

IFA Report 2/2012

Erfassung arbeitsbedingter Kniebelastungen an ausgewählten Arbeitsplätzen

IFA Report 2/2012

**Erfassung arbeitsbedingter
Kniebelastungen an
ausgewählten Arbeitsplätzen**

Dieser IFA-Report wurde als Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doctor rerum medicinalium der Universität Witten/Herdecke im Bereich der Medizin vorgelegt. Er wurde im Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) in Zusammenarbeit mit dem Institut für Allgemeinmedizin und Familienmedizin erarbeitet.

Promotionskomitee:

1. Mitglied: Prof. Dr. med. Monika A. Rieger
Institut für Allgemeinmedizin und Familienmedizin der Universität Witten/Herdecke und
Institut für Arbeits- und Sozialmedizin des Universitätsklinikums Tübingen
2. Mitglied: Dr. rer. nat. Rolf P. Ellegast
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung – IFA
3. Mitglied: Prof. Dr. med. Bernd Hartmann
Arbeitsmedizinischer Dienst der BG BAU, Hamburg
- Gutachter: Prof. Dr. med. Ulrich Bolm-Audorff
Regierungspräsidium Darmstadt, Abteilung Arbeitsschutz und Umwelt, Dezernat Landesgewerbeamt
- Tag der Disputation: 7.3.2011

Verfasser: Dirk Ditschen
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
E-Mail: ifa@dguv.de

Redaktion und Satz: Zentralbereich des Instituts für Arbeitsschutz der
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)

Herausgeber: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV)
Mittelstr. 51
10117 Berlin
Telefon: 030 288763800
Telefax: 030 288763808
Internet: www.dguv.de
E-Mail: info@dguv.de

– Mai 2012 –

Layout: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V., Berlin

Druck: MedienHaus Plump, Rheinbreitbach

ISBN: 978-3-86423-033-2
(ISBN online: 978-3-86423-034-9)

ISSN: 2190-7986

Kurzfassung

Erfassung arbeitsbedingter Kniebelastungen in ausgewählten Berufen

Berufliche Belastungen durch Tätigkeiten im Knien oder Hocken zählen zu den Risikofaktoren für Verletzungen und Erkrankungen der Kniegelenke wie Meniskopathien oder Arthrosen. Da der Kenntnisstand zu Art, Vorkommen und Häufigkeit von Kniebelastungen in einzelnen Berufen als gering einzustufen ist, war es ein Ziel dieser Arbeit, neue Erkenntnisse zur Qualität und Quantität beruflicher Kniebelastungen zu gewinnen. Zu diesem Zweck wurden in Kooperation mit den zuständigen Trägern der gesetzlichen Unfallversicherung messtechnische Untersuchungen an verschiedenen Arbeitsplätzen durchgeführt (Studienteil A). Da es z. B. in wissenschaftlichen Studien oder Berufskrankheiten-Feststellungsverfahren eine übliche Methode ist, Probanden bzw. Versicherte per Fragebogen ihre Kniebelastung selbst einschätzen zu lassen, sollte in einem zweiten Studienteil B der Frage nachgegangen werden, wie valide solche Eigenangaben sind.

Zur Analyse der Körperhaltungen in Studienteil A wurde das Messsystem CUELA des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) eingesetzt. Im Praxis-Einsatz konnten insgesamt 242 Arbeitsschichten untersucht und entsprechende Kniebelastungsprofile erstellt werden. Die auf diese Weise erhobenen Daten zur quantitativen Kniebelastung bildeten die Basis für die Entwicklung des Katasters GonKatast. Dieses umfasst Expositionsdaten zu 81 typischen Tätigkeiten (60 Tätigkeitsmodule und 21 Sonderfälle) aus 16 verschiedenen Berufen.

Für die arbeitstägliche Dauer der Belastungen hat sich gezeigt, dass Zeitanteile von über 50 % einer Arbeitsschicht bei Berufen wie Fliesenleger oder Installateur durchaus keine Seltenheit sind. Gleichzeitig war eine erhebliche Variation der täglichen Kniebelastungszeiten innerhalb der einzelnen Berufe zu beobachten, sodass die Kniebelastung nicht berufsspezifisch, sondern tätigkeitsbezogen zu erheben und einzustufen ist.

Der Einsatz einer aufwendigen Messtechnik in dieser Studie erlaubte erstmals die Untersuchung der Anzahl der täglichen Kniebelastungsphasen und ihrer jeweiligen Dauer in verschiedenen Berufen, der beim Knien, Hocken oder Kriechen eingenommenen Kniewinkelbereiche sowie der Symmetrie der Belastungen bezüglich beider Kniegelenke.

Der in Studienteil B durchgeführte Vergleich der gemessenen mit der von den Probanden selbst geschätzten Kniebelastungsdauer ergab große Unterschiede zwischen beiden Methoden. Demnach waren die Probanden nicht in der Lage, die Dauer ihrer Kniebelastung valide einzuschätzen – sowohl direkt im Anschluss an die Messung als auch sechs Monate später. In der Regel wurde die Belastungsdauer überschätzt, aber auch Unterschätzungen traten in nicht zu vernachlässigendem Umfang auf. Niedrig Exponierte konnten ihre Belastung üblicherweise besser abschätzen als hoch Exponierte. Generell ist zu berücksichtigen, dass alle Probandenangaben ohne Plausibilitätskontrolle in die Auswertung eingingen.

Die Ergebnisse der Arbeit sprechen dafür, aufgrund der Limitationen von Selbsteinschätzungen in zukünftigen Studien verstärkt auch Katasterdaten zur Expositionsermittlung zu nutzen. Die messtechnischen Analysen der Kniebelastungen können einen Beitrag zum Verständnis der Pathomechanismen von Kniegelenkerkrankungen leisten.

Abstract

Survey on work-related knee-straining activities in selected occupations

Work-related knee-straining activities like kneeling or squatting are regarded as risk factors for injuries and diseases of the knee, e.g. meniscal pathologies or osteoarthritis. As the knowledge about quality, occurrence and frequency of knee loading in single occupations is rather scarce, this study aimed to gain a new insight into the quality and quantity of occupational kneeling and squatting. For this purpose, field measurements were carried out on several workplaces in cooperation with the German Social Accident Insurances (study part A). While in corresponding epidemiological studies or occupational disease investigations exposure assessment is usually conducted retrospectively by interview or questionnaire, study part B was launched in order to verify the validity of self-reported exposure data.

In study part A, posture capturing was performed in field with the measuring system CUELA of the Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance. A total of 242 working shifts were investigated and specific knee load profiles were deduced. On the basis of these findings on quantitative knee loading a database was set up, the so-called GonKatast, with exposure data for 81 typical occupational tasks in 16 different professions.

As a result, work shifts with kneeling or squatting activities of more than 50% of the work shift are not uncommon, e. g. in working activities of floor tilers or installers. On the other hand, a huge variation of the daily amount of knee straining activities was observed, even within a profession. Thus, knee loading has to be considered as task specific rather than occupation specific.

The application of an elaborate measuring technique in this study made it possible to analyse the daily amount of kneeling downs and standing ups, the average time spent on the floor in each action, the variety of knee flexion angles during kneeling, squatting or crawling, and the balance of loading between both knees.

In study part B, the results of the self-reported knee-straining activities significantly differed from those of the measurements. According to this, subjects were not able to properly assess their time spent in knee straining postures – both immediately after the measurements and in a second questionnaire sent to them six months later. In most cases, the duration of the single postures like kneeling, squatting or crawling was overestimated, but underestimations occurred as well. Usually, the differences augmented with increasing exposure. Generally, it has to be kept in mind that all self-reported exposures were analysed without checking for plausibility.

The results of this study, especially the described limitations of self-reports, emphasise the arguments in favour of using objective measuring data for exposure assessment wherever possible. The technical analysis of the knee loading may contribute to a better understanding of the pathomechanism of knee disorders.

Résumé

Enregistrement des sollicitations des genoux lors de l'exercice de certaines professions

Les sollicitations dues à l'exercice d'activités professionnelles dans des positions agenouillées ou accroupies sont des facteurs de risque pouvant entraîner des lésions et des pathologies des articulations du genou, telles que des ménisques ou des arthroses. Comme on ne dispose que de peu de connaissances sur la nature, la survenue et la fréquence de sollicitations des genoux dans certaines professions, un des objectifs de cette étude était d'obtenir des données qualitatives et quantitatives sur les sollicitations professionnelles des genoux. À cet effet, des analyses métrologiques ont été effectuées à différents postes de travail en coopération avec les organismes compétents d'assurance sociale allemande des accidents du travail et des maladies professionnelles (partie A de l'étude). Comme on demande souvent, dans le cadre d'études scientifiques ou de procédures de constatation de maladies professionnelles par exemple, à des sujets d'expérience ou des assurés d'évaluer eux-mêmes, en remplissant un formulaire, les sollicitations auxquelles leurs genoux sont soumis, il s'agissait, dans une seconde partie B de l'étude, de vérifier la validité de ces indications.

Le système de mesure CUELA de l'Institut de sécurité du travail de l'Assurance sociale allemande des accidents du travail et maladies professionnelles (IFA) a été utilisé pour l'analyse des postures dans la partie A de l'étude, qui a porté sur 242 postes de huit heures au total et permis l'établissement de différents profils de sollicitations des genoux. Les données quantitatives relatives aux sollicitations des genoux collectées de cette manière ont servi de base à la création du répertoire GonKatast. Dans ce répertoire sont regroupées les données d'exposition relatives à 81 activités typiques (60 modules d'activité et 21 cas spéciaux) rencontrées dans 16 professions différentes.

En ce qui concerne la durée des sollicitations au cours d'une journée de travail, il s'est avéré que des proportions supérieures à 50 % d'un poste de huit heures sont loin d'être exceptionnelles dans des professions comme carreleur ou plombier. Dans un même temps, une forte variation des durées quotidiennes

des sollicitations des genoux a été observée dans les différentes professions, de sorte que ces sollicitations ne doivent pas être enregistrées et évaluées pour une profession donnée mais une activité donnée.

La mise en œuvre d'un appareillage de mesure sophistiqué pour cette étude a permis, pour la première fois, l'analyse du nombre de phases quotidiennes de sollicitation des genoux et de la durée de chaque phase pour différentes professions, des positions articulaires lors de l'agenouillement, de l'accroupissement et du rampage, ainsi que de la symétrie des contraintes exercées sur les deux articulations du genou.

La comparaison de la durée de sollicitation des genoux mesurée avec celle estimée par les sujets d'expérience eux-mêmes, qui a été effectuée dans la partie B de l'étude, a montré l'existence de grandes différences entre ces deux méthodes. Ainsi, les sujets d'expérience n'étaient pas en mesure de fournir une évaluation valide de la durée de sollicitation de leurs genoux – aussi bien immédiatement après la mesure que six mois plus tard. La durée de sollicitation était généralement surestimée, des sous-estimations ayant également été constatées dans un nombre de cas non négligeable. L'évaluation fournie par les personnes dont les genoux étaient faiblement sollicités était généralement meilleure que celle fournie par les personnes dont les genoux étaient fortement sollicités. D'une façon générale, il faut noter que toutes les indications fournies par les sujets d'expérience ont été prises en considération pour l'analyse sans contrôle de plausibilité.

Les résultats de cette étude plaident en faveur du recours plus fréquent à des données de répertoires de valeurs de mesure pour la détermination des sollicitations lors de futures études, du fait du manque de fiabilité de l'auto-évaluation. Les analyses métrologiques des sollicitations des genoux peuvent contribuer à une meilleure compréhension des mécanismes pathologiques conduisant aux affections de l'articulation du genou.

Resumen

Investigación sobre el esfuerzo ocupacional en las rodillas en ciertas profesiones

Los esfuerzos ocupacionales por la realización de actividades de rodillas o de cuclillas figuran entre los factores de riesgo de sufrir lesiones y enfermedades articulares en las rodillas, como por ejemplo meniscopatía o artrosis. Puesto que el nivel de conocimientos sobre el tipo, la presencia y la frecuencia de los esfuerzos en las rodillas está clasificado como bajo en distintas profesiones, el objetivo de este trabajo era averiguar más sobre la calidad y la cantidad de esfuerzos profesionales en las rodillas. Para ello, se realizaron análisis metrológicos en diferentes empleos en colaboración con el instituto responsable del Seguro de Accidentes Sociales (parte A del estudio). Dado que, por ejemplo, en los estudios científicos o en los procedimientos para determinar enfermedades ocupacionales es habitual permitir a los sujetos o asegurados autoevaluar el esfuerzo en sus rodillas por medio de un cuestionario, en una segunda parte B del estudio se planteó la cuestión de la validez de tales datos.

A fin de analizar las posturas corporales, en la parte A del estudio se empleó el sistema de medición CUELA del Instituto para la Seguridad y Salud Ocupacional del Seguro de Accidentes Sociales de Alemania (IFA). Aplicándolo a la práctica, se pudieron analizar un total de 242 turnos de trabajo y elaborar el correspondiente perfil de esfuerzo en las rodillas. De este modo, los datos recopilados sobre el esfuerzo cuantitativo en las rodillas constituyeron la base para el desarrollo del catastro GonKatast. Este catastro incluye los datos de exposición de 81 actividades típicas (60 módulos de actividades y 21 excepciones) en 16 profesiones distintas.

Con la duración de los esfuerzos por día laboral se pudo demostrar que los porcentajes de tiempo superiores al 50 % de un turno laboral en profesiones como embaldosador o instalador no representan en absoluto una rareza. Asimismo, se

observó una variación considerable en los tiempos diarios de esfuerzo en las rodillas en las distintas profesiones, de tal modo que el esfuerzo en las rodillas no era específico de la profesión, sino que se debe clasificar y atribuir a las actividades.

El empleo de una técnica de medición complicada en este estudio permitió por primera vez analizar el número de fases diarias de esfuerzo en las rodillas y su respectiva duración en diferentes profesiones, las zonas de la rodilla afectadas al arrodillarse, ponerse de cuclillas o arrastrarse, así como la simetría de los esfuerzos con respecto a las dos articulaciones de la rodilla.

