliesen-, Boden-, Teppich-, Parkett-, Natur-/Kunststein- und Estrichleger, Pflasterer, Dachdecker, Installateure, Maler, Betonbauer, Bergleute (im untertägigen Bergbau bei Tätigkeiten, die Arbeiten im Knien, Hocken, im Kriechen oder im Fersensitz erzwingen), Schweißer, Schiffbauer, Werftschlosser, Gärtner und Rangierer.

Die arbeitstechnischen Voraussetzungen gelten als erfüllt, wenn bestimmte Mindestexpositionen pro Arbeitsschicht und im gesamten Arbeitsleben erreicht wurden. So muss die kumulative Einwirkungsdauer während des Arbeitslebens durch eine Tätigkeit im Knien oder in vergleichbarer Kniebelastung mindestens 13.000 Stunden und die Mindesteinwirkungsdauer pro Schicht insgesamt eine Stunde betragen (Zur kritischen Auseinandersetzung mit einer „BK Gonarthrose“ allgemein und der wissenschaftlichen Begründung im Speziellen siehe *Gonschorek & Bühren* [41], *Greinemann* [42], *Hackenbroch* [43], *Hartmann et al.* [44; 45], *Kentner* [46], *Weber* [9; 47]).



### 3 Berufliche Kniebelastungen

Im Projekt *GonKatast* wurden berufliche Kniebelastungen gemäß der Definition in der wissenschaftlichen Begründung zur BK 2112 „*Gonarthrose ...*“ [40] untersucht. Die Begründung nennt als Gefahrenquellen für die Ausbildung einer Gonarthrose „*Tätigkeiten im Knien oder vergleichbare Kniebelastungen*“ und präzisiert diese Kniebelastungen durch die Angabe von fünf Körperhaltungen: Knien *mit* abgestütztem Oberkörper, Knien ohne abgestützten Oberkörper, Knien im Fersensitz, Hocken und Kriechen. Die einzelnen Haltungen werden im Folgenden kurz erläutert.

#### 3.1 Knien ohne Abstützung des Oberkörpers

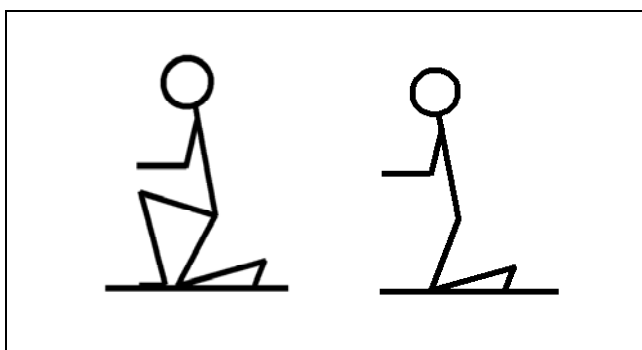


Abbildung 5:  
Piktogramme  
„Knien ohne Oberkörperabstützung“  
(ein- und beidbeinig)

Eine Grundvoraussetzung für die Haltung „Knien“ ist ein Kontakt zwischen einem oder beiden Knien und dem Untergrund. Ist der Oberkörper in dieser Haltung soweit aufrecht, dass ein Abstützen mit den Händen an Boden oder Wand nicht notwendig ist, bezeichnet man dies als „Knien ohne abgestützten Oberkörper“. In der Literatur ist diese Körperhaltung auch unter der Bezeichnung „Kniestand“ bzw. „Einbein-Kniestand“ zu finden.

Das entsprechende Piktogramm in der wissenschaftlichen Begründung zeigt lediglich ein beidbeiniges Knien, bei der Beschreibung der Gefahrenquellen wird allerdings klar gestellt, dass es sich um ein- oder beidbeiniges Knien handeln kann (Abbildung 5). Aus diesem Grund werden unter der Kategorie „Knien ohne Abstützung des Oberkörpers“ sowohl beidbeinige als auch einbeinige Tätigkeiten zusammengefasst. Die wissenschaftliche Begründung definiert für das im Sinne der BK 2112 relevante Knien ferner einen Winkel von etwa 90° zwischen Ober- und Unterschenkel sowie eine Abstützung des Körpers durch das Knie und die Vorderseite des Unterschenkels. In der Praxis sind beide Kriterien eher selten erfüllt: Der Kniewinkel (siehe Abschnitt 4.4) ist bei den verschiedenen Arbeitsaufgaben unterschiedlich und liegt beim Knien in der Regel über 90° (Abbildung 6 und Abbildung 7). Ein Kontakt der Unterschenkel-Vorderseite mit dem Boden ist aufgrund relativ unflexibler Sicherheitsschuhe, die ein Abknicken im Fußgelenk erschweren, auf der Baustelle eher selten zu beobachten (Abbildung 7 und Abbildung 8).

Bei dieser Art des Knien tritt in der Regel kein oder nur ein geringer sog. „Weichteilkontakt“ („*thigh-and-calf-contact*“, [48; 49]) zwischen Oberschenkel-Rückseite und Wade auf. Dieser ist ein wichtiges Kriterium bei der Abschätzung der im Kniegelenk auftretenden Kräfte in verschiedenen Haltungen: Biomechanische Modellrechnungen zeigten bei knienden oder hockenden Haltungen mit ausgeprägtem Weichteilkontakt deutlich geringere Gelenkkräfte als bei knienden Haltungen ohne Weichteilkontakt (siehe *Glitsch et al.* [50]).

Im Knien ohne Abstützung wird in der Regel immer dann gearbeitet, wenn die Arbeitshöhe über längere Zeit unter Hüftniveau liegt, sodass Arbeiten in Rumpfbeuge oder im Hocken als zu anstrengend angesehen werden, sich der eigentliche Arbeitsort aber vor dem Körper, z. B. an einer Wand, befindet – seltener am Boden. Sind die räumlichen Gegebenheiten eher beengt oder wechselt die Arbeitshöhe häufiger, wird eher einbeinig gekniet (Abbildung 9). Ob dies auf dem rechten oder linken Knie geschieht, hängt von verschiedenen Faktoren wie individuellen Vorlieben, räumlichen Gegebenheiten, einseitigen Kniebeschwerden oder der Händigkeit ab: In der Regel knien Rechtshänder häufiger auf dem rechten Knie, da auf diese Weise mehr Bewegungsraum für den rechten Arm zur Verfügung steht, während das hochgestellte rechte Knie beim einbeinigen Knien links diesen Bewegungsraum einschränkt und beim Arbeiten stört.

Unter den im Rahmen dieser Untersuchung berücksichtigten Tätigkeiten ist das Knien ohne Abstützung als eine häufig auftretende Körperhaltung einzustufen.

Abbildung 6:  
Beidbeiniges Knien ohne Abstützung,  
Kniewinkel ca. 130° (Dachdecker)



Abbildung 7:  
Beidbeiniges Knien ohne Abstützung,  
Kniewinkel ca. 100° (Dachdecker)



Abbildung 8:  
Beidbeiniges Knien ohne Abstützung,  
Kniewinkel ca. 90° (Fliesenleger)



Abbildung 9:  
Einbeiniges Knien ohne Abstützung  
(Dachdecker)





### 3.2 Knien mit Abstützung des Oberkörpers

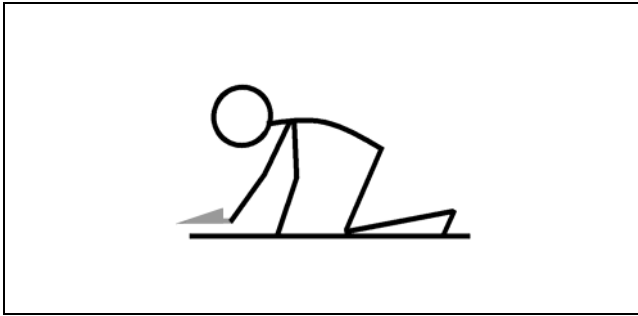


Abbildung 10:  
Piktogramm  
„Knien mit Abstützung des Oberkörpers“

Beim Arbeiten am Boden oder an niedrig liegenden Stellen, die nur schwer zugänglich sind, wird der Oberkörper beim Knien mehr oder weniger stark nach vorne geneigt und muss dann mit den Händen abgestützt werden, um ein Umkippen zu verhindern (Abbildung 10).

Da eine Hand in der Regel zum Arbeiten frei sein muss, erfolgt die Abstützung meist mit einer Hand (Abbildungen 10, 11 und 12) können aber auch beide Hände eingesetzt werden, z. B. beim Anpressen von Fliesen ins Dünnbett. Je nach Vorneigung des Oberkörpers fällt die Abstützung stark aus, und je nachdem, wie weit der Arbeitsbereich vom Körper entfernt liegt, sind die Knie mehr oder weniger stark zu beugen, sodass bei dieser Form des Knien die Kniewinkelwerte eine große Bandbreite aufweisen. Winkelwerte von ca. 90° können beobachtet werden, aber auch höhere Kniewinkelwerte sind möglich, sodass teilweise ein Weichteilkontakt zwischen Oberschenkel-Rückseite und Wade auftreten kann (Abbildung 11).

Das Knien mit abgestütztem Oberkörper erfolgt üblicherweise beidbeinig, in selteneren Fällen auch einbeinig, z. B. an schwer zugänglichen Stellen (Abbildung 13 und Abbildung 14). Der Oberkörper kann in solchen Fällen statt am Boden auch an der Wand abgestützt werden.

Unter den im Rahmen dieser Untersuchung berücksichtigten Tätigkeiten ist das Knien mit Abstützung als häufig auftretende Körperhaltung bei allen Bodenarbeiten (Ausnahme: Pflasterarbeiten) einzustufen.

Abbildung 11:  
Beidbeiniges Knien mit Abstützung  
(Estrichleger)



Abbildung 12:  
Beidbeiniges Knien mit Abstützung  
(Fliesenleger)



Abbildung 13:  
Einbeiniges Knien mit Abstützung  
(Bodenleger)



Abbildung 14:  
Einbeiniges Knien mit Abstützung an der Wand  
(Betonbauer)



Als Sonderfall des Knien kann das Knien auf einer schiefen Ebene, z. B. einer Dachschräge angesehen werden. Hierbei steht der Proband mit einem (gestreckten) Bein etwa auf einer Dachlatte, während er sich mit dem Knie des anderen Beines auf der Dachschräge abstützt. Diese Körperhaltung wird in der Literatur auch als „*knee supporting position*“ [18] beschrieben.

Hier ist festzulegen, ob die Haltung als kniebelastend im Sinne der BK 2112 zu definieren ist, oder ob es sich um Stehen mit z. T. gebeugten Beinen handelt. Die Entscheidung hierüber ist in erster Linie abhängig von der Dachneigung: Bei relativ steilen Dächern (ca.  $> 40^\circ$ ) ist mehr von einem „abgestütztes Stehen“ auszugehen (Abbildung 15), bei weniger steilen Dächern (ca.  $< 40^\circ$ ) liegt dagegen der Körperschwerpunkt über dem gebeugten Knie, sodass die Haltung hier als einbeiniges Knien mit oder ohne Abstützung des Oberkörpers definiert wurde (Abbildung 16).

Abbildung 15:  
Sonderfall „Abgestütztes Stehen“  
(Dachdecker)



Abbildung 16:  
Sonderfall: Abgestütztes Knien  
auf der Dachschräge (Dachdecker)



### 3.3 Knien im Fersensitz

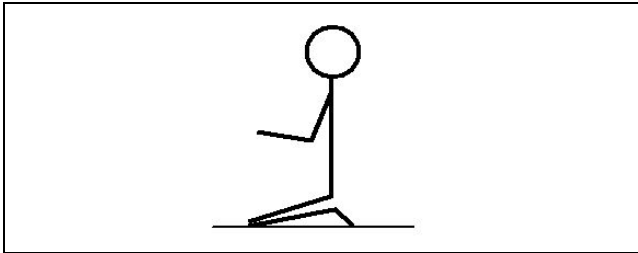


Abbildung 17:  
Piktogramm „Knien im Fersensitz“

Eine besondere Form des Kniens stellt der „Fersensitz“ dar. Im Zen-Buddhismus gilt dies als die traditionelle japanische Sitzhaltung, bei der man kniend auf den Fersen sitzt, den Rücken gerade aufgerichtet. Dabei zeigen die Fußsohlen nach oben, die Fußoberseite berührt den Boden (jap. *Seiza*, „richtig sitzen“). Bei einer anderen Variante, dem *Kiza* (dt.: „kniend sitzen“, stehen die Füße dagegen aufrecht, d.h. die Fußsohlen sind senkrecht und zeigen nach hinten, die Fußspitzen berühren den Boden.

In der Arbeitswissenschaft können beide Haltungen dem „Fersensitz“ zugeordnet werden. Während das Piktogramm der wissenschaftlichen Begründung die „Seiza-Haltung“ mit den nach oben zeigenden Fußsohlen darstellt (Abbildung 17), ist in der Praxis aufgrund von relativ unflexiblen Sicherheitsschuhen eher die „Kiza-Haltung“ mit den aufgestellten Füßen zu beobachten (Abbildung 18 und Abbildung 19). Der Fersensitz wird immer beidbeinig ausgeführt.

Abbildung 18:  
Knien im Fersensitz (Installateur)



Abbildung 19:  
Knien im Fersensitz (Fliesenleger)



In dieser Haltung wird der maximal mögliche Kniewinkel erreicht, sodass die Oberschenkel-Rückseiten auf den Waden aufliegen (Weichteilkontakt).

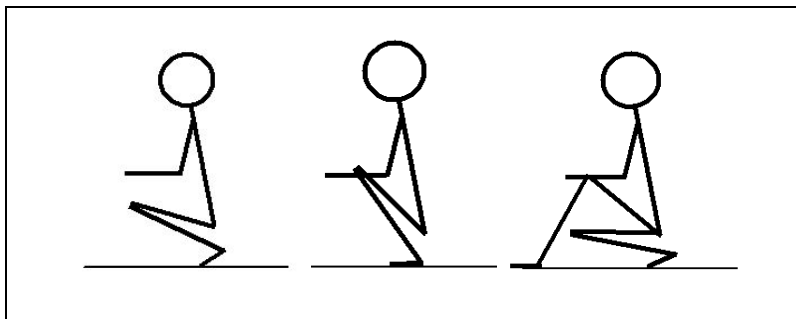
In den hier dargestellten Untersuchungen konnte der Fersensitz als relativ häufig auftretende Form des Kniens beobachtet werden, v.a. bei Arbeiten an Wänden (z. B. Fliesen legen) oder Installationen. Oftmals wird der Fersensitz auch als „Ruheposition“ nach längeren Phasen des vornüber gebeugten Arbeitens am Boden eingenommen, um den Rücken zeitweilig zu entlasten.

### 3.4 Hocken

Eine weitere kniebelastende Haltung im Sinne der BK 2112 stellt das Hocken dar. Im Unterschied zu den bisher beschriebenen Haltungen des Kniens berührt beim Hocken kein Knie

den Untergrund. Dementsprechend erfolgt das Hocken immer beidbeinig, kann aber symmetrisch oder unsymmetrisch ausgeführt werden (Abbildung 20).

Abbildung 20:  
Piktogramme „Hocken“



Beim symmetrischen Hocken sind beide Beine mehr oder weniger parallel, die Füße stehen eng nebeneinander, die Hüfte ist stark gebeugt, beide Knie sind gleich stark gebeugt, und zwar so, dass die Oberschenkel-Rückseiten auf den Waden aufliegen (Weichteilkontakt). Die Kniewinkel nehmen hier wie beim Fersensitz Maximalwerte an. Je nach Ausprägung setzt nur der Vorderfuß auf dem Boden auf und die Knie zeigen nach vorne („heels-up squatting“, [49], Abbildung 21) oder die Fußsohlen haben mehr oder weniger vollen Bodenkontakt und die Knie zeigen nach oben („tiefe Hocke“, „heels-down squatting“, Abbildung 22). Der Oberkörper wird jeweils soweit nach vorne gebeugt, dass der Schwerpunkt des Körpers senkrecht über den Fußgelenken liegt, um ein Umfallen aus dieser instabilen Haltung zu vermeiden.

Abbildung 21:  
Symmetrisches Hocken (Installateur)



Abbildung 22:  
Symmetrisches Hocken (Estrichleger)



Das unsymmetrische Hocken stellt demgegenüber eine weitaus stabilere Haltung dar (Abbildung 23 und Abbildung 24). Hier stehen die Füße weiter auseinander, sodass der Körper besser abgestützt wird. Die Knie sind unterschiedlich stark gebeugt: In der Regel ist ein Knie maximal gebeugt, während das andere einen Kniewinkel um  $110^\circ$  aufweist.

Abbildung 23:  
Unsymmetrisches Hocken (Pflasterer)



Abbildung 24:  
Unsymmetrisches Hocken (Maler)



Das Arbeiten in der Hocke findet sich aufgrund der relativ hohen Instabilität dieser Haltung meist nur bei kurzen Arbeitsgängen, z. B. beim Aufheben von Gegenständen. Ist eine Fortbewegung am Boden notwendig, z. B. beim Abkleben von Sockelleisten (Abbildung 24), bei der in kurzen Abständen immer wieder eine Tätigkeit zu verrichten ist, wird bevorzugt in der Hocke gearbeitet. Auch bei ungünstigen räumlichen Gegebenheiten wie Arbeiten auf stark unebenem Untergrund, bei denen kein Knien möglich ist (Abbildung 25) oder auf Treppenstufen (Abbildung 26), wird eher in der Hocke gearbeitet.

Abbildung 25:  
Symmetrisches Hocken auf unebenem Untergrund (Betonbauer)



Abbildung 26:  
Unsymmetrisches Hocken auf Treppenstufen (Natur- und Kunststeinleger)



Hocken konnte bei den hier untersuchten Tätigkeiten häufig beobachtet werden, allerdings spielen die kumulierten Zeitanteile gegenüber den knienden Haltungen eine untergeordnete Rolle. Als Ausnahme seien die Pflasterer genannt, die beim Verlegen von Kleinpflaster fast ausschließlich im Hocken arbeiten (Abbildung 23).

Als Sonderfall des Hockens kann die „hohe Hocke“ angesehen werden, bei der die Knie um ca. 70° bis 85° gebeugt werden, sodass kein Weichteilkontakt zustande kommt (Abbildung 27). Diese Haltung wird aufgrund der dabei auftretenden hohen Gelenkkräfte im Knie nur kurzzeitig eingenommen [50]. Sie ist aber zwangsläufig immer dann zu beobachten, wenn der Proband sich hinkniet/hinhockt oder aus einer knienden/hockenden Haltung wieder aufsteht. Die hohe Hocke wurde in dieser Studie je nach Ausführung dem „Stehen mit gebeugten Beinen“ oder dem „Hocken“ zugeordnet.

Einen weiteren Sonderfall stellt das „Hocken“ auf einem Schemel dar, wie es unter Pflasterern beim Verlegen von Kleinpflaster teilweise zu beobachten war (Abbildung 28). Da durch

diese zusätzliche Unterstützung die Belastung der Kniegelenke reduziert wird, ist dieser Sonderfall in der Studie als „Sitzen“ und nicht als „Hocken“ definiert worden.

Abbildung 27:  
Sonderfall: Hohe Hocke (Betonbauer)



Abbildung 28:  
Sonderfall: Hocken auf Schemel (Pflasterer)



### 3.5 Kriechen

Die am seltensten beobachtete Kniebelastung gemäß BK 2112 stellt das Kriechen auf Händen und Knien dar, der sog. Vierfüßlergang (Abbildung 29).

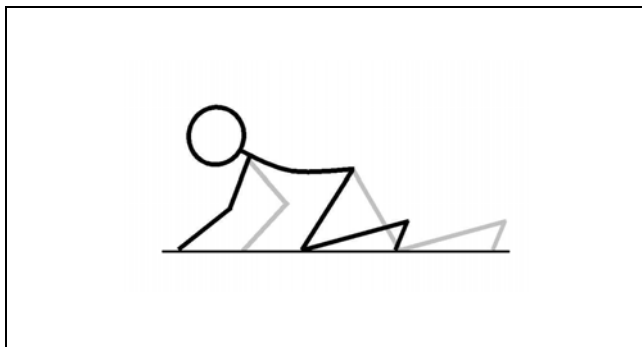


Abbildung 29:  
Piktogramm „Kriechen“

Es handelt sich beim Kriechen um eine Fortbewegung aus dem abgestützten Knien heraus, die vorwärts oder rückwärts erfolgen kann. Als Beispiel für den ersten Fall seien das Heften von Lkw-Planen beim Fahrzeugsattler (Abbildung 30), das Kriechen in Kabelschächten von Großschiffen (Werftarbeiter) oder Frachträumen von Flugzeugen (Flugzeugabfertiger) genannt, für den zweiten Fall das Zerschneiden von Teppichboden-Altbelag mit einem Messer beim Bodenleger (Abbildung 31) oder das Verlegen von Dämmung beim Estrichleger.

Da die Übergänge zwischen abgestütztem Knien und Kriechen meist fließend sind, wurde in dieser Untersuchung das Kriechen erst ab einer Folge von mindestens fünf Kriechbewegungen („Schritten“) als solches identifiziert.

Bei der Erfassung der hier vorgestellten Körperhaltungen ist zu beachten, dass bei beruflichen Tätigkeiten ein permanenter Wechsel zwischen den verschiedenen „kniebelastenden“ Haltungen stattfindet und viele Übergangsformen möglich sind. Selten wird eine Körperhaltung über längere Zeiträume ausschließlich eingenommen.

Abbildung 30:  
Vorwärtskriechen (Fahrzeugsattler)



Abbildung 31:  
Rückwärtskriechen (Bodenleger)







## 4 Methodik

Zur Untersuchung der kniebelastenden Tätigkeiten im Sinne der BK 2112 wurde 2006 ein Gemeinschaftsprojekt verschiedener Unfallversicherungsträger (UVT) unter Federführung des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) ins Leben gerufen: Das Projekt *GonKatast*. An der Planung und Durchführung des Projekts waren beteiligt: BG BAU – Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, Holz-Berufsgenossenschaft (HBG), Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI), Berufsgenossenschaft Metall Nord Süd (BGM), Maschinenbau- und Metall-Berufsgenossenschaft (MMBG), Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM) und die Berufsgenossenschaft für Transport und Verkehrswirtschaft (BG Verkehr).

Die Details der Datenerhebung, Studienorganisation und Datenauswertung wurden innerhalb eines Projektbegleitkreises aus Mitgliedern der beteiligten Berufsgenossenschaften und des IFA diskutiert und festgelegt. Die Organisation der Datenerhebung im Einzelfall oblag den zuständigen Berufsgenossenschaften, die Zusammenführung und Auswertung der Daten erfolgte im IFA.

Im Folgenden sollen die einzelnen Schritte der Projektdurchführung und die eingesetzte Messtechnik kurz dargestellt werden.

### 4.1 Auswahl der zu untersuchenden Berufe

Als Grundlage für die Festlegung der zu untersuchenden Berufe diente zu Projektbeginn an erster Stelle die wissenschaftliche Begründung zur „BK Gonarthrose“ [40]. Sie nennt explizit 17 Berufe, bei denen „Tätigkeiten im Knien, Hocken, im Fersensitz oder im Kriechen“ vorkommen. Des Weiteren wurden Hinweise aus berufsgenossenschaftlicher Erfahrung, in welchen Berufen Kniebelastungen in relevantem Ausmaß vorkommen können, aufgegriffen (z. B. *Hartmann & Seidel* [51], *Backhaus* [52]). Schließlich flossen Erkenntnisse aus der Deutschen Wirbelsäulenstudie [53; 54], in deren Rahmen auch kniende und hockende Haltungen erfasst wurden, in die Entscheidungsfindung ein.

In Tabelle 1 sind die in Betracht gezogenen Risikoberufe dargestellt, jeweils mit Nennung der Literaturquelle und Hinweis auf Aufnahme in die Studie.

Von den 17 in der wissenschaftlichen Begründung genannten Berufen konnten 14 in die Studie aufgenommen werden, wobei die Berufe teilweise zusammengefasst wurden. Als Beispiel seien Bodenleger und Teppichleger genannt, die in der Praxis sehr ähnliche Tätigkeiten ausführen und heute v. a. im Raumausstatter-Handwerk zu finden sind, weshalb beide als „Bodenleger/Raumausstatter“ in die Untersuchung aufgenommen wurden. Schiffbauer und Werftschlosser konnten auf den hier untersuchten Werften nicht streng getrennt werden, weshalb sie zusammen als „Werftarbeiter“ bezeichnet wurden.

Drei der in der wissenschaftlichen Begründung genannten Berufe sind aus unterschiedlichen Gründen im Rahmen dieses Projekts nicht untersucht worden: Bergleute im untertägigen Bergbau, Gärtner und Rangierer.

Eine Untersuchung von Bergleuten unter Tage war mit der in der Studie eingesetzten Messtechnik aus Sicherheitsgründen nicht möglich, sodass zu diesem Beruf keine Aussagen gemacht werden können. Es ist auch fraglich, inwieweit die in der Literatur genannten kniebelastenden Tätigkeiten im untertägigen Bergbau heute noch existieren. Im Projektbegleitkreis konnten auch auf Nachfrage bei der zuständigen Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG) für den Rangierer keine Tätigkeiten mit relevanten Kniebelastungen im Sinne dieser Studie

in Erfahrung gebracht werden. Da auch *Pressel* [55] in seiner Untersuchung kein erhöhtes Gonarthrose-Risiko bei Rangierarbeitern feststellen konnte, wurde in der Studie auf die Untersuchung dieser Berufsgruppe verzichtet. Das Berufsbild des Gärtners konnte aus organisatorischen Gründen vorerst nicht in die Untersuchung einbezogen werden.

Tabelle 1:  
BK 2112: „Risikoberufe“ und ihre Aufnahme im Projekt GonKatast

Nr.	Beruf	In wissenschaftlicher Begründung	Im Projekt <i>GonKatast</i> untersucht als ...
1	Fliesenleger	+	Fliesenleger
2	Bodenleger	+	Bodenleger/Raumausstatter
3	Teppichleger	+	
4	Parkettleger	+	Parkettleger
5	Natur-/Kunststeinleger	+	Natur-/Kunststeinleger
6	Estrichleger	+	Estrichleger
7	Pflasterer	+	Pflasterer
8	Dachdecker	+	Dachdecker
9	Installateure	+	Installateur
10	Maler	+	Maler/Lackierer
11	Betonbauer	+	Betonbauer
12	Bergleute (unter Tage)	+	---
13	Schweißer	+	Schweißer (Behälterbau)
14	Schiffbauer	+	Werftarbeiter
15	Werftschlosser	+	
16	Gärtner	+	---
17	Rangierer	+	---
18	Planensattler	-	Fahrzeugsattler
19	Flugzeugabfertiger	-	Flugzeugabfertiger
20	Straßenbauer	-	Rohrleitungsbauer
21	Formenbauer	-	Formenbauer

Aufgrund berufsgenossenschaftlicher Erfahrung wurden die Berufe Fahrzeugsattler (Planensattler), Flugzeugabfertiger, Rohrleitungsbauer und Formenbauer zusätzlich in die Studie einbezogen.

Da die 16 zu untersuchenden Berufe unterschiedlichen Unfallversicherungsträgern zuzuordnen waren, wurde eine Arbeitsteilung bei der Organisation und Durchführung der Datenerhebungen vereinbart (Tabelle 2).

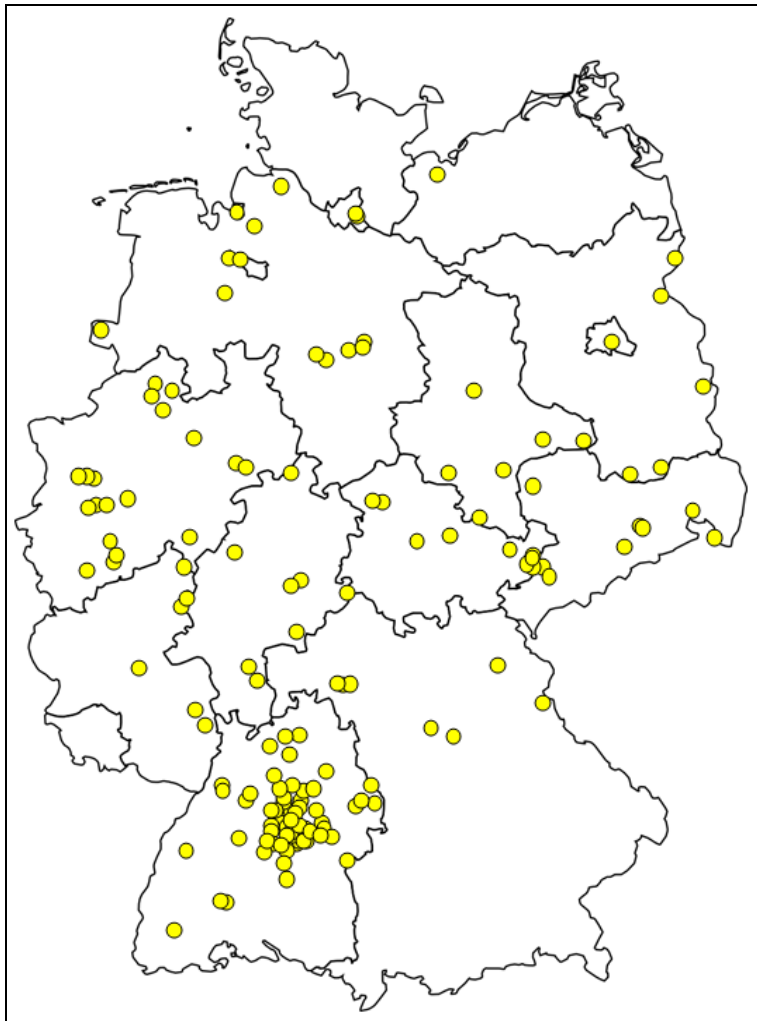
Tabelle 2:  
Untersuchung der verschiedenen Berufe durch die Projektpartner

Beruf	BG BAU	HBG	BG RCI	BGM	MMBG	BG ETEM	BG Verkehr
Betonbauer	x						
Bodenleger/Raumausstatter	x		x	x	x		
Dachdecker	x						
Estrichleger	x						
Fahrzeugsattler			x				
Fliesenleger	x						
Flugzeugabfertiger							x
Formenbauer				x			
Installateur	x					x	
Maler/Lackierer	x						
Natur- und Kunststeinleger	x						
Parkettleger		x					
Pflasterer	x						
Rohrleitungsbauer	x						
Schweißer (im Behälterbau)				x			
Werftarbeiter				x			

## 4.2 Rekrutierung der Betriebe und Probanden

Die Ansprache der relevanten Betriebe erfolgte durch Mitarbeiter der Präventionsdienste in den jeweils zuständigen Berufsgenossenschaften, die in einem Vorgespräch und mittels einer Broschüre über die Studie informierten. Als Probanden konnten Mitarbeiter der teilnahmebereiten Betriebe gewonnen werden, die sich freiwillig als Testpersonen zur Verfügung stellten. Alle Probanden erklärten schriftlich ihr Einverständnis zur Nutzung der Mess-, Foto- und Videodaten in anonymisierter Form im Rahmen wissenschaftlicher Auswertungen, Publikationen und Veranstaltungen durch die Projektpartner. Um ein möglichst repräsentatives Messergebnis unter Berücksichtigung eventueller regionaler Besonderheiten zu erhalten, wurde versucht, Probanden aus dem gesamten Bundesgebiet zu rekrutieren. Die Herkunft der Probanden ist Abbildung 32 zu entnehmen.

Abbildung 32:  
Wohnorte der Probanden in Deutschland  
(N = 197)



Insgesamt stellten sich 197 Probanden aus 110 Betrieben für die Körperhaltungsmessungen zur Verfügung. Alle Probanden waren männlich, was darauf hinweist, dass in den überwiegend handwerklichen Berufen, die in dieser Studie untersucht wurden, Frauen eher die Ausnahme darstellen. Das durchschnittliche Alter der Probanden lag bei 35,6 ( $\pm 11,5$ ) Jahren, sodass ein typischer Ausschnitt aus der Erwerbsbevölkerung innerhalb der untersuchten Berufe gewährleistet ist. Die durchschnittliche Anzahl von 14,8 ( $\pm 11,3$ ) Jahren Beschäftigung im aktuellen Beruf stellt sicher, dass die in der Studie untersuchten Tätigkeiten in typischer Art und Weise durchgeführt wurden. Angaben zur Altersstruktur, den Berufsjahren und dem Body-Mass-Index (BMI) der Probanden sind in Abbildung 33, 34 und 35 dargestellt.

Abbildung 33:  
 Altersverteilung der Probanden  
 N = 197,  $\bar{x}$  = 35,6 Jahre ( $\pm$  11,5 Jahre); Min/Max: 16/72

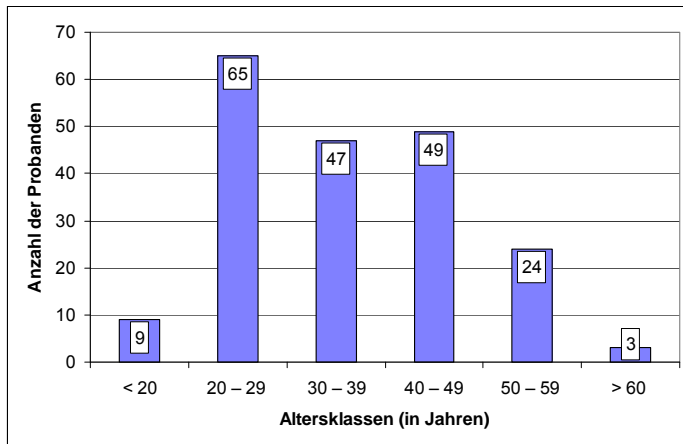


Abbildung 34:  
 Berufsjahre der Probanden im aktuellen Beruf  
 N = 197,  $\bar{x}$  = 14,8 Jahre ( $\pm$  11,3 Jahre); Min/Max: 0,2/58,0

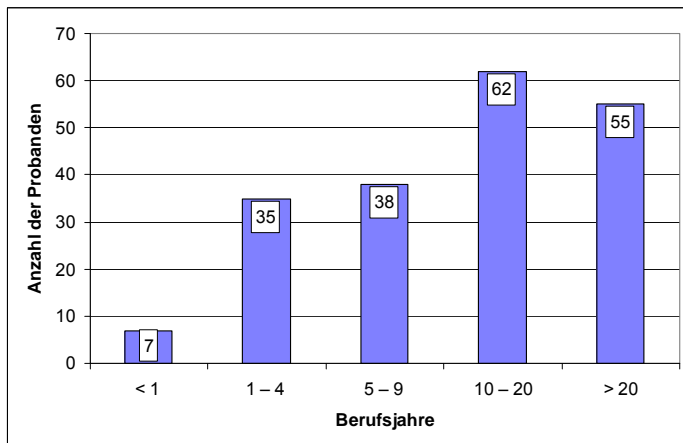
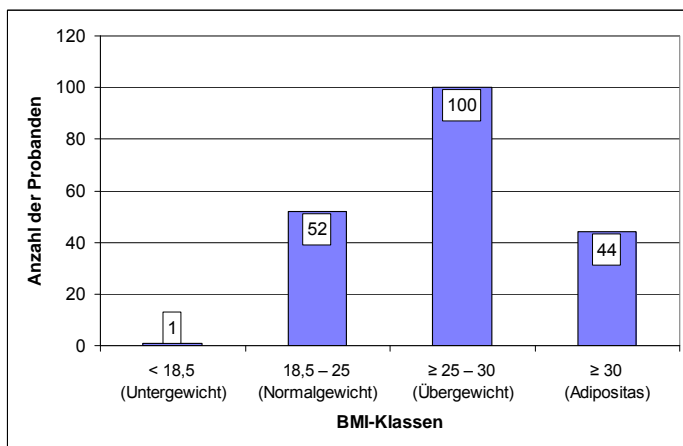


Abbildung 35:  
 Einteilung der Probanden nach dem Body-Mass-Index (BMI), in kg/m<sup>2</sup>  
 (gemäß WHO [56]); N = 197,  $\bar{x}$  = 27,5 ( $\pm$  4,0); Min/Max: 18,3/41,3



### 4.3 Untersuchung von Tätigkeitsmodulen

Um der Heterogenität und Komplexität der untersuchten Berufe gerecht zu werden, wurden die Arbeitsinhalte in Tätigkeitsmodule unterteilt. Darunter sind typische Aktivitäten zu verstehen, die während einer vollständigen Arbeitsschicht durchgeführt werden – inklusive der Nebentätigkeiten wie Vorbereiten, Be- und Entladen von Fahrzeugen oder Aufräumarbeiten – und die sich in relevanter Anzahl während des Berufslebens wiederholen. Als Beispiele seien hier das Verlegen von Bodenfliesen bzw. Wandfliesen beim Fliesenleger oder der Einbau von Fließ- bzw. Zementestrich beim Estrichleger genannt. Die Zusammenstellung der zu untersuchenden Tätigkeitsmodule erfolgte durch arbeitstechnische Experten der am Projekt beteiligten Unfallversicherungsträger (z. B. Arbeitskreis „Belastungen des Muskel-Skelettsystems“ der BG BAU) und in Zusammenarbeit mit den beteiligten Betrieben.

Bei den untersuchten handwerklichen Tätigkeiten ist zu beachten, dass diese typisch für Großbaustellen sind, auf denen die Tätigkeiten in der Regel ganztägig ausgeführt werden. Auf kleineren Baustellen – vor allem im Privatkundenbereich – kann es dagegen vorkommen, dass die Tätigkeiten zu geringeren Zeitanteilen pro Arbeitsschicht durchgeführt werden, während in der restlichen Zeit andere Arbeiten stattfinden. In solchen Fällen können aus den Tätigkeitsmodulen auch „Mischmodule“ erstellt werden, bei denen die Dauer der Kniebelastung anteilig aus den einzelnen Tätigkeitsmodulen berechnet wird.

Insgesamt wurden 242 Arbeitsschichten messtechnisch untersucht. Sie waren 60 Tätigkeitsmodulen und 21 Sonderfällen zuzuordnen, sodass je Berufsbild durchschnittlich etwa fünf verschiedene Module und ca. 15 gemessene Arbeitsschichten (Tabelle 3) zu verzeichnen waren. Die Diskrepanz zwischen den 242 gemessenen Arbeitsschichten und den 197 teilnehmenden Probanden ergibt sich dadurch, dass in 26 Arbeitsschichten Probanden mehrfach gemessen wurden und bei insgesamt 19 Arbeitsschichten auf Daten aus früheren Untersuchungen zurückgegriffen werden konnte.

Wie Tabelle 3 weiterhin zeigt, gingen insgesamt ca. 530 Stunden an Messungen als Rohdaten in die Auswertungen zu dieser Studie ein.

Tabelle 3:  
Anzahl der gemessenen Arbeitsschichten, Probanden, Tätigkeitsmodule sowie der entsprechenden Messdauern je Beruf

	Beruf	Arbeits- schichten	Probanden	Mehrfach- teilnahmen	sonstige Daten*	Module	Sonder- fälle	Messdauer gesamt [h]	mittlere Messdauer pro Tag [h]
1	Betonbauer	6	6	-	-	2	-	9,3	1,5
2	Bodenleger/ Raumausstatter	16	13	1	2	3	1	36,5	2,3
3	Dachdecker	36	34	2	-	11	3	71,7	2,0
4	Estrichleger	20	8	-	12	5	2	49,1	2,5
5	Fahrzeugsattler	5	4	1	-	1	-	10,4	2,1
6	Fliesenleger	20	19	1	-	4	4	47,5	2,4
7	Flugzeug- abfertiger	8	6	-	2	2	-	32,3	4,0
8	Formenbauer	4	4	-	-	1	-	4,4	1,1
9	Installateur	40	34	6	-	12	-	84,5	2,1
10	Maler/Lackierer	19	18	1	-	5	2	48,3	2,5
11	Natur- und Kunststeinleger	15	12	-	3	3	2	26,5	1,8
12	Parkettleger	28	14	14	-	3	4	74,8	2,7
13	Pflasterer	7	7	-	-	2	1	11,7	1,7
14	Rohrleitungsbauer	9	9	-	-	3	1	16,1	1,8
15	Schweißer (im Behäl- terbau)	3	3	-	-	1	-	3,0	1,0
16	Werftarbeiter	6	6	-	-	2	1	6,2	1,0
<b>Gesamt</b>		<b>242</b>	<b>197</b>	<b>26</b>	<b>19</b>	<b>60</b>	<b>21</b>	<b>532,3</b>	<b>2,2</b>

\* Messdaten aus früheren Untersuchungen

#### 4.4 Messtechnik

Die Erfassung der kniebelastenden Tätigkeiten erfolgte unmittelbar an den untersuchten Arbeitsplätzen mittels des im IFA entwickelten Messsystems CUELA [57 bis 59]. Es handelt sich um eine mechanisch/elektronische Sensorik zur Erfassung von Körperhaltungen und -bewegungen, die mithilfe eines Gurtsystems auf der Arbeitskleidung des Probanden befestigt und unter Praxisbedingungen eingesetzt werden kann. Im Rahmen der Studie setzten geschulte Messtechniker der beteiligten Unfallversicherungsträger zehn Messsysteme ein.

Das CUELA-System unterliegt einer permanenten Weiterentwicklung und kann je nach Aufgabe und Einsatzgebiet [60 bis 64] modifiziert werden. Abbildung 36 zeigt die in der vorliegenden Studie eingesetzte CUELA-Basisversion, die eine messtechnische Erfassung der Haltungen des Rumpfes und der unteren Extremitäten erlaubt.

Die Bewegungen des Oberkörpers werden mittels Gyroskop-, Inklinometer- und Drehsensoren in drei Dimensionen gemessen, getrennt für die Bereiche der Lendenwirbelsäule (LWS) und der Brustwirbelsäule (BWS). Die Flexions- bzw. Extensionswinkel in der Sagittalebene (Neigung nach vorne bzw. hinten) sowie die Flexion in der Frontalebene (Lateralflexion oder Seitneigung) werden durch Gyroskope und Inklinometer als absolute Raumwinkel erfasst. Die Kombination dieser Sensoren erlaubt eine präzise Erfassung von Winkeländerungen bis zu 300°/s und gewährleistet eine hinreichende Langzeitgenauigkeit über mehrere Stunden. Aus den verschiedenen Messgrößen wie LWS- und BWS-Flexion lassen sich weitere Größen wie die Oberkörperneigung oder die Rückenkrümmung berechnen.

Der Verdrehungswinkel (Torsion) des Oberkörpers wird im Bereich der BWS als Drehwinkel einer Stabwelle gemessen, die in der LWS-Region gegen Verdrehung fixiert ist. Durch Extrapolation des Messwinkels erfolgt eine Abschätzung der Wirbelsäulentorsion.

Die Winkelmessung an Knien und Hüfte erfolgt mittels Potentiometern jeweils als Flexionswinkel in der Sagittalebene, wozu die Sensoren durch Kunststoffschalen an einem Hüftgurt und an den Knien befestigt werden.

Abbildung 36:

Messsystem CUELA (Basisversion; Erläuterungen im Text). BWS = Brustwirbelsäule, LWS = Lendenwirbelsäule; Flex = Flexion; Ext = Extension; Latflex = Lateralflexion

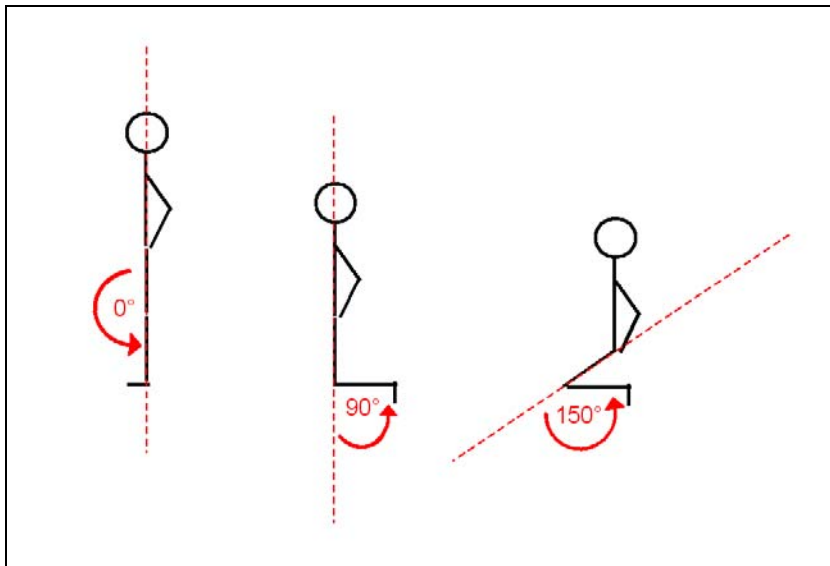




Der Kniewinkel wird als Winkel zwischen der gedachten Verlängerung des Oberschenkels und der Vorderseite des Unterschenkels gemessen (Abbildung 37). Auf diese Weise ist das Stehen mit gestreckten Beinen als „Nullstellung“ definiert. Um Mess-Artefakte auszuschließen, werden Kniewinkel  $< 0^\circ$  und  $\geq 155^\circ$  ausgeschlossen und auf  $0^\circ$  bzw.  $155^\circ$  korrigiert (Maximalflexion, z. B. Zelle et al. [49]).

Die zeitkontinuierlich gemessenen Winkelgrade und Winkelgeschwindigkeiten können mittels der Auswertesoftware getrennt oder in Kombination betrachtet werden („Winkel-Zeit-Graphen“, Abbildung 38). Darüber hinaus simuliert die Software anhand der Messdaten ein Vektormännchen, sodass die Bewegungen und Körperhaltungen des Probanden visuell leicht zu erkennen sind. Eine Videodokumentation parallel zur Messung erlaubt nach entsprechender Synchronisation mit den Messdaten schließlich die direkte Zuordnung von Körperhaltungen und Tätigkeiten.

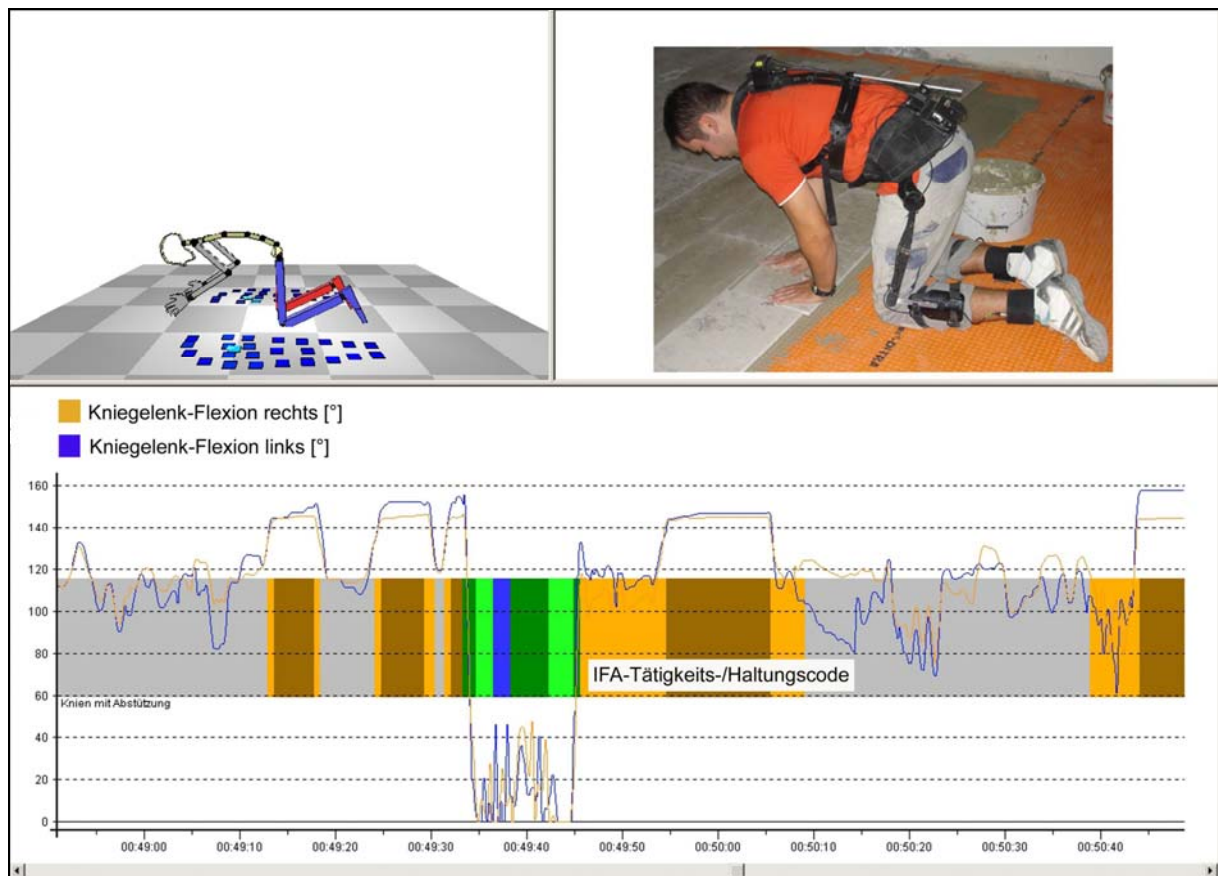
Abbildung 37:  
Messung des Kniewinkels bei verschiedenen Körperhaltungen



Für die vorliegende Studie wurde die Auswertesoftware dahingehend modifiziert, dass die relevanten „kniegefährdenden“ Körperhaltungen (Knien mit und ohne Abstützung des Oberkörpers, Fersensitz, Hocken und Kriechen) automatisch erkannt und quantifiziert werden konnten. Die entsprechenden Haltungen wurden in der Software mit Hilfe des IFA-Tätigkeits-/Haltungscodes dargestellt (Abbildung 38, „Farbbalken“). Der Code umfasst folgende Körperhaltungen und Tätigkeiten: Gehen, Gehen Treppe aufwärts, Gehen Treppe abwärts, Hocken, Klettern aufwärts, Klettern abwärts, Knien beidbeinig, Knien einbeinig links, Knien einbeinig rechts, Knien Fersensitz, Knien mit Abstützung, Kriechen, Liegen, Liegen auf dem Bauch, Liegen auf dem Rücken, Liegen auf der linken Seite, Liegen auf der rechten Seite, Sitzen, Sitzen auf dem Boden, Springen, Stehen, Stehen (beide Beine gebeugt), Stehen einbeinig (Standbein links gerade), Stehen einbeinig (Standbein rechts gerade), undefiniert.

Diese Codierung stellte die Grundlage für alle folgenden Auswertungen zu kniebelastenden Tätigkeiten dar.

Abbildung 38:  
Ausschnitt aus der Auswertesoftware mit Vektormännchen, Video, Winkel-Zeit-Graph und IFA-Tätigkeits-/Haltungscodes



#### 4.5 Aufbereitung der Messdaten

Die Probanden wurden nur in den seltensten Fällen über die gesamte Dauer der Arbeitsschicht messtechnisch untersucht, vielmehr lag die durchschnittliche Messdauer pro Tag bei 2,2 h (Tabelle 3). Um trotzdem Aussagen zur Kniebelastung pro Arbeitstag machen zu können, wurde die gesamte Arbeitsschicht durch Befragung von Probanden, Arbeitgeber oder Kollegen ausführlich dokumentiert, und inklusive An- und Abfahrt, Pausen u.ä. in einem Messstundenplan protokolliert (Abbildung 39). Tätigkeiten, bei denen Arbeiten im Knien, Hocken oder Kriechen notwendig waren, wurden vollständig oder in repräsentativem Ausmaß gemessen. Zur Reproduktion der Kniebelastung pro Schicht ließen sich schließlich diese Messdaten software-technisch kopieren und auf identische Tätigkeitsabschnitte übertragen. Die auf diese Weise gewonnenen Dateien der Einzelmessungen und ihrer Kopien wurden in einem letzten Schritt zu einem Schichtprofil zusammengefügt. Dabei wurde darauf geachtet, dass nur jeweils Daten eines Probanden zusammengefügt wurden, um die realen Gegebenheiten nicht zu verfälschen.

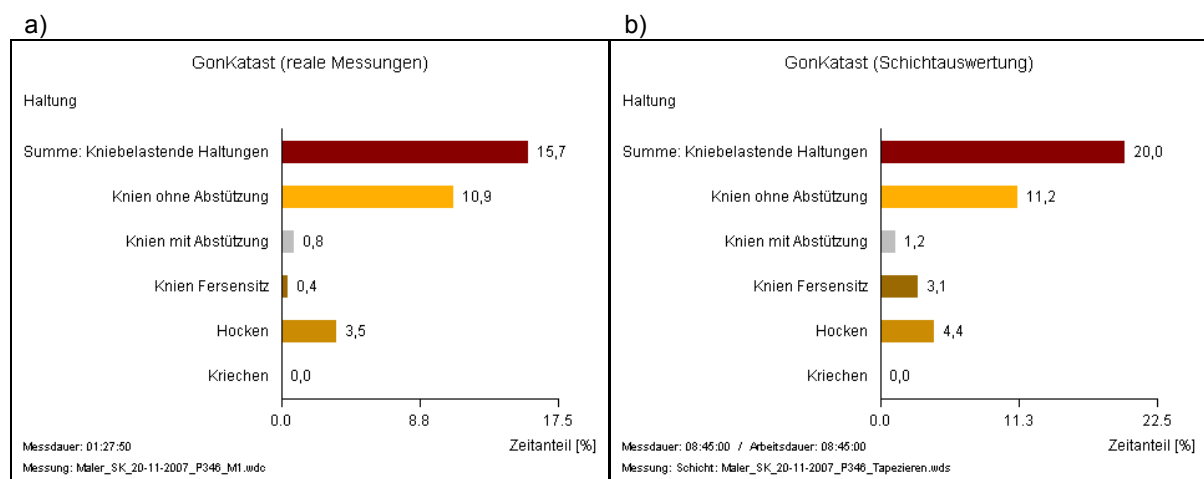
Um die Störung der Arbeitsabläufe durch die Messungen möglichst gering zu halten, wurden die Einrüstzeiten der Probanden, in denen das Messsystem angelegt wurde, später mit Messdaten aus der anschließenden Messung belegt (siehe „Messvorbereitung“ in Abbildung 39).

Abbildung 39: Messstundenplan: Dokumentation einer Arbeitsschicht (Beruf: Maler, Tätigkeitsmodul: Tapezieren) mit nicht erfassten Abschnitten (z. B. Anfahrt, Pause), Originalmessungen (z. B. M1) und kopierten Messdaten (z. B. Kopie M1)

Uhrzeit		Beschreibung der Tätigkeit	Bemerkung	Messung	Datei
von	bis				
06:45	07:00	Anfahrt			---
07:00	07:10	Vorbereiten			Kopie M2b
07:10	09:10	Tapezieren			Kopie M1
09:10	09:25	Pause			---
09:25	09:35	Tapezieren	Messvorbereitung		Kopie M1
<b>09:35</b>	<b>11:05</b>	<b>Tapezieren</b>		<b>X</b>	M1
<b>11:05</b>	<b>11:45</b>	<b>Tapezieren</b>		<b>X</b>	<b>M2a</b>
<b>11:45</b>	<b>12:00</b>	<b>Aufräumen</b>		<b>X</b>	<b>M2b</b>
12:00	12:30	Pause			---
12:30	14:30	Tapezieren			Kopie M1
14:30	16:20	Tapezieren			Kopie M2
16:20	16:30	Aufräumen			Kopie M2b
16:30	16:45	Rückfahrt			---

Als Ergebnis der Auswertung lagen schließlich die prozentualen Zeitanteile für Tätigkeiten im Knien mit und ohne Abstützung des Oberkörpers, im Fersensitz, Hocken und Kriechen sowie für die aus diesen gebildete Gesamt-Kniebelastung vor (Abbildung 40).

Abbildung 40: Beispiel der Ergebnisdarstellung der Messungen zu den kniebelastenden Körperhaltungen in einer Einzelmessung (a) und einer zusammengesetzten Arbeitsschicht (b)



Alle auf diese Weise gebildeten „Schicht-Dateien“ wurden schließlich zusammen mit Foto-dateien und Informationen zur Tagesleistung (z. B. geflieste Fläche pro Tag) in einer Daten-bank des IFA (OMEGA-Datenbank „Muskel-Skelett-Belastungen“ – OMEGA-MSB, [65 bis 67]) abgelegt und für die Auswertungen im Rahmen dieser Studie sowie für zukünftige Re-cherchen zur Verfügung gestellt.

#### **4.6 Erstellung von Katasterdaten**

Um der Heterogenität der Tätigkeiten und individueller Unterschiede in der Arbeitsweise ge-recht zu werden, war es geplant, mindestens drei Arbeitsschichten pro Tätigkeitsmodul zu messen und aus diesen den Mittelwert der Kniebelastung zu berechnen. Diese Bedingung ist für über 80 % der untersuchten Tätigkeitsmodule erfüllt. Bei einigen Ausnahmen ergaben sich geringere Häufigkeiten aufgrund von Unwägbarkeiten an den Baustellen (z. B. kurzfristi-ge Änderung der Tätigkeiten, Ausfall von Maschinen). In anderen Fällen mussten Tätig-keitsmodule aufgrund inhaltlicher Aspekte nachträglich in mehrere Module unterteilt werden, sodass die Probandenzahlen je Modul geringer wurden (Beispiel: Unterteilung des Moduls „Fotovoltaik-Montage“ des Installateurs auf die Module „Steildach“ und „Flachdach“).

##### **Sonderfälle**

Einige der in der Studie untersuchten Tätigkeiten konnten aus oben genannten Gründe nur ein einziges Mal gemessen werden. Andere Tätigkeiten mussten als selten bzw. untypisch für das jeweilige Berufsbild eingestuft werden. Aus diesen beiden Gruppen wurden 21 „Son-derfälle“ gebildet, die den 60 untersuchten Tätigkeitsmodulen hinzugefügt und getrennt dar-gestellt wurden (Tabelle 3). Inwieweit die gemessenen Kniebelastungen als repräsentativ für diese Tätigkeiten gelten können, muss hier offen bleiben.

## 5 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Messungen zu den 16 untersuchten Berufsbildern dargestellt. Für jedes Tätigkeitsmodul und jeden Sonderfall sind die gemessenen Kniebelastungen als prozentuale Zeitanteile pro Arbeitsschicht (Mittelwert und Standardabweichung) angegeben, wobei die Darstellung sich nach den Anforderungen der BK 2112 richtet: Die „Kniebelastung gesamt“ setzt sich zusammen aus den Zeitanteilen der Körperhaltungen Hocken, Fersensitz, Knien mit und ohne Abstützung des Oberkörpers sowie Kriechen. Zum besseren Vergleich ist die „Kniebelastung gesamt“ zusätzlich als absolute Zeit in Minuten (auf 5 min gerundet) bezogen auf eine „Standard-Arbeitsschicht“ von acht Stunden Dauer angegeben.

Alle untersuchten Berufsbilder, Tätigkeitsmodule und Sonderfälle werden zusätzlich jeweils kurz in Wort und Bild inhaltlich beschrieben.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse in tabellarischer Form findet sich im Anhang.

### 5.1 Beton- und Stahlbetonbauer

#### Berufsbild und Tätigkeitsmodule

Die typischen Tätigkeiten des Beton- und Stahlbetonbauers umfassen im Wesentlichen das Einschalen, Armieren und Betonieren beim Neubau und bei der Renovierung von Gebäuden, Brücken, Fundamenten usw. Teilweise werden die einzelnen Tätigkeiten von regelrechten Spezialisten durchgeführt, die – insbesondere auf Großbaustellen – als Einschaler, Armierer oder Betonierer arbeiten, teilweise sind aber auch alle Tätigkeiten von einer Person durchzuführen.

Bei Bewehrungs- und Schalungsarbeiten des Betonbauers können kniebelastende Tätigkeiten in relevantem Ausmaß auftreten, weshalb diese beiden Tätigkeitsmodule näher untersucht wurden.

**Bewehren:** Zur Bewehrung von Bauteilen wie Decken, Unterzügen oder Bodenplatten werden vor dem Einbringen des Betons Stabstähle, Baustahlmatten oder vorgeflochtene Bewehrungskörbe von Hand eingebaut und z. B. mit Draht miteinander verbunden. Neben dem eigentlichen Bewehren finden sich hier auch Arbeiten wie Stahle abmessen, schneiden, biegen und flechten oder die Verwendung vorgefertigter Bewehrungsteile wie Betonstahlmatten (Abbildung 41).

**Schalungsarbeiten:** Diese umfassen das Einschalen von Fundamenten, Wänden, Säulen, Stürzen, Unterzügen, Treppen und Decken mit Schalungsteilen aus Holz, Stahl oder Aluminium. Die Verlegung der Deckenschalung erfolgt z. B. mittels Holzträgern und Schaltafeln. Je nach Schalungszweck und -technik können unterschiedliche Formen der Materialauswahl, des Zuschnitts und des Einbaus zum Einsatz kommen (Abbildung 42).

#### Messergebnisse

Die Ergebnisse der Körperhaltungsmessungen zu beiden Tätigkeitsmodulen sind in Tabelle 4 dargestellt. In beiden Modulen wurden durchschnittliche Kniebelastungszeiten von über einer Stunde am Tag (bezogen auf eine „Standard-Arbeitsschicht“ von acht Stunden Dauer) gemessen. Bei beiden Tätigkeiten überwogen Arbeiten im Hocken und im Knien ohne abgestützten Oberkörper, während Tätigkeiten im Fersensitz oder Kriechen nur selten oder überhaupt nicht beobachtet wurden.

Tabelle 4:  
Durchschnittliche Kniebelastungen des Beton- und Stahlbetonbauers  
(Mittelwert ± Standardabweichung; n = Anzahl der gemessenen Arbeitsschichten)

Tätigkeitsmodul	n	Kniebelastung gesamt * in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knien ohne Abstützung in %	Knien mit Abstützung in %	Kriechen in %
01 Bewehren	3	<b>80 (± 60)</b>	<b>16,7 (± 12,6)</b>	8,3 (± 3,1)	0,5 (± 0,9)	7,4 (± 11,9)	0,5 (± 0,9)	0,0 (± 0,0)
02 Schalungsarbeiten	3	<b>70 (± 55)</b>	<b>14,2 (± 11,4)</b>	5,1 (± 1,1)	0,5 (± 0,7)	5,6 (± 6,8)	3,0 (± 3,7)	0,0 (± 0,1)

\* bezogen auf eine Standard-Arbeitsschicht von 8 h Dauer

Abbildung 41:  
Beton- und Stahlbetonbauer, Tätigkeitsmodul „Bewehren“

a) Stabstähle verbinden



b) Stäbe und Matten ausrichten



Abbildung 42:  
Beton- und Stahlbetonbauer, Tätigkeitsmodul „Schalungsarbeiten“

a) Schaltafeln verlegen



b) Träger ausrichten



## 5.2 Bodenleger/Raumausstatter

### Berufsbild und Tätigkeitsmodule

Zum Berufsbild des Bodenlegers, wie es in dieser Studie untersucht worden ist, zählen Tätigkeiten rund um das Verlegen und/oder Entfernen von Bodenbelägen wie Teppich-, PVC- oder Linoleumböden inklusive der dazu notwendigen Vor- und Nachbereitungsarbeiten. Das Verlegen anderer Bodenbeläge wie Parkett, Dielenböden, Laminat, Estrich oder Fliesen ist bei den Berufsbildern „Parkettleger“, „Estrichleger“ und „Fliesenleger“ bzw. „Natur- und Kunststeinleger“ dargestellt. Das Verlegen von textilen bzw. synthetischen und elastischen Bodenbelägen führen heute v. a. Raumausstatter durch, neben Polstern, Bekleiden von Wänden und Decken u. ä.

Einen Sonderfall stellt das Tätigkeitsmodul „Bodenlegen im Fahrzeugbau“ dar. Hierunter sind Tätigkeiten im Bereich des Bus-Innenausbau bzw. Waggonbau zu verstehen, die in großen Produktionsstätten anzutreffen sind. Diese stellen in der Regel Einzeltätigkeiten innerhalb einer Serienproduktion dar. Die untersuchten Probanden stammten dennoch normalerweise aus dem Raumausstatter- oder Schreiner-Handwerk.

Kniebelastende Tätigkeiten in relevantem Ausmaß konnten beim Bodenleger während verschiedener Tätigkeiten beobachtet werden. Diese werden im Folgenden erläutert.

**Bodenbelag verlegen:** Der zu verlegende Bodenbelag wird ausgelegt, grob zugeschnitten, wieder halb eingerollt und die freie Fläche mit Kleber gespachtelt. Danach wird der Belag wieder ausgerollt und mit den Handflächen, teilweise auch mit einer Handwalze, in den Kleber eingerieben. Nachdem der Belag vollständig ausgelegt und verklebt ist, werden die Belagränder, Ein- bzw. Ausschnitte und Nähte exakt zugeschnitten. In Räumen, in denen mit Feuchtigkeit zu rechnen ist, werden die Nahtstellen verschweißt. Im letzten Arbeitsgang werden dann die Sockel- oder Deckleisten (Holz bzw. Kunststoff) zugeschnitten und angebracht (Abbildung 43).

Abbildung 43:  
Bodenleger/Raumausstatter, Tätigkeitsmodul „Bodenbelag verlegen“

a) Kleber auftragen



b) Teppich verlegen



Aufgrund der je nach Untergrund und Material unterschiedlichen Vor- und Nachbereitungsarbeiten (z. B. partielle Untergrundvorbereitung, Sockelleistenmontage) variiert die Dauer der Kniebelastung bei den untersuchten Probanden in hohem Maße.

**Altbelag manuell entfernen:** Bei Renovierungsarbeiten muss der alte Bodenbelag in der Regel vor dem Neuverlegen herausgerissen werden. Je nach Beschaffenheit und Verlegetechnik („schwimmend“ oder verklebt) des alten Belags kann diese Tätigkeit einen erheblichen Aufwand bedeuten. Bei den hier untersuchten Tätigkeiten wurden die Beläge in erster Linie manuell entfernt. Dazu wird der Belag mit einem Teppichmesser in ca. 1 m breite Streifen geschnitten, an einem Ende mittels Spachtel o. Ä. gelöst und dann – z. T. mit mehreren Personen und unter Zuhilfenahme von speziellen Haltegriffen – mit Kraft vom Untergrund abgezogen. Die Dauer der Kniebelastung ist in diesem Fall neben der Größe der zu bearbeitenden Bodenfläche v. a. von der Festigkeit der Klebeverbindung abhängig (Abbildung 44).

Abbildung 44:  
Bodenleger/Raumausstatter, Tätigkeitsmodul „Altbelag manuell entfernen“

a) Altbelag schneiden



b) Altbelag abziehen



Heute werden zum Entfernen der Altbeläge häufig elektrisch motorisierte Spachteln („Teppichstripper“) als Handmaschinen oder Großgeräte eingesetzt. In diesen Fällen reduziert sich die Kniebelastung erheblich, da die Tätigkeiten weitestgehend im Stehen durchgeführt werden können.

**Untergrund vorbereiten:** Vor dem Verlegen der Beläge auf altem oder neuem Untergrund müssen die zu belegenden Flächen häufig gründlich vorbehandelt werden. Hierzu gehören die Reinigung und u. U. auch das Aufbringen von Isolierung gegen Wärme und Trittschall bzw. von Haftmittelanstrich als Vorbereitung für eine bei unebenen Böden eventuell notwendige Ausgleichsmasse. Anschließend sind Böden zu glätten und nach Aushärtung zu schleifen. Erforderlichenfalls werden dann an Tür- und Treppenstufenkanten Profilleisten aus Kunststoff oder Metall als Stoßkantenschutz angebracht.

Das Aufbringen der Ausgleichsmasse erfolgt in der Regel mittels einer Handspachtel im Knien (Abbildung 45a). Je nach Größe der Fläche, Beschaffenheit des Bodens oder auch Präferenz des Bodenlegers sind auch Spachteln mit Teleskopstiel („Rakeln“) im Einsatz, mit denen im Stehen gearbeitet werden kann (Abbildung 45b). Aufgrund dieser unterschiedlichen Vorgehensweisen ergeben sich große Varianzen in der Dauer der Kniebelastung bei den gemessenen Probanden.



Abbildung 45:  
Bodenleger/Raumausstatter, Tätigkeitsmodul „Untergrund vorbereiten“

a) Spachteln



b) Rakeln



### Sonderfall

**Bodenleger im Fahrzeugbau:** Bei den Bodenlege-Arbeiten im Fahrzeugbau – hier speziell im Bus-Innenausbau und Waggonbau – fallen Tätigkeiten wie Untergrund vorbereiten mittels Ausgleichsmassen oder Altbelag entfernen normalerweise nicht an. Die Vorbereitung der (Holz-)Böden besteht v. a. im Reinigen und Schleifen des Untergrundes. Das Verlegen der Bodenbeläge unterscheidet sich teils erheblich von den Tätigkeiten in Gebäuden aufgrund der relativ kleinen zu belegenden (Teil-)Flächen, der teilweise beengten örtlichen Gegebenheiten und der verwendeten Materialien (Abbildung 46).

Abbildung 46:  
Bodenleger, Sonderfall „Bodenleger im Fahrzeugbau“

a) Untergrund schleifen



b) Kleber auftragen



### Messergebnisse

Tabelle 5 zeigt die durchschnittlich gemessenen Kniebelastungsdauern für die verschiedenen Tätigkeitsmodule des Bodenlegers/Raumausstatters. Bei allen vier untersuchten Tätigkeitsmodulen konnten durchschnittliche Kniebelastungsdauern von weit über einer Stunde pro Arbeitstag beobachtet werden: Bis auf das Modul „Untergrund vorbereiten“ liegt die durchschnittliche Kniebelastung zwischen drei und vier Stunden pro Arbeitstag. Als Besonderheit zeigen sich bei den Modulen 03 und 04 relativ große Standardabweichungen, was sich wie oben beschrieben mit den relativ inhomogenen Tätigkeiten und den individuellen Vorlieben der Probanden bei der Ausübung verschiedener Tätigkeiten erklären lässt. Hocken kommt als Kniebelastung bei den Bodenlegern sehr selten vor, während das Knien mit und

ohne abgestützten Oberkörper die größten untersuchten Kniebelastungen darstellen. Als weitere Besonderheit kann das im Vergleich mit den übrigen untersuchten Berufen relativ häufige Vorkommen kriechender Tätigkeiten angesehen werden, wie sie z. B. beim Zuschneiden des Teppichs oder beim Herausschneiden des Altbelags beobachtet werden konnten.

Tabelle 5:  
Durchschnittliche Kniebelastungen des Bodenlegers/Raumausstatters  
(Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung; n = Anzahl der gemessenen Arbeitsschichten)

Tätigkeitsmodul		n	Kniebelastung gesamt * in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knie ohne Abstützung in %	Knie mit Abstützung in %	Kriechen in %
01	Bodenbelag verlegen	6	230 ( $\pm$ 30)	48,2 ( $\pm$ 5,9)	0,3 ( $\pm$ 0,3)	4,7 ( $\pm$ 2,7)	23,1 ( $\pm$ 4,7)	16,6 ( $\pm$ 8,4)	3,5 ( $\pm$ 4,1)
02	Altbelag manu- ell entfernen	3	215 ( $\pm$ 5)	44,5 ( $\pm$ 0,7)	0,8 ( $\pm$ 0,3)	5,1 ( $\pm$ 2,0)	18,6 ( $\pm$ 7,1)	17,1 ( $\pm$ 5,6)	2,9 ( $\pm$ 0,9)
03	Untergrund vorbereiten	4	105 ( $\pm$ 110)	22,0 ( $\pm$ 23,0)	0,1 ( $\pm$ 0,1)	1,9 ( $\pm$ 2,7)	5,8 ( $\pm$ 4,6)	13,8 ( $\pm$ 16,1)	0,4 ( $\pm$ 0,5)
Sonderfall									
S1	Bodenleger im Fahrzeug- bau	3	180 ( $\pm$ 75)	37,7 ( $\pm$ 15,2)	3,3 ( $\pm$ 4,3)	2,8 ( $\pm$ 2,4)	20,4 ( $\pm$ 5,5)	8,8 ( $\pm$ 4,6)	2,4 ( $\pm$ 4,0)

\* bezogen auf eine Standard-Arbeitsschicht von 8 h Dauer

### 5.3 Dachdecker

#### Berufsbild und Tätigkeitsmodule

Zu den typischen Tätigkeiten des Dachdeckers gehören das Eindecken von Dächern aller Art samt Nebentätigkeiten (Messen, Herstellen der Unterkonstruktion, Dämmen, Einbau von Dachfenstern oder Lichtkuppeln), das Bekleiden von Außenwänden zur Wärmedämmung und das Abdichten von Dach-, Wand- und Bodenflächen an Bauwerken. Dazu zählen auch Wartung, Reparatur und Instandsetzung von Steil- und Flachdächern sowie Fassadenbekleidungen.

Aufgrund einer Änderung der Handwerksordnung im Jahr 2004 sowie regionaler Besonderheiten werden Dachdeckertätigkeiten heute teilweise auch von Zimmerern ausgeführt. So wurden einige der hier dargestellten Messungen mit Zimmerleuten durchgeführt (Steildach einlatten, Holzrahmenbau).