La comparación realizada en la parte B del estudio entre la duración de los esfuerzos en las rodillas medida con el sistema y la obtenida de las autoevaluaciones de los sujetos mostró como resultado grandes diferencias entre ambos métodos. Por lo tanto, los sujetos no estaban capacitados para evaluar de forma válida la duración del esfuerzo en sus rodillas, tanto directamente después de la medición como seis meses después. Por lo general, la duración del esfuerzo estaba sobrevalorado, aunque las infravaloraciones también se dieron en una cantidad que no debería obviarse. Por lo general, los poco expuestos pudieron valorar mejor que los muy expuestos su esfuerzo. Hay que tener generalmente en cuenta que todos los datos de los sujetos se incluyeron en el análisis sin control de plausibilidad alguno.

Con motivo de las limitaciones de las autoevaluaciones, los resultados del trabajo hablan a favor de que en estudios futuros se utilicen con mayor frecuencia los datos de catastros sobre el cálculo de exposición. El análisis metrológico de los esfuerzos en las rodillas puede ayudar a comprender los mecanismos patológicos de las enfermedades articulatorias en las rodillas.

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung	11
1 Einleitung	13
1.1 Hintergrund der vorliegenden Arbeit	13
1.2 Ziele der vorliegenden Arbeit und Fragestellungen	14
1.3 Gliederung der vorliegenden Arbeit	14
1.4 Das Kniegelenk: Anatomie, Funktion und Erkrankungen	15
1.4.1 Aufbau und Funktion des Kniegelenks	15
1.4.2 Verletzungen und Erkrankungen des Kniegelenks	16
1.4.3 Kniegelenkserkrankungen als Berufskrankheiten	18
1.5 Berufliche Kniebelastungen	19
1.5.1 Knien ohne Abstützung	19
1.5.2 Knien mit Abstützung	20
1.5.3 Fersensitz	20
1.5.4 Hocken	21
1.5.5 Kriechen	22
2 Methoden	23
2.1 Projekt GonKatast	23
2.2 Auswahl der zu untersuchenden Berufe	23
2.3 Rekrutierung der Betriebe	23
2.4 Beschreibung des Probandenkollektivs	24
2.5 Ethik und Datenschutz	25
2.6 Untersuchung von Tätigkeitsmodulen	26
2.7 Messtechnik	27
2.8 Identifizierung der kniebelastenden Haltungen	28
2.9 Durchführung der Messungen und Aufbereitung der Messdaten	29
2.10 Auswertemethoden	29
2.11 Qualitätskontrolle	30
2.12 Selbsteinschätzung der Probanden zum Zeitpunkt t_0	30
2.13 Selbsteinschätzung der Probanden zum Zeitpunkt t_1	31
2.14 Auswertemethoden	32
3 Ergebnisse	33
3.1 Vorkommen verschiedener Kniebelastungen	33

3.2	Gesamtdauer der Kniebelastung pro Arbeitsschicht	34
3.2.1	Durchschnittliche Gesamtdauer der Kniebelastung pro Tätigkeitsmodul.....	34
3.2.2	Durchschnittliche Gesamtdauer der Kniebelastung pro Arbeitsschicht in den untersuchten Berufsgruppen.....	37
3.3	Anzahl der Kniebelastungsphasen pro Arbeitsschicht	40
3.4	Dauer der einzelnen Kniebelastungsphasen	42
3.5	Kniewinkelbereiche während der Kniebelastungsphasen	44
3.6	Symmetrie der Kniebelastung	44
3.7	Vergleich: Selbsteinschätzung Qt_0 vs. Messung	46
3.7.1	Subanalyse zum Methodenvergleich	51
3.8	Vergleich: Selbsteinschätzung Qt_1 vs. Messung	52
3.9	Vergleich: Selbsteinschätzung Qt_0 vs. Selbsteinschätzung Qt_1	55
3.10	Vergleich der Selbsteinschätzung von Probanden mit und ohne Kniebeschwerden	57
3.10.1	Vergleich zum Zeitpunkt t_0	57
3.10.2	Vergleich zum Zeitpunkt t_1	58
4	Diskussion	61
4.1	Diskussion der eingesetzten Methoden (Teil A)	61
4.1.1	Auswahl der untersuchten Berufe	61
4.1.2	Auswahl der Betriebe und Probanden	63
4.1.3	Ermittlung der Exposition	63
4.1.4	Stärken der eingesetzten Methodik (Teil A)	66
4.1.5	Limitationen der eingesetzten Methodik (Teil A).....	67
4.2	Diskussion der Ergebnisse (Teil A)	67
4.2.1	Lassen sich die interessierenden Belastungen in der Praxis messtechnisch qualitativ und quantitativ erfassen?.....	67
4.2.2	Lässt sich auf der Grundlage der Messdaten ein berufs- und tätigkeitsspezifisches Kataster zu Vorkommen und Häufigkeit beruflicher Kniebelastungen aufbauen?	68
4.2.3	Wie unterscheiden sich die untersuchten Formen der beruflichen Kniebelastung?.....	68
4.2.4	Wie hoch ist die arbeitstägliche Dauer der Kniebelastung in den untersuchten Tätigkeitsmodulen?	71
4.2.5	Wie häufig kommen arbeitstägliche Kniebelastungsphasen in den untersuchten Berufen vor?	75
4.2.6	Wie lange dauern die einzelnen Kniebelastungsphasen in den verschiedenen Berufen?	75
4.2.7	Welche Kniewinkelbereiche umfassen die untersuchten Kniebelastungen?	76
4.2.8	Betreffen die untersuchten Kniebelastungen beide Kniegelenke gleichmäßig?	76
4.3	Diskussion der eingesetzten Methoden (Teil B)	77
4.3.1	Stärken der eingesetzten Methodik (Teil B)	77
4.3.2	Limitationen der eingesetzten Methodik (Teil B)	78
4.4	Diskussion der Ergebnisse (Teil B)	79
4.4.1	Wie gut können die Probanden ihre Kniebelastung direkt im Anschluss an die Messung abschätzen?	79
4.4.2	Wie gut können die Probanden ihre Kniebelastung sechs Monate nach der Messung abschätzen?	81
4.4.3	Wie unterscheiden sich die Ergebnisse beider Befragungen?	81
4.4.4	Wie wirkt sich die Höhe der Exposition auf die Abschätzung der Kniebelastung aus?	82
4.4.5	Gibt es Unterschiede in der Bewertung der Exposition zwischen Probanden mit und ohne Kniebeschwerden?...	82
5	Empfehlungen zur Prävention von Kniebelastungen	85
5.1	Verhältnisprävention	85
5.2	Verhaltensprävention	86

6	Schlussfolgerungen und Ausblick	89
	Literatur	91
	Abkürzungsverzeichnis	99
	Anhänge:	
Anhang 1:	Untersuchte Berufe und jeweils verantwortliche Projektpartner.....	101
Anhang 2:	Beschreibung der untersuchten Berufe; nach [66]	102
Anhang 3:	Informationsbroschüre für Unternehmen und Probanden	104
Anhang 4:	Einverständniserklärung für Unternehmen	106
Anhang 5:	Fragebogen „Gesundheit und Freizeitverhalten“	107
Anhang 6:	Einverständniserklärung für Probanden	111
Anhang 7:	Untersuchte Berufe, Tätigkeitsmodule und Sonderfälle	112
Anhang 8:	Beispiel eines „Messstundenplans“.....	114
Anhang 9:	Checkliste „Vorbereitung der CUELA-Messung“	115
Anhang 10:	Checkliste „Durchführung der CUELA-Messung“	116
Anhang 11:	Checkliste „Nachbereitung der CUELA-Messung“	117
Anhang 12:	Validitätsprüfung der Messdaten anhand der Videoaufnahmen	118
Anhang 13:	Ergebnisse der Reliabilitätsprüfung (Inter-Rater-Reliabilität).....	119
Anhang 14:	Fragebogen Qt_0	120
Anhang 15:	Probanden-Anschreiben zur Teilnahme an Zweitbefragung (Qt_1)	122
Anhang 16:	Fragebogen Qt_1	123
Anhang 17:	Durchschnittliche arbeitstägliche Dauer der Kniebelastung	125
Anhang 18:	Prozentuale Schichtanteile mit „endgradiger“ Kniebelastung	126
Anhang 19:	Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Test für die Datenreihen Messung M, Befragung Qt_0 und Befragung Qt_1.....	128
Anhang 20:	Vergleich Messung – Befragung Qt_0: Regression und Bestimmtheitsmaß R^2	129
Anhang 21:	Vergleich: Extremüberschätzer und übrige Probanden	130
Anhang 22:	Vergleich Messung – Befragung Qt_1: Regression und Bestimmtheitsmaß R^2	131
Anhang 23:	Abschätzung durch Probanden mit und ohne Kniebeschwerden.....	132

Vorbemerkung

Teile dieses Reports erschienen bereits in dem im Internet veröffentlichten IFA-Report 1/2010 (GonKatast – Ein Messwertkataster zu beruflichen Kniebelastungen). Während dort insbesondere Angaben zur täglichen Dauer von Belastungen bezüglich der Berufskrankheit „Gonarthrose“ (BK 2112) dargestellt sind, geht der vorliegende Report nun weit über diese Thematik hinaus. So enthält er z. B. qualitative und quantitative Ergebnisse zu einzelnen Kniebelastungsphasen, der Symmetrie der Kniebelastung sowie der in der beruflichen Praxis vorkommenden Ausprägung der Kniebelastung (Kniegelenkwinkel). Diese Fakten können eine Rolle bei der Untersuchung der Pathomechanismen von Kniegelenkserkrankungen spielen. Auch für die arbeitstechnische Beurteilung im Rahmen von BK-Feststellungsverfahren (BK 2102, BK 2105, BK 2112) können dadurch wichtige Erkenntnisse gewonnen werden. Darüber hinaus ist der Vergleich zwischen Messergebnissen und Ergebnissen einer Fragebogenerhebung zu beruflichen Kniebelastungen dargestellt, was u. a. ebenfalls wichtig für die Einschätzung der arbeitstechnischen Voraussetzungen in BK-Feststellungsverfahren sein kann.

Die vorliegende Arbeit wäre ohne die breite Unterstützung einer Vielzahl von Personen nicht zustande gekommen, denen ich an dieser Stelle danken möchte.

Hier sind an erster Stelle Frau Prof. Dr. *M. A. Rieger* und Herr Prof. Dr. *B. Hartmann* zu nennen, die mich in das Arbeitsgebiet einführten und bei der Durchführung der Studie unterstützten. Insbesondere danke ich Herrn Dr. *R. Ellegast* für anregende Diskussionen, sein Vertrauen und die Möglichkeit, eine berufsbegleitende Promotion durchzuführen. Herrn Prof. Dr. *U. Bolm-Audorff* danke ich für die bereitwillige Übernahme des externen Gutachtens.

Den Mitarbeitern der an der Studie beteiligten gesetzlichen Unfallversicherungsträgern als Initiatoren, Berater und Messtechniker möchte ich meinen Dank aussprechen, insbesondere: *G.-J. Ebermann, C. Fengler, R. Frey, S. Gütschow, E. Hirschl, S. Kunzelmann, A. Lutz, G. Rehme, R. Schäfer, C. Schewe, M. Schulte-Werflinghoff, H.-U. Slavik, W. Specht, E. Stengelin* und *S. Werner* (alle Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft), *M. Bihl, Dr. A. Hammel, D. Hunger, D. Kern, Dr. M. Meier, M. Schweer* und *R. Seesing* (alle Berufsgenossenschaft Holz und Metall), *Dr. I. Genge* und *H. Scheuer* (beide Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie), *H. Kusserow* und *T. Ryback* (beide Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse), *Dr. C. Backhaus* und *K. Jubit* (beide Berufsgenossenschaft für Transport und Verkehrswirtschaft).

Für konstruktive Kritik sowie fachliche und technische Unterstützung danke ich herzlich meinen Kolleginnen und Kollegen im IFA: *M. Brütting, Priv.-Doz. Dr. U. Glitsch, I. Hermanns, Dr. U. Hoehne-Hückstädt, R. Lietz, L. Neumann, M. Post, C. Schiefer, Dr. B. Weber* und *S. Winkler*.

Ein ganz besonderer Dank geht an alle in die Studie involvierten Betriebe und Probanden.

Meinen Eltern, meinen Kindern *Maja* und *Marlon* und meiner Frau *Sandra* danke ich für die langjährige Unterstützung, für Geduld und Verständnis.

Dirk Ditschen

1 Einleitung

1.1 Hintergrund der vorliegenden Arbeit

Beschwerden und Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems stellen ein ernsthaftes Gesundheitsproblem unserer Zeit dar. Der menschliche Bewegungsapparat ist aufgrund seiner Funktion und seines komplexen Aufbaus aus Muskeln, Sehnen, Knochen, Knorpel, Bändern, Gefäßen und Nerven anfällig für Belastungen durch Über- und Unterforderung. Rückenbeschwerden oder Erkrankungen der oberen Extremitäten sind heute allgegenwärtig, sowohl bei Menschen, die hohen körperlichen Belastungen in Beruf oder Freizeit ausgesetzt sind, als auch bei Menschen, die in dieser Hinsicht nicht belastet sind. Während Gesundheit und Lebensqualität der Betroffenen unter den Einwirkungen der Beschwerden zu leiden haben, stellen die damit verbundenen Behandlungskosten und der Produktionsausfall infolge der Fehlzeiten einen immensen wirtschaftlichen Schaden dar. Laut dem Bericht zum Stand von Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2008 sind Krankheiten des Muskel-Skelett-Systems und des Bindegewebes die Ursache für nahezu ein Viertel aller Arbeitsunfähigkeitstage (AU-Tage) in Deutschland (24,6 % bzw. 112,2 Mio. AU-Tage) [1]. Die dadurch entstandenen Produktionsausfallkosten werden in dem Bericht auf 10,6 Mrd. € beziffert.

Beschwerden der unteren Extremitäten – insbesondere der Kniegelenke – spielen neben den häufig erwähnten Beschwerden des Rückens und der oberen Extremitäten in den Statistiken der internationalen Arbeitsschutzbehörden erst in den letzten Jahren eine größere Rolle. Dies mag unter anderem daran liegen, dass derartige Beschwerden erst seit dem Jahr 2000 europaweit im European Survey on Working Conditions (ESWC) statistisch erfasst werden. Die Europäische Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz (EU-OSHA) geht deshalb davon aus, dass Schmerzen in den unteren Extremitäten bisher unterschätzt wurden und womöglich den gleichen Stellenwert wie die Probleme in den oberen Extremitäten einnehmen könnten [2].