Dachdeckertypische Bauklempnerarbeiten sind im Abschnitt „Installateur“ beschrieben (Dachanschlussarbeiten, Dachrinnenmontage, Fotovoltaikmontage). Die Montage von Wärmedämmplatten an Fassaden, wie sie auch von Dachdeckern durchgeführt wird, ist im Abschnitt „Maler/Lackierer“ dargestellt.

Kniebelastende Tätigkeiten treten bei diesen Arbeiten immer wieder in unterschiedlichem Umfang auf. Das Ausmaß der Kniebelastung ist hier in der Regel stark von den durchgeführten Tätigkeiten abhängig. Als Besonderheit tritt beim Dachdecker auch die Unterscheidung zwischen Arbeiten an Fassaden, auf Flach- oder auf Steildächern hinzu, wobei bei letzteren

auch die Ausprägung der Dachneigung eine gewichtige Rolle für das Ausmaß der Kniebelastung spielt.

Zur Untersuchung der Kniebelastungen im Rahmen dieser Studie wurde eine grobe Einteilung der Dachdeckertätigkeiten in Steildach- und Flachdacharbeiten durchgeführt.

### Steildach-Arbeiten

Hierzu zählen alle Tätigkeiten zur Errichtung, Reparatur und Instandsetzung von Steildächern aller Art wie Turm-, Walm- oder Satteldächer und mit unterschiedlichen Materialien wie Dachpfannen, Biberschwanz-Ziegeln, Naturschiefer, Wellplatten oder Reet. Eine Besonderheit auf sehr steilen Dächern (ab einer Dachneigung von ca. 40°) stellt das einbeinige Abstützen mit einem Knie auf der Dachfläche dar. Dieses „abgestützte Stehen“ wurde in dieser Studie nicht als kniebelastend interpretiert (siehe Abschnitt „Kniebelastungen“, S. 27). Die große Bandbreite der Zeitanteile für die Kniebelastungen bei den Steildacharbeiten resultiert in erster Linie aus den unterschiedlichen Dachneigungen an den gemessenen Baustellen. Die untersuchten Module der „Steildacharbeiten“ werden im Folgenden kurz beschrieben.

**Steildach einlatten:** Zur Herstellung der Unterkonstruktion werden die Dachflächen mit Druckluftnagler oder Latthammer geschalt und eingelattet (Abbildung 47). Da die Latten-Unterkonstruktion relativ gute Standbedingungen, aber schlechte Bedingungen zum Knien bietet, werden die Tätigkeiten größtenteils im Stehen durchgeführt.

**Steildach dämmen:** Bei der Reparatur oder Instandsetzung von Steildächern werden häufig Wärmedämmstoffe von außen zwischen den Dachsparren eingebaut und Unterspannbahnen verlegt (

Abbildung 48). Für diese Tätigkeit konnten in der Studie lediglich zwei Probanden gemessen werden. Beide wiesen relativ hohe Kniebelastungszeiten von drei bis vier Stunden pro Tag auf, was u. a. damit zusammenhängt, dass die Dämmung in der Regel vor der Einlattung eingebracht werden muss und somit relativ schlechte Standbedingungen auf der Dachfläche gegeben sind.

**Steildach eindecken (Dachpfannen):** Nach Fertigstellung der Unterkonstruktion kann die Dachfläche mit unterschiedlichen Arten von Dachpfannen, -ziegeln oder -steinen eingedeckt werden (Abbildung 49). Je nach Dachneigung erfolgen diese Tätigkeiten überwiegend im Stehen (mit teilweise starker Rumpfbeugung). Die einzudeckenden Dachpfannen werden normalerweise mit einem Dachaufzug nach oben transportiert und auf der Dachfläche u. U. von mehreren Personen bis zum „Einbauer“ weitergereicht oder -geworfen.

Abbildung 47:  
Dachdecker, Tätigkeitsmodul „Steildach einlatten“

a) Einlatten mit Latthammer



b) Einlatten mit Druckluftnagler (vorne)

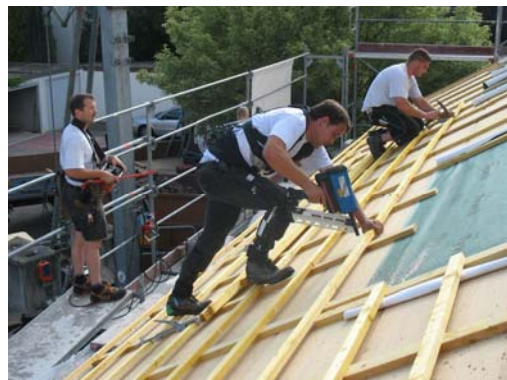


Abbildung 48:  
Dachdecker, Tätigkeitsmodul „Steildach dämmen“

a) Dach vorbereiten



b) Dampfsperre befestigen



Abbildung 49:  
Dachdecker, Tätigkeitsmodul „Steildach eindecken (Dachpfannen)“

a) Eindecken bei Dachneigung < 40°



b) Eindecken bei Dachneigung > 40°



Auf Großbaustellen können die Dachpfannen auch mittels Kran und „Ziegelwagen“ zuerst komplett auf der Dachfläche verteilt und später eingebaut werden. Falls Arbeiten im Knien oder Hocken durchgeführt werden müssen, sind diese in der Regel nur beim „Einbauer“ zu beobachten.

**Steildach eindecken (Biberschwanz):** Eine besondere Art von Dachziegeln stellen die Biberschwanzziegel dar, die eine etwas abweichende Verlegetechnik bedingen (Abbildung 50). Da Biberschwanzziegel mit steigender Dachneigung gegenüber anderen Dachziegeltypen schlechtere Standbedingungen bieten, wird das Eindecken hier in weitaus größerem Maße im Knien durchgeführt. In den Untersuchungen konnte häufig auch das einbeinige Knien auf der Dachfläche beobachtet werden.

**Steildach verschiefern:** Bei dieser Tätigkeit werden (Natur-)Schieferplatten auf der komplett verschalteten Dachfläche angebracht. Die Arbeiten werden normalerweise von kleinen Dachgerüsten aus in größtenteils kniebelastenden Haltungen durchgeführt (Abbildung 51). Die

Tätigkeit konnte innerhalb der Studie nur zweimal gemessen werden, wobei beide Probanden hohe Zeitanteile von drei bis fünf Stunden Kniebelastung aufwiesen.

**Steildach: Mansardenverschieferung:** Diese Tätigkeit stellt eine Besonderheit des Verschieferens dar, bei der im Gegensatz zu den Arbeiten auf der Dachfläche kleinteiligere Flächen verschiefert werden und somit mehr Detailarbeiten notwendig sind. Die Arbeiten werden in der Regel vom Gerüst aus im Stehen, Sitzen, Knien und Hocken durchgeführt (Abbildung 52).

Abbildung 50:  
Dachdecker, Tätigkeitsmodul „Steildach eindecken (Biberschwanz)“

a) Eindecken im Knien



b) Eindecken im Stehen



Abbildung 51:  
Dachdecker, Tätigkeitsmodul „Steildach verschiefern“

a) Knien auf Dachgerüst

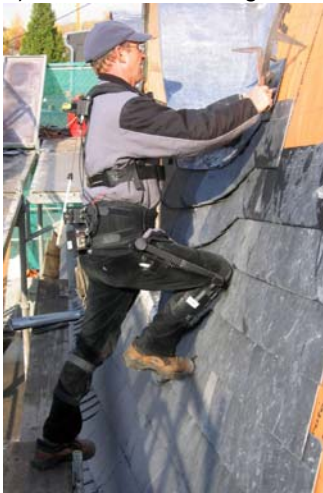


b) Knien auf Dachfläche



Abbildung 52:  
Dachdecker, Tätigkeitsmodul „Steildach: Mansardenverschieferung“

a) Verschiefern im abgestützten Stehen



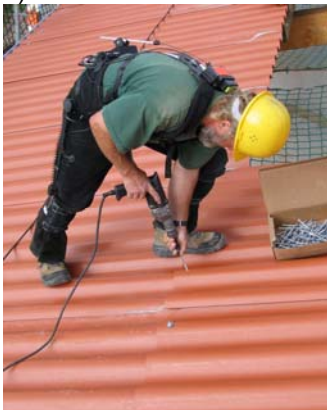
b) Verschiefern im Knien



**Steildach: Wellplattenmontage:** Bei der Montage von Wellplatten auf Industriehallen, Garagen u. ä. werden die Elemente auf der Unterkonstruktion ausgelegt und anschließend verschraubt. Die Tätigkeiten werden normalerweise aufgrund der guten Stand- und schlechten Kniebedingungen auf den Wellplatten überwiegend im Stehen ausgeübt. Kniende oder hockende Tätigkeiten wurden v. a. in den Randbereichen beobachtet (Abbildung 53).

Abbildung 53:  
Dachdecker, Tätigkeitsmodul „Steildach: Wellplattenmontage“

a) Bohren



b) Dichtung einlegen



**Steildach: Reetdach eindecken:** Eine regionale Besonderheit im norddeutschen Raum stellt das Errichten von Reetdächern dar, bei der auf einer Holzunterkonstruktion Bündel von Schilf oder Riedgräsern („Reet“) in dichter Lage befestigt werden (Abbildung 54). Da Reetdächer relativ steil sein müssen und die Arbeiten in der Regel vom Gerüst oder speziellen kleinen Dachgerüsten („Dachstühlen“) aus durchgeführt werden, sind kniegefährdende Haltungen beim Eindecken dieser Dächer selten zu beobachten.

Abbildung 54:  
Dachdecker, Tätigkeitsmodul „Steildach: Reetdach eindecken“

a) Eindecken im abgestützten Stehen



b) Eindecken im einbeinigen Knien



### Flachdach-Arbeiten

Bei der Neuanlage, Reparatur oder Instandsetzung von Flachdächern verwendet der Dachdecker heute eine Reihe verschiedener Techniken und Materialien (z. B. Schweißbahnen, Kunststoffbahnen), die sich aber hinsichtlich der Kniebelastung kaum unterscheiden, da der Großteil der Arbeiten im Stehen erledigt werden kann. Kniebelastende Haltungen treten v. a. immer dann auf, wenn Anschlussarbeiten in den Randbereichen, an Balkonen, Terrassen oder an Lichtkuppeln durchgeführt werden müssen. Die Dauer der Kniebelastung ist deshalb in erster Linie vom Anteil solcher Anschlussarbeiten am Arbeitstag abhängig. Im Rahmen dieser Studie wurden drei Tätigkeitsmodule aus dem Bereich „Flachdach-Arbeiten“ untersucht:

**Flachdach: Schweißbahnen verlegen:** Bei dieser Tätigkeit werden Dämmplatten und Schweißbahnen aus Bitumenwerkstoffen auf dem Flachdach ausgelegt und verklebt. Auf der Dachfläche können diese Arbeiten normalerweise im Stehen durchgeführt werden, während an den Rändern die Detailarbeiten zum Abdichten meist kniende oder hockende Körperhaltungen bedingen (Abbildung 55).

Abbildung 55:  
Dachdecker, Tätigkeitsmodul „Flachdach: Schweißbahnen verlegen“

a) Dämmung verlegen (Fläche)



b) Schweißbahn im Randbereich verlegen



**Flachdach: Anschluss mit Flüssigfolie:** Die Abdichtung der Anschlüsse zwischen Flachdach, Balkon, Terrasse o. Ä. und den umgebenden Wänden erfolgt z. B. mittels Flüssigkunststoffen („Flüssigfolie“). Da hierzu in der Regel Detailarbeiten in oder unmittelbar über Bodenhöhe notwendig sind, wurden bei den beiden in dieser Studie untersuchten Probanden hohe Kniebelastungszeiten von über fünf Stunden pro Tag gemessen (Abbildung 56).

Abbildung 56:  
Dachdecker, Tätigkeitsmodul „Flachdach: Anschluss mit Flüssigfolie“

a) Feinarbeiten



b) Flüssigfolie auftragen



**Flachdach: Kunststoffbahnen verlegen:** Ein weiteres Verfahren zur Dämmung und Abdichtung von Flachdächern (z. B. auf Industriehallen) stellt das Dämmen und anschließende Abdichten mit z. T. elastischen Kunststoffbahnen dar, die nach dem Ausrollen und Befestigen miteinander verschweißt werden (Abbildung 57).

Analog zur Abdichtung mit Schweißbahnen aus Bitumenwerkstoffen können die Tätigkeiten normalerweise im Stehen ausgeführt werden. Kniebelastende Haltungen wurden auch hier v. a. bei der Arbeit in den Randbereichen oder an Lichtkuppeln beobachtet.

Abbildung 57:  
Dachdecker, Tätigkeitsmodul „Flachdach: Kunststoffbahnen verlegen“

a) Feinarbeiten an einer Lichtkuppel



b) Bahnen verschweißen (Fläche)





## Sonderfälle

**Steildach: Ziegeltransport auf der Dachfläche:** Diese Tätigkeit konnte in der Studie nur einmal gemessen werden. Beim Neubau eines Geschäftsgebäudes mit einer relativ großen Dachfläche wurden vor dem eigentlichen Eindecken des Daches alle benötigten Dachpfannen mithilfe eines Kranes und eines „Ziegelwagens“ auf der Dachfläche verteilt. Bei dieser Transporttätigkeit konnten keine nennenswerten Kniebelastungen gemäß Definition beobachtet werden (Abbildung 58).

Abbildung 58:  
Dachdecker, Sonderfall „Ziegeltransport auf der Dachfläche“

a) Transport mit Ziegelwagen



b) manueller Transport



**Steildach: Reetdach abdecken:** Wie das Eindecken von Reetdächern stellt auch das Abdecken eine regionale Besonderheit in Norddeutschland dar. Kniebelastungen in relevantem Ausmaß konnten bei der im Rahmen dieser Studie durchgeführten Einzelmessung nicht nachgewiesen werden (Abbildung 59).

**Holzrahmenbau:** Hierbei handelt es sich um eine Zimmerertätigkeit zur Anfertigung von Fertigbauteilen, die meist in einer Halle durchgeführt wird. Da größere Bauteile auf dem Fußboden zusammengebaut werden müssen, können hierbei auch kniegefährdende Haltungen in relevantem Ausmaß vorkommen (Abbildung 60).

Abbildung 59:  
Dachdecker, Sonderfall „Reetdach abdecken“

a) Dach abdecken



b) Altmaterial bündeln



Abbildung 60:  
Dachdecker/Zimmerer, Sonderfall „Holzrahmenbau“

a) Zusammenbau mit Druckluftnagler



b) Ausmessen



### Messergebnisse

Die Ergebnisse der Messungen für die Dachdecker sind in Tabelle 6 dargestellt. Bei sieben der elf Tätigkeitsmodule konnten durchschnittliche Kniebelastungsdauern von über einer Stunde pro Tag gemessen werden, bei den drei „Sonderfällen“ wurde nur beim Holzrahmenbau eine solche Belastung beobachtet. Mit ca. vier bis fünf Stunden durchschnittlicher Kniebelastung pro Arbeitsschicht fanden sich die Spitzenwerte bei den Modulen „Flachdach: Anschlussarbeiten mit Flüssigfolie“, „Steildach dämmen“ und „Steildach verschiefern“.

Als Besonderheit erscheint der relativ hohe Zeitanteil des Hockens beim Modul „Flachdach: Kunststoffbahnen verlegen“, der lediglich bei einem der drei Probanden dieses Moduls gemessen wurde.

Tabelle 6:  
Durchschnittliche Kniebelastungen des Dachdeckers  
(Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung; n = Anzahl der gemessenen Arbeitsschichten)

Tätigkeitsmodul		n	Kniebelastung gesamt * in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knien ohne Abstützung in %	Knien mit Abstützung in %	Kriechen in %
01	Steildach einlatten	4	<b>20 (<math>\pm</math> 20)</b>	<b>4,2 (<math>\pm</math> 4,0)</b>	0,3 ( $\pm$ 0,3)	0,1 ( $\pm$ 0,1)	2,9 ( $\pm$ 2,6)	0,9 ( $\pm$ 1,8)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
02	Steildach dämmen	2	<b>235 (<math>\pm</math> 65)</b>	<b>48,9 (<math>\pm</math> 13,5)</b>	2,6 ( $\pm$ 2,0)	1,0 ( $\pm$ 0,9)	36,8 ( $\pm$ 5,7)	8,2 ( $\pm$ 5,1)	0,2 ( $\pm$ 0,2)
03	Steildach eindecken (Dachpfannen)	3	<b>35 (<math>\pm</math> 35)</b>	<b>7,2 (<math>\pm</math> 7,6)</b>	0,5 ( $\pm$ 0,6)	1,3 ( $\pm$ 2,2)	3,5 ( $\pm$ 3,9)	1,9 ( $\pm$ 1,8)	0,1 ( $\pm$ 0,2)
04	Steildach eindecken (Biberschwanz)	4	<b>130 (<math>\pm</math> 90)</b>	<b>27,2 (<math>\pm</math> 18,8)</b>	2,0 ( $\pm$ 2,6)	0,7 ( $\pm$ 0,8)	17,4 ( $\pm$ 16,0)	7,2 ( $\pm$ 5,7)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
05	Steildach verschiefern	2	<b>235 (<math>\pm</math> 75)</b>	<b>48,7 (<math>\pm</math> 16,1)</b>	0,3 ( $\pm$ 0,1)	3,1 ( $\pm$ 2,6)	29,2 ( $\pm$ 9,5)	16,1 ( $\pm$ 9,1)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
06	Steildach: Mansar- denverschieferung	3	<b>90 (<math>\pm</math> 40)</b>	<b>18,7 (<math>\pm</math> 8,3)</b>	2,1 ( $\pm$ 2,5)	9,5 ( $\pm$ 5,2)	6,8 ( $\pm$ 5,9)	0,2 ( $\pm$ 0,2)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
07	Steildach: Wellplat- tenmontage	3	<b>35 (<math>\pm</math> 30)</b>	<b>7,0 (<math>\pm</math> 6,0)</b>	2,7 ( $\pm$ 3,6)	0,3 ( $\pm$ 0,6)	3,8 ( $\pm$ 6,6)	0,2 ( $\pm$ 0,3)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
08	Steildach: Reetdach eindecken	3	<b>20 (<math>\pm</math> 30)</b>	<b>3,7 (<math>\pm</math> 6,0)</b>	0,1 ( $\pm$ 0,1)	0,0 ( $\pm$ 0,0)	3,6 ( $\pm$ 6,0)	0,0 ( $\pm$ 0,0)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
09	Flachdach: Schweiß- bahnen verlegen	4	<b>85 (<math>\pm</math> 50)</b>	<b>18,1 (<math>\pm</math> 10,9)</b>	1,7 ( $\pm$ 3,0)	1,3 ( $\pm$ 1,5)	11,5 ( $\pm$ 6,5)	3,6 ( $\pm$ 2,4)	0,0 ( $\pm$ 0,1)
10	Flachdach: Anschluss mit Flüssigfolie	2	<b>310 (<math>\pm</math> 5)</b>	<b>64,7 (<math>\pm</math> 0,7)</b>	0,4 ( $\pm$ 0,3)	3,5 ( $\pm$ 0,8)	39,9 ( $\pm$ 21,4)	20,8 ( $\pm$ 20,1)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
11	Flachdach: Kunst- stoffbahnen verlegen	3	<b>105 (<math>\pm</math> 85)</b>	<b>22,1 (<math>\pm</math> 17,4)</b>	10,5 ( $\pm$ 14,5)	0,6 ( $\pm$ 0,6)	8,5 ( $\pm$ 4,7)	2,5 ( $\pm$ 3,7)	0,1 ( $\pm$ 0,1)
Sonderfälle									
S1	Steildach: Ziegel- transport auf Dach	1	<b>15</b>	<b>2,8</b>	0,3	0,0	1,6	0,9	0,0
S2	Steildach: Reetdach abdecken	1	<b>15</b>	<b>3,0</b>	0,2	0,6	1,6	0,6	0,0
S3	Holzrahmenbau (Zimmermann)	1	<b>70</b>	<b>14,6</b>	0,3	0,2	7,1	6,9	0,1

\* bezogen auf eine Standard-Arbeitsschicht von 8 h Dauer

## 5.4 Estrichleger

### Berufsbild und Tätigkeitsmodule

Der Estrichleger stellt Estriche als unmittelbare Nutz- und Verbundböden oder als Unterböden für andere Beläge wie Fliesen- oder Parkettböden her. Diese Tätigkeiten umfassen in der Regel auch den Einbau von Schall- und Wärmedämmung sowie Sperrschichten aller Art und die anschließende Versiegelung der Böden. Die Arbeiten lassen sich grob in die Kategorien „Fließestrich“ und „Zementestrich“ unterteilen. Das hier beschriebene Berufsbild umfasst nicht das Herstellen bitumengebundener Estriche.

## Herstellen von Fließestrichböden

Bei der Herstellung von Fließestrichböden wird ein relativ flüssiger Estrichmörtel mit einer Förderpumpe über einen Schlauch auf den zuvor präparierten Untergrund aufgebracht. Kniebelastende Tätigkeiten sind hier in erster Linie bei der Vorbereitung der Unterböden, d. h. beim Einbau von Dämm- und Sperrschichten zu erledigen, die beim Fließestrich besonders sorgfältig verlegt werden müssen. Außerdem müssen vor dem Einbau Höhennivellierungen durchgeführt werden, was normalerweise im Hocken geschieht. Der eigentliche Einbau des Fließestrichs erfolgt dann hauptsächlich im Stehen durch „Gießen“ (Verteilen des flüssigen Estrichmörtels mittels Schlauch) und „Schwabbeln“ (Entfernen von Luftporen). Dementsprechend lassen sich im Bereich „Fließestrich“ zwei Tätigkeitsmodule unterscheiden: „Fließestrich: Dämmen“ und „Fließestrich einbauen“.

**Fließestrich: Dämmen:** Wie oben beschrieben, muss vor dem eigentlichen Einbau des Fließestrichs der Untergrund relativ aufwendig vorbereitet werden. Das Verlegen der verschiedenen Dämm- und Sperrschichten auf den Rohböden erfordert lange Zeitabschnitte, in denen der Estrichleger im Knien oder Hocken arbeiten muss, was durch die in dieser Studie gemessene durchschnittliche Kniebelastungsdauer von ca. vier Stunden bestätigt wird (Abbildung 61). Dämmarbeiten sind auch beim Einbau von Zementestrich notwendig, der prozentuale Zeitanteil gegenüber dem Dämmen für Fließestrich ist aber aufgrund niedrigerer Anforderungen an die Abdichtung geringer.

**Fließestrich einbauen:** Zum Einbau des Fließestrich gehören das Nivellieren mit Aufstellen und späterem Aufsammeln der Höhenböckchen, das Gießen mittels Förderschlauch und das anschließende Schwabbeln (Abbildung 62). Kniebelastende Haltungen wurden lediglich bei der ersten Tätigkeit beobachtet. Die Bandbreite der Kniebelastungen innerhalb der fünf gemessenen Arbeitsschichten ist auf das jeweils unterschiedliche Ausmaß der Nivellierungstätigkeiten zurückzuführen.

## Herstellen von Zementestrichböden

Im Gegensatz zum Fließestrich wird hier ein relativ fester Estrichmörtel eingebaut, der vor Ort aus Zement, Sand und Wasser in speziellen Estrichfördermaschinen hergestellt, mittels Schlauch zum Einbauort befördert, und dort mit Schaufel, Kelle oder Händen verteilt, abgezogen und geglättet wird. Man kann bei dieser Arbeitsweise drei Kategorien von Arbeiten unterscheiden, die in einer Drei-Mann-Kolonie zumeist auch von unterschiedlichen Personen durchgeführt werden: Estrich einbauen, Estrich glätten (inkl. Hilfe beim Einbau) und Estrich anmischen. Letzterer ist für das Anmischen des Zementestrichmörtels zuständig und übernimmt in der (selteneren) Zwei-Mann-Kolonie meist auch die Aufgaben des Glätters und Helfers.

**Zementestrich einbauen (Drei-Mann-Kolonie):** Der Einbau des Zementestrichmörtels erfolgt gewöhnlich im Knien, was die durchschnittlich gemessene Kniebelastungsdauer von über vier Stunden pro Tag erklärt. Zu den Tätigkeiten zählen das Umsetzen des Verteilbocks, die Grobverteilung des Estrichs mit Schaufel, Kelle oder von Hand, die Feinverteilung des Estrichs mit der Setzlatte und das Abziehen auf die erforderliche Höhe (Abbildung 63).

Abbildung 61:  
Estrichleger, Tätigkeitsmodul „Fließestrich: Dämmen“

a) Dämmung verlegen



b) PE-Folie verlegen



Abbildung 62:  
Estrichleger, Tätigkeitsmodul „Fließestrich einbauen“

a) Nivellieren



b) Hilfe beim Gießen (vorne)



c) Gießen



d) Schwabbeln



**Zementestrich glätten (Drei-Mann-Kolonne):** In der Drei-Mann-Kolonne übernimmt der „Glätter und Helfer“ verschiedene Aufgaben: Er unterstützt den „Einbauer“, indem er den Mörtelauslaufftopf jeweils ein Stück weit versetzt, sodass der Mörtel besser verteilt wird und verteilt teilweise den Mörtel auch grob mit der Schaufel. Ist der Einbau des Zementestrichs abgeschlossen, übernimmt er die Aufgabe, den noch nicht ausgehärteten Estrich mit der Glättkelle, Glattscheibe oder auch mit dem Flügelglätter zu glätten (Abbildung 64). Das

Glätten geschieht üblicherweise im Knien. Die Bandbreite der Ergebnisse ist mit dem jeweiligen Zeitanteil des eigentlichen Glättens gegenüber den übrigen Helfertätigkeiten zu erklären, die durchschnittliche Kniebelastungsdauer liegt bei etwa 2,5 Stunden.

**Zementestrich anmischen (Drei-Mann-Kolonne):** Die Tätigkeit des Maschinisten besteht darin, den Mischer mit Sand zu befüllen und Zement aus Säcken zuzugeben (Abbildung 65). Hierbei können am Tag über 15 t Sand geschaufelt werden. In einer Drei-Mann-Kolonne übt der Maschinist in der Regel keine anderen Tätigkeiten aus, sodass bei dieser Tätigkeiten keine knienden oder hockenden Tätigkeiten anfallen.

### Sonderfälle

**Zementestrich einbauen (Zwei-Mann-Kolonne):** Die Tätigkeiten sind vergleichbar mit dem „Einbauer“ in der Drei-Mann-Kolonne, z. T. werden einige Arbeiten wie das Glätten des Estrichs zusätzlich übernommen (Abbildung 63).

**Zementestrich anmischen (Zwei-Mann-Kolonne):** In der Zwei-Mann-Kolonne führt der „Maschinist“ neben dem Anmischen des Estrichs gewöhnlich auch weitere Tätigkeiten wie die Grobverteilung des Estrichs oder Dämmarbeiten aus, sodass hier auch kniegefährdende Haltungen vorkommen können.

Abbildung 63:  
Estrichleger, Tätigkeitsmodul „Zementestrich einbauen (Drei-Mann-Kolonne)

a) Estrich verteilen von Hand



b) Estrich abziehen



Abbildung 64:  
Estrichleger, Tätigkeitsmodul „Zementestrich glätten (Drei-Mann-Kolonne)“

a) Estrich glätten



b) Auslauftopf versetzen



Abbildung 65:  
Estrichleger, Tätigkeitsmodul „Zementestrich anmischen (Drei-Mann-Kolonne)“

a) Sand schaufeln



b) Zement einfüllen



## Messergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchungen zum Estrichleger sind in Tabelle 7 dargestellt. In drei der fünf Tätigkeitsmodule wurden z. T. sehr hohe durchschnittliche Kniebelastungszeiten von knapp drei Stunden bis über vier Stunden nachgewiesen. Im Unterschied dazu gibt es auch Arbeiten, bei denen kniebelastende Haltungen keine (Zementestrich anmischen) oder nur eine relativ geringe (Fließestrich einbauen) Rolle spielen.

Bei den Sonderfällen ergab die Einzelmessung zum „Zementestrich einbauen“ in der Zwei-Mann-Kolonne keine wesentlichen Unterschiede zu dieser Tätigkeit in der Drei-Mann-Kolonne. Dagegen konnte für den „Maschinisten“ in der Zwei-Mann-Kolonne gegenüber der Drei-Mann-Kolonne eine deutlich höhere Kniebelastungsdauer von durchschnittlich etwa 90 Minuten gemessen werden, was mit den erweiterten Aufgaben in der kleineren Gruppe zusammenhängt.

Tabelle 7:  
Durchschnittliche Kniebelastungen des Estrichlegers  
(Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung; n = Anzahl der gemessenen Arbeitsschichten)

Tätigkeitsmodul		n	Kniebelastung gesamt * in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knie ohne Abstützung in %	Knie mit Abstützung in %	Kriechen in %
01	Fließestrich: Dämmen	4	235 ( $\pm$ 35)	49,3 ( $\pm$ 7,3)	3,3 ( $\pm$ 3,8)	3,3 ( $\pm$ 2,9)	27,2 ( $\pm$ 12,4)	12,3 ( $\pm$ 8,4)	3,2 ( $\pm$ 2,6)
02	Fließestrich einbauen	5	35 ( $\pm$ 30)	7,3 ( $\pm$ 6,5)	3,3 ( $\pm$ 4,7)	0,4 ( $\pm$ 0,9)	3,2 ( $\pm$ 3,2)	0,4 ( $\pm$ 0,7)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
03	Zementestrich einbauen (3-Mann)	3	250 ( $\pm$ 40)	52,2 ( $\pm$ 8,0)	0,4 ( $\pm$ 0,3)	2,1 ( $\pm$ 1,6)	14,0 ( $\pm$ 3,6)	35,4 ( $\pm$ 6,3)	0,2 ( $\pm$ 0,2)
04	Zementestrich glätten (3-Mann)	3	160 ( $\pm$ 65)	33,3 ( $\pm$ 13,6)	1,0 ( $\pm$ 0,9)	2,7 ( $\pm$ 1,9)	9,4 ( $\pm$ 6,7)	19,6 ( $\pm$ 11,8)	0,5 ( $\pm$ 0,4)
05	Zementestrich anmischen (3-Mann)	2	0 ( $\pm$ 0)	0,4 ( $\pm$ 0,1)	0,0 ( $\pm$ 0,0)	0,0 ( $\pm$ 0,1)	0,3 ( $\pm$ 0,1)	0,0 ( $\pm$ 0,0)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
Sonderfälle									
S1	Zementestrich einbauen (2-Mann)	1	265	55,2	1,6	2,1	31,0	20,5	0,0
S2	Zementestrich anmischen (2-Mann)	2	85 ( $\pm$ 10)	17,7 ( $\pm$ 2,5)	1,3 ( $\pm$ 0,3)	0,2 ( $\pm$ 0,1)	8,4 ( $\pm$ 0,1)	7,8 ( $\pm$ 2,1)	0,0 ( $\pm$ 0,0)

\* bezogen auf eine Standard-Arbeitsschicht von 8 h Dauer

## 5.5 Fahrzeugsattler

### Berufsbild und Tätigkeitsmodule

Fahrzeugsattler führen unterschiedliche Arbeiten wie Polstern von Autositzen, Montage von Cabriolet-Verdecken, Anbringen von Fahrzeug-Inneneinrichtungen oder die Anfertigung von Planen für Lkws durch. In dieser Studie wurde lediglich die letztgenannte Tätigkeit untersucht, weshalb das Berufsbild hier auch als „Planensattler“ oder „Technischer Konfektionär“ bezeichnet werden könnte.

**Lkw-Planen anfertigen:** Planen für Lkws, Zelte u. ä. werden normalerweise aus PVC-beschichteten Kunststoffgeweben hergestellt, die von den Fahrzeugsattlern nach einem Aufmaß aus Rollenmaterial zugeschnitten und je nach Bedarf miteinander verschweißt werden. Zum Verschweißen werden spezielle selbstfahrende Schweißmaschinen oder Handschweißgeräte verwendet. Teilweise werden anschließend Ösen in die Säume eingestanzt oder Riemen- bzw. Schnallgarnituren eingearbeitet. Bei dieser Tätigkeit können kniegefährdende Haltungen vorkommen, etwa beim Ausmessen, Zuschneiden oder Zusammenschweißen der Planen (Abbildung 66).

Neben der eigentlichen Anfertigung der Planen umfasst dieses Modul auch das Aufmaß am Lkw, die spätere Montage der Plane auf dem Lkw sowie die Reparatur defekter Planen.

### Messergebnisse

Wie Tabelle 8 zeigt, konnte für das Modul „Lkw-Planen anfertigen“ eine durchschnittliche Dauer der Kniebelastung von knapp zwei Stunden (105 min) pro Tag gemessen werden. Auffällig an den Messergebnissen ist der gegenüber anderen Berufen relativ hohe Anteil kriechender Tätigkeiten (ca. 3 % Zeitanteil pro Arbeitsschicht). Arbeiten im Kriechen fallen z. B. beim Schneiden oder Heften entlang der Folienränder an.

Abbildung 66:  
Fahrzeugsattler, Tätigkeitsmodul „Lkw-Planen anfertigen“

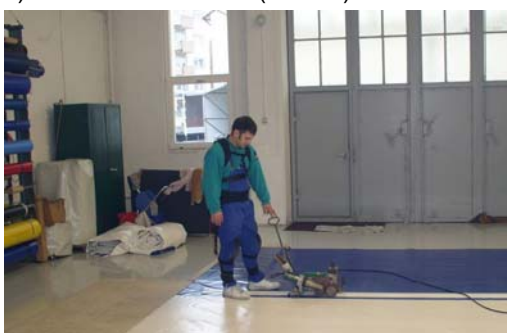
a) Folie ausmessen



b) Tackernadeln entfernen



c) Folie verschweißen (Fläche)



d) Ösen anbringen





Tabelle 8:  
Durchschnittliche Kniebelastungen des Fahrzeugsattlers  
(Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung; n = Anzahl der gemessenen Arbeitsschichten)

Tätigkeitsmodul	n	Kniebelastung gesamt * in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knie ohne Abstützung in %	Knie mit Abstützung in %	Kriechen in %
01 Lkw-Planen anfertigen	5	105 ( $\pm$ 25)	21,9 ( $\pm$ 5,1)	3,6 ( $\pm$ 4,8)	0,4 ( $\pm$ 0,5)	13,1 ( $\pm$ 3,1)	2,0 ( $\pm$ 2,3)	2,9 ( $\pm$ 3,4)

\* bezogen auf eine Standard-Arbeitsschicht von 8 h Dauer

## 5.6 Fliesenleger

### Berufsbild und Tätigkeitsmodule

Fliesenleger (auch Platten- oder Mosaikleger) verkleiden Wände, Böden und Fassaden mit Plattenbelägen aus Keramik, Glas und Natur- oder Kunststeinen. Diese Arbeiten umfassen im Wesentlichen das Zubereiten und Verarbeiten von Mörtel, Kleber oder Kitt, das eigentliche Verlegen sowie das Verfugen der Fliesen, Platten und Mosaiken inklusive aller Nebenarbeiten wie dem Aufbau von Arbeitsgerüsten. Weitere Arbeitsbereiche sind die Sanierung oder Instandsetzung von Bekleidungen und Belägen, das Einmauern von Einbauteilen (z. B. Badewannen), das Herstellen von Putz- und Estrichuntergründen oder der Einbau von Dämmstoffen.

Größere Fassadenplatten, Gehwegplatten, Treppenstufen o. Ä. werden üblicherweise – v. a. in Außenbereichen – von Natur- und Kunststeinlegern verlegt. Die entsprechenden Tätigkeiten sind auf Seite 85 ff. dargestellt.

Mit Blick auf kniegefährdende Tätigkeiten kann man die Arbeiten des Fliesenlegers grob in „Bodenarbeiten“ und „Wandarbeiten“ unterteilen. Kniebelastende Tätigkeiten kommen bei all diesen Tätigkeiten in relevantem Ausmaß vor, wobei die Bodentätigkeiten selbstverständlich als stärker kniebelastend anzusehen sind.

Heute werden Fliesen üblicherweise im „Dünnbett-Verfahren“ verlegt, indem eine dünne Kleberschicht aufgetragen und die einzelnen Fliesen in diese eingedrückt werden. Zu diesem Verfahren wurden in dieser Studie zwei Tätigkeitsmodule untersucht (Boden- und Wandfliesen). Nachdem der Kleber getrocknet und die Fliesen somit fixiert sind, können die Fugen mit speziellem Fugenmörtel verfüllt werden. Auch dieser Vorgang des Verfugens wurde in zwei Tätigkeitsmodulen untersucht, wiederum getrennt für Boden- und Wandarbeiten.