Speziell für Deutschland stehen berufliche Belastungen der Kniegelenke und damit einhergehende Beschwerden, Verletzungen und Erkrankungen schon länger im Fokus von Arbeitswissenschaft, Arbeitsmedizin und Sozialgesetzgebung. So können bereits seit den 1950er-Jahren Meniskopathien bei Bergleuten, die unter Tage gearbeitet haben, als Berufskrankheit (BK) anerkannt werden (BK 2102) [3]. Später wurde diese Berufskrankheit auch auf andere Berufsgruppen ausgeweitet. „Chronische Erkrankungen der Schleimbeutel durch ständigen Druck“ können seit den 1960er-Jahren als Berufskrankheit anerkannt werden (BK 2105) [4]. Aktuell ist im Jahr 2009 mit der Einführung der berufsbedingten Kniegelenksarthrose oder Gonarthrose als neue Berufskrankheit eine weitere Kniegelenkerkrankung in den Blickpunkt des arbeitswissenschaftlichen Interesses gerückt (BK 2112) [5].

Der wirtschaftliche Schaden infolge degenerativer Kniegelenkerkrankungen ist immens: So lassen sich beispielsweise für das Jahr 2003 laut Angaben der gesetzlichen Krankenkassen in Deutschland 2,71 Mio. AU-Tage auf die Diagnose „Gonarthrose“ und 4,40 Mio. AU-Tage auf die Diagnose „Kniebinnenschaden“ zurückführen [6].

Die genannten Zahlen verdeutlichen bereits, dass berufliche Kniebelastungen auch ein wichtiges Feld für die Prävention darstellen. Um aber 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 [7], 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, 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 *Maetzel et al.* [8], *Schouten et al.* [9], *Engelhardt* [7], *McMillan und Nichols* [10], *Jensen* [11] und *Reid et al.* [12] bzw. bei *Weber* [13] sowie bei *Thomann et al.* [14].

Unter den beruflichen Aktivitäten stehen in erster Linie länger andauernde Tätigkeiten im Knien, Hocken oder Kriechen im Verdacht, das Risiko für die Entstehung und das Fortschreiten einer Kniegelenksarthrose zu erhöhen [15]. Aus diesem Grund ist die Kenntnis über Vorkommen und Häufigkeit dieser Tätigkeiten im Berufsleben entscheidend bei der Beurteilung der arbeits-technischen Voraussetzungen in BK-Feststellungsverfahren einerseits und dem Einsatz einer zielgerichteten Prävention andererseits.

In der wissenschaftlichen Literatur sind nur wenige Angaben zu Vorkommen und Häufigkeit derartiger Tätigkeiten in einzelnen Berufen zu finden. Meist beruhen die Häufigkeitsangaben auf der retrospektiven Selbsteinschätzung von Probanden (z. B. [16 bis 23]). Dagegen dienten Arbeitsplatzbeobachtungen oder Videoanalysen nur in wenigen Studien zur Expositionserhebung, die dann in der Regel auf kleine Probandenzahlen oder wenige Einzeltätigkeiten beschränkt blieben (z. B. [24 bis 28]). Auch auf dem von der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) einberufenen interdisziplinären Fachgespräch „Gonarthrose“ im März 2007 in Bonn-Bad Godesberg wurde von den Vertretern der Fachgesellschaften für Arbeitsmedizin, Epidemiologie, Orthopädie, Radiologie und Unfallchirurgie das Fehlen valider Daten zu beruflichen Kniebelastungen bestätigt [29]. Als Fazit dieser Diskussionsrunde ließ sich deshalb ein hoher Forschungsbedarf zum Thema „Gonarthrose und berufliche Kniebelastungen“ in den Bereichen Medizin, Biomechanik und Arbeitstechnik feststellen.

1.2 Ziele der vorliegenden Arbeit und Fragestellungen

Mit der vorliegenden Arbeit soll ein Beitrag geleistet werden, der den Kenntnisstand zum Thema „Berufliche Kniebelastungen“ aus arbeitswissenschaftlicher Sicht erweitert. Dazu wurden zwei unterschiedliche methodische Ansätze gewählt.

In einer messtechnischen Analyse erfolgte die qualitative und quantitative Beschreibung arbeitsbezogener Kniebelastungen für verschiedene Berufe und Tätigkeiten unter besonderer Berücksichtigung von Art und arbeitstäglicher Dauer der Kniebelastung, Anzahl der Hinknie-Vorgänge pro Arbeitsschicht, Dauer der einzelnen Kniebelastungsphasen sowie der Verteilung der Kniewinkelbereiche in diesen Phasen (Teil A). Die auf diese Weise gewonnenen Daten können als valide Basis für die Ableitung von Präventionsmaßnahmen, die Unterstützung der Expositionsermittlung in epidemiologischen Studien sowie die Untersuchung der arbeitstechnischen Voraussetzungen in BK-Feststellungsverfahren (z. B. BK 2112) genutzt werden.

Darüber hinaus sollte in der Untersuchung die Validität der Eigenangaben von Probanden mittels eines Methodenvergleichs geprüft werden (Teil B). Retrospektive Selbsteinschätzungen von Probanden zu ihrer arbeitstäglichen Belastung sind eine weit verbreitete Methode der Expositionsermittlung in epidemiologischen Studien. Insbesondere bei Untersuchungen von beruflich assoziierten Muskel-Skelett-Erkrankungen sind hier detaillierte Angaben zu teilweise Jahrzehnte zurück liegenden Belastungen notwendig. Der Frage, wie valide die auf diese Weise gewonnenen Angaben sind, widmen sich eine ganze Reihe arbeitswissenschaftlicher Studien, indem in der Regel zwei Arten der Expositionsermittlung zu einem Zeitpunkt miteinander verglichen werden (z. B. [30 bis 37]). Im Bereich beruflicher Kniebelastungen sind dagegen vergleichsweise wenige Untersuchungen zum Thema Validität von Selbsteinschätzungen zu finden, die zudem keine konsistenten Ergebnisse liefern (z. B. [26; 27; 38]). Der Langzeiteffekt auf die Güte der retrospektiven Selbsteinschätzungen von Probanden wurde ebenfalls nur selten untersucht (z. B. [39]), obwohl hier sicher abweichende Ergebnisse gegenüber Selbsteinschätzungen unmittelbar nach der interessierenden Exposition zu erwarten sind. Die Ergebnisse einiger Studien sprechen dafür, dass Probanden mit Beschwerden gegenüber den vermuteten Kniebelastungen sensibilisiert sind und diese Exposition daher höher einschätzen als Probanden ohne derartige Beschwerden (z. B. [40]).

In Teil B der vorliegenden Studie wurde deshalb speziell die Validität von Eigenangaben zu beruflichen Kniebelastungen durch Knien, Hocken oder Kriechen im Vergleich mit messtechnisch gewonnenen Daten sowohl direkt im Anschluss an die Exposition als auch ein halbes Jahr nach dieser Exposition untersucht. Weiterhin war zu untersuchen, ob sich Unterschiede in der Abschätzqualität zwischen Probanden mit und ohne Kniebeschwerden ergäben, was in Fragebogenstudien eventuell zu einer differentiellen Fehlklassifikation der Belastung führen könnte.

Für beide Studienteile wurden jeweils mehrere konkrete Fragestellungen formuliert, die mithilfe dieser Forschungsarbeit beantwortet werden sollen.

Fragestellungen zu Teil A: Tätigkeitsanalysen

- A1 Lassen sich die interessierenden Belastungen in der Praxis messtechnisch qualitativ und quantitativ erfassen?
- A2 Lässt sich auf der Grundlage der Messdaten ein berufs- und tätigkeitsspezifisches Kataster zu Vorkommen und Häufigkeit beruflicher Kniebelastungen aufbauen?
- A3 Wie unterscheiden sich die untersuchten Formen der beruflichen Kniebelastung?
- A4 Wie hoch ist die arbeitstägliche Dauer der Kniebelastung in den untersuchten Tätigkeitsmodulen?
- A5 Wie häufig kommen arbeitstägliche Kniebelastungsphasen in den untersuchten Berufen vor?
- A6 Wie lange dauern die einzelnen Kniebelastungsphasen in den verschiedenen Berufen?
- A7 Welche Kniewinkelbereiche umfassen die untersuchten Kniebelastungen?
- A8 Betreffen die untersuchten Kniebelastungen beide Kniegelenke gleichmäßig?

Fragestellungen zu Teil B: Methodenvergleich

- B1 Wie gut können die Probanden ihre Kniebelastung direkt im Anschluss an die Messung abschätzen?
- B2 Wie gut können die Probanden ihre Kniebelastung sechs Monate nach der Messung abschätzen?
- B3 Wie unterscheiden sich die Ergebnisse beider Befragungen?
- B4 Wie wirkt sich die die Höhe der Exposition auf die Abschätzung der Kniebelastung aus?
- B5 Gibt es Unterschiede in der Bewertung der Exposition zwischen Probanden mit und ohne Kniebeschwerden?

1.3 Gliederung der vorliegenden Arbeit

Zunächst werden in diesem Kapitel Anatomie, Funktion und Erkrankungen des Kniegelenks, unter besonderer Beachtung der mit Kniegelenk verbundenen Berufskrankheiten, sowie die in der Studie untersuchten Belastungsformen kurz skizziert. Die bei der Planung und Durchführung des Projekts eingesetzten Methoden, insbesondere die Auswahl der zu untersuchenden Berufe, die Rekrutierung der Probanden, die Belange der Qualitätssicherung und des Datenschutzes, die Messtechnik und die eingesetzten Erhebungsinstrumente sowie die Vorgehensweise bei der Aufbereitung und Auswertung der gewonnenen Daten sind in Kapitel 2 dargestellt. In Kapitel 3 werden die Ergebnisse

der Untersuchungen getrennt für die beiden Studienteile A und B dargestellt. In Kapitel 4 erfolgt eine Erörterung der eingesetzten Methoden in beiden Untersuchungsteilen – insbesondere im Vergleich mit der wissenschaftlichen Literatur zu diesem Thema – sowie eine Diskussion der Ergebnisse im Zusammenhang mit den zuvor beschriebenen Fragestellungen. Darüber hinaus sollen die Resultate der vorliegenden Arbeit in die aktuelle Diskussion zu beruflichen Kniebelastungen und Knieerkrankungen eingeordnet werden. Die sich aus der Untersuchung ergebenden Erkenntnisse für die Prävention beruflicher Kniebelastungen werden in Kapitel 5 dargelegt. Kapitel 6 beschäftigt sich schließlich mit den Schlussfolgerungen, die aus der Untersuchung zu ziehen sind und gibt einen Ausblick über weitere Möglichkeiten zur Nutzung der Daten. Kapitel 7 enthält eine Übersicht über die in der Arbeit zitierte Literatur. Die eingesetzten Fragebögen, Checklisten, Flyer, Einverständniserklärungen u. Ä. finden sich im Anhang.

1.4 Das Kniegelenk: Anatomie, Funktion und Erkrankungen

Zum besseren Verständnis der das Knie belastenden Tätigkeiten werden an dieser Stelle Anatomie, Funktion und Erkrankungen des Kniegelenks kurz dargestellt.

1.4.1 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).

Die *Patella* ist als sog. „Sesambein“¹ in die Quadriceps-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 Quadriceps-Sehne durch direkte Reibung an den Oberschenkelrollen und verbessern die Hebelverhältnisse am Kniegelenk. Die Verbindung zum Unterschenkel erfolgt über die Patellasehne (*Ligamentum patellae*).

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 [42].

Die knöchernen Bestandteile des Kniekehlgelenks 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 [43]. 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 (Abbildungen 2 und 3).

Abbildung 1:
Das Kniegelenk – ein zusammengesetztes Gelenk

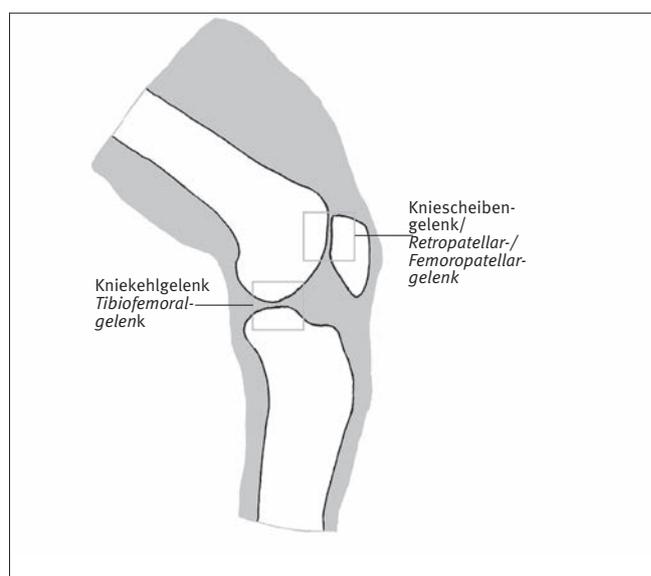
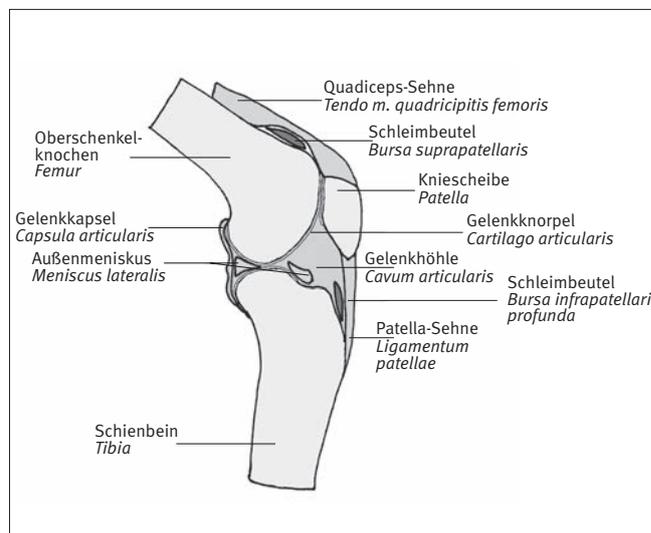
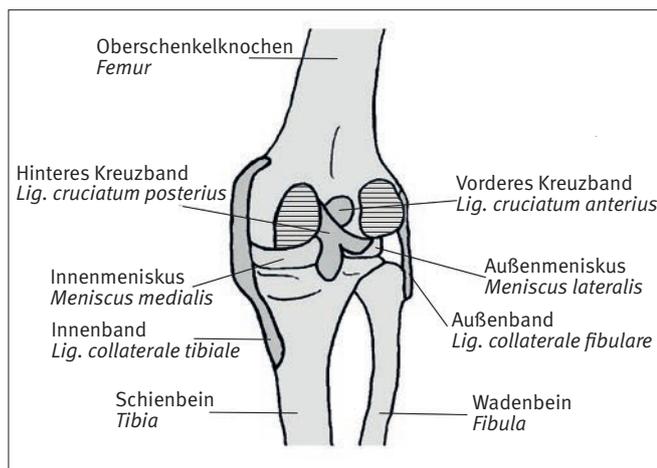


Abbildung 2:
Sagittalschnitt durch ein rechtes Kniegelenk;
Ansicht von außen (lateral), verändert nach [41]



¹ Sesambeine: In Sehnen, Bänder oder Gelenkkapseln eingefügte Schaltknochen, die z. B. Druckbelastungen von Sehnen reduzieren helfen.

Abbildung 3:
Schema des rechten Knies in Streckstellung, Gelenkkapsel entfernt, Ansicht von hinten (schraffiert: 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 „Durchsaftung“ 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 Faserknorpel 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 Gelenkzwischen scheiben den Belastungsdruck zwischen Ober- und Unterschenkel abzdämpfen [44]. 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 [45].

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.

1.4.2 Verletzungen und Erkrankungen des Kniegelenks

Aufgrund seines komplexen Aufbaus, seiner Art der Nährstoffversorgung, seiner Funktion sowie seiner exponierten Lage ist das Kniegelenk durch Unfälle, Fehl- oder Überbelastungen und Degenerationserscheinungen besonderen Gefährdungen ausgesetzt [44; 46].

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 die Übergänge fließend sind. Im Folgenden sollen, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, einige Verletzungen und Erkrankungen des Kniegelenks kurz vorgestellt werden. Eine ausführliche Darstellung findet sich z. B. in [44; 47; 48].

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. infolge 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 [49].

Äußere Krafteinwirkung, angeborene Fehlstellungen (z. B. „X-Beine“, *Genu valgum*) oder Deformationen der Gelenkpartner sind die Ursachen für die sogenannte 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 infolge von Blutergüssen, Gelenkergüssen oder Schleimbeutelreizungen (Prellung) zu schmerzhaften Schwellungen des Kniegelenks.

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 Quadriceps- oder der Patella-Sehne 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.

Stoffwechselerkrankungen

Bestimmte Stoffwechselerkrankungen können z. B. durch Ablagerung von Kristallen im Kniegelenk dessen Funktion beeinträchtigen und zu Schmerzen führen. Dies trifft z. B. bei dem Krankheitsbild der Gicht zu. Bei dieser Erkrankung 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).

Entzündliche Erkrankungen

Eine Entzündung des Kniegelenks kann akut oder schleppend verlaufen und durch Keime verursacht sein oder eine Reaktion auf eine Reizung darstellen. Selten gehen Kniegelenksentzündungen auf spezifische Erreger (z. B. Tuberkulose) zurück, die dann jedoch zu gefährlichen Infektionen führen können.

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 am Kniegelenk manifestieren 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 Kniegelenkskapsel, der Baker-Zyste. Die Folgen sind Schmerzen und Bewegungseinschränkungen.

Degenerative Erkrankungen

Unter degenerativen Veränderungen des Kniegelenks versteht man Abnutzungserscheinungen, die im Laufe des Lebens als natürlicher Alterungsprozess des menschlichen Körpers anzusehen sind. Auffällig werden solche Erscheinungen erst, wenn sie in ausgeprägtem 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 normalen 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. die Schutz- und Stützfunktion des Meniskus durch einen Unfallschaden gemindert wird und deshalb der Gelenkknorpel verstärkter Abnutzung unterliegt. Die genaue Unterscheidung der Ursachen einer Kniegelenks-erkrankung ist deshalb oftmals Gegenstand gutachterlicher Streitfälle in Berufskrankheiten-Feststellungsverfahren.

Nicht altersbedingte Verschleißerscheinungen im Kniegelenk sind häufig Folge von Bein-Fehlstellungen wie „X-Beinen“ (*Genu valgum*) oder „O-Beinen“ (*Genu varum*), erblicher Veranlagung, Übergewicht und Fettleibigkeit (Adipositas) oder überdurchschnittlich hohen Belastungen in Beruf, Sport oder Freizeit [23]. 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 lang andauerndem 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 [44]. 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 Brutto-sozialprodukts in Staaten wie den USA oder Frankreich [50].

Die Kniegelenksarthrose (Gonarthrose, 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 [51].

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 [48].

Je nach Schweregrad der Arthrose unterscheidet man nach *Kellgren et al.* in der radiologischen Darstellung vier Stadien [52]:

- 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“ (Osteophyten).
- 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 subchondrale Sklerosierung, 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 Arthroskopie oder der Magnetresonanztomographie (MRT) sind heute auch Einteilungen direkt anhand der Knorpelschädigung möglich (Einteilung modifiziert nach *Outerbridge* [53], *Grifka* [44], *Thomann et al.* [14] und *Zacher et al.* [54]):

- 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 Knorpelflächen. Die damit verbundenen Schmerzen bewirken beim Patienten eine Vermeidung von Kniebewegungen, sodass sich die Ernährungslage des Knorpels aufgrund fehlender „Durchsaftung“ mit Gelenkschmiere weiter verschlechtert. 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 wie arthroskopische Knorpelglättung bis hin zu Gelenk ersetzenden Operationen (Prothesen) möglich [55]. Neuere Behandlungsansätze verwenden Methoden der regenerativen Medizin.

1.4.3 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 lang andauernde oder häufig wiederkehrende Zwangshaltungen im Knien oder Hocken. Zugleich können vorbestehende Kniegelenkserkrankungen gerade bei diesen Tätigkeiten zu Beschwerden führen. In der aktuellen Berufskrankheiten-Verordnung werden unter den Nummern 2102, 2105 und 2112 drei verschiedene Kniegelenkserkrankungen als Berufskrankheiten (BK) geführt² [56]:

BK 2102

„Meniskusschäden nach mehrjährigen andauernden oder häufig wiederkehrenden, die Kniegelenke überdurchschnittlich belastenden Tätigkeiten.“ [3]

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

² Bezüglich ihres Entstehungsorts kann die Schädigung des *N. peroneus* durch Kompression am Wadenbeinköpfchen im weitesten Sinne auch als Erkrankung im Bereich des Kniegelenks angesehen werden (BK 2106, „Druckschädigung der Nerven“) [57]. Da die damit verbundenen Auswirkungen aber die Unterschenkelmuskulatur und nicht das Kniegelenk selbst betreffen, soll dies hier vernachlässigt werden.

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 zur BK 2102 finden sich adäquate überdurchschnittliche berufliche Belastungen der Kniegelenke „z. B. im Bergbau unter Tage, ferner bei Ofenmauern, Fliesen- oder Parkettlegern, bei Rangierarbeitern, bei Berufssportlern und bei Tätigkeiten unter besonders beengten Raumverhältnissen.“

BK 2105

„Chronische Erkrankungen der Schleimbeutel durch ständigen Druck.“ [4]

Fortgesetzte und lang anhaltende 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.“ [5]

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 wird als Ursache „eine erhöhte Druckkraft während einer beruflichen Tätigkeit im Knien oder einer

vergleichbaren Kniebelastung auf den Gelenkknorpel im Retropatellar- und Tibiofemoralgelenk angenommen“ [15].

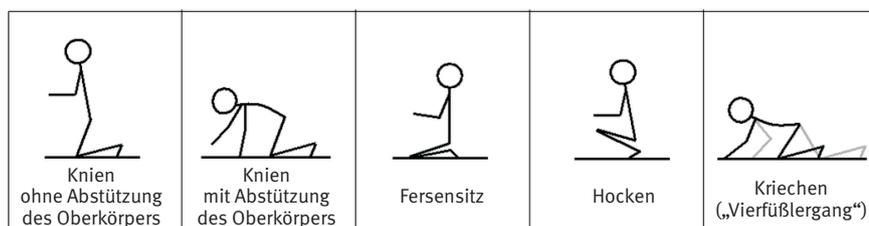
Für die Diagnose einer Gonarthrose im Sinne der BK 2112 müssen drei medizinische Voraussetzungen erfüllt sein: Der Patient muss chronische Kniegelenksbeschwerden aufweisen, bei der orthopädischen Untersuchung müssen Funktionsstörungen in Form einer eingeschränkten Streckung oder Beugung im Kniegelenk vorliegen und die röntgenologische Diagnose der Gonarthrose muss mindestens Grad II bis Grad IV der Klassifikation nach *Kellgren et al.* entsprechen (s. o.) [52].

Als berufliche Tätigkeiten im Knien oder vergleichbare Kniebelastungen werden fünf verschiedene Körperhaltungen genannt: Knien mit und ohne Abstützung des Oberkörpers, Knien im Fersensitz, Hocken und Kriechen (Abbildung 4).

In der wissenschaftlichen Begründung werden 17 „Risikoberufe“ genannt, in denen solche Tätigkeiten verstärkt auftreten könnten: Fliesen-, Boden-, Teppich-, Natur-/Kunststein-, Parkett- 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 [13; 58 bis 64]).

Abbildung 4:
Piktogramme zu den kniebelastenden Tätigkeiten gemäß Merkblatt BK 2112 [5]



1.5 Berufliche Kniebelastungen

In der vorliegenden Forschungsarbeit wurden berufliche Kniebelastungen gemäß der Definition im Merkblatt zur Berufskrankheit Nr. 2112 der Anlage der Berufskrankheiten-Verordnung untersucht [5]. Wie in Abschnitt 1.4.3 dargestellt, werden hier insbesondere Tätigkeiten im Knien oder vergleichbare Kniebelastungen als Gefahrenquellen für die Ausbildung einer Gonarthrose genannt. Eine Präzisierung dieser Kniebelastungen erfolgt durch die Angabe von fünf Körperhaltungen: Knien mit abgestütztem Oberkörper, Knien ohne abgestützten Oberkörper,

Knien im Fersensitz, Hocken und Kriechen. Da auf diese Weise auch die Risikofaktoren für andere Kniegelenkserkrankungen wie Meniskopathien oder Bursitiden berücksichtigt sind, stellen diese fünf Körperhaltungen die Grundlage für die vorliegenden Untersuchungen dar.

1.5.1 Knien ohne Abstützung

Eine Grundvoraussetzung für die Haltung „Knien“ allgemein ist ein Kontakt zwischen einem oder beiden Knien und dem Untergrund. Ist der Oberkörper in dieser Haltung soweit aufrecht,

1 Einleitung

dass ein Abstützen mit den Händen an Boden oder Wand für eine stabile Haltung nicht notwendig ist, bezeichnet man dies als Knien ohne Abstützung des Oberkörpers. Im Folgenden wird diese Haltung jeweils als Knien ohne Abstützung bezeichnet. In der Literatur ist diese Körperhaltung auch unter der Bezeichnung „Kniestand“ bzw. „Einbein-Kniestand“ zu finden. Das entsprechende Piktogramm im Merkblatt zur BK 2112 zeigt lediglich ein beidbeiniges Knien (Abbildung 4), bei der Beschreibung der Gefahrenquellen wird allerdings klargestellt, dass es sich um ein- oder beidbeiniges Knien handeln kann. Aus diesem Grund werden unter der Kategorie Knien ohne Abstützung sowohl beidbeinige (Abbildung 5) als auch einbeinige Tätigkeiten (Abbildung 6) zusammengefasst.

Abbildung 5:
Knien ohne Abstützung, beidbeinig (Dachdecker)



Abbildung 6:
Knien ohne Abstützung, einbeinig (Dachdecker)



1.5.2 Knien mit Abstützung

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. Da eine Hand in der Regel zum Arbeiten frei sein muss, erfolgt die Abstützung meist mit der anderen Hand, es können aber auch beide Hände eingesetzt werden. Je nach Vorneigung des Oberkörpers fällt die Abstützung unterschiedlich stark aus, und je nachdem, wie weit der Arbeitsbereich vom Körper entfernt liegt, sind die Knie mehr oder weniger stark zu beugen (Abbildung 7). Auch hier ist u. U. eine einbeinige Variante möglich (Abbildung 8). Alle diese Haltungen werden im Folgenden als Knien mit Abstützung bezeichnet.

Abbildung 7:
Knien mit Abstützung, beidbeinig (Estrichleger)



Abbildung 8:
Knien mit Abstützung, einbeinig (Bodenleger)



1.5.3 Fersensitz

Eine besondere Form des Knien stellt das Knien im 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“, siehe Abbildung 4). 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 (Abbildungen 9 und 10).

Beide Formen werden immer beidbeinig ausgeführt und im Folgenden unter dem Begriff Fersensitz zusammengefasst.

Abbildung 9:
Fersensitz (Installateur)



Abbildung 10:
Fersensitz (Fliesenleger)



1.5.4 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 (Abbildung 11) oder unsymmetrisch (Abbildung 12) ausgeführt werden.

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“, Abbildung 13) oder die Fußsohlen haben mehr oder weniger vollen Bodenkontakt und die Knie zeigen nach oben („tiefe Hocke“, „heels-down squatting“, Abbildung 14) [65]. 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.

Das unsymmetrische Hocken stellt demgegenüber eine weitaus stabilere Haltung dar. 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° aufweist.

Beide Formen werden im Folgenden unter der Kategorie Hocken zusammengefasst.