Das früher üblichere Verfahren des Verlegens im „Dickbett“ oder „Mörtelbett“ wird heute eher selten angewandt. Eine Messung ergab aber ähnliche Kniebelastungswerte wie das Verlegen im Dünnbettverfahren (siehe „Sonderfälle“).

**Bodenfliesen verlegen (Dünnbett):** Bei dieser Tätigkeit mischt der Fliesenleger üblicherweise den Fliesenkleber an, trägt diesen mit einer Spachtel auf den Untergrund auf und drückt die Fliesen in den Kleber ein (Abbildung 67). In den Randbereichen sind die Fliesen entsprechend zuzuschneiden. Da fast alle Arbeiten am Boden durchgeführt werden, wurde hier eine durchschnittliche Kniebelastungsdauer von fünf Stunden am Tag gemessen.

**Wandfliesen verlegen (Dünnbett):** Die Arbeiten erfolgen analog zum Verlegen der Bodenfliesen. Die größere Bandbreite der Kniebelastung ergibt sich durch die unterschiedlichen Arbeitshöhen an der Wand. Kniebelastende Tätigkeiten treten naturgemäß nur im unteren Wandbereich auf bzw. auch bei Arbeiten von Bockgerüsten o. Ä. aus (Abbildung 68).

Abbildung 67:  
Fliesenleger, Tätigkeitsmodul „Bodenfliesen verlegen (Dünnbett)“

a) Kleber auftragen



b) Fliesen verlegen



Abbildung 68:  
Fliesenleger, Tätigkeitsmodul „Wandfliesen verlegen (Dünnbett)“

a) Fliesen verlegen



b) Kleber auftragen



**Bodenfliesen verfugen:** Nach dem Verlegen und ausreichender Wartezeit werden die Bodenfliesen verfugt. Hierzu mischt der Fliesenleger einen speziellen Fugenmörtel an, reibt diesen mit einem „Fugengummi“ in die Fugen ein und wischt den überschüssigen Mörtel mit einem Schwamm wieder ab (Abbildung 69). Da die Tätigkeiten naturgemäß am Boden ausgeübt werden, fanden sich hier hohe Kniebelastungszeiten von durchschnittlich über fünf Stunden pro Tag.

**Wandfliesen verfugen:** Die Tätigkeiten erfolgen analog zum Verfugen der Bodenfliesen. Die größere Bandbreite der Kniebelastungszeiten ergibt sich auch hier durch die unterschiedlichen Arbeitshöhen an der Wand (Abbildung 70).

### Sonderfälle

**Vorbereitungsarbeiten:** Unter diesem Begriff wurden in der Studie zwei Tätigkeiten zusammengefasst, bei denen vor dem eigentlichen Verlegen der Fliesen der Untergrund mit einer speziellen Sperr- und Haftschrift belegt wurde bzw. alle Randfliesen vermessen und entsprechend zugeschnitten wurden (Abbildung 71).

Abbildung 69:  
Fliesenleger, Tätigkeitsmodul „Bodenfliesen verfugen“

a) Fugenmörtel auftragen



b) Fliesen abwaschen



**Bodenfliesen verlegen (Dickbett):** Das früher üblichere Verlegen von Bodenfliesen in ein Dick- oder Mörtelbett wurde zur Kontrolle einmal gemessen (Abbildung 72). Die Kniebelastungsdauer von etwa fünf Stunden am Tag ist nahezu identisch mit der bei Verlegetätigkeit im Dünnbettverfahren, lediglich die Verlegeleistung unterscheidet sich.

**Silikon-Verfugungsarbeiten:** Einige Fliesenleger haben sich auf Verfugungsarbeiten im Sanitärbereich spezialisiert, wo mit silikonhaltigen Fugemitteln Badewannen, Duschgarnituren u. Ä. abgedichtet werden. Diese Tätigkeit wurde einmalig gemessen mit einer Kniebelastungsdauer von etwa 2,5 Stunden pro Tag.

**Wand- und Bodenfliesen verlegen (Dünnbett):** Wände und Böden werden nicht immer an verschiedenen Tagen bearbeitet, sondern können – gerade bei kleineren Gewerken wie Badezimmern in Privathaushalten – auch innerhalb einer Arbeitsschicht verkleidet werden. Um diesen Kombinationseffekt zu überprüfen, wurde einmal eine solche „Mischtätigkeit“ untersucht. Die beobachtete Kniebelastungsdauer von knapp vier Stunden pro Tag entspricht ziemlich genau dem Mittelwert aus den Ergebnissen beim getrennten Verlegen von Wand- und Bodenfliesen.

Abbildung 70:  
Fliesenleger, Tätigkeitsmodul „Wandfliesen verfugen“

a) Fugenmörtel auftragen



b) Fliesen abwaschen



Abbildung 71:  
Fliesenleger, Sonderfall „Vorbereitungsarbeiten“

a) Entkopplungsmatte verlegen



b) Randfliesen einpassen



Abbildung 72:  
Fliesenleger, Sonderfall „Bodenfliesen verlegen (Dickbett)“



## Messergebnisse

Die Ergebnisse der Fliesenleger-Messungen sind in Tabelle 9 dargestellt. Insgesamt sind die durchschnittlichen Kniebelastungszeiten in den verschiedenen Tätigkeitsmodulen als sehr hoch anzusehen. Bei den Bodenfliesenarbeiten wurden Belastungen von etwa fünf Stunden pro Tag gemessen, bei den Wandfliesen-Arbeiten lagen diese immerhin noch über zwei Stunden pro Tag. Bei den Boden-Arbeiten überwiegen Tätigkeiten im Knien mit abgestütztem Oberkörper, während dieser Anteil bei den Wandarbeiten weitaus geringer sind.

Tabelle 9:  
Durchschnittliche Kniebelastungen des Fliesenlegers  
(Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung; n = Anzahl der gemessenen Arbeitsschichten)

Tätigkeitsmodul		n	Kniebelastung gesamt * in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knien ohne Abstützung in %	Knien mit Abstützung in %	Kriechen in %
01	Bodenfliesen verlegen (Dünnbett)	5	305 ( $\pm$ 45)	63,7 ( $\pm$ 9,3)	0,3 ( $\pm$ 0,3)	10,5 ( $\pm$ 2,5)	24,3 ( $\pm$ 6,6)	28,5 ( $\pm$ 5,6)	0,0 ( $\pm$ 0,1)
02	Wandfliesen verlegen (Dünnbett)	3	140 ( $\pm$ 80)	28,9 ( $\pm$ 16,7)	5,8 ( $\pm$ 5,3)	5,5 ( $\pm$ 3,4)	13,6 ( $\pm$ 9,0)	4,1 ( $\pm$ 2,0)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
03	Bodenfliesen verfugen	2	320 ( $\pm$ 15)	66,7 ( $\pm$ 2,8)	7,3 ( $\pm$ 10,2)	11,9 ( $\pm$ 3,5)	17,3 ( $\pm$ 3,8)	29,7 ( $\pm$ 5,0)	0,5 ( $\pm$ 0,6)
04	Wandfliesen verfugen	5	140 ( $\pm$ 25)	29,0 ( $\pm$ 5,7)	6,3 ( $\pm$ 7,3)	6,9 ( $\pm$ 6,3)	13,9 ( $\pm$ 7,6)	1,9 ( $\pm$ 1,8)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
Sonderfälle									
S1	Vorbereitungs- arbeiten	2	130 ( $\pm$ 35)	27,3 ( $\pm$ 7,0)	0,3 ( $\pm$ 0,2)	2,9 ( $\pm$ 2,4)	19,1 ( $\pm$ 9,4)	4,9 ( $\pm$ 0,2)	0,2 ( $\pm$ 0,3)
S2	Bodenfliesen verlegen (Dickbett)	1	295	61,8	2,3	5,7	23,4	30,4	0,0
S3	Silikon- Verfugungsarbeiten	1	160	33,1	13,9	0,0	18,3	0,9	0,0
S4	Wand- und Boden- fliesen verlegen (Dünn- bett)	1	230	48,3	0,0	7,8	32,6	7,8	0,0

\* bezogen auf eine Standard-Arbeitsschicht von 8 h Dauer

## 5.7 Flugzeugabfertiger

### Berufsbild und Tätigkeitsmodule

Die Aufgaben des Flugzeugabfertigers umfassen alle Tätigkeiten, die in der Zeit zwischen Landung und Start eines Verkehrsflugzeugs im Außenbereich und im Laderaum anfallen. Sie weisen Luftfahrzeuge nach der Landung zunächst auf die entsprechende Vorfeldposition ein und sichern diese nach Erreichen der Parkposition mittels spezieller Schutzvorrichtungen.

Bei der Abfertigung sind die Flugzeugabfertiger für eine rasche und reibungslose Be- und Entladung von Gepäck, Fracht, Post und Bordverpflegung verantwortlich. Des Weiteren kümmern sie sich um die Versorgung der Luftfahrzeuge mit Treibstoff, Außenbordstrom, Druckluft, Bordverpflegung und Frischwasser sowie die Entsorgung von Abwasser und Abfällen. In den untersuchten Arbeitsschichten wurden durchschnittlich etwa acht Maschinen pro Tag abgefertigt.

Kniebelastende Tätigkeiten sind in erster Linie bei der Gepäckabfertigung zu beobachten. Hier ist aufgrund der Flugzeuggröße zwischen zwei verschiedenen Verfahren zu unterscheiden.

**Abfertigung von Standardrumpfflugzeugen:** Bei diesen Flugzeugtypen handelt es sich um Verkehrsflugzeuge mit einem Rumpfdurchmesser zwischen drei und vier Metern, einem Gang und bis zu sechs Sitzen pro Reihe in der Economy Class (z. B. Airbus A320,

Boeing 737, Douglas DC-8, Fokker 70). Der Frachtraum ist bei diesem Bautyp mit ca. einem Meter Höhe recht niedrig, sodass Be- und Entladung nur in kniender bis kauender Stellung erfolgen können: Der Flugzeugabfertiger muss in den Frachtraum hineinklettern und die einzelnen Gepäckstücke im Knien, Sitzen und z. T. auch im Liegen bis zur Frachtluke schieben oder werfen (Abbildung 73). Dort übernimmt sie in der Regel ein Kollege und legt sie auf ein Förderband, über welches das Gepäck aus dem Flugzeug heraus zu weiteren Kollegen transportiert wird, die schließlich die Gepäckwagen beladen. Üblicherweise wechseln sich die Mitglieder eines Teams an den verschiedenen Positionen ab.

Abbildung 73:  
Flugzeugabfertiger, Tätigkeitsmodul „Abfertigen von Standardrumpfflugzeugen“

a) Flugzeug beladen (außen)



b) Flugzeug entladen (im Frachtraum)



c) Flugzeug entladen (außen)



d) Gepäckwagen verschieben



**Abfertigung von Großraumflugzeugen:** Großraumflugzeuge zeichnen sich durch einen Rumpfdurchmesser von mehr als fünf Metern und das Vorhandensein von mindestens zwei Gängen in der Passagiermaschine aus. Zu dieser Flugzeugklasse gehören z. B. Typen der Hersteller Boeing (747, 767, 777), Airbus (A300-350, 380), Ilyushin (IL-86, IL-96) oder McDonnell Douglas (MD DC-10, MD MD-11).

Gegenüber den Standardrumpfflugzeugen zeichnet sich dieser Flugzeugtyp des Weiteren durch einen deutlich größeren Frachtraum aus, dessen Beladung häufig mittels spezieller Container (Unit Load Devices – ULD) erfolgt, die zuvor im Flughafengebäude beladen werden. Hierbei fallen im Regelfall keine kniegefährdenden Haltungen an (Abbildung 74).

Abbildung 74:  
Flugzeugabfertiger, Tätigkeitsmodul „Abfertigen von Großraum- (a) und Standardrumpfflugzeugen (b)“

a) Beladen eines United Load Device (ULD)



b) Flugzeug entladen (im Frachtraum)



Im Alltag des Flugzeugabfertigers werden je nach Saison, Flughafengröße o. Ä. verschiedene Flugzeugtypen be- und entladen, sodass das Tätigkeitsmodul „Abfertigen von Großraum- und Standardrumpfflugzeugen“ reale Tagespläne von verschiedenen Flughäfen repräsentiert. Die Kniebelastung ist hier geringer als bei der ausschließlichen Abfertigung von Standardrumpfflugzeugen.

### Messergebnisse

Die Ergebnisse der Messungen sind in Tabelle 10 dargestellt. Die Dauer der Kniebelastung in Tätigkeitsmodul 1 ist stark abhängig von dem Verhältnis zwischen der Anzahl an abgefertigten Großraum- und Standardrumpfflugzeugen.

Tabelle 10:  
Durchschnittliche Kniebelastungen des Flugzeugabfertigers  
(Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung; n = Anzahl der gemessenen Arbeitsschichten)

Tätigkeitsmodul		n	Kniebelastung gesamt * in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knien ohne Abstützung in %	Knien mit Abstützung in %	Kriechen in %
01	Großraum- und Standardrumpfflugzeuge	3	30 ( $\pm$ 15)	5,8 ( $\pm$ 3,4)	0,4 ( $\pm$ 0,6)	1,9 ( $\pm$ 2,3)	1,8 ( $\pm$ 1,3)	1,6 ( $\pm$ 0,4)	0,1 ( $\pm$ 0,0)
02	Standardrumpfflugzeuge	5	85 ( $\pm$ 20)	17,4 ( $\pm$ 3,8)	0,1 ( $\pm$ 0,1)	2,6 ( $\pm$ 1,0)	9,1 ( $\pm$ 2,4)	5,0 ( $\pm$ 3,3)	0,6 ( $\pm$ 0,4)

\* bezogen auf eine Standard-Arbeitsschicht von 8 h Dauer

## 5.8 Formenbauer

### Berufsbild und Tätigkeitsmodule

Da kniegefährdende Tätigkeiten im industriellen Formenbau kaum noch eine Rolle spielen, wurde hier lediglich ein Tätigkeitsmodul untersucht.

**Formenbau:** Bei dem in dieser Studie untersuchten Formenbau handelt es sich im Wesentlichen um die Herstellung von Gussformen aus Formsand. Dazu werden Holz-, Styropor- und Kunststoffmodelle in teilbaren Formkästen (aus Ober- und Unterkasten) mit Kunstharz gebundenem Formsand eingeformt. Dabei wird der Sand in die Hohlräume zwischen Modell und Formkasten gefüllt und angedrückt. Nach dem Aushärten wird das Modell aus der Form gezogen bzw. die Form vom Modell abgehoben. Damit sich das Modell leicht von der Guss-

form lösen lässt, wird diese zuvor mit einer Flüssigkeit („Schlichte“) eingepinselt (Abbildung 75). Nach dem Auftragen der Schlichte wird diese durch Abbrennen getrocknet. Das Auftragen der Schlichte erfolgt bei großen Gussformen in der Regel im Knien und wurde in den hier untersuchten Arbeitsschichten zu etwa einer Stunde pro Tag ausgeführt. Die übrigen Formenbau-Tätigkeiten werden üblicherweise nicht im Knien oder Hocken ausgeführt.

### Messergebnisse

In Tabelle 11 sind die Ergebnisse der Messungen zum Formenbauer dargestellt. Die Kniebelastungsdauer lag durchschnittlich bei etwa einer halben Stunde pro Tag, d. h. das Auftragen der Formschlichte wurde zu etwa 50 % im Knien bzw. Hocken durchgeführt. Ansonsten wurden keine kniebelastenden Tätigkeiten beobachtet.



Abbildung 75:  
Formenbauer, Tätigkeitsmodul „Formenbau“:  
Auftragen der Formschlichte

Tabelle 11:  
Durchschnittliche Kniebelastungen des Formenbauers  
(Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung; n = Anzahl der gemessenen Arbeitsschichten)

Tätigkeitsmodul	n	Kniebelastung gesamt * in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knien ohne Abstützung in %	Knien mit Abstützung in %	Kriechen in %
01 Formenbau	4	30 ( $\pm$ 15)	6,5 ( $\pm$ 3,0)	0,2 ( $\pm$ 0,3)	0,3 ( $\pm$ 0,2)	2,5 ( $\pm$ 0,8)	3,6 ( $\pm$ 3,0)	0,0 ( $\pm$ 0,1)

\* bezogen auf eine Standard-Arbeitsschicht von 8 h Dauer



## 5.9 Installateur

### Berufsbild und Tätigkeitsmodule

Das Berufsbild des Installateurs ist heute sehr heterogen und reicht von der Installation von Heizungsanlagen aller Art über den Einbau sanitärer Anlagen bis hin zu Anschlussarbeiten auf Dächern. Die Komplexität des Berufsbildes wird durch die Anzahl von zwölf verschiedenen Tätigkeitsmodulen, die im Rahmen dieser Studie zu kniebelastenden Tätigkeiten untersucht wurden, unterstrichen.

Die untersuchten Module lassen sich grob in die Bereiche Heizungsanlagenbau, Sanitär- montage und Dacharbeiten unterteilen.

### Heizungsanlagenbau

Zu diesen Tätigkeiten gehören alle Arbeiten, die mit der Konzeption und Installation von Heizungsanlagen unterschiedlichster Art in Verbindung stehen. Speziell untersucht wurden die Montage von Fußbodenheizungen inklusive der dazu notwendigen Vorbereitungsarbeiten, die Montage von Heizkesseln, Brennern und Heizkörpern sowie die Montage von Rohrleitungen verschiedener Art.

**Fußbodenheizungs-Vorbereitung:** Beim Einbau moderner Fußbodenheizungs-Systeme sind bestimmte Vorbereitungen zu treffen, bevor die eigentlichen Heizelemente eingebaut werden können. Zu diesen Vorbereitungen gehört z. B. der Einbau von Dämm- oder Wärme- leitelementen (Abbildung 76), die je nach verwendetem System unterschiedlich sein können. Da die Arbeiten überwiegend am Boden stattfinden, wurden hier sehr hohe Kniebelastungs- dauern von durchschnittlich mehr als fünf Stunden pro Tag gemessen.

Abbildung 76:  
Installateur, Tätigkeitsmodul „Fußbodenheizungs-Vorbereitung“

a) Wärmeleitplatten verlegen



b) Dämmung verlegen



**Fußbodenheizungsmontage:** Nach Abschluss der Vorbereitungen beginnt der Einbau und Anschluss der eigentlichen Heizelemente in Form von Rohr- oder Schlauchleitungen. Hier existiert ein Vielfalt verschiedener Systeme, die sich z. T. auch in der Verlegetechnik der Rohrleitungen unterscheiden. Aus diesem Grund variiert die gemessene Kniebelastungs- dauer bei den untersuchten Probanden beträchtlich: Bei einigen System ist die Montage der Leitungen mithilfe bestimmter Werkzeuge („Tacker“) im Stehen möglich, bei anderen Systeme- nen muss im Knien oder Hocken gearbeitet werden (Abbildung 77). Der Anschluss der Leitungen an die Heizungsanlage erfolgt gewöhnlich in kniender oder hockender, aber auch sitzender Stellung.

**Heizungsanlagenmontage:** Montage und Anschluss von Heizkessel, Brenner u. Ä. einer modernen Heizungsanlage erfolgen je nach System leicht unterschiedlich, aber jeweils überwiegend im Stehen (Abbildung 78). Insgesamt ist die Kniebelastung mit durchschnittlich gemessenen 35 Minuten pro Tag weitaus geringer als bei den übrigen gemessenen Tätigkeiten zum Heizungsanlagenbau.

**Heizkörpermontage:** Bei konventionellen Heizungsanlagen sind Heizkörper unterschiedlicher Größe und Beschaffenheit zu montieren und anzuschließen. Da Heizkörper normalerweise in Knie- bis Hüfthöhe montiert werden, erfolgen die Arbeiten größtenteils im Knien oder Hocken (Abbildung 79). Aus den Messungen ergab sich eine durchschnittliche Kniebelastungsdauer von etwa vier Stunden pro Tag.

Abbildung 77:  
Installateur, Tätigkeitsmodul „Fußbodenheizungsanlage“

a) Montage im Knien



b) Montage im Stehen



Abbildung 78:  
Installateur, Tätigkeitsmodul „Heizungsanlagenmontage“

a) Anschlussarbeiten im Knien



b) Anschlussarbeiten im Stehen



**Rohrleitungsmontage:** Unter „Rohrleitungen“ werden hier alle Leitungen im Bereich Heizung und Sanitär verstanden, mit Ausnahme von Abwasserleitungen. Üblicherweise handelt es sich um Kupferrohrleitungen. Die Montage versteht sich inklusive vorbereitender Arbeiten wie Stemmarbeiten, Trockenbau u. Ä. (Abbildung 80). Die große Bandbreite der Messergebnisse ist bedingt durch unterschiedliche bauliche Gegebenheiten an den gemessenen Baustellen, z. B. Arbeiten in Neu- oder Altbauten. Insgesamt ergab sich eine durchschnittliche Kniebelastungsdauer von ca. drei Stunden pro Arbeitstag.

Abbildung 79:  
Installateur, Tätigkeitsmodul „Heizkörpermontage“

a) Heizkörper montieren



b) Wandhalterungen montieren



Abbildung 80:  
Installateur, Tätigkeitsmodul „Rohrleitungsmontage“

a) Bohrarbeiten



b) Montage



## Sanitärarbeiten

Unter dieser Kategorie sind Tätigkeiten zusammengefasst, die zur Montage und zum Anschluss von Sanitärobjekten notwendig sind. Dazu gehören neben der eigentlichen Montage von Waschbecken, Urinalen u. Ä. auch die Montage entsprechender Abwasserleitungen oder spezielle Arbeiten zum Einbau von WC-Spülkästen unter Putz.

**Abwasserleitungsmontage:** Unter „Abwasserleitungen“ werden hier alle Abwasser führenden Leitungen oberhalb der Bodenplatte verstanden. Da solche Leitungen häufige in Boden- bis Kniehöhe montiert werden, sind die Arbeiten überwiegend im Knien oder Hocken durchzuführen (Abbildung 81), sodass die Messungen auch hohe Kniebelastungsdauern von durchschnittlich über vier Stunden pro Tag zeigten.

Abbildung 81:  
Installateur, Tätigkeitsmodul „Abwasserleitungsmontage“

a) Montage



b) Vorbereiten



**Unterputzkastenmontage:** WC-Spülkästen werden heute gewöhnlich unter Putz installiert, d. h. in die Wand integriert (z. B. in Trockenbautechnik). Die hier dargestellten Arbeiten fanden auf Großbaustellen statt, wo mehrere Spülkästen pro Tag zu installieren waren (Abbildung 82). Die Arbeiten erfolgen zu großen Teilen im Knien oder Hocken, auch abhängig vom jeweils verwendeten Bausystem.

**Sanitär-Feinmontage:** Darunter ist die eigentliche Montage von Sanitärobjekten wie Waschbecken, WCs, Urinalen, Armaturen oder Handtuchhaltern zu verstehen. Üblicherweise werden für diese Objekte Halterungen in der Wand befestigt, die Objekte eingehängt, montiert und angeschlossen (Abbildung 83). Je nach Höhe der zu montierenden Sanitärobjekte erfordern die Arbeiten mehr oder weniger lange Kniebelastungsdauern. Die durchschnittlich gemessene Dauer lag bei über drei Stunden pro Tag.

### Dacharbeiten

Installateure führen auch Arbeiten auf Dächern wie Anschlussarbeiten mit Blechen, Dachrinnenmontage u. Ä. aus, die sie sich z. B. je nach Region mit Dachdeckern oder Bauklempnern teilen. In den letzten Jahren haben sich verschiedene Installateurbetriebe auch auf die Montage von Fotovoltaikanlagen spezialisiert.

Abbildung 82:  
Installateur, Tätigkeitsmodul „Unterputzkastenmontage“

a) Montage



b) Vorbereiten



Abbildung 83:  
Installateur, Tätigkeitsmodul „Sanitär-Feinmontage“

a) WC-Montage



b) WC-Montage vorbereiten



**Dach-Anschlussarbeiten:** Hierunter ist in erster Linie die Montage von Blechverkleidungen und Anschlussblechen zu verstehen. Wie bei den Steildacharbeiten im Abschnitt „Dachdecker“ (siehe Seite 51 ff.) konnte auch hier ab einer Dachneigung von ca. 40° als Besonderheit das „abgestützte Stehen“ beobachtet werden (Abbildung 84). Die Ausprägung der Kniebelastung ist hier sowohl von den individuellen Vorlieben des Probanden als auch von den baulichen Gegebenheiten abhängig.

Abbildung 84:  
Installateur, Tätigkeitsmodul „Dach-Anschlussarbeiten“

a) Anschlussbleche montieren



b) Anschlussbleche zuschneiden



**Dachrinnenmontage:** Bei der Dachrinnenmontage hängt der Grad der Kniebelastung in erster Linie davon ab, ob die Rinne von einem Gerüst oder von der Dachfläche aus montiert werden kann (Abbildung 85). Dementsprechend kann die Kniebelastungsdauer stark variieren, ist aber im Vergleich zu den übrigen untersuchten Tätigkeiten des Installateurs mit durchschnittlich ca. einer halben Stunde pro Tag relativ gering.

**Fotovoltaikmontage, Flachdach:** Hierzu zählen Montagetätigkeiten von Fotovoltaik- und solarthermischen Anlagen auf Dächern mit einer Dachneigung von weniger als 20°. Solche Anlagen werden gewöhnlich auf großen Industriehallen installiert, sodass große Flächen bearbeitet werden müssen. Die Arbeit besteht v. a. aus dem Verteilen des Materials auf der Dachfläche, der Montage der Unterkonstruktion sowie der Montage und dem Anschluss der Solarelemente (Abbildung 86). Diese Arbeiten können überwiegend im Stehen durchgeführt werden.

**Fotovoltaikmontage, Steildach:** Die zuvor beschriebene Montage von Fotovoltaik- und solarthermischen Anlagen kann auch auf Dächern mit einer Neigung von 20° und mehr durchgeführt werden. (Abbildung 87). In diesem Fall wurde im Rahmen dieser Studie ein größerer Zeitanteil kniender oder hockender Haltungen registriert als bei der gleichen Tätigkeit auf Flachdächern.

Abbildung 85:  
Installateur, Tätigkeitsmodul „Dachrinnenmontage“

a) Montage (kniend auf Dachfläche)



b) Montage (stehend auf Gerüst)



Abbildung 86:  
Installateur, Tätigkeitsmodul „Fotovoltaikmontage, Flachdach“

a) Montage der Halterungen im Stehen



b) Montage der Halterungen im Knien



Abbildung 87:  
Installateur, Tätigkeitsmodul „Fotovoltaikmontage, Steildach“

a) Module ausrichten



b) Module verlegen



## Messergebnisse

Die Ergebnisse der Messungen zum Berufsbild „Installateur“ sind in Tabelle 12 abgebildet. In neun der zwölf gemessenen Tätigkeitsmodule wurde eine durchschnittliche Kniebelastungsdauer von über einer Stunde pro Arbeitstag gemessen. Die höchsten Kniebelastungen mit durchschnittlich über fünf Stunden pro Tag liegen beim Modul „Fußbodenheizungs-Vorbereitung“ vor, etwa vier Stunden durchschnittliche Kniebelastung pro Tag weisen die Module „Heizkörpermontage“ und „Abwasserleitungsmontage“ auf, etwa drei Stunden konnten bei den Modulen „Fußbodenheizungsmontage“, „Rohrleitungsmontage“ und „Unterputzkastenmontage“ gemessen werden.

Tabelle 12:  
Durchschnittliche Kniebelastungen des Installateurs  
(Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung; n = Anzahl der gemessenen Arbeitsschichten)

Tätigkeitsmodul	n	Kniebelastung gesamt * in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knien ohne Abstützung in %	Knien mit Abstützung in %	Kriechen in %
01 Fußbodenheizung: Vorbereitung	3	315 ( $\pm$ 105)	65,8 ( $\pm$ 21,7)	2,8 ( $\pm$ 1,2)	8,9 ( $\pm$ 9,7)	32,6 ( $\pm$ 2,0)	20,7 ( $\pm$ 12,6)	0,9 ( $\pm$ 1,1)
02 Fußbodenheizungsmontage	5	195 ( $\pm$ 70)	40,3 ( $\pm$ 14,8)	3,1 ( $\pm$ 5,5)	4,1 ( $\pm$ 3,0)	18,3 ( $\pm$ 6,6)	14,8 ( $\pm$ 16,1)	0,0 ( $\pm$ 0,1)
03 Heizungsanlagenmontage	3	35 ( $\pm$ 25)	7,7 ( $\pm$ 4,7)	1,8 ( $\pm$ 1,4)	1,6 ( $\pm$ 2,8)	4,0 ( $\pm$ 3,5)	0,2 ( $\pm$ 0,4)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
04 Heizkörpermontage	3	245 ( $\pm$ 25)	51,0 ( $\pm$ 5,2)	1,4 ( $\pm$ 1,8)	14,8 ( $\pm$ 16,3)	34,1 ( $\pm$ 10,6)	0,7 ( $\pm$ 0,2)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
05 Rohrleitungsmontage	6	180 ( $\pm$ 60)	37,8 ( $\pm$ 12,6)	2,7 ( $\pm$ 2,8)	5,5 ( $\pm$ 6,2)	26,3 ( $\pm$ 14,1)	3,4 ( $\pm$ 4,0)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
06 Abwasserleitungsmontage	2	250 ( $\pm$ 30)	52,3 ( $\pm$ 6,7)	7,9 ( $\pm$ 2,7)	7,0 ( $\pm$ 7,3)	32,9 ( $\pm$ 14,8)	4,6 ( $\pm$ 1,9)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
07 Unterputzkastenmontage	2	165 ( $\pm$ 125)	34,5 ( $\pm$ 26,0)	1,3 ( $\pm$ 0,4)	0,5 ( $\pm$ 0,7)	30,2 ( $\pm$ 21,4)	2,5 ( $\pm$ 3,5)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
08 Sanitär-Feinmontage	4	200 ( $\pm$ 10)	41,5 ( $\pm$ 1,9)	2,5 ( $\pm$ 4,3)	5,8 ( $\pm$ 5,4)	28,1 ( $\pm$ 7,8)	5,2 ( $\pm$ 4,1)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
09 Dach-Anschlussarbeiten	4	95 ( $\pm$ 85)	20,3 ( $\pm$ 17,7)	11,1 ( $\pm$ 18,0)	0,1 ( $\pm$ 0,3)	6,3 ( $\pm$ 4,4)	2,8 ( $\pm$ 3,7)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
10 Dachrinnenmontage	3	25 ( $\pm$ 35)	5,7 ( $\pm$ 7,5)	0,2 ( $\pm$ 0,1)	0,0 ( $\pm$ 0,0)	2,6 ( $\pm$ 2,8)	2,8 ( $\pm$ 4,8)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
11 Fotovoltaikmontage, Flachdach	3	25 ( $\pm$ 25)	5,3 ( $\pm$ 5,0)	1,5 ( $\pm$ 1,2)	0,1 ( $\pm$ 0,2)	3,0 ( $\pm$ 3,3)	0,7 ( $\pm$ 1,2)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
12 Fotovoltaikmontage, Steildach	2	125 ( $\pm$ 15)	25,6 ( $\pm$ 3,4)	2,0 ( $\pm$ 1,3)	1,4 ( $\pm$ 0,2)	15,6 ( $\pm$ 9,6)	6,7 ( $\pm$ 5,1)	0,0 ( $\pm$ 0,0)

\* bezogen auf eine Standard-Arbeitsschicht von 8 h Dauer

## 5.10 Maler und Lackierer

### Berufsbild und Tätigkeitsmodule

Maler und Lackierer gestalten, behandeln, beschichten und bekleiden Innenwände, Decken, Böden und Fassaden von Gebäuden. Sie halten Objekte aus den unterschiedlichsten Materialien instand oder geben ihnen durch farbige Beschichtungen eine neue Oberfläche. Zu diesen Tätigkeiten zählen z. B. die Oberflächenbehandlung von Bauten und Bauteilen mit Beschichtungsstoffen, Tapezier- und Klebearbeiten, Korrosionsschutzarbeiten, die Gestaltung und Ausführung von Schriften, Schildern und Zeichen u. Ä. Des Weiteren gehören auch der Auf- und Abbau von Arbeitsgerüsten für Innen- und Außenarbeiten, die werkstattgebundene Lackierung und Kunststoffbeschichtung von Gegenständen sowie das Verlegen von Bodenbelägen (siehe hierzu Seite 47 ff). Die untersuchten Tätigkeitsmodule werden in Außen- und Innenarbeiten unterteilt.



### Außenarbeiten

Im Außenbereich von Gebäuden behandeln, beschichten und bekleiden Maler Fassaden. In der Regel sind zu diesen Zwecken Arbeitsgerüste aufzustellen. Die Zeitanteile der Kniebelastungen können je nach Arbeitshöhe beträchtlich variieren.

**Fassadenvorbereitung:** Bevor Fassaden gedämmt oder beschichtet werden können, sind häufig umfassende Vorbereitungsarbeiten wie Abkleben, Grundieren, Auslegen von Schutzfolien usw. notwendig (Abbildung 88). Die Arbeiten sind je nach Baustelle sehr heterogen und entsprechend können auch kniegefährdende Tätigkeiten in unterschiedlichem Maße vorkommen. In dieser Untersuchung ergab sich für das Modul eine durchschnittliche Kniebelastungsdauer von knapp drei Stunden pro Tag.

**Fassadenanstrich:** Nach den vorbereitenden Arbeiten kann der Anstrich mittels langstieliger Farbrolle erfolgen. An schwer zugänglichen Stellen muss zusätzlich mit dem Pinsel gearbeitet werden (Abbildung 89). Auch hier hängt die Kniebelastung wieder von der jeweiligen Arbeitshöhe auf dem Arbeitsgerüst ab.

Abbildung 88:  
Maler und Lackierer, Tätigkeitsmodul „Fassadenvorbereitung“

a) Abkleben im Fensterbereich



b) Abkleben im Sockelbereich



Abbildung 89:  
Maler und Lackierer, Tätigkeitsmodul „Fassadenanstrich“

a) Anstrich mit Rolle



b) Detailarbeiten



**Vollwärmeschutzmontage:** Zu diesen Wärmeschutzarbeiten im Sockelbereich sowie auf Gerüstbelagebenen zählt das Anbringen der Dämmung, das Auftragen des Unterputzes

und der Armierung sowie das Aufbringen und Abreiben des Oberputzes (Abbildung 90). Der prozentuale Zeitanteil der Kniebelastung bei diesen Arbeiten ist abhängig von der Tätigkeit und vom Arbeitsplatz an der Fassade (z. B. Sockel oder Traufe, Arbeit auf Gerüsten), sodass sich in den Untersuchungen eine große Bandbreite der Kniebelastungszeiten ergab.

Abbildung 90:  
Maler und Lackierer, Tätigkeitsmodul „Vollwärmeschutzmontage“

a) Montage der untersten Lage (im Knien)



b) Montage im Stehen



### Innenarbeiten

Bei den untersuchten Innenarbeiten handelt es sich um die Beschichtung oder Bekleidung von Wänden und Decken mit Farbanstrichen, Tapeten oder Dekorputz. Im Gegensatz zu den Außentätigkeiten entfällt hier normalerweise der Einsatz aufwendiger Arbeitsgerüste.

**Tapezieren:** Beim Tapezieren von Wänden treten Kniebelastungen in Abhängigkeit von der Raumgeometrie, der Anzahl der Fenster, Steckdosen in Bodennähe usw. in unterschiedlicher Ausprägung auf (Abbildung 91). Die durchschnittlich gemessene Kniebelastungsdauer beträgt knapp zwei Stunden pro Tag.

**Lackierarbeiten (innen):** Hierzu zählen alle Lackierarbeiten in Innenräumen wie das Lackieren von Türen oder Heizkörpern – einschließlich aller Vor- und Nacharbeiten (Abbildung 92). Da diese Tätigkeiten sich je nach Einsatzort sehr unterschiedlich gestalten, können Vorkommen und Dauer kniegefährdender Haltungen sehr unterschiedlich ausfallen.

### Sonderfälle

**Innenanstrich:** In Innenräumen erfolgt der Anstrich von Wänden und Decken gewöhnlich mit einer langstieligen Farbrolle, während an schwer zugänglichen Stellen mit einer kleinen Farbrolle („Mäuschen“) gearbeitet wird (Abbildung 93a). Kniebelastende Haltungen sind selten zu beobachten, v. a. bei Detailarbeiten im unteren Bodenbereich.

Abbildung 91:  
Maler und Lackierer, Tätigkeitsmodul „Tapezieren“

a) Tapezieren unterhalb eines Fensters



b) Glätten der Tapete in Bodennähe



Abbildung 92:  
Maler und Lackierer, Tätigkeitsmodul „Lackierarbeiten (innen)“

a) Tür lackieren



b) Heizkörper lackieren



Abbildung 93:  
Maler und Lackierer, Sonderfälle „Innenanstrich“ (a) und „Treppenhaus-Anstrich“ (b)

a) Innenanstrich mit Rolle



b) Detailarbeiten im Treppenhaus



**Treppenhausanstrich:** Der Anstrich von Treppenhäusern stellt im Gegensatz zu anderen Maler-Innenarbeiten aufgrund der zahlreichen zu bearbeitenden Kleinflächen und schwer zugänglichen Stellen einen besonderen Fall dar (Abbildung 93b). Entsprechend wurde hier ein höherer Anteil kniegefährdender Tätigkeiten gemessen. Die Arbeiten umfassen den Anstrich der Wände, Türen und Treppengeländer.

### Messergebnisse

Tabelle 13 zeigt die Ergebnisse der Messungen zum Berufsbild „Maler und Lackierer“. Die höchsten durchschnittlichen Kniebelastungen mit knapp drei Stunden pro Tag wurden bei den Tätigkeitsmodulen „Fassadenvorbereitung“ und „Lackierarbeiten (innen)“ beobachtet. Dagegen ergaben die Messungen bei den Modulen „Fassadenanstrich“, „Vollwärmeschutzmontage“ und dem Sonderfall „Innenanstrich“ durchschnittliche Kniebelastungen von weniger als einer Stunde pro Arbeitstag.

Tabelle 13:  
Durchschnittliche Kniebelastungen des Malers und Lackierers  
(Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung; n = Anzahl der gemessenen Arbeitsschichten)

Tätigkeitsmodul	n	Kniebelastung gesamt * in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knie ohne Abstützung in %	Knie mit Abstützung in %	Kriechen in %
01 Fassaden- vorbereitung	3	170 ( $\pm$ 105)	35,0 ( $\pm$ 21,4)	7,9 ( $\pm$ 6,0)	5,6 ( $\pm$ 5,6)	20,3 ( $\pm$ 13,6)	1,4 ( $\pm$ 1,7)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
02 Fassaden- anstrich	3	45 ( $\pm$ 25)	9,0 ( $\pm$ 5,2)	5,3 ( $\pm$ 6,9)	0,6 ( $\pm$ 1,1)	2,7 ( $\pm$ 1,4)	0,4 ( $\pm$ 0,6)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
03 Vollwärmeschutz- montage	5	45 ( $\pm$ 60)	8,9 ( $\pm$ 12,2)	4,5 ( $\pm$ 9,4)	2,3 ( $\pm$ 4,9)	2,1 ( $\pm$ 2,4)	0,1 ( $\pm$ 0,1)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
04 Tapezieren	3	115 ( $\pm$ 35)	24,2 ( $\pm$ 7,1)	1,6 ( $\pm$ 2,4)	6,3 ( $\pm$ 5,1)	15,5 ( $\pm$ 4,0)	0,7 ( $\pm$ 0,6)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
05 Lackierarbeiten (innen)	2	170 ( $\pm$ 40)	35,4 ( $\pm$ 8,5)	9,2 ( $\pm$ 11,7)	1,1 ( $\pm$ 0,6)	23,6 ( $\pm$ 5,8)	1,5 ( $\pm$ 2,1)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
Sonderfälle								
S1 Innenanstrich	1	15	3,0	1,7	0,0	1,3	0,0	0,0
S2 Treppenhaus- anstrich	2	65 ( $\pm$ 35)	14,0 ( $\pm$ 6,8)	1,5 ( $\pm$ 1,4)	5,1 ( $\pm$ 3,9)	7,3 ( $\pm$ 4,5)	0,1 ( $\pm$ 0,2)	0,0 ( $\pm$ 0,0)

\* bezogen auf eine Standard-Arbeitsschicht von 8 h Dauer

## 5.11 Natur- und Kunststeinleger

### Berufsbild und Tätigkeitsmodule

Der Natur- und Kunststeinleger hat ähnliche Aufgaben wie der Fliesenleger (siehe Seite 65 ff.) und ist gewöhnlich in Steinmetzbetrieben beschäftigt. Zu seinem Arbeitsgebiet gehören das Verlegen von Platten aus Natur- und Kunststeinen als Boden- und Treppenbeläge bzw. als Wandbeläge, z. B. an Gebäudefassaden. Die Platten werden meist in einem Mörtelbett verlegt, in seltenen Fällen im Dünnbett-Verfahren verklebt.

Im Unterschied zum Fliesenleger ist der Natur- und Kunststeinleger der relativ großen Gewichte wegen gezwungen, jede Platte einzeln an die Verlegestelle zu transportieren. Teilweise wird diese Arbeit mithilfe von Hebehilfen („Vakuumheber“) durchgeführt.

Da ein Großteil der Arbeiten am Boden bzw. unteren Wandbereich stattfindet, können kniebelastende Haltungen in nicht unerheblichem Maße auftreten.

Die untersuchten Tätigkeiten des Natur- und Kunststeinlegers wurden in drei Tätigkeitsmodulen und zwei Sonderfällen zusammengefasst.

**Treppenstufen verlegen:** Zu dieser Tätigkeit gehören das Verlegen von Tritt- und Stellstufen inklusive aller Nebenarbeiten wie Mörtel anmischen oder Material im Treppenhaus verteilen (Abbildung 94). Die einzelnen Stufen werden im Mörtelbett verlegt, wobei verschiedene Probanden von oben nach unten, andere von unten nach oben in ihrer Arbeit fortschritten. Die Bandbreite der gemessenen Kniebelastung resultiert hauptsächlich aus der individuellen Arbeitsweise der einzelnen Probanden.

Abbildung 94:  
Natur- und Kunststeinleger, Tätigkeitsmodul „Treppenstufen verlegen“

a) Verlegetechnik „von unten nach oben“



b) Verlegetechnik „von oben nach unten“



**Fassadenplattenmontage:** Bei der Bekleidung von Gebäudefassaden mit Natur- oder Kunststeinplatten werden relativ große Platten auf einer Unterkonstruktion montiert (Abbildung 95). Der dazu notwendige Einsatz von Arbeitsgerüsten führt zu einem breiten Spektrum von Arbeitshöhen und somit auch zu unterschiedlichen Kniebelastungsdauern bei den einzelnen Messungen.

**Bodenplatten verlegen:** Bodenplatten im Außenbereich (z. B. Terrasse) werden gewöhnlich im Mörtelbett verlegt. Das Verlegen der relativ großen und schweren Platten erfordert ein längeres Positionieren und Ausrichten der einzelnen Platten im Stehen, sodass der Anteil kniegefährdender Haltungen geringer ist als etwa beim Verlegen von Bodenfliesen (Abbildung 96).

Abbildung 95:  
Natur- und Kunststeinleger, Tätigkeitsmodul „Fassadenplattenmontage“

a) Montage der obersten Platten



b) Montage im Sockelbereich



Abbildung 96:  
Natur- und Kunststeinleger, Tätigkeitsmodul „Bodenplatten verlegen“

a) Kleber auftragen



b) Platten verlegen



### Sonderfälle

Aufgrund des hohen Gewichts der Bodenplatten werden beim Verlegen teilweise Hebehilfen (z. B. Vakuumheber) eingesetzt, die bei entsprechend großer Bodenfläche ein schnelleres und einfacheres Arbeiten erlauben. Beim Einsatz solcher Vakuumheber fallen gewöhnlich zwei Tätigkeiten an, die in der Regel von zwei verschiedenen Personen durchgeführt werden: dem eigentlichen „Bodenleger“ sowie einem Helfer oder „Bediener“.

**Vakuumheber: Bediener:** Dieser ist fast ausschließlich für die Bedienung des Vakuumhebers verantwortlich und setzt die Platten an den ihm angewiesenen Stellen ab (Abbildung 97a). Kniebelastende Haltungen kommen bei dieser Tätigkeit (fast) nicht vor.

**Vakuumheber: Bodenplatten verlegen:** Das eigentlich Verlegen der Bodenplatten erfolgt ähnlich der Tätigkeit des Fliesenlegers beim Verlegen von Bodenfliesen im Dickbett (siehe Seite 65 ff.). Vor dem Verlegen wird das Mörtelbett erstellt und die Platten dann ausgerichtet und in das Mörtelbett eingedrückt oder geklopft (Abbildung 97b). Da durch die Hilfe des

Vakuumhebers ein Positionieren der Platten im Stehen entfällt, ist die Kniebelastungsdauer für den „Verleger“ deutlich höher als bei der gleichen Tätigkeit ohne Vakuumheber.

Abbildung 97:  
Natur- und Kunststeinleger, Sonderfälle

a) Vakuumheber: Bediener



b) Vakuumheber: Bodenplatten verlegen



## Messergebnisse

Die durchschnittlichen Kniebelastungszeiten in den Tätigkeitsmodulen des Natur- und Kunststeinlegers sind in **Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke.** abgebildet. In allen drei Modulen konnten Kniebelastungen von über einer Stunde pro Arbeitsschicht gemessen werden. Bei Arbeiten mit dem Vakuumheber wies der „Bediener“ nur sehr geringe Kniebelastungen auf, während beim „Verleger“ eine Kniebelastungsdauer von über vier Stunden pro Tag gemessen wurde.

Tabelle 14:  
Durchschnittliche Kniebelastungen des Natur- und Kunststeinlegers  
(Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung; n = Anzahl der gemessenen Arbeitsschichten)

Tätigkeitsmodul		n	Kniebelastung gesamt * in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knien ohne Abstützung in %	Knien mit Abstützung in %	Kriechen in %
01	Treppenstufen verlegen	5	145 ( $\pm$ 50)	29,7 ( $\pm$ 10,2)	11,0 ( $\pm$ 9,2)	3,3 ( $\pm$ 3,6)	14,6 ( $\pm$ 17,4)	0,9 ( $\pm$ 0,6)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
02	Fassadenplatten- montage	5	80 ( $\pm$ 40)	16,2 ( $\pm$ 8,2)	7,3 ( $\pm$ 4,7)	0,1 ( $\pm$ 0,3)	8,1 ( $\pm$ 5,7)	0,6 ( $\pm$ 0,6)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
03	Bodenplatten verlegen	3	155 ( $\pm$ 30)	32,8 ( $\pm$ 6,5)	1,8 ( $\pm$ 1,3)	1,4 ( $\pm$ 1,3)	15,7 ( $\pm$ 5,7)	13,9 ( $\pm$ 2,0)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
Sonderfälle									
S1	Vakuumheber: Bediener	1	5	1,4	0,9	0,0	0,1	0,5	0,0
S2	Vakuumheber: Boden- platten verlegen	1	250	52,3	0,3	3,0	26,7	22,3	0,0

\* bezogen auf eine Standard-Arbeitsschicht von 8 h Dauer

## 5.12 Parkettleger

### Berufsbild und Tätigkeitsmodule

Parkettleger verlegen und renovieren Parkett, Dielenböden und Holzpflaster, in geringerem Umfang restaurieren sie auch Treppen o. Ä. Das Verlegen schwimmender Bodenbeläge wie Fertigparkett oder Laminat wird häufiger von Bodenlegern ausgeführt.

Beim Verlegen von Parkett sind unterschiedliche Arbeitsgänge auszuführen, die in der Regel nur an verschiedenen Tagen möglich sind. Eine typische Parkett-Neuverlegung kann z. B. folgende Tätigkeiten umfassen:

- Einrichten der Baustelle mit Werkzeug und Materialien;
- Vorbereitung des Untergrundes (z. B. Reinigung, Beseitigung von Schäden, Nivellieren, Verlegen von Trittschalldämmung, Vorstrich);
- Verlegen des Parketts (z. B. Stab- oder Mosaikparkett) oder Dielenbodens; inklusive Kleberauftrag und Zuschnitt;
- mehrfaches Schleifen der Parkettfläche;
- „Verkitten“ und nochmaliges Schleifen;
- Oberflächenbehandlung (Grundieren, Versiegeln) mit Lacken, Ölen, etc.;
- Anbringen von Sockelleisten.

Die untersuchten Arbeiten des Parkettlegers lassen sich in drei Tätigkeitsmodule und vier Sonderfälle unterteilen. Bei kleineren Objekten oder handwerklich strukturierten Betrieben werden meist alle Arbeitsgänge von einem Parkettleger ausgeführt. Bei den häufig beobachteten Arbeiten im Zwei-Mann-Team ist in gewissem Umfang eine Arbeitsteilung möglich, so dass der Umfang der verschiedenen Arbeiten, die der einzelne Parkettleger ausführt, von Baustelle zu Baustelle variieren kann.

Die Tätigkeiten „Oberflächenbehandlung“ und „Sockelleistenmontage“ wurden in den untersuchten Arbeitsschichten lediglich zwischen 30 bis 60 Minuten pro Arbeitstag ausgeführt, sodass hierfür keine eigenen Tätigkeitsmodule gebildet wurden. Für die Oberflächenbehandlung, die im Stehen oder Knien stattfinden kann (z. B. Versiegelung mit Walze oder mit Flächenspachtel/Pinsel), ergaben die sechs Einzelmessungen eine durchschnittliche Kniebelastung von 54,6 % ( $\pm 25,3$  %), für die überwiegend im Knien durchgeführte Montage der Sockelleisten ergaben die drei Einzelmessungen eine durchschnittliche Kniebelastung von 70,3 % ( $\pm 7,2$  %).

Bei der Parkettrenovierung werden im Allgemeinen nur die Arbeitsgänge „Schleifen und Verkitten“, „Oberflächenbehandlung“ und ggf. „Sockelleistenmontage“ ausgeführt. Die prozentualen Anteile der Arbeiten ändern sich daher entsprechend.

**Stabparkett verlegen:** Beim Verlegen von Parkett wird zunächst mit einer Zahnpachtel der Kleber aufgetragen und anschließend die Parketthölzer von Hand in den Kleber eingedrückt, beim Stabparkett also einzelne Hölzer oder Stäbe (Abbildung 98). An Rändern oder Türen müssen die Hölzer einzeln passend zugeschnitten werden. Da sowohl das Auftragen des Klebers als auch das Verlegen der einzelnen Stäbe – mitunter auch das Zuschneiden an der Kreissäge – in kniender Haltung erfolgen, wurden bei dieser Tätigkeit sehr hohe Kniebelastungszeiten von durchschnittlich fast sechs Stunden pro Arbeitstag gemessen. Die eigentlichen Verlegearbeiten beanspruchen beim Stabparkett ca. 40 % der wöchentlichen Arbeitszeit.



**Mosaikparkett verlegen:** Kleinformative Parketthölzer (Mosaikparkett, Englischer Verband, Hochkantlamellen) sind werksseitig mit Geweben oder Streifen zu größeren Elementen verbunden, um ein schnelleres Verlegen zu ermöglichen (Abbildung 99). Ansonsten erfolgt das Verlegen wie unter dem vorhergehenden Tätigkeitsmodul beschrieben. Bei dieser Art von Parkett liegt der Umfang des reinen Verlegens bei ca. 30 bis 35 % der wöchentlichen Arbeitszeit.

**Schleifen und Verkitten:** Nachdem der Kleber ein oder mehrere Tage abgebunden hat, wird die gesamte Parkettfläche in mehreren Arbeitsgängen geschliffen. Mit einer Parkettschleifmaschine erfolgt der Flächenschliff in aufrechter Haltung, während an den Rändern des Bodens mit speziellen Tellerschleifmaschinen in kniender bis hockender Haltung gearbeitet wird (Abbildung 100). Je nachdem, wie groß der Anteil der Ränderbearbeitung an einer Baustelle ausfällt, variiert die Kniebelastung des Parkettlegers bei dieser Tätigkeit.

Abbildung 98:  
Parkettleger, Tätigkeitsmodul „Stabparkett verlegen“

a) Kleber auftragen



b) Stäbe zuschneiden



Abbildung 99:  
Parkettleger, Tätigkeitsmodul „Mosaikparkett verlegen“

a) Verlegen (Knien mit Abstützung)



b) Verlegen (Knien ohne Abstützung)



Abbildung 100:  
Parkettleger, Tätigkeitsmodul „Schleifen und Verkitten“

a) Schleifen der Fläche



b) Schleifen im Randbereich



Nach dem Schleifen wird ein Teil des Schleifstaubes mit einem Bindemittel zu einem Brei verrührt und dieser Brei mit dem Spachtel in die Fugen zwischen den einzelnen Parkett­hölzern gedrückt. Dieser Arbeitsgang der in kniender Körperhaltung ausgeführt wird, wird als „Verkitten“ bezeichnet (Abbildung 101). Anschließend wird die Parkettfläche noch einmal geschliffen und vor der abschließenden Oberflächenbehandlung („Versiegelung“) sorgfältig von Schleifstäuben gereinigt.

Bei den kleinformatigen Parkett­hölzern (Mosaik, Hochkantlamellen) liegt der Umfang des Schleifens und Verkittens bei ca. 35 bis 40 % der wöchentlichen Arbeitszeit, beim Verlegen von Stabparkett bei ca. 30 % der wöchentlichen Arbeitszeit.

Beim Verlegen von Fertigparkett entfallen normalerweise die Arbeitsgänge Schleifen, Verkitten und Versiegeln, da dieses werksseitig bereits mit einer Oberflächenbehandlung versehen ist.

### Sonderfälle

Als „Sonderfälle“ werden hier Arbeiten zusammengestellt, die je nach Baustelle sehr stark variieren können oder die heute immer seltener zum eigentlichen Aufgabengebiet des Parkettlegers zählen.

**Vorbereiten:** Hierzu zählen je nach Art und Umfang der Baumaßnahmen die Baustelleneinrichtung, die Reinigung des Untergrundes, die Beseitigung von eventuellen Schäden im Untergrund (z. B. mit speziellen Harzen) und der Vorstrich, der in der Regel mit einer Rolle und Teleskopstiel aufgetragen wird. Kniebelastende Tätigkeiten fallen hierbei nur selten an (Abbildung 102). Der Umfang der Arbeiten beträgt ca. 5 bis 10 % der wöchentlichen Arbeitszeit.

**Dielenboden verlegen:** Das Verlegen von Dielenböden unterscheidet sich vom Verlegen anderer Parkettarten dadurch, dass die Stäbe aufgrund ihrer Länge teilweise auch im Stehen verlegt werden (Abbildung 103). Nach dem Verlegen werden Dielenböden üblicherweise geschliffen, während anstelle des „Verkittens“ häufig direkt die Oberflächenbehandlung mit Lacken, Ölen oder Wachsen erfolgt.

Abbildung 101:  
Parkettleger, Tätigkeitsmodul „Schleifen und Verkitten“

a) Verkitten



b) abschließender Feinschliff



Abbildung 102:  
Parkettleger, Sonderfall „Vorbereiten“

a) Baustelle einrichten



b) Untergrund säubern



Abbildung 103:  
Parkettleger, Sonderfall „Dielenboden verlegen“

a) Dielenbretter verlegen



b) Kleber auftragen



**Stabparkett federn:** Stabparkett muss vor der eigentlichen Verlegung an den Stirnseiten mit einer Feder versehen werden. In der Vergangenheit wurden dünne Holzlamellen („Federn“, 3 mm) mit dem Hammer in die Nuten der Parkettstäbe eingeschlagen (Abbildung 104a). Diese Tätigkeit erfolgte im Stehen, und zwar meist zu Beginn der Arbeiten für die gesamte benötigte Holzmenge. Zwischenzeitlich wird Stabparkett überwiegend mit werksseitig angehoelter Feder verarbeitet, sodass dieser Arbeitsgang seit Ende der 1990er-Jahre zunehmend entfällt.

**Trittschalldämmung verlegen:** Je nach Untergrund und Anforderung der Baustelle müssen vor der eigentlichen Parkettverlegung Unterboden- oder Trittschalldämmplatten verlegt werden (Abbildung 104b). Dies erfolgt hauptsächlich im Knien, sodass hier eine Kniebelastungsdauer von knapp fünf Stunden am Tag registriert wurde.

### Messergebnisse

Tabelle 15 zeigt die Ergebnisse der Messungen zum Berufsbild „Parkettleger“. Beim reinen Verlegen der verschiedenen Parkettsorten ergeben die Messungen sehr hohe durchschnittliche Kniebelastungszeiten von fast sechs Stunden pro Tag beim Stabparkett oder über vier Stunden pro Tag beim Mosaikparkett. Auch bei der Tätigkeit „Schleifen und Verkitten“ wurden noch hohe Zeitanteile in v. a. kniender Haltung von durchschnittlich knapp drei Stunden pro Arbeitsschicht gemessen, allerdings ergibt sich hier durch die Heterogenität der Tätigkeiten eine höhere Bandbreite der Messergebnisse.

Bei den Sonderfällen ist die hohe Kniebelastung beim „Verlegen von Trittschalldämmung“ auffällig. Diese Tätigkeit ist mit anderen Bodenlegetätigkeiten bei Fliesen-, Boden-, Natur- und Kunststein- oder Parkettlegern vergleichbar.

Beim „Verlegen von Dielenboden“ zeigt sich die im Vergleich zu den übrigen Parkettsorten etwas andere Verlegetechnik auch in den Messergebnissen, da hier die Kniebelastungsdauer mit knapp drei Stunden pro Tag etwas geringer ausfällt. Bei den Tätigkeiten „Vorbereiten“ und „Stabparkett federn“ wurden kniegefährdenden Haltungen nur in geringem Maße bzw. gar nicht beobachtet.

Abbildung 104:  
Parkettleger, Sonderfälle

a) Stabparkett federn



b) Trittschalldämmung verlegen



Tabelle 15:  
Durchschnittliche Kniebelastungen des Parkettlegers  
(Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung; n = Anzahl der gemessenen Arbeitsschichten)

Tätigkeitsmodul		n	Kniebelastung gesamt * in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knieen ohne Abstützung in %	Knieen mit Abstützung in %	Kriechen in %
01	Stabparkett verlegen	3	355 ( $\pm$ 35)	74,1 ( $\pm$ 7,5)	0,6 ( $\pm$ 0,4)	2,2 ( $\pm$ 1,7)	58,5 ( $\pm$ 10,4)	12,7 ( $\pm$ 17,5)	0,2 ( $\pm$ 0,2)
02	Mosaikparkett verlegen	8	250 ( $\pm$ 30)	52,4 ( $\pm$ 5,9)	2,6 ( $\pm$ 2,8)	3,0 ( $\pm$ 1,3)	28,6 ( $\pm$ 9,2)	18,1 ( $\pm$ 7,3)	0,1 ( $\pm$ 0,1)
03	Schleifen und Verkit- ten	10	170 ( $\pm$ 70)	34,9 ( $\pm$ 14,2)	0,3 ( $\pm$ 0,4)	1,4 ( $\pm$ 1,4)	21,1 ( $\pm$ 13,2)	12,1 ( $\pm$ 7,9)	0,1 ( $\pm$ 0,1)
Sonderfälle									
S1	Vorbereiten	2	10 ( $\pm$ 15)	2,5 ( $\pm$ 3,1)	0,3 ( $\pm$ 0,1)	0,0 ( $\pm$ 0,0)	2,3 ( $\pm$ 3,2)	0,0 ( $\pm$ 0,0)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
S2	Dielenboden verlegen	1	160	33,7	5,3	7,4	11,4	9,3	0,2
S3	Stabparkett federn	3	0 ( $\pm$ 0)	0,0 ( $\pm$ 0,0)	0,0 ( $\pm$ 0,0)	0,0 ( $\pm$ 0,0)	0,0 ( $\pm$ 0,0)	0,0 ( $\pm$ 0,0)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
S4	Trittschall- dämmung verlegen	1	295	61,8	0,5	5,4	29,2	26,1	0,5

\* bezogen auf eine Standard-Arbeitsschicht von 8 h Dauer

## 5.13 Pflasterer

### Berufsbild und Tätigkeitsmodule

Pflasterer verlegen Klein-, Mosaik- und Verbundsteinpflaster aus Natur- und Betonsteinen, setzen Gehwegplatten, Rand- und Betonsteine. Neben dem eigentlichen Verlegen der Steine führen sie vorbereitende Arbeiten wie den Einbau und das Verdichten des Unterbaus aus Schotter, Kies oder Beton aus sowie nachbereitende Arbeiten wie das Verfüllen der Stein-  
fugen mit Sand oder Mörtel oder das Abrütteln von Pflasterflächen aus. Solche Arbeiten treten v. a. im Straßen- und Tiefbau, aber auch im Garten- und Landschaftsbau auf.

Beim Verlegen von Pflastersteinen lassen sich zwei Arbeitstechniken unterscheiden: Verlegen von Groß- oder Verbundpflaster sowie Verlegen von Klein- oder Mosaikpflaster.

**Verbundpflaster verlegen:** Beim Verlegen von Verbund- oder Großpflaster treten kniebelastende Tätigkeiten vor allem bei der Herstellung des Planums auf, während das eigentliche Verlegen der Steine in der Regel stehend in vorgebeugter Körperhaltung erfolgt (Abbildung 105).

**Kleinpflaster verlegen:** Das Verlegen von Kleinpflaster wie Mosaik- oder Natursteinpflaster erfolgt überwiegend im Hocken (Abbildung 106), teils auch im Sitzen (siehe Sonderfall).

#### Sonderfall

**Kleinpflaster verlegen (mit Schemel):** Der Einsatz eines Schemels stellt einen Sonderfall dar, in dem eine Körperhaltung eingenommen wird, die eher dem Sitzen zuzuordnen ist und deshalb in dieser Studie nicht zu den kniebelastenden Tätigkeiten gerechnet wurde (siehe Abschnitt 3.4 und Abbildung 107).

Abbildung 105:  
Pflasterer, Tätigkeitsmodul „Verbundpflaster verlegen“

a) Planum herstellen



b) Pflastersteine verlegen



Abbildung 106:  
Pflasterer, Tätigkeitsmodul „Kleinpflaster verlegen“



Abbildung 107:  
Pflasterer, Sonderfall „Kleinpflaster verlegen (mit Schemel)“



## Messergebnisse

Die Ergebnisse der Messungen zu den Pflasterertätigkeiten sind in Tabelle 16 dargestellt. Beide Tätigkeitsmodule weisen durchschnittliche Kniebelastungszeiten von über einer Stunde pro Tag auf, wobei zu beachten ist, dass im Modul „Kleinpflaster verlegen“ die höchsten Kniebelastungsdauern der gesamten Studie gemessen wurden. Dies gilt für alle drei gemessenen Probanden, was auch an der relativ geringen Standardabweichung erkennbar ist. Als Besonderheit sind die Kniebelastungen hier fast ausschließlich in Form des Hockens gegeben, während das Knien nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Da beim Sonderfall „Kleinpflaster verlegen (mit Schemel)“ das Sitzen auf dem Schemel nicht als kniegefährdende Tätigkeit im Sinne dieser Untersuchung eingestuft wurde und der Proband ausschließlich unter Nutzung des Schemels arbeitete, ergab die Messung hier keine Kniebelastung im Sinne der Studie.

Tabelle 16:

Durchschnittliche Kniebelastungen des Pflasterers  
(Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung; n = Anzahl der gemessenen Arbeitsschichten)

Tätigkeitsmodul		n	Kniebelastung gesamt * in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knien ohne Abstützung in %	Knien mit Abstützung in %	Kriechen in %
01	Verbundpflaster verlegen	3	85 ( $\pm$ 15)	17,8 ( $\pm$ 3,1)	3,5 ( $\pm$ 5,4)	0,5 ( $\pm$ 0,9)	10,5 ( $\pm$ 6,2)	3,2 ( $\pm$ 3,1)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
02	Kleinpflaster verlegen	3	395 ( $\pm$ 30)	82,5 ( $\pm$ 5,9)	80,2 ( $\pm$ 2,5)	0,0 ( $\pm$ 0,0)	2,3 ( $\pm$ 4,0)	0,0 ( $\pm$ 0,0)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
Sonderfall									
S1	Kleinpflaster verlegen (Schemel)	1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

\* bezogen auf eine Standard-Arbeitsschicht von 8 h Dauer

## 5.14 Rohrleitungsbauer

### Berufsbild und Tätigkeitsmodule

Rohrleitungsbauer arbeiten insbesondere in den Bereichen Kanal-, Abwasserleitungs-, Wasser- und Brunnenbau sowie Energie- und Wasserversorgung und stellen Rohrleitungssysteme für Wasser, Abwasser, Fernwärme, Öl und Gas her. Neben dem Verlegen und der Montage der Leitungen warten sie diese auch.

Zu den Tätigkeiten gehören das manuelle Ausschachten von Baugruben, Herstellen spezieller Rohrleitungsteile wie Abzweigungen, Verbinden der Rohrteile durch Verschrauben, Verkleben oder verschiedene Schweißverfahren wie Gas-, Lichtbogen- und Polyethylen(PE)-Schweißen sowie das Prüfen der Leitungen auf Dichtigkeit.

Teilweise kann auch eine Differenzierung des Berufsbildes in Kanalbauer und Rohrleitungsbauer im engeren Sinne erfolgen: Erstere befassen sich mit dem Bau und der Instandhaltung von Abwasserleitungssystemen, letztere mit allen Tätigkeiten rund um den Bau von Druckleitungen für Wasser, Gas, Öl oder Fernwärme.

**Kanalbau:** Zu diesem Modul zählen in erster Linie alle Tätigkeiten, die beim Bauen, Sanieren und Instandhalten von Abwasserleitungen oder -systemen anfallen, einschließlich der erforderlichen Tiefbauarbeiten. Dazu notwendige Arbeiten sind beispielsweise:

- Transport und Einbau von Verbauteilen aus Holz oder Stahl (z. B. Bohlen, Kanthölzer, Spindeln);
- Transport, Verlegen und Ausrichten von Rohren auf dem vorbereiteten Unterbau (in der Regel als Unterstützung für den Bagger);
- Herstellung von Fundamenten für Revisionsschächte;
- Versetzen von Schachtringen oder -fertigteilen;
- Herstellung der erforderlichen Rohranschlüsse;
- Schneiden und Anbohren von Rohren;
- Putz-, Abdichtungs- und Isolierarbeiten.
- Kniebelastende Haltungen konnten bei den untersuchten Tätigkeiten nur in geringem Maße beobachtet werden, da das eigentliche Verlegen der Rohre üblicherweise maschinell erfolgt (Bagger; siehe Abbildung 108 a).

**Rohrleitungsbau (Schweißen):** Bei der Herstellung und Wartung von Druckleitungen fallen häufig Schweißarbeiten an den Verbindungsstellen der Rohrteile an. Diese Arbeiten müssen bei unterirdisch verlegten Leitungen teilweise im Graben erfolgen, was zu kniebelastenden Haltungen führen kann (Abbildung 109). In den untersuchten Arbeitsschichten zeigte sich, dass Schweißarbeiten unter diesen Bedingungen aber auch im Stehen oder Sitzen ausgeführt werden.

**Rohrleitungsbau (PE-Schweißen):** Eine besondere Form des Schweißens von Druckleitungen aus PE oder Polyvinylchlorid (PVC) stellen das PE- und PVC-Schweißen dar. Aufgrund der benötigten Geräte erfolgte diese Tätigkeit bei den untersuchten Arbeitsschichten ebenerdig und nicht im Graben (Abbildung 110). Die unterschiedliche Höhe der Kniebelastung bei den beiden untersuchten Probanden ergab sich durch individuelle Vorlieben hinsichtlich des Arbeitens im Knien, Sitzen oder Stehen.

### Sonderfall

**Ausschachten:** Bei der Wartung und Instandsetzung von Rohrleitungen können gerade an Hausanschlüssen manuelle Ausschachtarbeiten mit der Schaufel anfallen. Eine solche Arbeitsschicht wurde im Rahmen dieser Studie ebenfalls untersucht, wobei keine kniebelastenden Haltungen beobachtet werden konnten.

Abbildung 108:  
Rohrleitungsbauer, Tätigkeitsmodul „Kanalbau“

a) Rohrleitung verlegen



b) Anschlussarbeiten





Abbildung 109:  
Rohrleitungsbauer, Tätigkeitsmodul „Rohrleitungsbau (Schweißen)“

a) Schweißen im Stehen



b) Schweißen im Graben (sitzend)



Abbildung 110:  
Rohrleitungsbauer, Tätigkeitsmodul „Rohrleitungsbau (PE-Schweißen)“

a) Schweißmaschine aufsetzen (im Stehen)



b) Schweißmaschine aufsetzen (im Knien)



## Messergebnisse

Die Ergebnisse der Messungen zum Rohrleitungsbauer sind in Tabelle 17 dargestellt. Für das Modul „Kanalbau“ konnten kniebelastenden Haltungen nur in geringem Maße registriert werden, für den Sonderfall „Ausschachten“ überhaupt nicht. Die verschiedenen Schweißertätigkeiten zeigen dagegen höhere Kniebelastungszeiten, wobei Tätigkeiten im Knien deutlich häufiger auftreten als hockende oder kriechende Haltungen. Es zeigte sich, dass die Dauer der Kniebelastung bei diesen Tätigkeiten neben den baulichen Gegebenheiten auch stark von den individuellen Vorlieben der Probanden abhängig ist.

Tabelle 17:  
Durchschnittliche Kniebelastungen des Rohrleitungsbauers  
(Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung; n = Anzahl der gemessenen Arbeitsschichten)

Tätigkeitsmodul		n	Kniebelastung gesamt * in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knien ohne Abstützung in %	Knien mit Abstützung in %	Kriechen in %
01	Kanalbau	3	10 ( $\pm$ 5)	2,0 ( $\pm$ 1,3)	0,8 ( $\pm$ 0,3)	0,1 ( $\pm$ 0,1)	0,8 ( $\pm$ 0,8)	0,3 ( $\pm$ 0,4)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
02	Rohrleitungsbau (Schweißen)	3	65 ( $\pm$ 30)	13,9 ( $\pm$ 5,9)	2,3 ( $\pm$ 2,1)	0,8 ( $\pm$ 1,4)	7,2 ( $\pm$ 4,6)	3,5 ( $\pm$ 2,9)	0,1 ( $\pm$ 0,1)
03	Rohrleitungsbau (PE-Schweißen)	2	105 ( $\pm$ 50)	21,9 ( $\pm$ 10,6)	0,1 ( $\pm$ 0,1)	4,3	16,1 ( $\pm$ 7,4)	1,4 ( $\pm$ 1,4)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
Sonderfall									
S1	Ausschachten	1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

\* bezogen auf eine Standard-Arbeitsschicht von 8 h Dauer

## 5.15 Schweißer (im Behälterbau)

### Berufsbild und Tätigkeitsmodule

Das Berufsbild „Schweißer“ ist sehr heterogen: Schweißarbeiten sind in vielen Branchen durchzuführen und die Fülle der unterschiedlichen Schweißverfahren führt zu einer Vielfalt verschiedener Tätigkeiten. Da die jeweils bearbeiteten Objekte ebenfalls sehr unterschiedlich sein können und jeweils unterschiedliche Körperhaltungen beim Schweißen zur Folge haben, hat man sich in dieser Studie ganz bewusst auf das (Teil-)Berufsbild des Schweißers im Behälterbau beschränkt. Dabei handelt es sich um eine Tätigkeit bei der Produktion von Behältern wie dem Aufbau von Tankwagen, bei dem Schweiß- und Schleifarbeiten an der Außenseite und den Innenwänden anfallen. Die Schweißarbeiten im Innern der Behälter erfolgen aufgrund der relativ geringen Höhe in der Regel in kniender oder hockender Haltung. Je nachdem, wie hoch der Anteil der „Innenarbeiten“ an der Arbeitsschicht ist, kann die Dauer der Kniebelastung unterschiedlich hoch ausfallen.

### Messergebnisse

In Tabelle 18 sind die Ergebnisse der Messungen im Behälterbau dargestellt. Die durchschnittliche Kniebelastungsdauer lag bei knapp über drei Stunden pro Standard-Arbeitsschicht. Die Kniebelastung setzt sich in erster Linie aus knienden Haltungen zusammen, während Zeitanteile im Hocken oder Kriechen selten beobachtet werden konnten.

Tabelle 18:  
Durchschnittliche Kniebelastungen des Schweißers (im Behälterbau)  
(Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung; n = Anzahl der gemessenen Arbeitsschichten)

Tätigkeitsmodul		n	Kniebelastung gesamt * in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knien ohne Abstützung in %	Knien mit Abstützung in %	Kriechen in %
01	Wände einschweißen (Behälterbau)	3	195 ( $\pm$ 60)	40,9 ( $\pm$ 12,1)	0,4 ( $\pm$ 0,4)	2,1 ( $\pm$ 2,4)	14,6 ( $\pm$ 17,5)	23,9 ( $\pm$ 8,7)	0,0 ( $\pm$ 0,0)

\* bezogen auf eine Standard-Arbeitsschicht von 8 h Dauer

## 5.16 Werftarbeiter

### Berufsbild und Tätigkeitsmodule

Auf Werften findet sich eine Vielzahl verschiedener Tätigkeiten, die notwendig sind, um (Groß-)Schiffe zu konstruieren. Aus diesem Grund sind unter der Bezeichnung „Werftarbeiter“ eine Reihe von Berufen wie Schweißer oder Rohrschlosser zusammengefasst, die auch anderen Metall verarbeitenden Branchen vorkommen, deren Tätigkeiten im Schiffbau sich aber aufgrund der Arbeitsumgebung deutlich von anderen Branchen unterscheiden. Die einzelnen „Berufe“ werden im Folgenden als Tätigkeitsmodule aufgeführt, auch wenn die verschiedenen Tätigkeiten üblicherweise jeweils von „Spezialisten“ durchgeführt werden.