Abbildung 11:
Hocken, symmetrisch (Installateur)



Abbildung 12:
Hocken, unsymmetrisch (Maler)



1 Einleitung

Abbildung 13:
„Heels-up-squatting“ (Dachdecker)



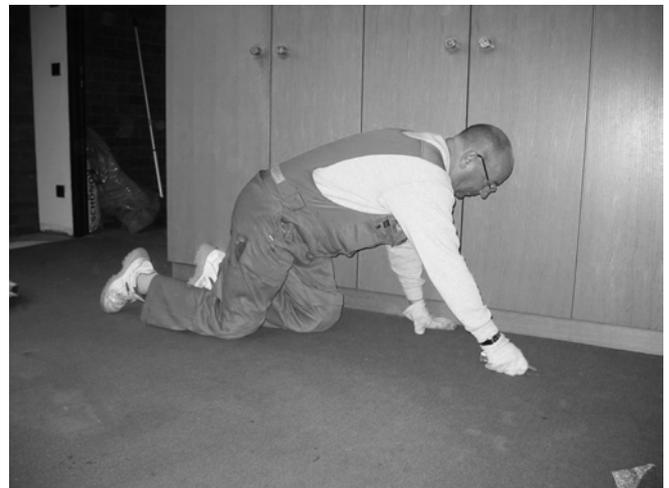
Abbildung 14:
„Heels-down-squatting“ (Estrichleger)



Abbildung 15:
Kriechen, vorwärts (Fahrzeugsattler)



Abbildung 16:
Kriechen, rückwärts (Bodenleger)



1.5.5 Kriechen

Beim Kriechen auf Händen und Knien handelt es sich um eine Fortbewegung aus dem abgestützten Knien heraus, die vorwärts oder rückwärts erfolgen kann („Vierfüßlergang“). Als Beispiel für den ersten Fall seien das Heften von Lkw-Planen beim Fahrzeugsattler (Abbildung 15) genannt, für den zweiten Fall das Zerschneiden von Teppichboden-Altbelag mit einem Messer beim Bodenleger (Abbildung 16). Beide Formen werden unter dem Begriff Kriechen zusammengefasst und nicht weiter differenziert. Da die Übergänge zwischen Knien mit Abstützung und Kriechen meist fließend sind, wurde in dieser Untersuchung das Kriechen erst ab einer Folge von mindestens fünf Kriechbewegungen („Schritten“) als solches identifiziert.

2 Methoden

2.1 Projekt GonKatast

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des berufsgenossenschaftlichen Gemeinschaftsprojekts GonKatast unter Federführung des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) von September 2006 bis November 2009 durchgeführt [66]. Projektpartner waren die Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU), die Holz-Berufsgenossenschaft (HBG), die Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI), die Berufsgenossenschaft Metall Nord Süd (BGM), die Maschinenbau- und Metall-Berufsgenossenschaft (MMBG), die Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM) und die Berufsgenossenschaft für Transport und Verkehrswirtschaft (BG Verkehr). Die Organisation der Datenerhebung im Einzelfall oblag den zuständigen Berufsgenossenschaften, die Studienleitung, Zusammenführung und Auswertung der Daten erfolgte im IFA. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte der Studienvorbereitung und -durchführung dargestellt.

2.2 Auswahl der zu untersuchenden Berufe

Insgesamt wurden im Rahmen der Studie die folgenden 16 Berufe oder Berufsgruppen untersucht (in alphabetischer Reihenfolge):

- Beton- und Stahlbetonbauer
- Bodenleger/Raumausstatter
- Dachdecker
- Estrichleger
- Fahrzeugsattler
- Fliesenleger
- Flugzeugabfertiger
- Formenbauer
- Installateur
- Maler und Lackierer
- Natur- und Kunststeinleger
- Parkettleger
- Pflasterer
- Rohrleitungsbauer
- Schweißer (im Behälterbau)
- Werftarbeiter

Als Grundlage für die Festlegung der zu untersuchenden Berufe diente an erster Stelle die wissenschaftliche Begründung zur „BK Gonarthrose“ [15]. Sie nennt explizit 17 Berufe, bei denen „Tätigkeiten im Knien, Hocken, im Fersensitz oder im Kriechen“ vorkommen. Des Weiteren wurden berufsgenossenschaftliche Erfahrungen aus Betriebsberatungen und Arbeitsplatzbegehungen, in welchen Berufen Kniebelastungen in relevantem Ausmaß vorkommen können, aufgegriffen (z. B. [67; 68]). Schließlich flossen auch Erkenntnisse aus der Deutschen

Wirbelsäulenstudie, in deren Rahmen auch kniende und hockende Haltungen erfasst wurden, in die Entscheidungsfindung ein [69; 70].

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 ausüben. Schiffbauer und Werftschlosser konnten auf den hier untersuchten Werften anhand ihrer Tätigkeitsprofile nicht differenziert 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. Für den Rangierer konnten im Projektbegleitkreis auch auf Nachfrage bei der zuständigen Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG) keine Tätigkeiten mit relevanten Kniebelastungen im Sinne dieser Studie in Erfahrung gebracht werden. Da auch *Pressel* [71] 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 nicht in die Studie einbezogen werden.

Berufsgenossenschaftliche Erfahrungen führten zur Aufnahme von Fahrzeugsattlern (Planensattlern), Flugzeugabfertigern, Rohrleitungsbauern und Formenbauern in die Auswahl der zu untersuchenden Berufe.

Da diese 16 Berufe unterschiedlichen Unfallversicherungsträgern zuzuordnen waren, wurde eine Arbeitsteilung bei der Organisation und Durchführung der Datenerhebungen zwischen den einzelnen Projektbeteiligten vereinbart. Die untersuchten Berufe und die jeweils verantwortlichen Projektpartner sind in Anhang 1 dargestellt. Eine kurze Beschreibung der einzelnen Berufe und ihrer Arbeitsinhalte findet sich in Anhang 2 (für eine ausführliche Beschreibung der untersuchten Tätigkeiten siehe [66]).

2.3 Rekrutierung der Betriebe

Die Ansprache der Betriebe erfolgte durch Mitarbeiter der Präventionsdienste in den jeweils zuständigen Berufsgenossenschaften, die in einem Vorgespräch und mittels einer Broschüre über die Studie informierten (siehe Anhang 3). Die beteiligten Unternehmer erklärten schriftlich ihr Einverständnis

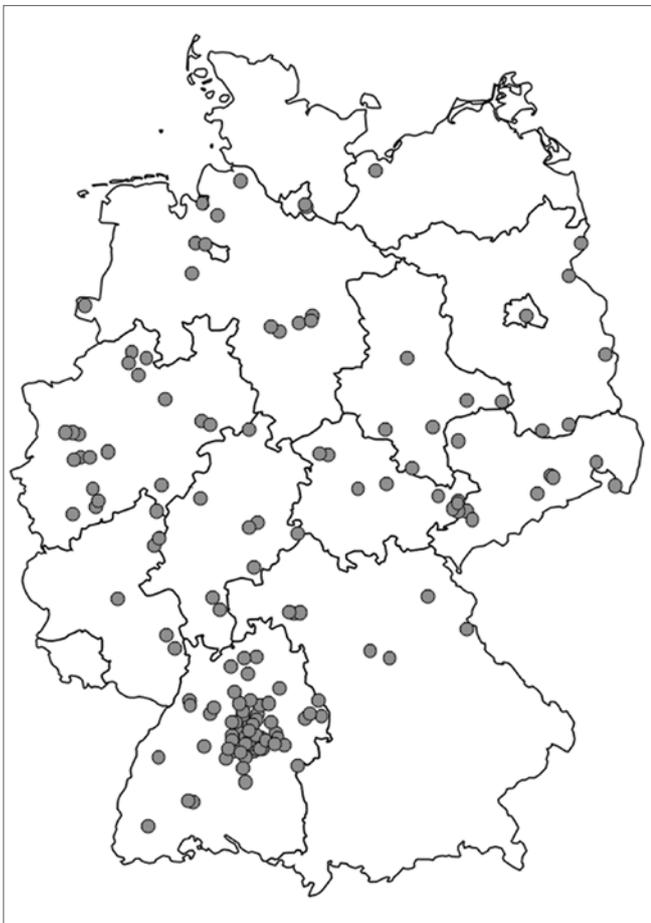
zur Teilnahme an der Studie und zur Nutzung der gewonnenen Daten für wissenschaftliche Zwecke (siehe Anhang 4). Insgesamt nahmen 110 Betriebe an der Studie teil.

2.4 Beschreibung des Probandenkollektivs

Als Probanden konnten Mitarbeiter der teilnahmebereiten Betriebe gewonnen werden, die sich freiwillig als Testpersonen zur Verfügung stellten. Um ein möglichst repräsentatives Messergebnis unter Berücksichtigung eventueller regionaler Besonderheiten zu erhalten, wurde angestrebt, Probanden aus dem gesamten Bundesgebiet zu rekrutieren. Die jeweilige Herkunft der Probanden ist Abbildung 17 zu entnehmen.

Gesundheit und Freizeitverhalten der Probanden wurde mithilfe eines vierseitigen Fragebogens in Anlehnung an den Nordischen Fragebogen [72], den Fragebogen zum Erstinterview der Deutschen Wirbelsäulenstudie [69] und die Checkliste zur Mehrstufendiagnostik von Muskel-Skelett-Erkrankungen in der arbeitsmedizinischen Praxis [73] dokumentiert (siehe Anhang 5). Neben allgemeinen Angaben wie Alter, Größe, Gewicht oder Händigkeit enthielt dieses Interview auch Fragen zur vollständigen Berufsbiografie, zum Raucherstatus, Ausüben verschiedener Sportarten oder anderer Freizeitaktivitäten wie Hausbau oder Landwirtschaft.

Abbildung 17: Wohnorte der Probanden in Deutschland (n = 197)



Darüber hinaus sollten die Probanden Fragen zu Muskel-Skelett-Beschwerden allgemein und Beschwerden oder Erkrankungen der Kniegelenke im Speziellen beantworten.

Insgesamt stellten sich 197 Probanden für die messtechnischen Analysen zur Verfügung. Alle Probanden waren männlich, da in den untersuchten, überwiegend handwerklichen Berufen weibliche Beschäftigte eher die Ausnahme darstellen. Das durchschnittliche Alter der Probanden lag bei $35,6 \pm 11,5$ Jahren, sodass davon auszugehen ist, dass das Probandenkollektiv einen typischen Ausschnitt aus der männlichen Erwerbsbevölkerung innerhalb der untersuchten Berufe darstellt (Abbildung 18). Bei dem jüngsten Probanden handelte es sich um einen 16jährigen Auszubildenden, bei dem ältesten Probanden um einen Rentner, der noch aushilfsweise im eigenen Betrieb bestimmte Blechnerarbeiten durchführt. Die durchschnittliche Beschäftigungsdauer der Probanden im aktuellen Beruf lag bei $14,8 \pm 11,3$ Jahren. Damit ist davon auszugehen, dass die in der Studie untersuchten Tätigkeiten von erfahrenen Probanden in typischer Art und Weise durchgeführt wurden (Abbildung 19).

Abbildung 18: Altersverteilung der Probanden (n = 197, Mw = $35,6 \pm 11,5$ Jahre; Min/Max: 16/72)

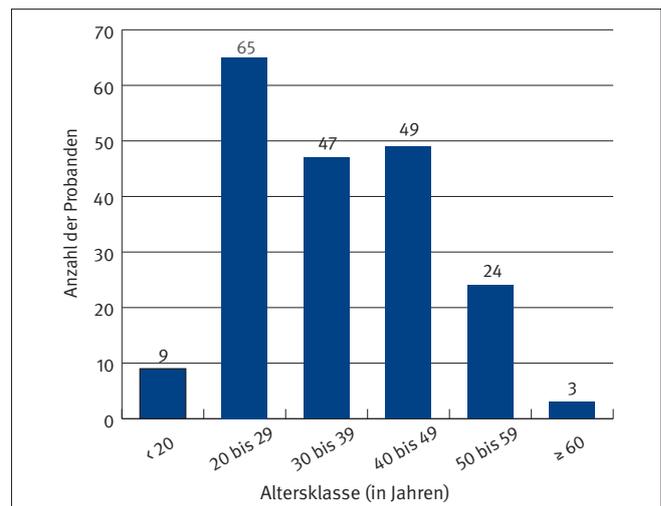
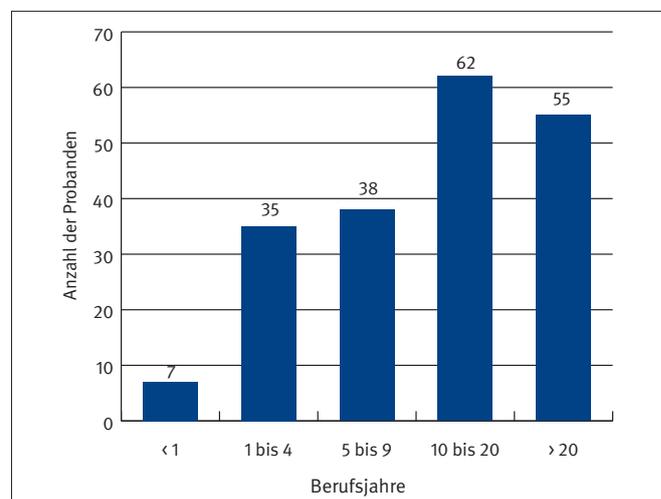


Abbildung 19: Berufsjahre der Probanden im aktuellen Beruf (n = 197, Mw = $14,8 \pm 11,3$ Jahre; Min/Max: 0,2/58,0)



Wie Tabelle 1 zeigt, neigten die Probanden zu Übergewicht: Über 70 % der Probanden wiesen einen Body-Mass-Index (BMI) > 25 kg/m² auf. Somit lassen sich nach den Kriterien der World Health Organisation (WHO) ca. 51 % der Studienteilnehmer als übergewichtig und ca. 22 % als adipös einstufen [74].

Hinsichtlich des Raucherstatus sind ca. 53 % der Probanden aktuell als Raucher einzustufen, weitere ca. 18 % gaben an, zumindest in der Vergangenheit (regelmäßig) Zigaretten konsumiert zu haben („Ex-Raucher“, siehe Tabelle 1).

Auf die Frage nach dem Auftreten von Kniebeschwerden gab etwa ein Drittel (33,0 %) der Probanden an, innerhalb der letzten zwölf Monate darunter gelitten zu haben. Etwa 16 % klagten über derartige Beschwerden während der letzten sieben Tage.

Bei etwa einem Drittel (33,5 %) aller Probanden ist früher bereits eine Kniegelenkerkrankung diagnostiziert worden, wobei an erster Stelle Meniskopathien, gefolgt von Bursitiden und Bandverletzungen genannt wurden (siehe Tabelle 1, Mehrfachnennungen waren möglich).