**Schweißen:** Im Schiffbau sind unterschiedliche Bauteile durch Heften und Verschweißen von Blechen und Bauteilgruppen herzustellen. Dabei können Arbeiten auf Bodenniveau oder in schwer zugänglichen Schiffsteilen anfallen, bei denen teilweise auch kniebelastende Haltungen notwendig sind (Abbildung 111). Aufgrund der sehr unterschiedlichen örtlichen Gegebenheiten streuen die Kniebelastungszeiten entsprechend. Die hier untersuchten Arbeitsschichten weisen mit durchschnittlich knapp sechs Stunden Kniebelastungsdauer pro Arbeitstag mit die höchsten Kniebelastungen der gesamten Studie auf.

**Schlossertätigkeiten:** Bei der Konstruktion eines Schiffes ist eine Vielzahl unterschiedlicher Schlossertätigkeiten notwendig (Abbildung 112) wie Installationen in der Vorfertigung oder im fast fertigen Schiffskörper. Auch hier können aufgrund der beengten Verhältnisse und Arbeiten in Bodennähe kniebelastende Haltungen in unterschiedlichem Maße auftreten.

### Sonderfall

**Schleifen:** Dabei handelt es sich v. a. um das Verschleifen von Schweißnähten auf Bodenniveau in Schiffsräumen, Tanks und sonstigen Bauteilen wie Bodenplatten, Wänden oder Profilen (Abbildung 113).

Abbildung 111:  
Werftarbeiter, Tätigkeitsmodul „Schweißen“

a) Schweißarbeiten im Liegen



b) Schweißarbeiten im Knien



Abbildung 112:  
Werftarbeiter, Tätigkeitsmodul „Schlossertätigkeiten“

a) Arbeiten in engen Räumen



b) Über-Kopf-Montage



Abbildung 113:  
Werftarbeiter, Sonderfall „Schleifen“

### Messergebnisse

Die Ergebnisse der Werftarbeiter-Messungen sind in Tabelle 19 dargestellt. Aufgrund der sehr heterogenen Arbeiten und der unterschiedlichen Einsatzorte streuen die Messwerte recht stark. Trotzdem ist erkennbar, dass beim Tätigkeitsmodul „Schweißen“ mit einer mittleren Kniebelastung von knapp sechs Stunden pro Arbeitsschicht sehr hohe Zeitanteile kniebelastender Haltungen gemessen wurden. Die Belastungen bestanden in erster Linie aus Tätigkeiten im Knien ohne Abstützung des Oberkörpers.

Tabelle 19:  
 Durchschnittliche Kniebelastungen des Werftarbeiters  
 (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung; n = Anzahl der gemessenen Arbeitsschichten)

Tätigkeitsmodul		n	Kniebelastung gesamt * in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knien ohne Abstützung in %	Knien mit Abstützung in %	Kriechen in %
01	Schweißen	3	<b>295 (<math>\pm</math> 165)</b>	<b>61,2 (<math>\pm</math> 33,9)</b>	3,8 ( $\pm$ 4,0)	4,0 ( $\pm$ 5,6)	45,5 ( $\pm$ 28,4)	7,9 ( $\pm$ 8,0)	0,1 ( $\pm$ 0,1)
02	Schlosser- tätigkeiten	2	<b>150 (<math>\pm</math> 50)</b>	<b>31,5 (<math>\pm</math> 10,7)</b>	4,3 ( $\pm$ 4,0)	2,9 ( $\pm$ 0,3)	20,1 ( $\pm$ 1,0)	2,2 ( $\pm$ 2,7)	2,1 ( $\pm$ 2,8)
Sonderfall									
S1	Schleifen	1	<b>160</b>	<b>33,3</b>	10,3	0,0	17,0	6,1	0,0

\* bezogen auf eine Standard-Arbeitsschicht von 8 h Dauer



## 6 Diskussion

In diesem Abschnitt werden die Methoden und Ergebnisse der GonKatast-Studie im Kontext der internationalen Literatur diskutiert.

### 6.1 Vergleich der eingesetzten Methodik mit Angaben aus der Fachliteratur

#### 6.1.1 Auswahl der untersuchten Berufe

In wissenschaftlichen Studien zu berufsbezogenen Beschwerden oder Erkrankungen des Kniegelenks wird eine Reihe von Berufen genannt, für die ein erhöhtes Risiko zur Ausbildung von Kniegelenkserkrankungen wie der Gonarthrose angenommen wird. In

Tabelle 20 sind 20 nationale und internationale Studien dargestellt, in denen der Zusammenhang zwischen beruflichen Belastungen und Kniebeschwerden untersucht wurde. Die Tabelle zeigt die in den verschiedenen Studien und dem Merkblatt zur BK 2112 jeweils genannten „Risikoberufe“, wenn möglich getrennt für Männer und Frauen. Die Vor- und Nachteile der einzelnen Studien sind z. B. bei Hartmann et al. [44; 45] und Weber [9; 47] ausführlich dargestellt, die jeweils eingesetzten Verfahren zur Expositionsabschätzung sind in Abschnitt 6.1.2 kritisch beschrieben.

Zusammenfassend lassen sich aus den Studien folgende Erkenntnisse ableiten: Zu den zitierten Risikoberufen zählen viele Berufe, die sich u. a. durch Tätigkeiten mit ausdauerndem Knien oder Hocken auszeichnen, wie sie in GonKatast untersucht wurden, beispielsweise Bodenleger, Installateure, Dachdecker, Maler oder Werftarbeiter.

Weiterhin findet sich eine ganze Reihe von Berufen, in denen eine etwaige Belastung der Kniegelenke durch Knien oder Hocken nur vermutet werden kann, wie Forstarbeiter, Mechaniker, Stahlbauer oder Reinigungskräfte. Hier könnten auch andere Risikofaktoren für die Ausbildung einer Kniegelenkserkrankung ausschlaggebend sein.

Tabelle 20:  
 "Risikoberufe" für die Ausbildung von Kniebeschwerden und -erkrankungen in internationalen Studien  
 (x = Männer, o = Frauen (falls explizit genannt), (x) = nur bestimmte Berufe aus der genannten Gruppe)

	STUDIEN																					
	BMAS 2009 (Merkblatt BK 2112) [3]	Coggon et al. [15]	Cooper et al. [14]	Elsner et al. [68]	Greinemann [42]	Holmberg et al. [69]	Holmström & Engholm [70]	Hotz et al. [71]	Järholm et al. [72]	Jensen et al. [73]	Kasch & Enderlein [74]	Keilgren & Lawrence [75]	Kivimäki et al. [76]	Lindberg & Montgomery [77]	Nauwald [78]	Rytter et al. [79]	Sandmark et al. [16]	Seidler et al. [80]	Seidler et al. [17]	Thun et al. [81]	Vingard et al. [12]	
Asphaltierer								x														
Bauarbeiter allg. (z. B. Gerüstbauer, Maurer)	(x)	x	x			x	x		x								x	x				x
Bergleute (unter Tage)	x	x			x							x										
Betonbauer	x								x													
Bodenleger (inklusive Fliesen- und Parkettleger)	x						x	x	x	x			x			x						x
Chemie- und Kunststoffberufe																				x		
Dachdecker	x		x				x															
Elektriker		x	x																			
Feuerwehrleute																						x
Forstarbeiter									x								x					
Holz- und Kunststoffbearbeitung																				x		
Installateure	x	x							x													
Landwirtschaftsberufe	(x)	o															o					x
Lehrer			o																			
Maler	x	x																			x	
Mechaniker		x																				
Metallarbeiter (z. B. Gießerei, Blechbearbeitung)		x	x	x					x									x	x			
Pflegekräfte			o	o																		
Reinigungskräfte		o																				o
Stahlbauer			x																			
Steinmetz									x													
Verkäufer		o		o																		
Werftarbeiter	x	x									x			x	x							
Zimmerer		x																				



Darüber hinaus gibt es eine weitere Gruppe von Berufen, bei denen eine relevante Belastung durch Knien oder Hocken sehr unwahrscheinlich ist oder ausgeschlossen werden kann, z. B. Chemie- und Kunststoffberufe, Feuerwehrleute, Lehrer, Pflegekräfte oder Verkäufer. Auch hier scheinen andere Faktoren für das erhöhte Erkrankungsrisiko der Kniegelenke verantwortlich zu sein.

In den meisten Studien wurden Berufe aus den Bereichen Bauwirtschaft, Bergbau oder Schiffbau untersucht, die als typische „Männerberufe“ bezeichnet werden können. Andere Studien haben zwar beide Geschlechter untersucht, die Risikoberufe aber nicht danach aufgeschlüsselt. In vier Studien wurden explizit Risikoberufe für weibliche Beschäftigte angegeben: landwirtschaftliche Helferinnen, Pflegekräfte, Reinigungskräfte sowie Verkäuferinnen und Lehrerinnen. Bei diesen Berufen scheinen relevante Belastungen durch kniende oder hockende Tätigkeiten – vielleicht mit Ausnahme der landwirtschaftlichen Helferinnen – nicht als Risikofaktor für die Ausbildung einer Kniegelenkserkrankung infrage zu kommen, daher waren sie auch nicht Bestandteil der GonKatast-Studie.

Hinweise auf Berufsgruppen mit erhöhtem Risiko für Kniegelenkserkrankungen können speziell für Deutschland auch aus Daten der gesetzlichen Krankenversicherung gewonnen werden. *Liebers & Caffier* [11] untersuchten anhand der Daten von vier gesetzlichen Krankenkassen (AOK-Bundesverband, BKK-Bundesverband, Techniker-Krankenkasse, Gemünder Ersatzkasse) für das Jahr 2003 jeweils in aggregierter Form die Arbeitsunfähigkeitsfälle und -tage für Muskel-Skelett-Erkrankungen mit Schichtung nach Beruf, Alter und Geschlecht. Sie berechneten jeweils für verschiedene Krankheitsdiagnosen das altersstandardisierte Relative Risiko für das Auftreten von AU-Fällen und -Tagen in allen Berufen, u. a. für die Diagnosen „Gonarthrose“ und „Binnenschädigung des Kniegelenks“. Anhand dieser Berechnungen lassen sich jeweils die zehn Berufe mit dem höchsten Relativen Risiko für das Auftreten von AU-Fällen je Diagnoseart identifizieren. Wie in Tabelle 21 dargestellt, finden sich für beide Krankheitsdiagnosen bei den Männern typische „Knieberufe“ wie Raumausstatter, Estrich- und Fliesenleger, Rohrinstallateure oder Dachdecker. Wie schon bei den wissenschaftlichen Studien finden sich auch in dieser Liste Berufsgruppen wie Straßenreiniger/Abfallbeseitiger, Möbelpacker oder Weber, bei denen Tätigkeiten im Knien oder Hocken eher unwahrscheinlich sind und deshalb andere Risikofaktoren für die Ausbildung der genannten Erkrankungen in Betracht gezogen werden müssen, beispielsweise Verdrehungen des Kniegelenks oder Sprünge.

Tabelle 21:

Die zehn häufigsten Berufe mit einem erhöhten Risiko für das Auftreten von AU-Fällen aufgrund der Diagnosen „Gonarthrose“ und „Binnenschädigung des Kniegelenks“ bei Männern im Jahr 2003 in Deutschland (verändert nach *Liebers & Caffier* [11])

Berufe	Männer	
	Gonarthrose	Kniebinnenschäden
Raumausstatter	x	
Estrich-/Terrazzoleger	x	x
Fliesenleger	x	x
Straßenreiniger/Abfallbeseitiger	x	x
Stauer/Möbelpacker	x	
Straßenwarte	x	x
Metalloberflächenveredler	x	
Waldarbeiter, Waldnutzer	x	x
Weber	x	
Stukkateure u.ä.	x	
Rohrinstallateure		x
Artisten und Berufssportler		x
Brauer, Mälzer		x
Dachdecker		x
Flach-, Tiefdrucker		x

Unter den Risikoberufen für Frauen finden sich mit Ausnahme der Maler/Lackierer augenscheinlich keine Berufe, in denen relevante Belastungen durch Knien oder Hocken auftreten (Tabelle 22). Vielmehr finden sich hier insbesondere Berufe aus der Nahrungsmittelherstellung wie Fleisch- und Wurstwarenhersteller, Fischverarbeiter oder Milch- und Fettverarbeiter.

Der Vergleich mit der Fachliteratur zeigt, dass über die im Projekt GonKatast untersuchten Tätigkeitsfelder der Großteil der Berufe abgedeckt wurde, die in den o. g. Studien als Berufe mit einem erhöhten Risiko für die Ausbildung von Kniegelenkserkrankungen und einer relevanten Belastung durch kniende und/oder hockende Tätigkeiten differenziert wurden. Das Spektrum an untersuchten Berufen könnte darüber hinaus durch Messung der Kniebelastungszeiten von Elektroinstallateuren, Bergleuten im untertägigen Bergbau (siehe Abschnitt 4.1), Beschäftigten in der Forst- und Landwirtschaft sowie – zur Untersuchung beruflicher Kniebelastungen bei Frauen – landwirtschaftlichen Helferinnen, Reinigungskräften und Pflegekräften sinnvoll ergänzt werden.

Tabelle 22:

Die zehn häufigsten Berufe mit einem erhöhten Risiko für das Auftreten von AU-Fällen aufgrund der Diagnosen „Gonarthrose“ und „Binnenschädigung des Kniegelenks“ bei Frauen im Jahr 2003 in Deutschland (verändert nach *Liebers & Caffier* [11])

Berufe	Frauen	
	Gonarthrose	Kniebinnenschäden
Maler, Lackierer (Ausbau)	x	x
Melker	x	x
Maschenwarenfertiger	x	x
Fleisch-, Wurstwarenhersteller	x	
Sonstige Papierverarbeiter	x	x
Fischverarbeiter	x	
Süßwarenhersteller	x	
Blecharbeiter	x	
Mehl-, Nahrungsmittelhersteller	x	x
Tierpfleger u.ä.	x	x
Milch-, Fettverarbeiter		x
Sportlehrer		x
Helfer in der Krankenpflege		x
Verpackungsmittelhersteller		x

### 6.1.2 Arten der Expositionsermittlung von beruflichen Kniebelastungen

In der internationalen Literatur findet sich eine Reihe von Studien zu beruflichen Kniegelenksbelastungen und berufsbedingten Kniegelenkserkrankungen, in denen unterschiedliche Verfahren zur Erfassung der Exposition am Arbeitsplatz zum Einsatz kommen. Die verschiedenen Methoden sollen zunächst mit Vor- und Nachteilen sowie Beispielen aus der Literatur beschrieben und anschließend das im Projekt GonKatast eingesetzte Verfahren zur Expositionserhebung kritisch besprochen werden.

Grundsätzlich lassen sich zwei Typen von Erhebungsverfahren in den relevanten Studien unterscheiden:

- Retrospektive Verfahren (a-d), in denen Belastungen aus der Vergangenheit erhoben werden, teilweise über Jahrzehnte zurückliegend. Die Studien zu beruflich bedingten Kniegelenkserkrankungen wurden hierbei in erster Linie als Fall-Kontroll-Studien durchgeführt.
- Beobachtungsverfahren (e-h), bei denen kniebelastende Tätigkeiten direkt an Arbeitsplätzen untersucht werden.

#### Retrospektive Verfahren

##### a) Erfassung der Berufsbezeichnungen mittels Fragebogen

Beschreibung: Bei dieser Erfassungsmethode werden Fragebögen per Post als „Selbstaussfüller“ an die (potenziellen) Studienteilnehmer versandt, mit der Bitte, ihre bisherige Berufsbiografie anzugeben. Teilweise wird auch nur der „am längsten ausgeübte Beruf“ abgefragt.

In vielen Studien erfolgt anschließend eine Zuordnung der Berufe in grobe Belastungskategorien wie „blue collar-“ und „white collar-worker“ oder im Sinne der Studie „belastet“ oder „nicht belastet“.

**Vorteile:** Günstige und schnelle Methode, die in großen Studien einfach anzuwenden ist.

**Nachteile:** Wie bei allen retrospektiven Verfahren können Erinnerungslücken oder -fehler der Probanden auftreten („recall-bias“). Die alleinige Angabe der Berufsbezeichnung („job title“) bringt ein hohes Risiko der Missklassifikation mit sich, da die Arbeitsinhalte innerhalb eines Berufes sehr unterschiedlich sein können. Eine spätere Überprüfung oder Korrektur der Angaben sowie detaillierte Auswertungen oder eine Abschätzung der Belastung pro Tag sind auf diese Weise nicht möglich.

**Beispiele:** [12; 13; 69; 72; 77; 82]

#### **b) Erfassung der Berufsbezeichnungen mittels Fragebogen und Kategorisierung durch Experten-Rating**

**Beschreibung:** Das Verfahren ist identisch mit a), erweitert um eine differenziertere Einteilung der Berufe in Belastungskategorien durch arbeitstechnische Experten.

**Vorteile:** Siehe unter a). Zusätzlich wird das Wissen von Experten hinzugezogen, die jedoch die Probanden und ihre realen Tätigkeiten nicht kennen.

**Nachteile:** Siehe unter a).

**Beispiele:** [83; 84]

#### **c) Abfrage von Berufsbezeichnungen und Belastungskategorien**

**Beschreibung:** Das Verfahren ist der unter a) beschriebenen Methode ähnlich, dabei wird neben der Abfrage der Berufsbezeichnung auch eine Auswahl von Belastungen kategorial erhoben (z. B. „Knien > 1 h pro Tag“, „Heben von Lasten > 10 kg“, „mehr als 15 Treppenabsätze pro Tag steigen“). Die Befragten werden entweder aufgefordert, die Kategorie zu wählen, die für sie am ehesten zutrifft (ja/nein-Anwort), oder die Dauer ihrer Belastung pro Tag frei anzugeben.

**Vorteile:** Siehe unter a). Da zusätzlich zu den einfachen Berufsangaben auch die interessierenden Belastungskategorien abgefragt werden, ist das Risiko einer Missklassifikation geringer einzuschätzen.

**Nachteile:** Siehe unter a). Die retrospektive Selbsteinschätzung der Belastungen in teilweise relativ groben Kategorien durch die Probanden beinhaltet dennoch das Risiko einer Fehleinschätzung. Eine aussagekräftige Abschätzung der realen Belastung pro Tag ist auf diese Weise kaum möglich.

**Beispiele:** [14 bis 17; 68; 85 bis 87]

#### **d) Experten-Interview**

**Beschreibung:** In einigen Studien werden arbeitstechnische Experten eingesetzt, um mit Probanden ein Interview zu ihrer Berufsanamnese und den dabei aufgetretenen Belastungen durchzuführen. Die Abfrage der Belastungen erfolgt quantitativ und nicht in ja/nein-Kategorien. Die Experten können unplausible Angaben der Probanden in begründeten Fällen hinterfragen und ggf. korrigieren.

**Vorteile:** Gegenüber den Verfahren a) bis c) ist durch die Korrekturmöglichkeit der Experten-Interviewer eine gewisse Plausibilitätskontrolle gegeben. Die differenzierte Abfrage der Belastungen erlaubt eine genauere Abschätzung der täglichen Belastungen als dies bei Methode c) möglich ist.

**Nachteile:** Die Nachteile der retrospektiven Verfahren sind hier ebenfalls gegeben. Die Selbsteinschätzung der Probanden kann durch die Interviewer nur in begrenztem Maße korrigiert werden, da sie die Arbeitsplätze persönlich auch nicht kennengelernt haben. Aufwendiger als die Verfahren a) bis c).

**Beispiel:** [54; 87]

### **Beobachtungsverfahren (im weitesten Sinne)**

#### **e) Arbeitsplatzbeobachtung („Papier- und Bleistift-Verfahren“)**

**Beschreibung:** Bei diesem Verfahren gibt es unterschiedliche Methoden, die Exposition am Arbeitsplatz zu dokumentieren. Eine Möglichkeit besteht darin, in festgelegten Zeitintervallen (z. B. alle 30 Sekunden) die aktuelle Körperhaltung des Probanden von einem Beobachter protokollieren zu lassen. Alternativ und etwas genauer kann die Dauer der einzelnen Haltungen von einem Beobachter mittels Stoppuhr mehr oder weniger kontinuierlich erfasst werden.

**Vorteile:** Durch die direkte Beobachtung des Arbeitsplatzes spielen Fehler durch Erinnerungslücken oder „Verschätzen“ der Probanden keine Rolle.

**Nachteile:** Die Verfahren sind stark von der Motivation und Erfahrung des Beobachters abhängig. Die Möglichkeit einer nachträglichen Überprüfung oder Korrektur der Ergebnisse entfällt ebenso wie die einer späteren Auswertung hinsichtlich anderer Aspekte. Bei sehr dynamischen Vorgängen können bestimmte Belastungen stark unterschätzt werden, da diese entweder häufig „verpasst“ werden oder das Mitschreiben nicht schnell genug erfolgen kann.

**Beispiele:** [20; 88]

#### **f) Arbeitsplatzbeobachtung mithilfe technischer Geräte (z. B. PDA, Touchpad)**

**Beschreibung:** Spezialanwendungen im Hard- und Softwarebereich dienen hier als Hilfen bei der Arbeitsplatzbeobachtung, indem z. B. vorgegebene Belastungen per Antippen protokolliert und gespeichert werden. Auf diese Weise ist eine qualitative und teils auch quantitative, zeitkontinuierliche Erfassung von Tätigkeiten oder Haltungen möglich.

**Vorteile:** Wie bei e) liegt hier eine direkte Beobachtung des Arbeitsplatzes vor. Durch die Automation der Erhebung bestimmter Belastungen kann diese aber schneller und genauer stattfinden. Die Beobachtungsdaten werden automatisch abgespeichert und können im Anschluss an die Beobachtung mittels Software ausgewertet werden.

**Nachteile:** Die Erfassung von Belastungen bleibt in der Regel auf wenige vorgegebene Kategorien beschränkt und die Qualität der Erhebung ist wiederum stark abhängig von Erfahrung und Motivation des Beobachters. Die Möglichkeit zur späteren Überprüfung oder Korrektur der Daten besteht nicht. Da es sich bei den Geräten z. T. um Eigenentwicklungen handelt, sind diese in der Regel nicht frei verfügbar.

**Beispiele:** [89; 90]

### g) Arbeitsplatzbeobachtung mittels Videoanalyse

**Beschreibung:** Mittels einer Videokamera wird ein Proband am Arbeitsplatz kontinuierlich begleitet und alle Tätigkeiten und Körperhaltungen werden aufgezeichnet.

**Vorteile:** Es handelt sich um eine direkte, zeitkontinuierliche Beobachtung des Arbeitsplatzes, die eine nachträgliche Überprüfung und Korrektur der Ergebnisse, u. U. auch eine Auswertung hinsichtlich weiterer Aspekte, ermöglicht.

**Nachteile:** Bei der Untersuchung von sehr dynamischen Arbeitsplätzen mit häufigen Ortswechseln kann das Problem entstehen, dass der Proband aus dem Fokus der Kamera rückt, sodass in diesen Situationen keine Aussagen zur Körperhaltung möglich sind. Die Auswertung sind in der Regel sehr zeitintensiv, da es sich nicht um Messdaten im eigentlichen Sinne handelt, die automatisiert bearbeitet werden können. Je nach Perspektive und Standort der Kamera können wichtige Details verdeckt sein und somit eine genaue Identifizierung von Körperhaltungen des Probanden erschweren.

**Beispiele:** [18; 76]

### h) Messung am Arbeitsplatz mithilfe von Beschleunigungssensoren

**Beschreibung:** Messsysteme, bei denen z. B. über ein Gurtsystem Beschleunigungssensoren (Accelerometer) am Probanden befestigt werden, sind in der Lage, Daten zu bestimmten Körperhaltungen kontinuierlich aufzuzeichnen.

**Vorteile:** Es handelt sich um eine automatische, zeitkontinuierliche Aufzeichnung der Haltungen und Bewegungen direkt am Arbeitsplatz. Über eine spezielle Software sind qualitative und quantitative Auswertungen der Körperhaltungen möglich. Durch die kontinuierliche Datenaufzeichnung sind eine spätere Überprüfung und Korrektur der Daten bedingt möglich. Die Auswertung der Daten hinsichtlich weiterer Aspekte ist in begrenztem Maße möglich.

**Nachteile:** Die Methode erlaubt eine konkrete Verbindung zwischen den Messdaten und den durchgeführten Tätigkeiten nur dann, wenn eine parallele Videoaufzeichnung der Tätigkeiten erfolgt. Eine spätere Auswertung hinsichtlich feiner differenzierter Haltungen, Gelenkwinkelgrade o. Ä. ist aufgrund der Messtechnik nur in begrenztem Maße möglich. Die Systeme sind in der Regel Eigenentwicklungen von Spezialisten und nicht frei verfügbar oder relativ kostspielig.

**Beispiel:** [19]

#### 6.1.3 Stärken und Schwächen der in GonKatast eingesetzten Methodik

Die im Projekt GonKatast eingesetzte Methodik ist ähnlich der im vorhergehenden Kapitel unter h) beschriebenen Messtechnik in Kombination mit der unter g) dargestellten Videodokumentation. Es handelt sich um eine automatische und zeitkontinuierliche Aufzeichnung von Körperhaltungen direkt am Arbeitsplatz mittels eines Expertensystems (CUELA), das durch die Sensorkombination aus Accelerometern, Gyroskopen, Inklinometern und Potentiometern eine sehr differenzierte Erfassung und Auswertung der Messparameter ermöglicht. Durch eine parallel durchgeführte Videodokumentation und die Synchronisation der Messdaten mit dem Videomaterial lassen sich darüber hinaus die gemessenen Körperhaltungen direkt den Tätigkeiten am Arbeitsplatz zuordnen. Auf diese Weise ist die Methodik nahezu unabhängig von der Motivation oder Erfahrung des „Beobachters“ und liefert somit quasi

objektive Ergebnisse, die wiederholbar und mithilfe des Videomaterials auch überprüfbar sind. Durch die kontinuierliche Messung mit einer Abtastfrequenz von 50 Hz ist auch die Abbildung hochdynamischer Tätigkeiten gegeben.

Ein großer Vorteil der eingesetzten Messtechnik besteht in der Speicherung von Einzeldaten für verschiedene Gelenke und Körperteile, aus denen sich die interessierenden Haltungen über Algorithmen differenzieren lassen. Dies erlaubt u. a. auch eine spätere Auswertung der Messdaten nach anderen Kriterien, z. B. als Reaktion auf aktuelle Erkenntnisse aus der medizinischen oder biomechanischen Forschung. Die entstandene Datenbank lässt sich somit für zusätzliche Analysen hinsichtlich weiterer potenzieller Risikofaktoren für berufliche Kniegelenkerkrankungen oder andere Muskel-Skelett-Beschwerden nutzen, da nicht nur die Daten für die Kniegelenke registriert wurden. Die Datenbank stellt ein offenes System dar und kann ständig mit aktualisierten oder zusätzlich gewonnenen Daten erweitert werden.

Eine möglichst genaue Expositionsermittlung wurde neben der eingesetzten Messtechnik durch eine detaillierte Dokumentation der untersuchten Arbeitsschichten realisiert, um die Kniebelastungszeiten pro Arbeitsschicht quantifizieren zu können. Arbeitsschichtprotokolle oder „Messstundenpläne“ dienten dazu, alle Tätigkeiten einer Schicht inklusive der verschiedenen Arbeitsgänge, Pausen- und Fahrzeiten zu dokumentieren und mit entsprechenden Messdaten zu hinterlegen. Tätigkeiten, bei denen offensichtlich keine Arbeiten im Knien oder Hocken zu verrichten waren, mussten nicht unbedingt gemessen werden, die entsprechende Zeit ging aber in die Schichtauswertung mit ein. Auf diese Weise konnte ein einfaches „Hochrechnen“ der Messwerte auf die gesamte Schichtdauer vermieden werden, dies hätte wegen der Heterogenität der untersuchten Tätigkeiten die Ergebnisse verfälscht.

Eine besondere Stärke der Studie besteht darin, dass branchenspezifische Experten aus den Präventionsdiensten der gesetzlichen Unfallversicherungsträger bei der Konzeption des Projekts und der Auswahl der zu untersuchenden Tätigkeiten von Beginn an beteiligt waren. Das Design der Tätigkeitsmodule wurde durch die Ergebnisse der Messungen bestätigt: Die hohe Streuung der Messergebnisse für die diversen Arbeitsinhalte innerhalb eines Berufes verdeutlicht deren Heterogenität, wodurch die Mittelwertbildung über alle Tätigkeitsmodule eines Berufsbildes zu einer Verfälschung der Belastungsangaben führen würde. Darüber hinaus wurden in der Studie in erster Linie Tätigkeiten untersucht, bei denen das Vorkommen von kniebelastenden Körperhaltungen erwartet wurde. Tätigkeiten, bei denen offensichtlich keine oder fast keine derartigen Körperhaltungen vorkommen, sind aber bei fast allen untersuchten Berufen ebenfalls anzutreffen, was bei einer Mittelwertbildung ebenfalls zu berücksichtigen wäre. Aus diesen Gründen wurde auf die Angabe einer durchschnittlichen Kniebelastungsdauer pro Berufsbild verzichtet.

Durch die Untersuchung von insgesamt 242 Arbeitsschichten in 16 verschiedenen Berufen mit einer Gesamtmessdauer von über 530 Stunden konnte das Kataster auf der Grundlage repräsentativer Messwerte erstellt werden. Auf diese Weise ließ sich ein breites Spektrum an Branchen, Berufen und Tätigkeiten abdecken. Es umfasst einen Großteil der in der Literatur genannten und heute noch existierenden „Risikoberufe“ für die Ausbildung von Kniegelenkerkrankungen. Die ursprünglich angestrebte Mindestzahl von drei untersuchten Arbeitsschichten pro Tätigkeitsmodul konnte in wenigen Fällen nicht erreicht werden. Mit dem Ziel einer hohen externen Validität wurden die Untersuchungen im Feld durchgeführt. Dieser Ansatz ging allerdings damit einher, dass die Planbarkeit der Messungen erschwert wurde z. B. durch Lieferprobleme beim Material, Ausfall von Maschinen, Kooperation mit anderen Unternehmen und Kunden, Witterungseinflüsse u. ä., wie sie bei handwerklichen Tätigkeiten insbesondere der Bauwirtschaft regelmäßig auftreten. In Einzelfällen mussten Messungen aus diesen Gründen ersatzlos gestrichen werden.

Da bei dieser Methode wie bei allen Beobachtungs- und Messverfahren der Fokus auf der Untersuchung aktuell vorhandener Arbeitsplätze liegt, können belastende Tätigkeiten an heute nicht mehr existenten Arbeitsplätzen nur bedingt durch Analogieschlüsse aus Befragungen von Experten beurteilt werden. Solche Tätigkeiten sind zwar für die Prävention nicht mehr von Bedeutung, können aber in BK-Feststellungsverfahren oder bei der retrospektiven Expositionsermittlung in epidemiologischen Studien eine große Rolle spielen. Hier ist zu berücksichtigen, dass sich kniebelastende Tätigkeiten im Laufe der Zeit verändert haben könnten oder heute sogar vollständig entfallen sind. Die in dieser Studie untersuchten beruflichen Tätigkeiten sind jedoch größtenteils als sehr traditionell einzustufen, sodass sich die Tätigkeiten in den letzten 30 bis 40 Jahren wenig geändert haben (z. B. Bodenleger, Pflasterer). Teilweise werden aktuell zwar andere Materialien verwendet als früher, die Tätigkeiten selbst blieben aber weitestgehend unverändert (z. B. Parkettleger, Estrichleger). In anderen Berufen hat sich das Ausmaß der täglichen Kniebelastung durch veränderte Arbeitsbedingungen und technische Hilfsmittel reduziert (z. B. Flugzeugabfertiger), was bei der retrospektiven Betrachtung im Einzelfall beachtet werden muss. Bei der Auswahl der zu untersuchenden Tätigkeitsmodule wurden solche Veränderungen wenn möglich berücksichtigt. So konnte etwa beim Fliesenleger das heute eher seltene Verlegen von Fliesen im Dick- oder Mörtelbett zusätzlich gemessen werden. Dabei ergaben sich für die gemessene arbeitstägliche Kniebelastung von ca. 62 % allerdings kaum Unterschiede zum Verlegen der Fliesen im heute üblichen Dünnbettverfahren mit ca. 64 % Kniebelastung.

Tätigkeiten im untertägigen Bergbau konnten aus Sicherheitsgründen (Explosionsschutz) mit der in der Studie eingesetzten Messtechnik nicht untersucht werden, daher war eine Aufnahme dieser Tätigkeiten in das Kataster nicht möglich war. Solche Tätigkeiten könnten allenfalls unter hohem technischen und finanziellen Aufwand im Labor nachgestellt werden, wobei das Verhältnis von Aufwand und Nutzen entsprechend berücksichtigt werden sollte.

Die Messungen im Rahmen dieser Studie fanden aus organisatorischen und datenschutzrechtlichen Gründen zum überwiegenden Teil auf Großbaustellen statt: Größere Gewerke sind für Handwerksfirmen in der Regel zeitlich besser planbar und Messungen in Verbindung mit Videoaufnahmen können in Privathaushalten datenschutzrechtlichen Einschränkungen unterliegen. Ähnliche Tätigkeiten auf Groß- und Kleinbaustellen unterscheiden sich vor allem durch den arbeitstäglichen Aufwand: Auf der Großbaustelle benötigt ein Parkettleger etwa für die Vorbereitung des Untergrunds und das eigentliche Verlegen des Parketts jeweils einen ganzen Tag; dahingegen finden auf der Kleinbaustelle beide Tätigkeiten am selben Tag statt, dann jeweils in geringerem Umfang. Mit Hilfe der GonKatast-Daten lässt sich auch für solche „Mischtätigkeiten“ die Kniebelastung pro Arbeitstag abschätzen. Das Beispiel in Tabelle 23 zeigt, wie sich für die einzelnen Teiltätigkeiten die prozentualen Kniebelastungen aus GonKatast zur Berechnung der Kniebelastung pro Tag heranziehen lassen. Wichtig ist in solchen Fällen eine plausible Zusammensetzung der Arbeitsinhalte eines Tages, die von arbeitstechnischen Experten in Rücksprache mit den Unternehmen geprüft werden sollte.

Insgesamt erscheint die eingesetzte Methodik zur Erstellung eines Messwertkatasters sehr gut geeignet. Die Genauigkeit der Erfassung, die Kontinuität und der Umfang der Messdaten, die auch weitere arbeitswissenschaftliche Analysen erlauben, sind neben der Repräsentativität der untersuchten Berufe und Tätigkeiten als Stärken des Katasters zu sehen. In diesen Punkten stellt die Methodik zur qualitativen und quantitativen Erfassung aktueller kniebelastender Tätigkeiten im Vergleich zu den in der Literatur gefundenen retrospektiven Verfahren und Beobachtungsstudien eine deutliche Verbesserung dar.



Tabelle 23:  
Hypothetisches Beispiel für die Abschätzung der Kniebelastung auf einer Kleinbaustelle („Mischtätigkeit“) mithilfe der Messdaten aus GonKatast

Arbeitsschicht Kleinbaustelle	Dauer pro Schicht in min	Kniebelastung aus GonKatast in %	anteilige Kniebelastung in min
Baustelle einrichten	60	0,0	0
Untergrund vorbereiten	180	2,5	5
Stabparkett verlegen	240	74,1	178
<b>Gesamt</b>			<b>182</b>

Da es sich hier um ein hoch entwickeltes Expertensystem handelt, sind Kosten und Nutzen des Verfahrens beim Einsatz abzuwägen. Der Aufbau eines Katasters trägt jedoch dazu bei, die Kosten für zukünftige Studien, die auf die Daten des Katasters zurückgreifen können, deutlich zu reduzieren.

#### 6.1.4 Vergleich der Ergebnisse mit Angaben aus der Fachliteratur

Quantitative Angaben zum Vorkommen kniender oder hockender Tätigkeiten pro Arbeitsschicht in verschiedenen Berufen lassen sich in der internationalen Literatur nur sehr wenige finden, speziell für die Verhältnisse in Deutschland sind bisher fast keine validen Angaben zu erhalten. Im Folgenden sollen die Ergebnisse aus sieben verschiedenen Studien vorgestellt und mit den Ergebnissen aus GonKatast verglichen werden.

*Wickström et al.* [88] untersuchten in einer finnischen Querschnittsstudie degenerative Kniegelenkerkrankungen von Stahlbetonbauern und Malern auf acht Baustellen. Die Expositionsermittlung erfolgte durch Beobachtung von insgesamt 270 Arbeitsstunden (210 h für Stahlbetonbauer, 60 h für Maler), wobei alle 30 Sekunden die Beinhaltung und eventuell vorkommende Lastenhandhabungen notiert wurden. Insgesamt ergaben sich auf diese Weise 25108 „Beobachtungspunkte“ für die Stahlbetonbauer und 7512 für die Maler. Die Beinhaltenungen wurden in zehn Kategorien unterteilt, zu denen auch die Haltungen „Knien“ und „Hocken“ gehörten. Wie viele verschiedene Probanden beobachtet wurden und welche Tätigkeiten sie jeweils durchführten, geht aus dieser Publikation nicht hervor. Für beide Gruppen wurde relativ geringe Zeitanteile in kniebelastenden Haltungen registriert: Bei den Stahlbetonbauern konnten ca. 6 % aller Beobachtungspunkte als kniebelastend identifiziert werden (2 % Hocken, 4 % Knien), bei den Malern ca. 12 % (9 % Hocken, 3 % Knien). Durch die eingesetzte Erhebungsmethode ist eine Abschätzung der Kniebelastung pro Tag leider nicht möglich. Betrachtet man die angegebenen Werte als Zeitanteile pro Arbeitsschicht, so liegen diese deutlich unterhalb der Ergebnisse in GonKatast: Hier weisen die beiden untersuchten Tätigkeitsmodule des (Stahl-)Betonbauers durchschnittliche Kniebelastungen von ca. 14 % bzw. 17 % auf (siehe Abschnitt 5.1), beim Maler liegen die mittleren Werte für die gemessenen fünf Tätigkeitsmodule und zwei „Sonderfälle“ zwischen ca. 3 % und 35 % (siehe Abschnitt 5.10).

In einer weiteren finnischen Studie wurden Kniebeschwerden von Parkett- und Bodenlegern sowie Malern untersucht [76]. Die dazu notwendige Expositionsermittlung erfolgte mittels Videobeobachtung an den Arbeitsplätzen von 35 Probanden (11 Parkettleger, 15 Bodenle-

ger, 9 Maler) mit einer Gesamtbeobachtungszeit von 12 Stunden. Es wurden somit keine vollständigen Arbeitsschichten, sondern lediglich kurze Zeitabschnitte betrachtet. Ein Vorteil der Studie liegt in der Unterteilung der Arbeitsinhalte in verschiedene Tätigkeiten und der separaten Angabe der Kniebelastungen. Da aber jeweils nur kurze Sequenzen zwischen 33 und 102 Minuten analysiert wurden – ohne Berücksichtigung von Pausenzeiten, Neben- und Vorbereitungsarbeiten usw. – ergaben sich für die untersuchten Tätigkeiten bzw. Tätigkeitssequenzen teils sehr hohe Zeitanteile kniebelastender Tätigkeiten (siehe Tabelle 24).

Tabelle 24:

Vergleich der prozentualen Kniebelastung aus der Studie von *Kivimäki et al.* [76] mit den Messwerten aus GonKatast (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung)

Beruf	Tätigkeit	Beobachtungszeit in min, aus [76]	Kniebelastung in %, aus [76]	arbeitstägige Kniebelastung [%], aus GonKatast
Parkettleger	Mosaikparkett verlegen	76	ca. 90	52 ( $\pm$ 6)
	Unterkonstruktion herstellen	37	ca. 60	62 (-) *
	Dielenboden verlegen	59	ca. 25	34 (-)
	Oberflächen- behandlung	63	ca. 50	55 ( $\pm$ 25)**
	Schleifen	33	0	35 ( $\pm$ 14) ***
Bodenleger	Untergrund spachteln	66	ca. 70	22 ( $\pm$ 23) ****
	Teppich verlegen	93	ca. 40	48 ( $\pm$ 6)
Maler	Anstrich	102	ca. 7	3 (-)*****

\* Trittschalldämmung verlegen; \*\* Einzeltätigkeit; \*\*\* Schleifen mit Parkettschleifmaschine und Handschleifer; \*\*\*\* Spachteln und Rakeln; \*\*\*\*\* Innenanstrich

Die z. T. sehr unterschiedlichen Kniebelastungszeiten in beiden Studien zeigt die Bedeutung der Erfassung sämtlicher Tätigkeiten einer Arbeitsschicht, um eine valide Aussage zur Tagesbelastung zu erhalten.

In der Studie von *Jensen et al.* [18; 73] in Dänemark ergaben sich durch Videobeobachtung kurzer Tätigkeitssequenzen von drei bis 30 Minuten Dauer und einer Gesamtbeobachtungszeit von ca. 1400 Minuten für Bodenleger kniebelastende Körperhaltungen während ca. 56 % ihrer Arbeitsstunden, für „Zimmerer“ (die in Dänemark neben Dacharbeiten auch Parkett verlegen u. a.) eine Kniebelastung während etwa 25 % der beobachteten Arbeitsstunden und für Schriftsetzer, die als Kontrollgruppe eingesetzt wurden, keine relevanten Kniebelastungen. Diese Werte sind wahrscheinlich sehr hoch gegriffen, da auch hier lediglich kurze (Belastungs-) Sequenzen beobachtet und anschließend auf die Schichtdauer hochgerechnet wurden. Dies wurde auch von den Autoren kritisch beurteilt, so dass sie in einer zusätzlichen Analyse vier Bodenleger während einer vollständigen Arbeitsschicht mit der Videokamera beobachteten und die Kniebelastungen auswerteten [91]. Insgesamt wurden ca. 1670 Minuten Videofilm ausgewertet und die Zeitanteile der kniebelastenden Haltungen Knien, Fersen-

sitz, Hocken und Kriechen mittels Stoppuhr erfasst. Die Tätigkeiten umfassten das Entfernen von Altbelag, Schleifen, Spachteln, Kleber auftragen und Verschweißen des Belags, allerdings wurden in der Veröffentlichung keine Zeitanteile für die einzelnen Tätigkeiten angegeben. Die durchschnittliche Kniebelastung pro Arbeitstag lag bei 41 % ( $\pm 7,5$  %). Da bei dieser Auswertung auch Pausenzeiten u.ä. berücksichtigt wurden, erscheint dieser Wert realistisch. Fasst man die einzelnen Ergebnisse aus GonKatast für den Bodenleger zusammen, so ergibt sich aus den gemessenen Tätigkeiten eine durchschnittliche Kniebelastung von 39,0 % ( $\pm 16,3$  %) und somit eine deutliche Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus Dänemark.

Aus den Niederlanden liegen quantitative Analysen zur Kniebelastung von Estrichlegern und Pflasterern vor [19]. Mittels des in Abschnitt 6.1.2 h dargestellten Messsystems ließen sich die kniebelastende Haltungen von 32 Estrichlegern beim Einbau von Zementestrich und 27 Pflasterern beim Verlegen von Verbundpflaster erfassen und für eine Schichtauswertung aufbereiten. Für die Estrichleger ergaben sich Zeitanteile im Knien und Hocken von ca. 48 % der Arbeitszeit, bei der Betrachtung der Kniebelastung über das gesamte Team samt Helfer (Anmischer) von ca. 40 %. Diese Angaben decken sich in etwa mit den GonKatast-Ergebnissen zu den Tätigkeitsmodulen „Zementestrich anmischen (3-Mann)“ und „Zementestrich einbauen (2-Mann)“ in Höhe von ca. 52 % bzw. 55 %. Für die Pflasterer („roadmaker“) ergaben die Messungen arbeitstägliche Kniebelastungen von ca. 48 % ohne Setzhilfen bzw. ca. 25 % mit Setzhilfen. Diese Werte konnten in GonKatast nicht bestätigt werden, da die untersuchten Pflasterer beim Verlegen von Verbundpflaster größtenteils im Stehen arbeiteten und somit eine geringere arbeitstägliche Kniebelastung von etwa 18 % ( $\pm 3$  %) aufwiesen.

*Hartmann & Fleischer* [89] erfassten in ihrer Studie zu physischen Belastungen auf Baustellen in Deutschland u. a. auch Kniebelastungen von insgesamt 247 Bauarbeitern (123 Maurer, 33 Zimmerer, 31 Installateure, 30 Gerüstbauer und 30 Maler). Zur Erhebung der Belastungen durch Knien, Hocken und Fersensitz setzten sie ein spezielles Beobachtungs- und Auswerteinstrument ein (AEB – Arbeitswissenschaftliches Erhebungsverfahren für Bauarbeiten und ADAB – Allgemeines Datenerfassungs- und Analysesystem, siehe auch Abschnitt 6.1.2 f). Während sie für Gerüstbauer und Maurer keine relevanten Kniebelastungen feststellen konnten ( $< 5$  %), fanden sie die höchsten Belastungen bei Malern mit 23,8 % Schichtanteil (Innenanstrich, Tapezieren und Lackierarbeiten), gefolgt von Installateuren mit 16,7 % (Rohrleitungsmontage) und Zimmerern mit 9,8 % (Errichtung von Dachstühlen u.ä.). Im Vergleich zeigen die Ergebnisse aus GonKatast für die entsprechenden Tätigkeitsmodule der Maler mit einer arbeitstäglichen Kniebelastung von 24,4 % eine nahezu vollständige Übereinstimmung, während für die Rohrleitungsmontage bei Installateuren eine weitaus höhere durchschnittliche Kniebelastung von 37,8 % ( $\pm 12,6$  %) gemessen wurde. Letzteres könnte neben der Methodik auch an der Heterogenität der Tätigkeit liegen, die je nach Baustelle sehr unterschiedliche Körperhaltungen bedingen kann. Entsprechende Tätigkeiten bei Zimmerern, Maurern und Gerüstbauern wurden in GonKatast nicht untersucht.

In einer weiteren deutschen Studie beobachteten *Bolm-Audorff et al.* [20] 125 Beschäftigte in 12 verschiedenen Berufen hinsichtlich ihrer Kniebelastung durch Knien, Hocken und Fersensitz (siehe Tabelle 25). Die Beobachtung erfolgte mittels Papier- und Bleistiftverfahren direkt an den Baustellen, und die Zeitanteile der kniebelastenden Haltungen wurden per Stoppuhr während eines vierstündigen Schichtanteils erfasst und auf die Gesamtschicht hochgerechnet (siehe Abschnitt 6.1.2 e). Die untersuchten Tätigkeiten wurden in der Publikation nicht näher erläutert und die Kniebelastung jeweils undifferenziert für das gesamte Berufsbild wiedergegeben.

Tabelle 25:  
 Prozentuale Kniebelastung in zwölf Berufen nach *Bolm-Audorff et al.* [20]  
 (jeweils Angabe von Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung)

Beruf	untersuchte Teilschichten	Kniebelastung in %
Estrichleger	5	50,4 ( $\pm$ 13,3)
Pflasterer	4	43,8 ( $\pm$ 17,9)
Bodenleger	8	39,8 ( $\pm$ 24,2)
Fliesenleger	5	36,3 ( $\pm$ 16,3)
Parkettleger	11	31,3 ( $\pm$ 14,8)
Natur-/Kunststeinverleger	10	25,4 ( $\pm$ 19,0)
Installateur	19	24,2 ( $\pm$ 21,3)
Gartenbauer	11	16,0 ( $\pm$ 17,1)
Dachdecker	15	15,6 ( $\pm$ 10,8)
Betonbauer	12	10,6 ( $\pm$ 12,1)
Maurer	22	7,7 ( $\pm$ 10,8)
Kachelofenbauer	3	6,3 ( $\pm$ 7,9)

Anhand von zwei Beispielen sollen diese Werte mit Daten aus GonKatast verglichen werden. Fasst man alle Ergebnisse der GonKatast-Messungen zu den Pflasterern zusammen, ergibt sich ein durchschnittlicher Schichtanteil kniebelastender Haltungen von 43,0 % ( $\pm$  37,7 %) und damit ein fast identischer Wert wie in der zitierten Studie mit 43,8 % ( $\pm$  17,9 %). Die hohen Standardabweichungen weisen jeweils auf die Heterogenität der Einzelmessungen hin. Da Pflasterer sich gewöhnlich auf das Verlegen von Verbundpflaster oder Kleinpflaster spezialisiert haben, lassen sich durch die Mittelwertbildung über alle Ergebnisse diese beiden unterschiedlichen Pflasterertätigkeiten nicht angemessen abbilden. Dies wird im Vergleich zu den differenzierten Messwerten aus GonKatast deutlich: Beim Verlegen von Verbundpflaster mit einem Anteil der Kniebelastung pro Schicht von 17,8 % ( $\pm$  3,1 %) wurde im GonKatast-Projekt eine geringere Kniebelastung ermittelt, beim Verlegen von Kleinpflaster lagen die Werte mit einer durchschnittlichen Kniebelastung pro Schicht von 82,5 % ( $\pm$  5,9 %) deutlich höher.

Ähnliches zeigt sich bei den Ergebnissen zum Beruf „Installateur“: Die Zusammenfassung der GonKatast-Messungen ergibt hier eine durchschnittliche arbeitstägliche Kniebelastung von 31,9 % ( $\pm$  21,5 %) und liegt damit etwas höher als der von Bolm-Audorff et al. ermittelte Schichtanteil von 24,2 % ( $\pm$  21,3 %). Die Messergebnisse aus GonKatast weisen für die verschiedenen Tätigkeiten des Installateurs allerdings mittlere Kniebelastungen zwischen 5,3 % ( $\pm$  5,0 %) und 65,8 % aus, sodass auch hier der Mittelwert je nach Spezialisierung der Installateure keine allgemeingültige Aussage zur Kniebelastung zulässt. Weiterhin ist zu bedenken, dass in Studien zu beruflichen Kniebelastungen der Fokus der Untersuchungen auf

Tätigkeiten mit entsprechenden Belastungen liegt. Da in allen Berufen auch Tätigkeiten ohne Kniebelastungen vorkommen, müssen diese aber zur Ermittlung einer durchschnittlichen Gesamtbelastung ebenfalls berücksichtigt werden.

Zusammenfassend lässt sich aus dem Vergleich der GonKatast-Daten mit den Angaben aus der Fachliteratur festhalten, dass außerhalb des GonKatast-Projektes nur wenige Angaben mit vergleichbar hoher interner und externer Validität zur arbeitstäglichen Kniebelastung in verschiedenen Berufen verfügbar sind. Die vorliegende Studie liefert deshalb einen wichtigen Beitrag, diese Lücke zu schließen, wobei die eingesetzte Methodik und der Umfang der Untersuchung entscheidende Qualitätskriterien darstellen.



## 7 Empfehlungen zur Prävention kniebelastender Tätigkeiten

Eine Grundvoraussetzung zur Vermeidung oder Verringerung beruflicher Kniegelenksbelastungen ist eine genaue Kenntnis über die Tätigkeiten, bei denen derartige Belastungen in relevantem Maße auftreten können. Um die vorhandenen Ressourcen erfolgversprechend einzusetzen, müssen Belastungsschwerpunkte identifiziert werden, so dass Präventionsmaßnahmen nicht nach dem „Gießkannen-Prinzip“, sondern zielgerichtet dort eingeleitet werden, wo die größten Probleme zu finden sind. Das in dieser Studie erstellte Kataster kann einen wichtigen Beitrag bei der Identifizierung solcher Belastungsschwerpunkte in den unterschiedlichen Branchen und Berufen leisten.

Neben dieser Hilfestellung lässt sich anhand der umfangreichen Messungen an vielen Arbeitsplätzen auch ein konkretes Verbesserungspotenzial erkennen, um Belastungen durch Knien und Hocken zu reduzieren. Im Folgenden sollen dazu einige Beispiele gegeben werden.

### 7.1 Verhältnisprävention

#### Arbeitshilfen

Technische Arbeitshilfen bieten eine Möglichkeit, den Anteil kniebelastender Haltungen in der Arbeitswelt zu reduzieren. Der Markt bietet verschiedene Hilfsmittel, die durch unterschiedliche technische Prinzipien Arbeiten im Knien oder Hocken teilweise ersetzen können. Diese reichen von einfachen Werkzeugen, die mit einem Teleskopstiel versehen wurden (Abbildung 45 b), über Pflastersteinzieher (Abbildung 114 a), Heißluft-Schweißautomaten (Abbildung 114 b), Bewehrungsbindegeräte, Fliesenlegertische bis hin zu komplexeren Maschinen wie Flachdachsetzgeräten (Abbildung 115 a), Fußbodenablösegeräten, Pflasterverfugungsgeräten oder hydraulischen Verlegezangen (Abbildung 115 b). Eine Übersicht über technische Hilfen und ihre Einsatzmöglichkeiten findet sich auf der Homepage der Arbeitsgruppe Ergonomie der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (<http://www.bgbau.de/d/ergonomie/index.html>).

Abbildung 114:  
Prävention kniebelastender Haltungen durch spezielle Werkzeuge

a) Pflasterer mit Pflastersteinzieher



b) Dachdecker mit Heißluft-Schweißautomat



Abbildung 115:  
Prävention kniebelastender Haltungen durch komplexere Maschinen

a) Dachdecker mit Flachdachsetzgerät



b) Pflasterer mit hydraulischer Verlegezange



In der Praxis sind derartige Hilfsmittel zwar bereits im Einsatz, jedoch bei weitem nicht flächendeckend. Neben den Anschaffungskosten für die neuen Werkzeuge können auch fehlende oder unzureichende Information und Einweisung der Beschäftigten zum Scheitern von Präventionsmaßnahmen führen.

Beispiele aus Dänemark zeigen die Schwierigkeiten bei der Einführung neuer Methoden in den meist traditionellen Handwerksberufen [92]. Bei dieser Querschnittsstudie mit anschließendem „Follow-up“ sollte eine Maßnahme zur Einführung neuer Werkzeuge wie Spachteln mit Teleskop-Stiel („Rakel“) bei Bodenlegern evaluiert werden. Neben intensiver Schulung und Einweisung der beteiligten Bodenleger und kostenfreier Überlassung der neuen Werkzeuge konnten durch Kooperation von Arbeitnehmer- und Arbeitgeberverbänden sowie staatlicher Stellen einige Erfolge erzielt werden: Die Anwendungshäufigkeit der neuen Methoden war nach zwei Jahren deutlich angestiegen, und Muskel-Skelett-Beschwerden unter den Bodenlegern gingen zurück. Interessanterweise verbreiteten sich die neuen Methoden aber kaum unter Bodenlegern, die nicht an der Studie teilgenommen hatten. Ein Transfer der Methoden zwischen verschiedenen Bodenlegerbetrieben und innerhalb eines Betriebes fand demnach nur sehr unzureichend statt. Dies ist bei der Einführung neuer Methoden zu berücksichtigen.

Die Evaluierung solcher Präventionsmaßnahmen durch Vorher-Nachher-Messungen ist bei *Burdorf et al.* [19] dargestellt. Sie konnten durch den Vergleich verschiedener Methoden zeigen, dass sich etwa durch den Einsatz von Setzhilfen bei Pflasterern die Kniebelastung deutlich reduzieren ließ. Sie zeigten aber auch, dass z. B. bei Estrichlegern die Herstellung des Estrichs mittels Silos für den Einbauer keine Reduzierung der Kniebelastung zur Folge hatte, während beim Helfer (Maschinist) durch Wegfall der eigentlichen Mischttätigkeit und Mithilfe beim Einbau des Estrichs die Kniebelastung anstieg. Derartige veränderte Bedingungen müssen bei der Arbeitsorganisation berücksichtigt werden.

### Arbeitsorganisation

Auch durch organisatorische Maßnahmen kann hohen Kniebelastungen am Arbeitsplatz vorgebeugt werden, z. B. individuell an Arbeitsplätzen, an denen die Beschäftigten ihren Arbeitsablauf selbständig planen, sodass sie für ausreichend Erholungszeiten sorgen können. An anderen Arbeitsplätzen können durch Maßnahmen der Schicht- und Einsatzplanung (Job-Rotation) Belastungen besser über den Arbeitstag verteilt werden, so dass für alle Beteiligten ausreichend Erholungszeiten zur Verfügung stehen. Diese Option bietet sich z. B.



bei den untersuchten Flugzeugabfertignern an: Durch permanenten Wechsel der Tätigkeiten innerhalb und außerhalb des Frachtraums lassen sich die Kniebelastungen für den Einzelnen besser verteilen (siehe Kapitel 5, Abbildung 73).

### Knieschutz

Bei allen knienden oder hockenden Tätigkeiten ist es sinnvoll, adäquaten Knieschutz zu tragen, der die Kniegelenke z. B. vor Verletzungen oder Erkrankungen der Schleimbeutel schützt. Der Markt bietet hier inzwischen eine ganze Reihe verschiedener Typen, die für unterschiedliche Einsatzbereiche oder Ansprüche geeignet sind. Näheres hierzu findet sich beispielsweise bei *Mewes et al.* [93] und *Hoehne-Hückstädt et al.* [94]. Für die Gonarthrose ist zu beachten, dass nach dem im Merkblatt zur BK 2112 zitierten biomechanischen Pathomechanismus für die Entstehung einer Gonarthrose Knieschützer vermutlich keine protektive Wirkung in dieser Hinsicht bieten.

## 7.2 Verhaltensprävention

Um erfolgreiche Prävention betreiben zu können, ist es wichtig, das Bewusstsein der Beschäftigten für relevante Belastungen zu schärfen. Ziel sollte eine Strategie sein, bei der Arbeiten im Knien, Hocken oder Fersensitz nach Möglichkeit vermieden oder zumindest reduziert werden. Da dies bei bodennahen Tätigkeiten wie dem Verlegen von Fliesen oder Parkett in der Regel nicht möglich ist, sollten zumindest Nebenarbeiten wie Zuschneiden, Anmischen von Kleber oder Telefonieren nicht im Knien oder Hocken erfolgen. Im unteren Bereich von Wänden können Fliesen beispielsweise auch im Sitzen auf einem Schemel verlegt werden.

Wann immer die Möglichkeit besteht, die Arbeitshöhe so zu verändern, dass kniebelastende Haltungen vermieden werden, sollte dies genutzt werden. Hier reichen oftmals einfache Mittel aus (siehe Abbildung 116). Eine Überbeanspruchung der Kniegelenke durch langanhaltendes (statisches) Knien oder Hocken über längere Zeiträume sollte ebenso vermieden werden wie die in der Praxis häufig beobachteten Bewegungsabläufe „auf die Knie fallen lassen“ und „auf den Knien rutschen“. Ist das Arbeiten in kniebelastenden Haltungen unumgänglich, sollten ausreichende Pausen für die beanspruchten Kniegelenke vorgesehen werden. Bei häufig vorkommenden Belastungen kann es auch sinnvoll sein, verschiedene Formen des Kniens zu trainieren und Ausgleichsübungen zur Kräftigung, Dehnung und Mobilisation der Beine durchzuführen. Beispiele hierfür finden sich bei *Hoehne-Hückstädt et al* [94].

Abbildung 116:  
Vermeiden kniender Haltung durch Ändern der Arbeitshöhe (Beispiel Rohrleitungsbauer)

a) vorher



b) nachher





## 8 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die vorliegende Studie liefert fundierte Ergebnisse, die dazu beitragen, das Wissen über berufliche Kniebelastungen durch kniende oder hockende Tätigkeiten maßgeblich zu erweitern. Teilweise konnten in den untersuchten Arbeitsschichten sehr hohe Zeitanteile kniender oder hockender Tätigkeiten nachgewiesen werden. Die Untersuchungen haben weiterhin gezeigt, dass Art und Ausmaß beruflicher Kniebelastungen sowohl zwischen verschiedenen Berufen als auch innerhalb einzelner Berufsbilder eine hohe tätigkeitsspezifische Varianz aufweisen. Dementsprechend ist zur validen Einschätzung der Kniebelastung eines Probanden eine detaillierte Kenntnis der ausgeübten Tätigkeiten notwendig.

Die Studie zeichnet sich insbesondere durch folgende Eigenschaften aus:

- Branchenübergreifende Erfassung beruflicher Tätigkeiten;
- Organisation und Durchführung durch branchenspezifische, arbeitstechnische Experten;
- Untersuchung einzelner berufsspezifischer Tätigkeiten (Tätigkeitsmodule) bei Betrachtung vollständiger Arbeitsschichten;
- Berücksichtigung von Pausen, Fahrzeiten, Vorbereitungsarbeiten u. Ä.;
- Erfassungsmethodik mit hoher interner (u. a. kontinuierliche Messungen und Videoanalysen) und externer Validität (u. a. Messungen an realen Arbeitsplätzen);
- Umfang der Studie: Untersuchung von 197 Probanden in 16 Berufen, 242 Arbeitsschichten, 110 Betrieben, 81 Tätigkeitsmodulen/Sonderfällen mit einer Gesamtmessdauer von ca. 530 h;
- nahezu deutschlandweite Erhebung;
- qualitative und quantitative Aussagen zur Kniebelastung pro Arbeitsschicht;
- Verzicht auf die Angabe durchschnittlicher Belastungen je Beruf;
- Möglichkeit von Reanalysen der Messdaten hinsichtlich weiterer Forschungsfragen (z. B. aufgrund neuer biomechanischer Erkenntnisse).

Die Studienergebnisse stehen zukünftige Aufgaben im Rahmen wissenschaftlicher Fragestellungen oder von BK-Feststellungsverfahren zur Verfügung, insbesondere zu den BK-Nummern 2102, 2105 und 2112. Hier stellen die Katasterdaten eine wichtige Ergänzung der arbeitstechnischen Anamnese dar, können und wollen aber die Erfassung einer detaillierten Berufsbiografie inklusive individueller Besonderheiten nicht ersetzen. Die Anwendung der Katasterdaten in BK-Verfahren wird durch die Einbindung in die entsprechende Anamnese-Software des IFA erleichtert.

Die teilweise recht hohen Belastungen durch Knien oder Hocken haben gezeigt, dass Präventionsbedarf bei vielen der untersuchten Tätigkeiten besteht. Effektive Präventionsmaßnahmen sind aber nur bei ausreichender Kenntnis über Qualität und Quantität der entsprechenden Belastungen ableitbar. Somit können die Studienergebnisse einen wichtigen Beitrag dazu leisten, gezielte Präventionsmaßnahmen zu planen. Die in der Studie erfolgreich eingesetzte Erhebungsmethodik kann auch zur Evaluation von Präventionsmaßnahmen herangezogen werden.

Ein weiterer Einsatz der Katasterdaten bietet sich im Bereich epidemiologischen Studien zu beruflichen Kniebelastungen und Kniegelenkserkrankungen an: Die Daten können zur Plausibilitätsprüfung retrospektiver Selbsteinschätzungen von Probanden herangezogen werden und somit – bei unveränderten arbeitstechnischen Gegebenheiten – helfen, die Ermittlung

von teils Jahrzehnte zurückliegenden Expositionen zu verbessern. Eine parallel zu den GonKatast-Messungen durchgeführte Befragung zu den Kniebelastungen bestätigte die bereits in anderen Studien [20; 95] dargestellte Ungenauigkeit solcher Probandenangaben, wobei die Befragten ihre Kniebelastungen sowohl unter- als auch überschätzten [96].

## 9 Literatur

- [1] Meniskusschäden nach mehrjährigen andauernden oder häufig wiederkehrenden, die Kniegelenke überdurchschnittlich belastenden Tätigkeiten. Merkblatt für die ärztliche Untersuchung zu Nr. 2102 der Anlage zur Berufskrankheiten-Verordnung. Bek. des BMA. BArbBl. (1990) Nr. 1, S. 135, ersetzt Bek. des BMA v. 11. Oktober 1989, BArbBl. (1990) Nr. 2
- [2] Chronische Erkrankungen der Schleimbeutel durch ständigen Druck. Merkblatt für die ärztliche Untersuchung zu Nr. 2105 der Anlage zur Berufskrankheiten-Verordnung (Nr. 22 der Anlage zur 6. Berufskrankheiten-Verordnung). Bek. des Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung vom 18.2.1963. BArbBl. Fachteil Arbeitsschutz (1963) S. 21
- [3] Merkblatt zur Berufskrankheit Nr. 2112 der Anlage zur Berufskrankheiten-Verordnung. Gonarthrose durch eine Tätigkeit im Knien oder vergleichbare Kniebelastung mit einer kumulativen Einwirkungsdauer während des Arbeitslebens von mindestens 13.000 Stunden und einer Mindesteinwirkungsdauer von insgesamt einer Stunde pro Schicht. Bek. des BMAS vom 30.12.2009 GMBI. (2010) Nr. 5-6, S. 98-103
- [4] Engelhardt, M.: Epidemiologie der Arthrose in Westeuropa. Dt. Ztschr. Sportmed. 54 (2003) Nr. 6, S. 171-175
- [5] Maetzel, A.; Mäkelä, M.; Hawker, G.; Bombardier, C.: Osteoarthritis of the hip and knee and mechanical occupational exposure – a systematic overview of the evidence. J. Rheumatol. 24 (1997) S. 1599-1607
- [6] Schouten, J.S.A.G.; de Bie, R.A.; Swaen, G.: An update on the relationship between occupational factors and osteoarthritis of the hip and knee. Curr. Opin. Rheumatol. 14 (2002) S. 89-92
- [7] McMillan, G.; Nichols, L.: Osteoarthritis and meniscus disorders of the knee as occupational diseases of miners. Occup. Environm. Med. 62 (2003) S. 567-575  
doi:10.1136/oem.2004.017137
- [8] Jensen, L.K.: Knee osteoarthritis: Influence of work involving heavy lifting, kneeling, climbing stairs or ladders, or kneeling/squatting combined with heavy lifting. Occup. Environm. Med. (2007), S. 1-22  
doi:10.1136/oem.2007/032433.
- [9] Weber, M.: Die Beanspruchung des Kniegelenks durch Kniebeugung als Präarthrose. Z. Orthop. 145 (2007) S. 17-30  
doi:10.1055/s-2007-960508
- [10] Thomann, K.D.; Schröter, F.; Grosser, V. (Hrsg.): Orthopädisch-unfallchirurgische Begutachtung. Praxis der klinischen Begutachtung. Elsevier Urban & Fischer, München 2008
- [11] Liebers, F.; Caffier, G.: Berufsspezifische Arbeitsunfähigkeit durch Muskel-Skelett-Erkrankungen in Deutschland. Forschungsbericht F 1996. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund 2009
- [12] Vingard, E.; Alfredsson, L.; Goldie, I.; Hogstedt, C.: Occupation and osteoarthrosis of the hip and knee, a register-based cohort study. Int. J. Epidemiol. 20 (1991) S. 1025-1031

- [13] Felson, D.T.; Hannan, M.T.; Naimark, A.; Berkeley, J.; Gordon, G.; Wilson, P.W.F.; Anderson, J.: Occupational physical demands, knee bending, and knee osteoarthritis: results from the Framingham study. *J. Rheumatol.* 18 (1991) Nr. 10, S. 1587-1592
- [14] Cooper, C.; McAlindon, T.; Coggon, D.; Egger, P.; Dieppe, P.: Occupational activity and osteoarthritis of the knee. *Ann. Rheum. Dis.* 53 (1994), S. 90-93
- [15] Coggon, D.; Croft, P.; Kellingray, S.; Barrett, D.; McLaren, M.; Cooper, C.: Occupational physical activities and osteoarthritis of the knee. *Arthritis & Rheumatism.* 43 (2000) Nr. 7; S. 1443-1449
- [16] Sandmark, H.; Hogstedt, C.; Vingard, E.: Primary osteoarthrosis of the knee in men and women as a result of lifelong physical load from work. *Scand. J. Work Environm. Health* 26 (2000) Nr. 1, S. 20-25
- [17] Seidler, A.; Bolm-Audorff, U.; Abolmaali N.; Elsner, G. and the knee osteoarthritis study-group: The role of physical work load in symptomatic knee osteoarthritis – a case-control-study in Germany. *J. Occup. Med. Toxicol.* 3 (2008) Nr. 14  
doi:10.1186/1745-6673-3-14
- [18] Jensen, L.K.; Eenberg, W.; Mikkelsen, S.: Validity of self-reporting and video-recording for measuring knee-straining work postures. *Ergonomics* 43 (2000) Nr. 3, S. 310-316
- [19] Burdorf, A.; Windhorst, J.; van der Beek, A.J.; van der Molden, H.; Swuste, P.H.J.J.: The effects of mechanised equipment on physical load among road workers and floor layers in the construction industry. *Int. J. Indust. Ergonomics* 37 (2007), S. 133-143  
doi:10.1016/j.ergon.2006.10.007
- [20] Bolm-Audorff U.; Kronen A.; Hoffmann M.; Riedel, W.: Dauer der Kniegelenksbelastung in ausgewählten Berufsgruppen. *Symposium Medical. Arbeits- und Umweltmedizin* (2007) Nr. 4, S. 8-10
- [21] Interdisziplinäres Fachgespräch „Gonarthrose“. 29./30. März 2007, Bonn. Kongressband. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin, 2009
- [22] Tillmann, B. (Hrsg.): *Anatomie des Menschen (Rauber/Kopsch). Lehrbuch und Atlas. Band I: Bewegungsapparat.* 3. überarb. Aufl. Thieme, Stuttgart 2003
- [23] Platzer, W.: *Taschenatlas der Anatomie: Bewegungsapparat.* Bd. 1. 7. Aufl. Thieme, Stuttgart 1999
- [24] Brinckmann, P.; Frobin, W.; Leivseth, G.: *Orthopädische Biomechanik.* Thieme, Stuttgart 2000
- [25] Grifka, J.: *Die Knieschule – Selbsthilfe bei Kniebeschwerden.* 3. Aufl. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg 2003
- [26] Pschyrembel, W.: *Klinisches Wörterbuch.* 261. Aufl. Walter de Gruyter, Berlin 2007
- [27] Heipertz, W.: (Hrsg.): *Physiotherapie. Band 9: Traumatologie und Querschnittlähmungen.* Bearb. von Brauer-Slach, S.; Krum, G.; Paeslack, V.; Pape, A.; Wittmann, C.; Zichner, L. Thieme, Stuttgart 1997
- [28] Wirth, C.J.: Kniegelenk. In: Jäger, M.; Wirth, C.J. (Hrsg.): *Praxis der Orthopädie.* Thieme, Stuttgart: 1986. S. 943-987
- [29] Hackenbroch, M.H.: *Arthrosen, Basiswissen zu Klinik, Diagnostik und Therapie.* Thieme, Stuttgart 2002
- [30] Mutschler, W.; Wirbel, R.: *Frakturen des distalen Femurs.* In: Wirth, C.J.; Mutschler, W. (Hrsg.): *Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie.* Thieme, Stuttgart: 2007

- [31] Rieger, M.A.; Klußmann, A.; Gebhardt, H.; Nübling, M.; Liebers, F.; Bouillon, B. und die ArGon-Studiengruppe: Berufliche und außerberufliche Risikofaktoren für die Kniegelenksarthrose – Ergebnisse einer Fall-Kontroll-Studie. Dokumentation der 49. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin. 12.-14.09. 2009, Aachen
- [32] March, L.M.; Bachmeier, C.J.M.: Economics of osteoarthritis: a global perspective. *Baillière's Clin. Rheumatol.* 11 (1997) Nr. 4, S. 817-833
- [33] Gesundheit in Deutschland. Hrsg.: Robert Koch-Institut, Berlin 2006
- [34] Kellgren, J.H.; Jeffrey, M.R.; Ball, J.: Atlas of standard radiographs of arthritis. Vol. II. The epidemiology of chronic rheumatism. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1963
- [35] Outerbridge, R. E.: The etiology of chondromalacia patellae. *J. Bone Joint Surg.* 43 (1961) S. 752-767
- [36] Zacher, J.; Carl, H.D.; Swoboda, B.; Backhaus, M.: Bildgebung bei der Arthrose peripherer Gelenke. In: Deutsche Gesellschaft für Rheumatologie – Kommission Bildgebende Verfahren (Hrsg.): Bildgebende Verfahren in der Rheumatologie. Berlin: Springer; 2007. S. 203-218
- [37] Leitlinien der Orthopädie. Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und orthopädische Chirurgie + Berufsvereinigung der Ärzte für Orthopädie. 2. Aufl. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 2002
- [38] Berufskrankheiten-Verordnung vom 31. Oktober 1997. (BGBl. I (1997) S. 2623, zul. geändert. 11. Juni 2009, BGBl. I S. 1273
- [39] Druckschädigung der Nerven. Merkblatt zu der Berufskrankheit Nr. 2106 der Anlage zur Berufskrankheitenverordnung (BKV). Bekanntmachung des BMA vom 1. Oktober 2002. *BArbBl.* (2002) Nr. 11, S. 62-64
- [40] Wissenschaftliche Begründung für die Berufskrankheit Gonarthrose. Bekanntmachung des BMGS vom 1. Oktober 2005. *BArbBl.* (2005) Nr. 10, S. 46-54
- [41] Gonschorek, O.; Bühren, V.: Mögliche neue Berufskrankheit Gonarthrose – wissenschaftliche Bewertung und gutachterliche Problematik. *Orthopäd. Praxis* 42 (2006) Nr. 7, S. 406-410
- [42] Greinemann, H.: Ist die Kniegelenksarthrose nach Berufsbelastung eine Berufskrankheit? *Kompaß* (1989) Nr. 5, S. 262-268
- [43] Hackenbroch, M.H.: Gedanken zur geplanten Aufnahme ausgewählter Gonarthrosen und Coxarthrosen in die Liste der Berufskrankheiten. *Z. Orthopäd.* 141 (2003), S. 617-620
- [44] Hartmann, B.; Seidel, D.; Rehme, G.: Fragen zur wissenschaftlichen Begründung einer Berufskrankheit Gonarthrose. *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 41 (2006) Nr. 4, S. 218-226
- [45] Hartmann, B.; Glitsch, U.; Görgens, H.W.; Grosser, V.; Weber, M.; Schürmann, J.; Seidel, D.: Ein belastungskonformes Schadensbild der Gonarthrose durch Knien oder vergleichbare Kniebelastung? *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 42 (2007) Nr. 2, S. 64-67
- [46] Kentner, M.: Anspruch und Wirklichkeit der Berufskrankheitenmerkblätter – aus ärztlicher Sicht. *Med. Sach.* 105 (2009) Nr. 4, S. 122-129