Kriterium		Ergebnis
Geschlecht	Männlich	197
	Weiblich	-
Alter in Jahren	Mw	35,6
	Stabw.	11,5
	Min	16
	Max	72
Berufsjahre (im aktuellen Beruf)	Mw	14,8
	Stabw.	11,3
	Min	0,2
	Max	58,0
BMI-Klassen	< 18,5 (Untergewicht)	1 (0,5 %)
	18,5 bis 25 (Normalgewicht)	52 (26,4 %)
	> 25 bis 30 (Übergewicht)	100 (50,8 %)
	> 30 (Adipositas)	44 (22,3 %)
Raucherstatus	Raucher	104 (52,8 %)
	Ex-Raucher	35 (17,8 %)
	Nichtraucher	58 (29,4 %)
Kniebeschwerden	... in den letzten zwölf Monaten	65 (33,0 %)
	... in den letzten sieben Tagen	32 (16,2 %)
Knieerkrankungen	Meniskusschaden	24 (12,2 %)
	Kniegelenksarthrose	11 (5,6 %)
	Schleimbeutelentzündung	21 (10,7 %)
	Verletzung der Kniebänder	17 (8,6 %)
	Kniegelenksentzündung	7 (3,6 %)
	Sonstige Verletzungen	13 (6,6 %)

Tabelle 1:
Charakteristiken der Probanden;
Angabe des Body-Mass-Index
(BMI in kg/m²; Einteilung gemäß [74])

2.5 Ethik und Datenschutz

Das Einholen eines Votums der Ethikkommission war nach Vorlage des Studienentwurfs bei der zuständigen Ethikkommission an der Universität Witten/Herdecke für die vorliegende Studie nicht notwendig.

Alle Probanden erklärten schriftlich ihr Einverständnis zur Nutzung der Mess-, Foto- und Videodaten in pseudonymisierter Form im Rahmen wissenschaftlicher Auswertungen,

Publikationen und Veranstaltungen durch die Projektpartner (siehe Anhang 6).

Zur Pseudonymisierung vergaben die jeweils zuständigen Messtechniker nach Verschlüsselungsvorgaben eine eindeutige neunzehnstellige Probandennummer (ID). Diese ID enthielt ein Kürzel für den untersuchten Beruf, die Initialen des Messtechnikers, das Messdatum sowie eine fortlaufende Nummer des Probanden je Messtechniker und Messtag (z. B. Raumaus_DD_08-05-2007_P1). Über diese ID konnten später alle Daten eines Probanden zusammengeführt werden.

TEIL A: Tätigkeitsanalysen

Im Folgenden werden die Methoden dargestellt, die insbesondere für die messtechnischen Analysen angewendet wurden.

2.6 Untersuchung von Tätigkeitsmodulen

Um der Heterogenität und Komplexität der untersuchten Berufe gerecht zu werden, wurden die Arbeitsinhalte in Tätigkeitsmodule unterteilt. Darunter sind typische Arbeitsgänge zu verstehen, die – inklusive der Nebentätigkeiten wie Vorbereiten, Be- und Entladen von Fahrzeugen oder Aufräumarbeiten – während einer vollständigen Arbeitsschicht durchgeführt werden und durch häufige Wiederholungen die Arbeitsinhalte während des Berufslebens prägen. Als Beispiele seien das Verlegen von Bodenfliesen beim Fliesenleger oder der Einbau von Fließestrich beim Estrichleger genannt. Die Zusammenstellung der zu untersuchenden Tätigkeitsmodule erfolgte durch arbeitstechnische Experten der am Projekt beteiligten Unfallversicherungsträger (z. B. Arbeitskreis „Belastungen des Muskel-Skelett-Systems“ 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 ganztätig ausgeführt werden. Auf kleineren Baustellen – vor allem im Privatkundenbereich – kann es dagegen vorkommen, dass die Tätigkeiten zu geringeren Zeitannteilen pro Arbeitsschicht durchgeführt werden, während in der restlichen Zeit andere Arbeiten stattfinden.

Nach den Planungen für die Studie sollten pro Tätigkeitsmodul mindestens drei Arbeitsschichten gemessen und aus diesen der Mittelwert der Kniebelastung berechnet werden. 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. kurzfristige Änderung der Tätigkeiten, Ausfall von Maschinen). In anderen Fällen mussten Tätigkeitsmodule aufgrund unterschiedlicher Arbeitsinhalte nachträglich in mehrere Module unterteilt werden, sodass die Probandenzahlen je Modul geringer wurden (Beispiel: Unterteilung des Moduls „Fotovoltaik-Montage“ des Installateurs nach „Steildach“ und „Flachdach“). Insgesamt konnten auf diese Weise 60 Tätigkeitsmodule in die Untersuchung aufgenommen werden.

Einige der in der Studie untersuchten Tätigkeiten konnten aus oben genannten Gründen nur ein einziges Mal gemessen

werden. Andere Tätigkeiten mussten als selten oder untypisch für das jeweilige Berufsbild eingestuft werden. Auf diese Weise konnten neben den 60 Tätigkeitsmodulen zusätzlich 21 „Sonderfälle“ ausgewertet werden. Inwieweit die gemessenen Kniebelastungen als repräsentativ für diese Tätigkeiten gelten können, muss hier offen bleiben.

Eine Übersicht der untersuchten Tätigkeitsmodule und Sonderfälle findet sich im Anhang (Anhang 7). Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Arbeitsinhalte kann bei *Ditchen et al.* nachgelesen werden [66].

Insgesamt wurden für die Studie 271 Messserien aufgenommen, von denen letztlich 223 Arbeitsschichten als gültig und relevant in die Auswertungen übernommen werden konnten. Gründe für die Nicht-Aufnahme eines Datensatzes in die Auswertung waren z. B. die Unvollständigkeit der Daten (Ausfall von Video- oder Messsystem), das Vorliegen weniger Einzelmessungen bei verschiedenen Berufen (z. B. Elektroinstallateur, Lkw-Mechaniker, Stahlbauer) oder die Messung untypischer Tätigkeiten (z. B. Fallrohrmontage, Bad-Demontage, Helfertätigkeiten). Diese 223 Messserien konnten um 19 Datensätze aus weiteren Untersuchungen des IFA und der BG BAU zu den Berufen Estrichleger (12), Bodenleger (2), Flugzeugabfertiger (2) sowie Natur- und Kunststeinleger (3) nach entsprechender Aufbereitung ergänzt werden. Die Zusammensetzung des endgültigen Datensatzes für die messtechnischen Analysen sind in Abbildung 20 dargestellt.

Da Probanden teilweise mehrfach an Messungen teilnahmen, wurden für die 242 relevanten Arbeitsschichten insgesamt 197 Probanden gemessen. Die Gesamtdauer der für die Studie ausgewerteten Messungen lag bei ca. 530 Stunden (Tabelle 2).

Abbildung 20:
Flow-Chart für Teil A „Tätigkeitsanalysen“

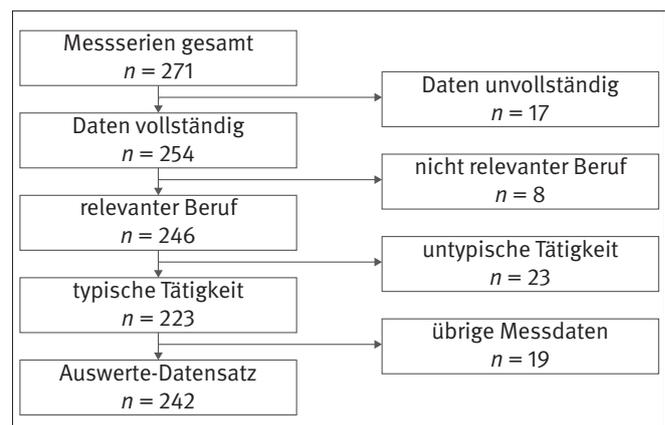


Tabelle 2:

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 in h	Mittlere Messdauer pro Tag in h
1	Betonbauer	6	6	-	-	2	9,3	1,5
2	Bodenleger	16	13	1	2	3	36,5	2,3
3	Dachdecker	36	34	2	-	11	71,7	2,0
4	Estrichleger	20	8	-	12	5	49,1	2,5
5	Fahrzeugsattler	5	4	1	-	1	10,4	2,1
6	Fliesenleger	20	19	1	-	4	47,5	2,4
7	Flugzeugabfertiger	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	48,3	2,5
11	Natursteinleger	15	12	-	3	3	26,5	1,8
12	Parkettleger	28	14	14	-	3	74,8	2,7
13	Pflasterer	7	7	-	-	2	11,7	1,7
14	Rohrleitungsbauer	9	9	-	-	3	16,1	1,8
15	Schweißer	3	3	-	-	1	3,0	1,0
16	Werftarbeiter	6	6	-	-	2	6,2	1,0
Gesamt		242	197	26	19	60	532,3	2,2

* Messdaten aus weiteren Untersuchungen des IFA und der BG BAU

2.7 Messtechnik

Die Erfassung der kniebelastenden Tätigkeiten erfolgte unmittelbar an den untersuchten Arbeitsplätzen mittels des im IFA entwickelten Messsystems CUELA (Computerunterstützte Erfassung und Langzeitanalyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems) [75 bis 78]. Dabei handelt es 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. Das CUELA-System unterliegt einer permanenten Weiterentwicklung und kann je nach Anwendungsanforderung modifiziert werden [79 bis 84]. Abbildung 21 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.

Abbildung 21:
Messsystem CUELA (Basisversion); BWS = Brustwirbelsäule, LWS = Lendenwirbelsäule; Flex. = Flexion; Ext. = Extension; Latflex. = Lateralflexion



Die Winkelmessung in der Sagittalebene (Flexion/Extension) an Knien und Hüften erfolgt mittels Potentiometern, wozu die auf Kunststoffschalen angebrachten Sensoren an einem Hüftgurt und an den Knien befestigt werden.

Der Kniewinkel wird als Winkel zwischen der gedachten Verlängerung des Oberschenkels und der Vorderseite des Unterschenkels gemessen (Abbildung 22). 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° bzw. 155° korrigiert (Maximalflexion [65]).

Die zeitkontinuierlich gemessenen Winkelgrade und Winkelgeschwindigkeiten können mittels der Auswertesoftware getrennt oder in Kombination betrachtet werden („Winkel-Zeit-Graphen“, Abbildung 23). Darüber hinaus simuliert die Software anhand der Messdaten ein Vektormännchen, sodass die messtechnisch erfassten Bewegungen und Körperhaltungen des Probanden visuell leicht nachvollziehbar sind. Eine Videodokumentation parallel zur Messung erlaubt nach entsprechender

Synchronisation mit den Messdaten schließlich die direkte Zuordnung von Körperhaltungen und Tätigkeiten.

Abbildung 22: Beispiele für die Messung des Kniewinkels bei verschiedenen Körperhaltungen

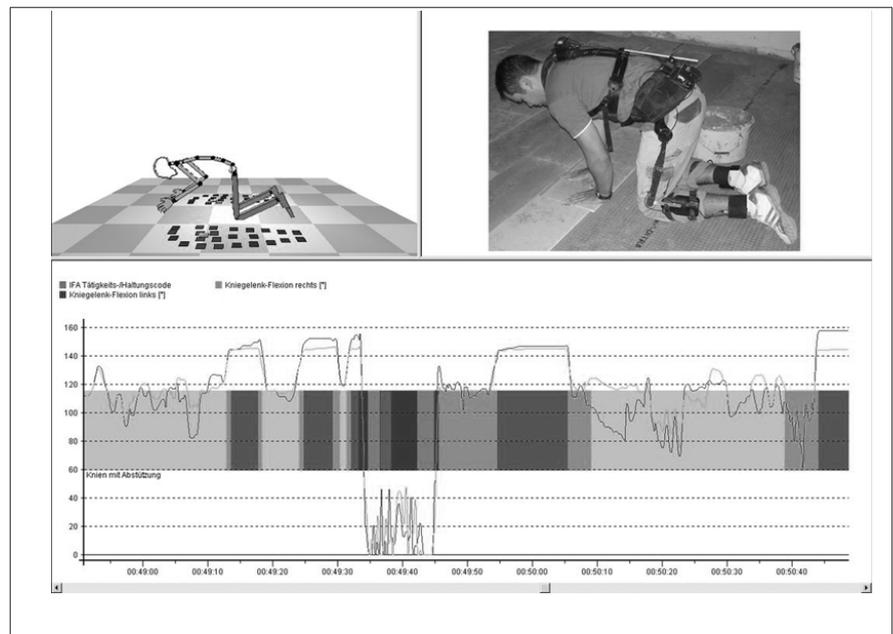
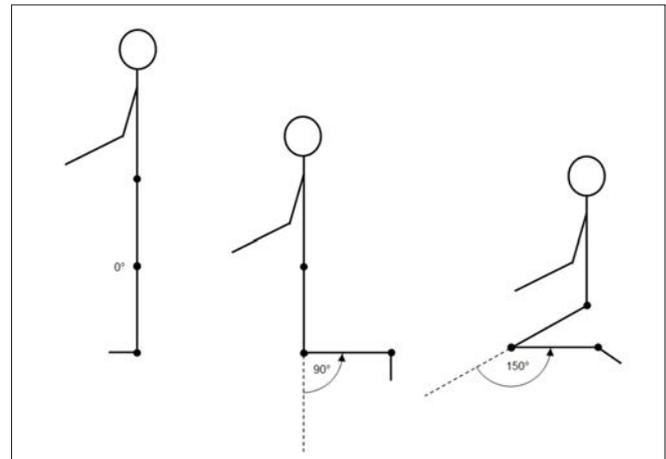


Abbildung 23: Ausschnitt aus der Auswertesoftware (Vektormännchen, Video, Winkel-Zeit-Graph und IFA-Tätigkeits-/Haltungscode)

2.8 Identifizierung der kniebelastenden Haltungen

Für die vorliegende Studie wurde die Auswertesoftware um die automatische Erkennung und Quantifizierung relevanter „kniegefährdender“ Körperhaltungen (Knien mit und ohne Abstützung des Oberkörpers, Fersensitz, Hocken und Kriechen) erweitert. Die entsprechenden Haltungen werden in der Software mithilfe des IFA-Tätigkeits-/Haltungscode dargestellt (Abbildung 23).

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.

Die Identifizierung der untersuchten Haltungen erfolgt anhand verschiedener Kriterien, die in Tabelle 3 dargestellt sind. Zur Vorbereitung der Studie wurden standardisierte Sequenzen verschiedenartiger Kniebelastungen in Laborversuchen analysiert und anhand der Ergebnisse die Kriterien zur Identifikation der Haltung entwickelt; diese stellen die Grundlage für alle folgenden Auswertungen dar.

Haltung	Vertikaler Abstand Knie – Boden	Oberkörper	Horizontaler Abstand Knie – Becken
Knien ohne Abstützung (beidbeinig)	0 cm (beide Knie)	vorgeneigt ($> 20^\circ$)	beide Knie vor dem Becken
Knien ohne Abstützung (einbeinig)	0 cm (Knie 1), > 15 cm (Knie 2)	vorgeneigt ($> 20^\circ$)	mindestens ein Knie vor dem Becken
Knien mit Abstützung	0 cm (beide Knie)	vorgeneigt ($> 45^\circ$)	beide Knie über oder hinter dem Becken
Fersensitz	0 cm (beide Knie)	\pm aufrecht	beide Knie vor dem Becken
Hocken	> 10 cm, < 50 cm	---	---
Kriechen	„Knien mit Abstützung“ und manuelle Erkennung eines Bewegungsmusters in der Knieflexion		

Tabelle 3: Kriterien zur Identifizierung der kniebelastenden Haltungen in der Auswertesoftware

2.9 Durchführung der Messungen und Aufbereitung der Messdaten

Die Organisation der Messungen erfolgte durch die Messtechniker oder durch eine Aufsichtsperson (AP) der für den jeweiligen Betrieb zuständigen Berufsgenossenschaft. Die Einrüstung der Probanden erfolgte direkt in den Betrieben bzw. auf den Baustellen. Insgesamt kamen im Rahmen der Untersuchung zehn CUELA-Messsysteme zum Einsatz, führte der Autor selbst 13 Messungen durch.

Nur in den seltensten Fällen wurde die gesamte Dauer einer Arbeitsschicht messtechnisch erfasst, vielmehr wurden je nach Tätigkeit „Messserien“ aus zwei bis vier Einzelmessungen aufgezeichnet. Die durchschnittliche Gesamtmessdauer pro Tag lag bei 2,2 h (Tabelle 2).

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 (siehe Anhang 8). Tätigkeiten, bei denen Arbeiten im Knien, Hocken oder Kriechen notwendig waren, wurden vollständig oder in repräsentativem Ausmaß gemessen.

Alle Erhebungsdaten inklusive Mess-, Video- Dokumentations- und Fragebogen-Daten wurden auf dem Postweg an das IFA geleitet, dort auf Vollständigkeit und Messartefakte geprüft und für die Auswertung aufbereitet.

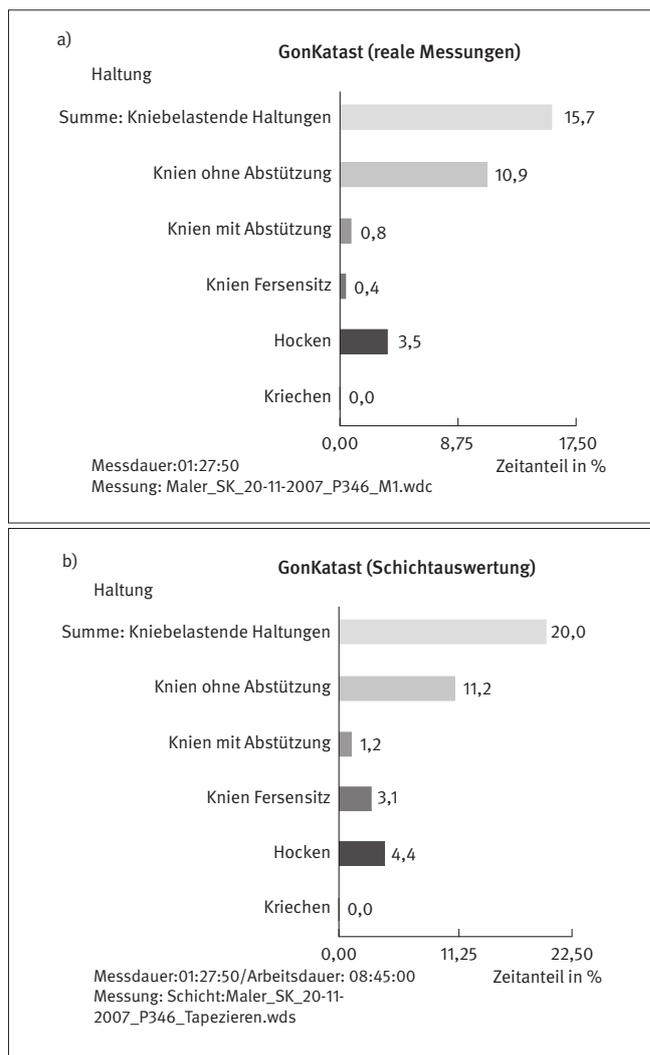
Zur Abbildung der Kniebelastung pro Arbeitsschicht konnten die Daten der Einzelmessungen kopiert und entsprechend den Angaben aus dem Messstundenplan auf identische Tätigkeitsabschnitte übertragen werden. Die Daten der Einzelmessungen und ihrer Kopien wurden in einem letzten Schritt zu einem Schichtprofil zusammengefügt.

Die durch die Messungen hervorgerufenen Änderungen im Arbeitsablauf (z. B. Einrüstzeiten der Probanden) wurden dadurch minimiert, dass die entsprechenden Zeitintervalle mit Messdaten aus der nachfolgenden Messungen „belegt“ wurden (siehe „Checkliste – Vorbereitung“ in Anhang 8).

2.10 Auswertemethoden

Die Ergebnisdarstellung erfolgte in Form von Maßzahlen der deskriptiven Statistik wie arithmetischen Mittelwerten und Standardabweichungen für die arbeitstägliche Anzahl der Hinknievorgänge oder die arbeitstägliche Dauer der Kniebelastung (siehe Abbildung 24) sowie grafisch in Form von Boxplots (Darstellung der Perzentile 5, 25, 50, 75 und 95).

Abbildung 24: Beispiel der Ergebnisdarstellung zu den kniebelastenden Körperhaltungen; a) Einzelmessung, b) zusammengesetzte Arbeitsschicht



Alle schichtbezogenen Messdaten gingen zusammen mit Foto-dateien und Informationen zur Tagesleistung (z. B. geflieste Fläche pro Tag) in die OMEGA-Datenbank „Muskel-Skelett-Belastungen“ – OMEGA-MSB des IFA ein, um so für die Auswertungen im Rahmen dieser Studie sowie für zukünftige Recherchen zur Verfügung zu stehen [85 bis 87].

Die Prüfung der Validität der Messdaten erfolgte mithilfe der linearen Regression und eines t-Tests für gepaarte Stichproben. Zur Prüfung der Reliabilität der Auswertung wurde der Konkordanz-Korrelationskoeffizient berechnet [88; 89].

Die Messdaten wurden mithilfe der im IFA entwickelten Auswerte-Software WIDAAN in der Version 2.76 ausgewertet. Die Berechnungen zur Prüfung von Reliabilität und Validität (vgl. Abschnitt 2.11) erfolgten mit der Statistik-Software MedCalc in der Version 11.4.1.0 [90].

2.11 Qualitätskontrolle

Um eine hohe Qualität der Untersuchungen zu sichern, wurden über die gesamte Studiendauer verschiedene Maßnahmen ergriffen.

Die Erhebung zu Gesundheit und Freizeitverhalten der Probanden erfolgte in erster Linie mit dem Nordischen Fragebogen [72], der international etabliert ist und dessen hohe Validität in mehreren Studien bestätigt wurde (z. B. [91]).

Mit dem für die messtechnischen Analysen eingesetzten CUELA-System fand ein validiertes und in der Praxis erprobtes Instrument Anwendung in der Studie [75]. Alle beteiligten Messingenieure wurden zu Projektbeginn in der Anwendung des Messsystems, dem Ausfüllen der einzelnen Fragebögen und Formulare sowie dem Modus des Datentransfers intensiv geschult. Ein standardisierter Ablauf der Messungen sollte durch die Ausgabe von speziellen Checklisten für die Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung der einzelnen Messungen an die Messingenieure gewährleistet werden (siehe Anhänge 9, 10 und 11). Regelmäßige Treffen während der Studie ermöglichten den Messingenieuren den persönlichen Erfahrungsaustausch durch gegenseitige Information und Feedback.

Die gesamte Untersuchung wurde von einem Arbeitskreis aus Vertretern der beteiligten Berufsgenossenschaften begleitet, bei dessen regelmäßiger Zusammenkunft über den aktuellen Stand des Projekts berichtet und diskutiert wurde.

Validität der Messungen

Jeweils die erste durchgeführte Messung zu jedem der 16 untersuchten Berufe wurde für eine Stichprobe herangezogen, die der Untersuchung der Messergebnisse auf Validität diene. Für die Prüfung wurden die „Rohdaten“ der Messung zur Kniebelastung den endgültigen Messergebnissen gegenüber gestellt. Letztere konnten Überarbeitungen enthalten, die der Vergleich der Rohdaten mit den parallel durchgeführten Videoaufnahmen notwendig erscheinen ließ. Die aufgrund der Vergleichsdaten für die gesamte Kniebelastung durchgeführte Regressionsanalyse ergab eine hohe Übereinstimmung zwischen beiden Messreihen

($R^2 = 0,8913$)³ und der t-Test für gepaarte Stichproben zeigte keine signifikanten Unterschiede ($p = 0,1705$). Die Ergebnisse beider Analysen sind im Anhang 12 dargestellt.

Reliabilität der Auswertung

Die Prüfung, Aufbereitung und Auswertung aller Daten erfolgte durch einen Bearbeiter (Autor). Die Reliabilität dieser Überarbeitung wurde stichprobenartig überprüft. Dazu wurden vier Messdateien von zwei weiteren Bearbeitern erneut ausgewertet und die Ausweltergebnisse hinsichtlich der Gesamt-Kniebelastung miteinander verglichen. Der Vergleich der Ergebnisse der drei Auswerter (Rater) ergab eine sehr hohe Reliabilität: Die Werte für den Konkordanz-Korrelations-Koeffizienten lagen zwischen 0,9976 und 0,9998 (siehe Anhang 13).

Die Kombination aus CUELA-Rohdaten und Videoanalyse erscheint demnach für die in dieser Studie interessierenden Aspekte als geeignete Methode mit hoher Validität und Reliabilität.

TEIL B: Methodenvergleich

Für den zweiten Teil der Untersuchung erfolgte parallel zu der in Teil A beschriebenen messtechnischen Analyse eine zweistufige Befragung der Probanden zur subjektiv wahrgenommenen Kniebelastung: eine Befragung direkt im Anschluss an die eigentliche Messung (Zeitpunkt t_0), die andere ca. sechs Monate nach der Messung (Zeitpunkt t_1).

2.12 Selbsteinschätzung der Probanden zum Zeitpunkt t_0

Unmittelbar im Anschluss an die Messung wurde den Probanden vom Messingenieur ein kurzer Fragebogen („Selbstaussfüller“) vorgelegt. Dieser im Folgenden als „Qt₀“ bezeichnete Fragebogen umfasste insgesamt vier Fragen zu den Tätigkeiten manuelle Lastenhandhabung, Treppensteigen, Springen sowie Kniebelastungen durch Knien, Hocken und Kriechen (siehe Anhang 14).

Die ersten drei Fragekomplexe, bei denen ebenfalls potenzielle Risikofaktoren für Kniegelenksbeschwerden angesprochen wurden, dienten in erster Linie der „Verschleierung“ der vierten Frage, um eine eventuelle Beeinflussung der Probanden zu vermeiden. Sie sollen im Rahmen dieser Arbeit nicht ausgewertet werden.

³ Die 16 Messdateien umfassten eine Messung mit dem Spezialfall „Arbeiten auf Steildach“. Die hierbei notwendige Unterscheidung zwischen abgestütztem Knien und abgestütztem Stehen kann das Messsystem nicht automatisch vornehmen, sondern muss manuell unter Zuhilfenahme der Videodaten festgelegt werden. Bei Ausschluss dieser Messung aus der Regressionsanalyse ergibt sich für die verbleibenden 15 Messpaare ein Bestimmtheitsmaß R^2 von 0,9978.

Um eine Verfälschung der Selbsteinschätzung zu verhindern, waren die Probanden hinsichtlich des Inhalts der Befragung „geblindet“: Sie wurden über eine an die Messung anschließende Befragung informiert, kannten aber keine inhaltlichen Details.

Bezugszeitraum für die Befragung war lediglich die vorangegangene Messzeit. Die durchschnittliche Dauer der für den vorgesehenen Methodenvergleich gültigen Messungen lag bei etwa zwei Stunden (118 ± 44 min).

Die Abfrage der kniebelastenden Haltungen erfolgte – analog der wissenschaftlichen Begründung zur BK 2112 – unterteilt in die fünf Haltungen Knien ohne Abstützung, Knien mit Abstützung, Fersensitz, Hocken und Kriechen. Jede Haltung wurde durch ein Piktogramm veranschaulicht. Die Quantifizierung erfolgte durch die Anzahl der Einzelvorgänge und die jeweilige Dauer eines Einzelvorgangs. Diese Form der Abfrage wurde auch in der ArGon-Studie im Rahmen einer Subanalyse zum Abschätzverhalten von Probanden eingesetzt, wobei sich die Angaben aber auf eine vollständige Arbeitsschicht beziehen sollten [92]. Eine ähnliche Abfrageform für Körperhaltungen wurde auch in der Deutschen Wirbelsäulenstudie eingesetzt [69].