- [47] Weber, M.: Die Gonarthrose – eine Berufskrankheit? *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 41 (2006) Nr. 11, S. 518-532
- [48] Caruntu, D.I.; Hefzy, M.S.; Goel, V.K.; Goitz, H.T.; Dennis, M.J.; Agrawal, V.: Modeling the knee joint in deep flexion: "thigh and calf" contact. Summer Bioengineering Conference; 2003 Jun 25-29; Sonesta Beach Resort in Key Biscayne, Florida, USA
- [49] Zelle, J.; Barink, M.; De Waal Malefijt, M.; Verdonshot, N.: Thigh-calf contact: Does it affect the loading of the knee in the high-flexion rang? *J. Biomechanics* 42 (2009). S. 587-593  
doi:10.1016/j.jbiomech.2008.12.015
- [50] Glitsch, U.; Lundershausen, N.; Knieps, D.; Johannknecht, A.; Ellegast, R.: Biomechanische Analyse der Kniegelenkbelastung bei Tätigkeiten im Hocken und Knien. Dokumentation der 49. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin. 12.-14. September 2009, Aachen
- [51] Hartmann B.; Seidel, D.: Erkrankungen der Kniegelenke bei Beschäftigten der Bauwirtschaft. 43. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin, Dresden 2003. S.179-183
- [52] Backhaus, C.: Gonarthroserisiko bei Vorfelddlern. *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 43 (2008) Nr. 3, S. 177
- [53] Bolm-Audorff, U.; Bergmann, A.; Ditschen, D.; Ellegast, R.; Elsner, G.; Grifka, O.; Haerting, J.; Hofmann, F.; Jäger, M.; Linhardt, O.; Luttmann, A.; Michaelis, M.; Petereit-Haack, G.; Seidler, A.: Epidemiologische Fall-Kontroll-Studie zur Untersuchung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen bei der Berufskrankheit 2108 (Deutsche Wirbelsäulenstudie). Abschlussbericht. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2007. <http://www.dguv.de>, Webcode d27455
- [54] Ellegast, R.; Ditschen, D.; Bergmann, A.; Bolm-Audorff, U.; Elsner, G.; Grifka, J.; Haerting, J.; Hofmann, F.; Jäger, M.; Linhardt, O.; Luttmann, A.; Michaelis, M.; Petereit-Haack G.; Seidler, A.: Erhebungen zur beruflichen Wirbelsäulenexposition durch die Technischen Aufsichtsdienste der Unfallversicherungsträger im Rahmen der Deutschen Wirbelsäulenstudie. *Zbl. Arbeitsmed. Arbeitsschutz Ergonomie* 57 (2007), S. 251-263
- [55] Pressel, G.: Der chronische Meniskusschaden als Berufskrankheit. Hrsg.: Bau-Berufsgenossenschaft Frankfurt 1985. Gekürzte Fassung einer 1982 vom Fachbereich Human-Medizin der Universität angenommenen Habilitationsschrift: „Die Bedeutung der beruflichen Exposition für die Ätiologie der chronischen Meniskusschadens – eine arbeitsmedizinische Studie“, zitiert in [42]
- [56] Obesity – preventing and managing the global epidemic: report of a WHO consultation. WHO technical report series 894. Hrsg.: Weltgesundheitsorganisation (WHO), Genf, Schweiz 1999
- [57] Ellegast, R. P.: Personengebundenes Messsystem zur automatisierten Erfassung von Wirbelsäulenbelastungen bei beruflichen Tätigkeiten. BIA-Report 5/98. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 1998
- [58] Ellegast, R.P.: Ermittlung und Bewertung der Belastung des Muskel-Skelett-Systems bei beruflichen Tätigkeiten. In: *aaa arbeitsmedizin und arbeitsschutz aktuell*. Urban & Fischer, München 2000. S. 57-70. Losebl.-Ausg.



- [59] Ellegast, R.P.; Kupfer, J.: Portable posture and motion measuring system for use in ergonomic field analysis. In: Landau, K. (Hrsg.): Ergonomic software tools in product and workplace design. Ergon, Stuttgart 2000. S. 47-54
- [60] Ditchen, D.; Ellegast, R.P.; Herda, C.; Hoehne-Hückstädt, U.: Ergonomic intervention on musculoskeletal discomfort among crane operators at waste-to-energy-plants. In: Bust, P.D.; McCabe, P.T. (Hrsg.). Contemporary Ergonomics 2005. London: Taylor & Francis; 2005. p. 22-26
- [61] Ellegast, R. P.; Hermanns, I.; Schiefer, C. Workload Assessment in Field Using the Ambulatory CUELA System. In: Duffy, V.G. (Hrsg.): Second International Conference Digital Human Modeling – ICDHM 2009, Held as Part of HCI International, 19.-24. Juli 2009; San Diego/USA. Springer, Berlin 2009. S. 221-226
- [62] Freitag, S.; Ellegast, R.; Dulon, M.; Nienhaus, A.: Quantitative measurement of stressful trunk postures in nursing professions. *Ann. Occup. Hyg.* 53 (2007) Nr. 4, S. 385-395  
doi:10.1093/annhyg/mem018
- [63] Glitsch, U.; Ottersbach, H.J.; Ellegast, R.; Schaub, K.; Franz, G.; Jäger, M.: Physical workload of flight attendants when pushing and pulling trolleys aboard aircraft. *Int. J. Indust. Ergonomics* 37 (2007), S. 845-854  
doi:10.1016/j.ergon.2007.07.004
- [64] Hoehne-Hückstädt, U.; Herda, C.; Ellegast, R.; Hermanns, I.; Hamburger, R.; Ditchen, D.: Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität und berufliche Tätigkeit. Entwicklung eines Systems zur Erfassung und arbeitswissenschaftlichen Bewertung von komplexen Bewegungen der oberen Extremität bei beruflichen Tätigkeiten. BGIA-Report 2/2007. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2007
- [65] Ditchen, D.: OMEGA-Datenbank Wirbelsäulenbelastungen. In: Fachgespräch Ergonomie 2004 (BGIA-Report 4/2005). Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2005. S. 141-147
- [66] Ditchen, D.; Ellegast, R.: Development of a database for analysis of and research into occupational strains on the spinal column. In: Contemporary Ergonomics. Taylor & Francis, Atkins, UK 2004
- [67] Ditchen, D.; Hermanns, I.; Kleinespel, T.; Ellegast, R.P.: Aufbau einer Datenbank zur Prävention von arbeitsbedingten Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems. In: Grieshaber, R.; Stadeler, M.; Scholle, H.C. (Hrsg.): Prävention von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und Erkrankungen – 13. Erfurter Tage der Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten, Mannheim und der Friedrich-Schiller-Universität, Jena 2006, 8.-9. Dezember. 2006; Erfurt. Bussert & Stadeler, Jena 2007. S. 335-340
- [68] Elsner, G.; Nienhaus, A.; Beck, W.: Kniegelenksarthrose und arbeitsbedingte Faktoren. *Soz. Präventivmed.* 41 (1996), S. 98-106
- [69] Holmberg, S.; Thelin, A.; Thelin, N.: Is there an increased risk of knee osteoarthritis among farmers? A population-based case-control study. *Int. Arch. Occup. Environm. Health.* 77 (2004) S. 345-350  
doi:10.1007/s00420-004-0518-1
- [70] Holmström, E.; Engholm, G.: Musculoskeletal disorders in relation to age and occupation in Swedish construction workers. *Am. J. Indust. Med.* 44 (2003) Nr. 4, S. 377-384.  
doi:10.1002/ajim.10281

- [71] Hotz, P.; Söderström, D.; Mazzocato, C.; Holtz J.; Boillat, M.A.: Musculoskeletal and skin disorders in a population of floor layers. *Soz. Präventivmed.* 36 (1991) Nr. 1, S. 34-38
- [72] Järvholm, B.; From, C.; Lewold, S.; Malchau, H.; Vingard, E.: Incidence of surgically treated osteoarthritis in the hip and knee in male construction workers. *Occup Environm. Med.* 65 (2008) S. 275-278  
doi:10.1136/oem.2007.033365
- [73] Jensen, L.K.; Mikkelsen, S.; Loft, I.P.; Eenberg, W.; Bergmann, I.; Logager, V.: Radiographic knee osteoarthritis in floorlayers and carpenters. *Scand. J. Work Environm. Health.* 26 (2000) Nr. 3, S. 257-262
- [74] Kasch, J.; Enderlein, G.: Kniegelenksschäden im Schiffsbau. *Beitr. Orthop. Traumatol.* 33 (1986) S. 487-491
- [75] Kellgren, J.H.; Lawrence, J.S.: Rheumatism in miners. Part II: X-ray study. *Brit. J. Indust. Med.* 9 (1952) S. 197-207
- [76] Kivimäki, J.; Riihimäki, H.; Hänninen, K.: Knee disorders in carpet and floor layers and painters. *Scand. J. Work Environm. Health.* 18 (1992) S. 310-316
- [77] Lindberg, H.; Montgomery, F.: Heavy labor and the occurrence of gonarthrosis. *Clin. Orthop. Rel. Res.* 214 (1987) S. 235-236
- [78] Nauwald, G.: Untersuchungen zur Häufigkeit professioneller Kniegelenkserkrankungen bei älteren Rohrschlossern im Hochseeschiffbau. *Beitr. Orthop. Traumatol.* 33 (1986) S. 124-128
- [79] Rytter, S.; Jensen, L.K.; Bonde, J.P.: Clinical knee findings in floor layers with focus on meniscal status. *BMC Musculoskeletal Disorders.* 9 (2008) S. 144  
doi:10.1186/1471-2474-9-144.
- [80] Seidler, A.; Hornung, J.; Heiskel, H.; Börner, M.; Elsner, G.: Gonarthrose als Berufskrankheit? *Zbl. Arbeitsmed.* 51 (2001), S. 106-117
- [81] Thun, M.; Tanaka, S.; Smith, A.B.; Halperin, W.E.; Lee, S.T.; Luggen, M.E.; Hess, E.V.: Morbidity from repetitive knee trauma in carpet and floor layers. *Br. J. Indust. Med.* 44 (1987) Nr. 9, S. 611-620
- [82] Imeokparia, R.L.; Barrett, J.P.; Arrieta, M.I.; Leaverton, P.E.; Wilson, A.A.; Hall, B.J.; Marlowe, S.M.: Physical activity as a risk factor for osteoarthritis of the knee. *Ann. Epidemiol.* 4 (1994) Nr. 3, S. 221-230
- [83] Anderson, J. J.; Felson, D. T.: Factors associated with osteoarthritis of the knee in the first national health and nutrition examination survey (HANES I). *Am. J. Epidemiol.* 128 (1988), S. 179-189
- [84] D'Souza, J.C.; Werner, R.A.; Keyserling, W.M.; Gillespie, B.; Rabourn, R.; Ulin, S.; Franzblau, A.: Analysis of the third national health and nutrition examination survey (NHANES III) using expert ratings of job categories. *Am. J. Indust. Med.* 51 (2008), S. 37-46  
doi:10.1002/ajim.20512
- [85] Lau, E.C.; Cooper, C.; Lam, D.; Chan, V.N.H.; Tsang, K.K.; Sham, A.: Factors associated with osteoarthritis of the hip and knee in Hong Kong Chinese: obesity, joint injury, and occupational activities. *Am. J. Epidemiol.* 152 (2000) Nr. 9, S. 855-862

- [86] Baker, P.; Reading, I.; Cooper, C.; Coggon, D.: Knee disorders in the general population and their relation to occupation. *Occup. Environm. Med.* 60 (2003) Nr. 10, S. 794-797
- [87] Klussmann, A.; Gebhardt, H.; Nuebling, M.; Liebers, F.; Quirós Perea, E.; Cordier, W.; von Engelhardt, L.V.; Schubert, M.; Dávid, A.; Bouillon, B.; Rieger M.A.: Individual and occupational risk factors for knee osteoarthritis: results of a case control study in Germany. *Arthrit. Res. Ther.* 12 (2010) Nr. 3 doi:10.118/ar3015
- [88] Wickström, G.; Hännigen, K.; Mattison, T.; Niskanen, T.; Riihimäki, H.; Waris, P.; Zitting, A.: Knee degeneration in concrete reinforcement workers. *Br. J. Indust. Med.* 40 (1983) S. 216-219
- [89] Hartmann, B.; Fleischer, A.G.: Physical load exposure at construction sites. *Scand. J. Work Environm. Health.* 31 (2005) Nr. 2, S. 88-95
- [90] Klußmann, A.; Gebhardt, H.; Rieger M.: Körperliche Belastungen und Beschwerden bei Beschäftigten in einem Kanal- und Rohrnetzbetrieb. *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 43 (2008) Nr. 3, S. 156-157
- [91] Jensen, L.K.; Rytter, S.; Bonde, J.P.: Exposure assessment of kneeling work activities among floor layers. *Appl. Ergonomics.* 41 (2010), S. 319-325 doi:10.1016/j.apergo.2009.08.004
- [92] Jensen, L.K.; Friche, C.: Effects of training to implement new working methods to reduce knee strain in floor layers. A two-year follow up. *Occup. Environm. Med.* 65 (2008), S. 20-27 doi:10.1136/oem.2006.028803
- [93] Mewes, D.; Walther, C.; Rehn, B.: Knieschutz im Raumausstatterhandwerk. *TÜ 51* (2010) Nr. 3, S. 42-45
- [94] Hoehne-Hückstädt, U.; Ellegast, R.; Luckau, M.: Heben und Tragen, kniende Tätigkeiten und Zwangshaltungen im Raumausstatterhandwerk. *BGIA-Report 1/2007*. Hrsg.: BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin 2007
- [95] Klußmann A.: Ermittlung und Bewertung von Ansatzpunkten zur Prävention von Kniegelenksarthrosen im Arbeitsleben. 20. ASER-Forschungsbericht. Hrsg.: Institut ASER e.V., Wuppertal 2009
- [96] Ditchen, D.; Ellegast, R.; Hartmann, B.; Rieger, M.A.: Arbeitsbedingte Kniebelastungen: Vergleich der Selbsteinschätzung von Probanden mit CUELA-Messdaten. *aser:info* (2009) Nr. 7, S. 20-21



## Anhang – Kurzdarstellung der Ergebnisse

Tabelle 26:  
Durchschnittliche Kniebelastungen in den untersuchten Berufen  
(Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung; n = Anzahl der gemessenen Arbeitsschichten; min-Angaben bezogen auf Standard-Arbeitsschicht von 8 h)

Tätigkeitsmodul		n	Kniebelastung gesamt in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knie ohne Abstützung in %	Knie mit Abstützung in %	Kriechen in %
<b>A 1. Beton- und Stahlbetonbauer</b>									
01	Bewehren	3	80 ( $\pm$ 60)	16,7 ( $\pm$ 12,6)	8,3 ( $\pm$ 3,1)	0,5 ( $\pm$ 0,9)	7,4 ( $\pm$ 11,9)	0,5 ( $\pm$ 0,9)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
02	Schalungsarbeiten	3	70 ( $\pm$ 55)	14,2 ( $\pm$ 11,4)	5,1 ( $\pm$ 1,1)	0,5 ( $\pm$ 0,7)	5,6 ( $\pm$ 6,8)	3,0 ( $\pm$ 3,7)	0,0 ( $\pm$ 0,1)
<b>A 2. Bodenleger/Raumausstatter</b>									
01	Bodenbelag verlegen	6	230 ( $\pm$ 30)	48,2 ( $\pm$ 5,9)	0,3 ( $\pm$ 0,3)	4,7 ( $\pm$ 2,7)	23,1 ( $\pm$ 4,7)	16,6 ( $\pm$ 8,4)	3,5 ( $\pm$ 4,1)
02	Altbelag manuell entfernen	3	215 ( $\pm$ 5)	44,5 ( $\pm$ 0,7)	0,8 ( $\pm$ 0,3)	5,1 ( $\pm$ 2,0)	18,6 ( $\pm$ 7,1)	17,1 ( $\pm$ 5,6)	2,9 ( $\pm$ 0,9)
03	Untergrund vorbereiten	4	105 ( $\pm$ 110)	22,0 ( $\pm$ 23,0)	0,1 ( $\pm$ 0,1)	1,9 ( $\pm$ 2,7)	5,8 ( $\pm$ 4,6)	13,8 ( $\pm$ 16,1)	0,4 ( $\pm$ 0,5)
Sonderfall									
S1	Bodenleger im Fahrzeugbau	3	180 ( $\pm$ 75)	37,7 ( $\pm$ 15,2)	3,3 ( $\pm$ 4,3)	2,8 ( $\pm$ 2,4)	20,4 ( $\pm$ 5,5)	8,8 ( $\pm$ 4,6)	2,4 ( $\pm$ 4,0)
<b>A 3. Dachdecker</b>									
01	Steildach einlatten	4	20 ( $\pm$ 20)	4,2 ( $\pm$ 4,0)	0,3 ( $\pm$ 0,3)	0,1 ( $\pm$ 0,1)	2,9 ( $\pm$ 2,6)	0,9 ( $\pm$ 1,8)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
02	Steildach dämmen	2	235 ( $\pm$ 65)	48,9 ( $\pm$ 13,5)	2,6 ( $\pm$ 2,0)	1,0 ( $\pm$ 0,9)	36,8 ( $\pm$ 5,7)	8,2 ( $\pm$ 5,1)	0,2 ( $\pm$ 0,2)
03	Steildach eindecken (Dachpfannen)	3	35 ( $\pm$ 35)	7,2 ( $\pm$ 7,6)	0,5 ( $\pm$ 0,6)	1,3 ( $\pm$ 2,2)	3,5 ( $\pm$ 3,9)	1,9 ( $\pm$ 1,8)	0,1 ( $\pm$ 0,2)
04	Steildach eindecken (Biberschwanz)	4	130 ( $\pm$ 90)	27,2 ( $\pm$ 18,8)	2,0 ( $\pm$ 2,6)	0,7 ( $\pm$ 0,8)	17,4 ( $\pm$ 16,0)	7,2 ( $\pm$ 5,7)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
05	Steildach verschiefern	2	235 ( $\pm$ 75)	48,7 ( $\pm$ 16,1)	0,3 ( $\pm$ 0,1)	3,1 ( $\pm$ 2,6)	29,2 ( $\pm$ 9,5)	16,1 ( $\pm$ 9,1)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
06	Steildach: Mansarden- Verschieferung	3	90 ( $\pm$ 40)	18,7 ( $\pm$ 8,3)	2,1 ( $\pm$ 2,5)	9,5 ( $\pm$ 5,2)	6,8 ( $\pm$ 5,9)	0,2 ( $\pm$ 0,2)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
07	Steildach: Wellplatten- montage	3	35 ( $\pm$ 30)	7,0 ( $\pm$ 6,0)	2,7 ( $\pm$ 3,6)	0,3 ( $\pm$ 0,6)	3,8 ( $\pm$ 6,6)	0,2 ( $\pm$ 0,3)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
08	Steildach: Reetdach eindecken	3	20 ( $\pm$ 30)	3,7 ( $\pm$ 6,0)	0,1 ( $\pm$ 0,1)	0,0 ( $\pm$ 0,0)	3,6 ( $\pm$ 6,0)	0,0 ( $\pm$ 0,0)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
09	Flachdach: Schweiß- bahnen verlegen	4	85 ( $\pm$ 50)	18,1 ( $\pm$ 10,9)	1,7 ( $\pm$ 3,0)	1,3 ( $\pm$ 1,5)	11,5 ( $\pm$ 6,5)	3,6 ( $\pm$ 2,4)	0,0 ( $\pm$ 0,1)
10	Flachdach: Anschluss mit Flüssigfolie	2	310 ( $\pm$ 5)	64,7 ( $\pm$ 0,7)	0,4 ( $\pm$ 0,3)	3,5 ( $\pm$ 0,8)	39,9 ( $\pm$ 21,4)	20,8 ( $\pm$ 20,1)	0,0 ( $\pm$ 0,0)
11	Flachdach: Kunststoff- bahnen verlegen	3	105 ( $\pm$ 85)	22,1 ( $\pm$ 17,4)	10,5 ( $\pm$ 14,5)	0,6 ( $\pm$ 0,6)	8,5 ( $\pm$ 4,7)	2,5 ( $\pm$ 3,7)	0,1 ( $\pm$ 0,1)

Tätigkeitsmodul		n	Knie- belastung gesamt in min	Knie- belastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knien ohne Abstützung in %	Knien mit Abstützung in %	Kriechen in %
<b>Dachdecker (Fortsetzung)</b>									
Sonderfälle									
S1	Steildach: Ziegel- transport auf Dach	1	15	2,8	0,3	0,0	1,6	0,9	0,0
S2	Steildach: Reetdach abdecken	1	15	3,0	0,2	0,6	1,6	0,6	0,0
S3	Holzrahmenbau (Zimmermann)	1	70	14,6	0,3	0,2	7,1	6,9	0,1
<b>A 4. Estrichleger</b>									
01	Fließestrich: Dämmen	4	235 (± 35)	49,3 (± 7,3)	3,3 (± 3,8)	3,3 (± 2,9)	27,2 (± 12,4)	12,3 (± 8,4)	3,2 (± 2,6)
02	Fließestrich einbauen	5	35 (± 30)	7,3 (± 6,5)	3,3 (± 4,7)	0,4 (± 0,9)	3,2 (± 3,2)	0,4 (± 0,7)	0,0 (± 0,0)
03	Zementestrich einbauen (3-Mann)	3	250 (± 40)	52,2 (± 8,0)	0,4 (± 0,3)	2,1 (± 1,6)	14,0 (± 3,6)	35,4 (± 6,3)	0,2 (± 0,2)
04	Zementestrich glätten (3-Mann)	3	160 (± 65)	33,3 (± 13,6)	1,0 (± 0,9)	2,7 (± 1,9)	9,4 (± 6,7)	19,6 (± 11,8)	0,5 (± 0,4)
05	Zementestrich: anmischen (3-Mann)	2	0 (± 0)	0,4 (± 0,1)	0,0 (± 0,0)	0,0 (± 0,1)	0,3 (± 0,1)	0,0 (± 0,0)	0,0 (± 0,0)
Sonderfälle									
S1	Zementestrich einbauen (2-Mann)	1	265	55,2	1,6	2,1	31,0	20,5	0,0
S2	Zementestrich: anmischen (2-Mann)	2	85 (± 10)	17,7 (± 2,5)	1,3 (± 0,3)	0,2 (± 0,1)	8,4 (± 0,1)	7,8 (± 2,1)	0,0 (± 0,0)
<b>A 5. Fahrzeugsattler</b>									
01	Lkw-Planen anfertigen	5	105 (± 25)	21,9 (± 5,1)	3,6 (± 4,8)	0,4 (± 0,5)	13,1 (± 3,1)	2,0 (± 2,3)	2,9 (± 3,4)
<b>A 6. Fliesenleger</b>									
01	Bodenfliesen verlegen (Dünnbett)	5	305 (± 45)	63,7 (± 9,3)	0,3 (± 0,3)	10,5 (± 2,5)	24,3 (± 6,6)	28,5 (± 5,6)	0,0 (± 0,1)
02	Wandfliesen verlegen (Dünnbett)	3	140 (± 80)	28,9 (± 16,7)	5,8 (± 5,3)	5,5 (± 3,4)	13,6 (± 9,0)	4,1 (± 2,0)	0,0 (± 0,0)
03	Bodenfliesen verfugen	2	320 (± 15)	66,7 (± 2,8)	7,3 (± 10,2)	11,9 (± 3,5)	17,3 (± 3,8)	29,7 (± 5,0)	0,5 (± 0,6)
04	Wandfliesen verfugen	5	140 (± 25)	29,0 (± 5,7)	6,3 (± 7,3)	6,9 (± 6,3)	13,9 (± 7,6)	1,9 (± 1,8)	0,0 (± 0,0)
Sonderfälle									
S1	Vorbereitungs- arbeiten	2	130 (± 35)	27,3 (± 7,0)	0,3 (± 0,2)	2,9 (± 2,4)	19,1 (± 9,4)	4,9 (± 0,2)	0,2 (± 0,3)

Tätigkeitsmodul		n	Kniebelastung gesamt in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knien ohne Abstützung in %	Knien mit Abstützung in %	Kriechen in %
<b>Fliesenleger (Fortsetzung)</b>									
S2	Bodenfliesen verlegen (Dickbett)	1	295	61,8	2,3	5,7	23,4	30,4	0,0
S3	Silikonverfugungsarbeiten	1	160	33,1	13,9	0,0	18,3	0,9	0,0
S4	Wand- und Bodenfliesen verlegen (Dünnbett)	1	230	48,3	0,0	7,8	32,6	7,8	0,0
<b>A 7. Flugzeugabfertiger</b>									
01	Großraum- und Standard- rumpfflugzeuge	3	30 (± 15)	5,8 (± 3,4)	0,4 (± 0,6)	1,9 (± 2,3)	1,8 (± 1,3)	1,6 (± 0,4)	0,1 (± 0,0)
02	Standardrumpfflugzeuge	5	85 (± 20)	17,4 (± 3,8)	0,1 (± 0,1)	2,6 (± 1,0)	9,1 (± 2,4)	5,0 (± 3,3)	0,6 (± 0,4)
<b>A 8. Formenbauer</b>									
01	Formenbau	4	30 (± 15)	6,5 (± 3,0)	0,2 (± 0,3)	0,3 (± 0,2)	2,5 (± 0,8)	3,6 (± 3,0)	0,0 (± 0,1)
<b>A 9. Installateur</b>									
01	Fußbodenheizungvorbereitung	3	315 (± 105)	65,8 (± 21,7)	2,8 (± 1,2)	8,9 (± 9,7)	32,6 (± 2,0)	20,7 (± 12,6)	0,9 (± 1,1)
02	Fußbodenheizungsmontage	5	195 (± 70)	40,3 (± 14,8)	3,1 (± 5,5)	4,1 (± 3,0)	18,3 (± 6,6)	14,8 (± 16,1)	0,0 (± 0,1)
03	Heizungsanlagenmontage	3	35 (± 25)	7,7 (± 4,7)	1,8 (± 1,4)	1,6 (± 2,8)	4,0 (± 3,5)	0,2 (± 0,4)	0,0 (± 0,0)
04	Heizkörpermontage	3	245 (± 25)	51,0 (± 5,2)	1,4 (± 1,8)	14,8 (± 16,3)	34,1 (± 10,6)	0,7 (± 0,2)	0,0 (± 0,0)
05	Rohrleitungs montage	6	180 (± 60)	37,8 (± 12,6)	2,7 (± 2,8)	5,5 (± 6,2)	26,3 (± 14,1)	3,4 (± 4,0)	0,0 (± 0,0)
06	Abwasserleitungs montage	2	250 (± 30)	52,3 (± 6,7)	7,9 (± 2,7)	7,0 (± 7,3)	32,9 (± 14,8)	4,6 (± 1,9)	0,0 (± 0,0)
07	Unterputzkastenmontage	2	165 (± 125)	34,5 (± 26,0)	1,3 (± 0,4)	0,5 (± 0,7)	30,2 (± 21,4)	2,5 (± 3,5)	0,0 (± 0,0)
08	Sanitär-Feinmontage	4	200 (± 10)	41,5 (± 1,9)	2,5 (± 4,3)	5,8 (± 5,4)	28,1 (± 7,8)	5,2 (± 4,1)	0,0 (± 0,0)
09	Dachanschlussarbeiten	4	95 (± 85)	20,3 (± 17,7)	11,1 (± 18,0)	0,1 (± 0,3)	6,3 (± 4,4)	2,8 (± 3,7)	0,0 (± 0,0)
10	Dachrinnenmontage	3	25 (± 35)	5,7 (± 7,5)	0,2 (± 0,1)	0,0 (± 0,0)	2,6 (± 2,8)	2,8 (± 4,8)	0,0 (± 0,0)
11	Fotovoltaikmontage, Flach- dach	3	25 (± 25)	5,3 (± 5,0)	1,5 (± 1,2)	0,1 (± 0,2)	3,0 (± 3,3)	0,7 (± 1,2)	0,0 (± 0,0)
12	Fotovoltaikmontage, Steildach	2	125 (± 15)	25,6 (± 3,4)	2,0 (± 1,3)	1,4 (± 0,2)	15,6 (± 9,6)	6,7 (± 5,1)	0,0 (± 0,0)
<b>A 10. Maler und Lackierer</b>									
01	Fassadenvorbereitung	3	170 (± 105)	35,0 (± 21,4)	7,9 (± 6,0)	5,6 (± 5,6)	20,3 (± 13,6)	1,4 (± 1,7)	0,0 (± 0,0)
02	Fassadenanstrich	3	45 (± 25)	9,0 (± 5,2)	5,3 (± 6,9)	0,6 (± 1,1)	2,7 (± 1,4)	0,4 (± 0,6)	0,0 (± 0,0)
03	Vollwärmeschutzmontage	5	45 (± 60)	8,9 (± 12,2)	4,5 (± 9,4)	2,3 (± 4,9)	2,1 (± 2,4)	0,1 (± 0,1)	0,0 (± 0,0)
04	Tapezieren	3	115 (± 35)	24,2 (± 7,1)	1,6 (± 2,4)	6,3 (± 5,1)	15,5 (± 4,0)	0,7 (± 0,6)	0,0 (± 0,0)

Tätigkeitsmodul		n	Knie- belastung gesamt in min	Knie- belastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knien ohne Abstützung in %	Knien mit Abstützung in %	Kriechen in %
<b>Maler und Lackierer (Fortsetzung)</b>									
05	Lackierarbeiten (innen)	2	170 (± 40)	35,4 (± 8,5)	9,2 (± 11,7)	1,1 (± 0,6)	23,6 (± 5,8)	1,5 (± 2,1)	0,0 (± 0,0)
Sonderfälle									
S1	Innenanstrich	1	15	3,0	1,7	0,0	1,3	0,0	0,0
S2	Treppenhausanstrich	2	65 (± 35)	14,0 (± 6,8)	1,5 (± 1,4)	5,1 (± 3,9)	7,3 (± 4,5)	0,1 (± 0,2)	0,0 (± 0,0)
<b>A 11. Natur- und Kunststeinleger</b>									
01	Treppenstufen verlegen	5	145 (± 50)	29,7 (± 10,2)	11,0 (± 9,2)	3,3 (± 3,6)	14,6 (± 17,4)	0,9 (± 0,6)	0,0 (± 0,0)
02	Fassadenplattenmontage	5	80 (± 40)	16,2 (± 8,2)	7,3 (± 4,7)	0,1 (± 0,3)	8,1 (± 5,7)	0,6 (± 0,6)	0,0 (± 0,0)
03	Bodenplatten verlegen	3	155 (± 30)	32,8 (± 6,5)	1,8 (± 1,3)	1,4 (± 1,3)	15,7 (± 5,7)	13,9 (± 2,0)	0,0 (± 0,0)
Sonderfälle									
S1	Vakuumheber: Bediener	1	5	1,4	0,9	0,0	0,1	0,5	0,0
S2	Vakuumheber: Platten verlegen	1	250	52,3	0,3	3,0	26,7	22,3	0,0
<b>A 12. Parkettleger</b>									
01	Stabparkett verlegen	3	355 (± 35)	74,1 (± 7,5)	0,6 (± 0,4)	2,2 (± 1,7)	58,5 (± 10,4)	12,7 (± 17,5)	0,2 (± 0,2)
02	Mosaikparkett verlegen	8	250 (± 30)	52,4 (± 5,9)	2,6 (± 2,8)	3,0 (± 1,3)	28,6 (± 9,2)	18,1 (± 7,3)	0,1 (± 0,1)
03	Schleifen und Verkitten	10	170 (± 70)	34,9 (± 14,2)	0,3 (± 0,4)	1,4 (± 1,4)	21,1 (± 13,2)	12,1 (± 7,9)	0,1 (± 0,1)
Sonderfälle									
S1	Vorbereiten	2	10 (± 15)	2,5 (± 3,1)	0,3 (± 0,1)	0,0 (± 0,0)	2,3 (± 3,2)	0,0 (± 0,0)	0,0 (± 0,0)
S2	Dielenboden verlegen	1	160	33,7	5,3	7,4	11,4	9,3	0,2
S3	Stabparkett federn	3	0 (± 0)	0,0 (± 0,0)	0,0 (± 0,0)	0,0 (± 0,0)	0,0 (± 0,0)	0,0 (± 0,0)	0,0 (± 0,0)
S4	Trittschalldämmung verlegen	1	295	61,8	0,5	5,4	29,2	26,1	0,5
<b>A 13. Pflasterer</b>									
01	Verbundpflaster verlegen	3	85 (± 15)	17,8 (± 3,1)	3,5 (± 5,4)	0,5 (± 0,9)	10,5 (± 6,2)	3,2 (± 3,1)	0,0 (± 0,0)
02	Kleinpflaster verlegen	3	395 (± 30)	82,5 (± 5,9)	80,2 (± 2,5)	0,0 (± 0,0)	2,3 (± 4,0)	0,0 (± 0,0)	0,0 (± 0,0)



Tätigkeitsmodul	n	Knie- belastung gesamt in min	Knie- belastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knien ohne Abstützung in %	Knien mit Abstützung in %	Kriechen in %	
<b>Pflasterer (Fortsetzung)</b>									
Sonderfall									
S1	Kleinpflaster verlegen (Schemel)	1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>A 14. Rohrleitungsbauer</b>									
01	Kanalbau	3	10 (± 5)	2,0 (± 1,3)	0,8 (± 0,3)	0,1 (± 0,1)	0,8 (± 0,8)	0,3 (± 0,4)	0,0 (± 0,0)
02	Rohrleitungsbau (Schweißen)	3	65 (± 30)	13,9 (± 5,9)	2,3 (± 2,1)	0,8 (± 1,4)	7,2 (± 4,6)	3,5 (± 2,9)	0,1 (± 0,1)
03	Rohrleitungsbau (PE-Schweißen)	2	105 (± 50)	21,9 (± 10,6)	0,1 (± 0,1)	4,3	16,1 (± 7,4)	1,4 (± 1,4)	0,0 (± 0,0)
Sonderfall									
S1	Ausschachten	1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>A 15. Schweißer (im Behälterbau)</b>									
01	Wände einschweißen	3	195 (± 60)	40,9 (± 12,1)	0,4 (± 0,4)	2,1 (± 2,4)	14,6 (± 17,5)	23,9 (± 8,7)	0,0 (± 0,0)
<b>A 16. Werftarbeiter</b>									
01	Schweißen	3	295 (± 165)	61,2 (± 33,9)	3,8 (± 4,0)	4,0 (± 5,6)	45,5 (± 28,4)	7,9 (± 8,0)	0,1 (± 0,1)
02	Schlossertätigkeiten	2	150 (± 50)	31,5 (± 10,7)	4,3 (± 4,0)	2,9 (± 0,3)	20,1 (± 1,0)	2,2 (± 2,7)	2,1 (± 2,8)
Sonderfall									
S1	Schleifen	1	160	33,3	10,3	0,0	17,0	6,1	0,0