Eingeschlossen in diese Untersuchung wurden alle Probanden, die am Projekt GonKatast teilnahmen und die folgende Voraussetzungen erfüllten (Einschlusskriterien):

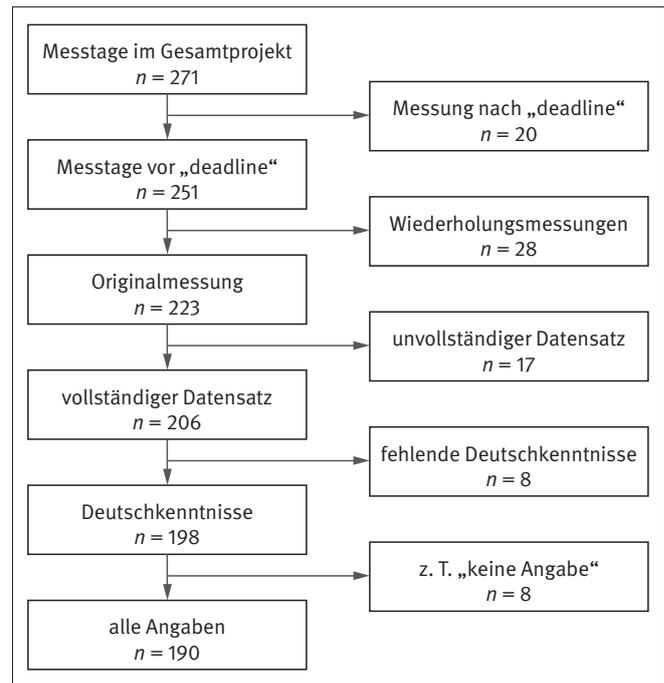
- Messtermin vor dem 30. Juni 2009 („deadline“),
- ausreichende Deutschkenntnisse,
- vollständiger Datensatz (Messung, Video),
- freiwillige Teilnahme an der Befragung.

Für die Auswertungen zum Methodenvergleich wurden Fragebögen ausgeschlossen, bei denen in einer der Kategorien zu Frage 4 „keine Angabe möglich“ stand. Um einen Recall-Bias zu vermeiden, wurde bei Probanden mit mehrfacher Messung jeweils nur nach der ersten Messung eine entsprechende Befragung durchgeführt.

Auf diese Weise blieben von den 271 in GonKatast durchgeführten Messserien insgesamt 190 gültige Datensätze für den Methodenvergleich übrig (siehe Abbildung 25).

Neben den in Teil A beschriebenen Berufen (siehe Tabelle 2) gingen in diese Untersuchungen auch Messungen in Berufen ein, bei denen aus organisatorischen Gründen lediglich Einzelmessungen durchgeführt wurden. Die für diesen Auswertungsteil 190 „gültigen“ Probanden verteilten sich auf folgende 19 Berufe (in Klammern die Anzahl der Probanden): Betonbauer (6), Bodenleger (9), Dachdecker (29), Elektroinstallateure (1), Estrichleger (8), Fahrzeugsattler (4), Fliesenleger (19), Formbauer (4), Installateure (45), Lkw-Mechaniker (2), Maler (20), Natur- und Kunststeinleger (4), Parkettleger (19), Pflasterer (7), Rohrleitungsbauer (3), Rüster (1), Schweißer im Behälterbau (3), Stahlbauer (1) und Werftarbeiter (5).

Abbildung 25:
Flow-Chart für Befragung zum Zeitpunkt t_1



2.13 Selbsteinschätzung der Probanden zum Zeitpunkt t_1

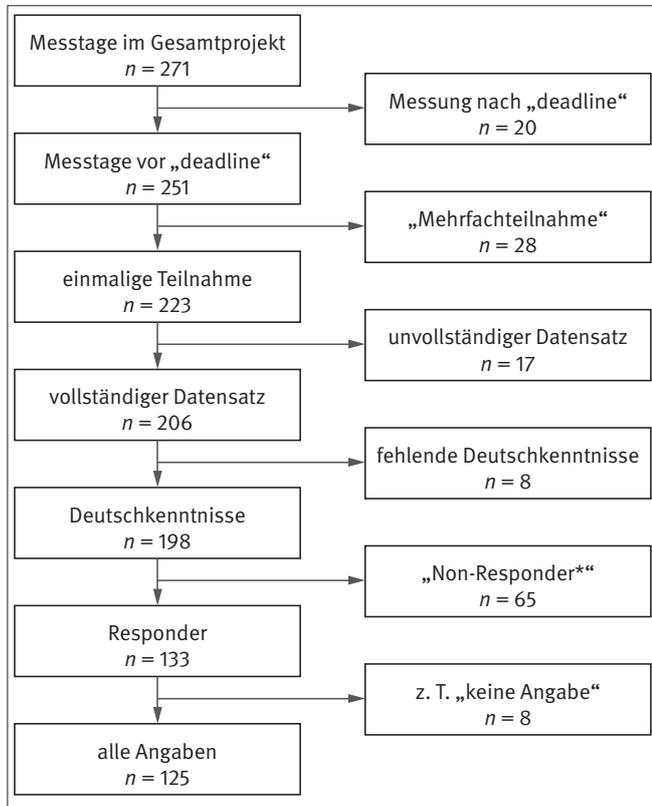
Am Messtag wurden alle Probanden gefragt, ob sie an einer weiteren Befragung ca. sechs Monate nach der Messung teilnehmen möchten. Bei entsprechender Zustimmung wurde das Einverständnis zur Teilnahme an dieser Befragung eingeholt und die Postanschrift zum Versand des Fragebogens notiert (siehe Anhang 6). Dieser Fragebogen „Qt₁“ wurde dann sechs Monate nach Durchführung der Messung und der ersten Befragung zusammen mit einem frankierten Rückumschlag und einem erläuternden Begleitschreiben (siehe Anhang 15) den Probanden zugesandt. Nach Eingang des ausgefüllten Bogens erhielten die Probanden eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 20 €. War nach vier Wochen keine Rückmeldung des Probanden zu verzeichnen, erfolgte der Versand eines Erinnerungsschreibens („Nachfassaktion“). Nach weiteren vier Wochen ohne Rückmeldung wurde versucht, den Probanden telefonisch zu erreichen oder ein weiteres Erinnerungsschreiben aufgesetzt. Nach weiteren zwei Wochen ohne Rückmeldung wurde der Proband von der Auswertung ausgeschlossen („Drop-out“).

Von den 198 angeschriebenen Probanden hatten 133 den Fragebogen ausgefüllt zurückgeschickt (Response-Rate = 67,2 %), wovon 125 gültig waren. Insgesamt gab es 65 „Nonresponder“: 54 Probanden gaben keine Rückmeldung (Drop-out), fünf Probanden konnten nicht mehr erreicht werden („unbekannt verzogen“) und sechs Probanden hatten ihre Teilnahme an der Befragung telefonisch widerrufen (siehe Abbildung 26).

Der Fragebogen Qt₁ enthielt gegenüber dem Fragebogen Qt₀ im Formulkopf zusätzlich eine Beschreibung der während der Messung durchgeführten Arbeiten (z. B. Verlegen von 5 m²

Bodenfliesen in einer Kirche), um den Probanden den Messtag in Erinnerung zu rufen (siehe Anhang 16); ansonsten waren die beiden Fragebögen identisch. Als Bezugszeitraum war auch hier die Messzeit mit Start, Ende und Dauer in Minuten vorgegeben.

Abbildung 26:
Flow-Chart für Befragung zum Zeitpunkt t_1
(*Non-Responder: 54 x „keine Rückmeldung“, 6 x „Absage“,
5 x „unbekannt verzogen“)



2.14 Auswertemethoden

Zur Untersuchung eventueller Unterschiede und Zusammenhänge zwischen den beiden Verfahren zur Expositionsermittlung (Messung und Befragung) wurden folgende statistische Verfahren eingesetzt:

- Maße der deskriptiven Statistik (Mittelwert, Median, Standardabweichung);
- Test auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test);
- Berechnung des Rangkorrelationskoeffizienten (ρ) nach Spearman;
- Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test (Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben);
- Mann-Whitney-U-Test (für unabhängige Stichproben);
- grafische Darstellung der Punkteverteilung mit Angabe einer Regressionsgerade und
- Berechnung des Bestimmtheitsmaßes R^2 .

Zur Einstufung der Ergebnisse der statistischen Tests und der Korrelationsberechnung wurden folgende Kategorien verwendet [93]:

Irrtumswahrscheinlichkeit p:

- $p > 0,05$ nicht signifikant (ns)
- $p \leq 0,05$ signifikant (*)
- $p \leq 0,01$ sehr signifikant (**)
- $p \leq 0,001$ höchst signifikant (***)

Spearman's Korrelationskoeffizient ρ :

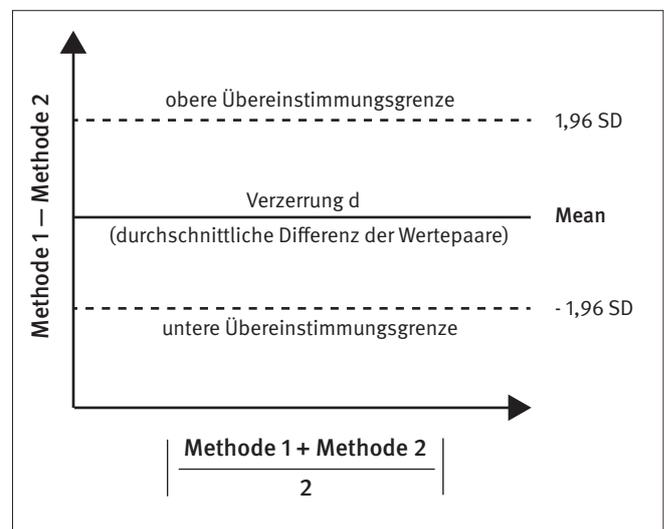
- 0,0 bis $\leq 0,2$ sehr geringe Korrelation
- 0,2 bis $\leq 0,5$ geringe Korrelation
- 0,5 bis $\leq 0,7$ mittlere Korrelation
- 0,7 bis $\leq 0,9$ hohe Korrelation
- 0,9 bis $\leq 1,0$ sehr hohe Korrelation

Um das Verhältnis eventueller Über- und Unterschätzungen zu verdeutlichen sowie den Einfluss der Expositionshöhe auf die Güte der Abschätzung untersuchen zu können, wurden zusätzlich Bland-Altman-Plots erstellt [94 bis 96]. Bei dieser Methode werden die Differenzen aus beiden Wertepaaren gegen den Mittelwert aus beiden Methoden aufgetragen (Abbildung 27).

Die grafische Darstellung zeigt einerseits die durchschnittliche Differenz der Wertepaare an (Verzerrung, in Abbildung 27 als mean bezeichnet), andererseits auch die Übereinstimmungsgrenzen (limits of agreement). Letztere berechnen sich aus der Verzerrung $d \pm$ etwa doppelte Standardabweichung. Der Bereich zwischen beiden Übereinstimmungsgrenzen umfasst bei hinreichend symmetrischer Verteilung der Differenzen 95 % aller Werte.

Die Sammlung und Aufbereitung aller Fragebogendaten erfolgte mit MS Excel und MS Access (Versionen 2000 und 2003). Die statistischen Auswertungen erfolgten mit den Statistik-Programmen PASW (Version 18 [97]) und MedCalc (Version 11.4.1.0 [90]).

Abbildung 27:
Aufbau eines Bland-Altman-Plots (verändert nach [94]);
SD = Standardabweichung



3 Ergebnisse

Die Darstellung der Untersuchungsergebnisse erfolgt getrennt für Teil A „Tätigkeitsanalysen“ und Teil B „Methodenvergleich“.

Teil A: Tätigkeitsanalysen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der messtechnischen Tätigkeitsanalysen dargestellt. Sie umfassen eine qualitative und quantitative Beschreibung der untersuchten Kniebelastungsformen, sowohl hinsichtlich vollständiger Arbeitsschichten in verschiedenen Berufen und während verschiedener Tätigkeiten, als auch detailliert für einzelne Kniebelastungsphasen. Die Beschreibung der Kniebelastungen beinhaltet Angaben zur arbeitstäglichen Gesamtdauer, Dauer von Einzelvorgängen, Anzahl der Kniebelastungsphasen pro Tag sowie zu Kniewinkeln und zur Symmetrie der Belastungen hinsichtlich beider Kniegelenke.

3.1 Vorkommen verschiedener Kniebelastungen

In Abbildung 28 sind für die fünf untersuchten Körperhaltungen die Verteilungen der prozentualen Zeitanteile pro Arbeitsschicht über alle 242 gemessenen Arbeitsschichten in Form von Perzentilen (Boxplots) dargestellt. Zusätzlich zeigt Abbildung 29 diese Verteilungen für die absolute Dauer in Minuten bezogen auf eine

Standard-Arbeitsschicht von acht Stunden Dauer in Perzentilen über alle gemessenen Arbeitsschichten.

Aus beiden Abbildungen ergibt sich, dass in den untersuchten Arbeitsschichten das Knien ohne Abstützung die häufigste Form der Kniebelastung darstellt (Zeitanteil pro Arbeitsschicht im Median: 11,4 % bzw. 55 min), mit weitem Abstand gefolgt von Knien mit Abstützung (3,0 % bzw. 15 min), Fersensitz (1,1 % bzw. 5 min), Hocken (0,7 % bzw. 3 min) und Kriechen (0,0 % bzw. 0 min). Demnach handelt es sich insbesondere beim Kriechen um eine im Untersuchungskollektiv selten vorkommende Haltung bzw. Bewegung, was auch der Wert für das 95. Perzentil von lediglich 2,1 % bzw. 10 min belegt. Die Haltung Hocken ist ebenfalls als relativ selten einzustufen, wobei die Gesamtverteilung darauf hinweist, dass diese Haltung in einigen Arbeitsschichten auch verstärkt aufgetreten ist (95. Perzentil: 13,2 % bzw. 63 min).

Die entsprechenden arithmetischen Mittelwerte der Zeitanteile pro Arbeitsschicht lagen bei $15,8 \pm 14,2$ % (Knien ohne Abstützung), $6,8 \pm 9,0$ % (Knien mit Abstützung), $2,8 \pm 4,1$ % (Fersensitz), $3,8 \pm 9,9$ % (Hocken) sowie $0,4 \pm 1,3$ % (Kriechen).

Die mittleren prozentualen Anteile der einzelnen Haltungen an der Gesamt-Kniebelastung betragen 51,3 % (Knien ohne Abstützung), 25,1 % (Knien mit Abstützung), 9,5 % (Fersensitz), 12,8 % (Hocken) und 1,2 % (Kriechen).

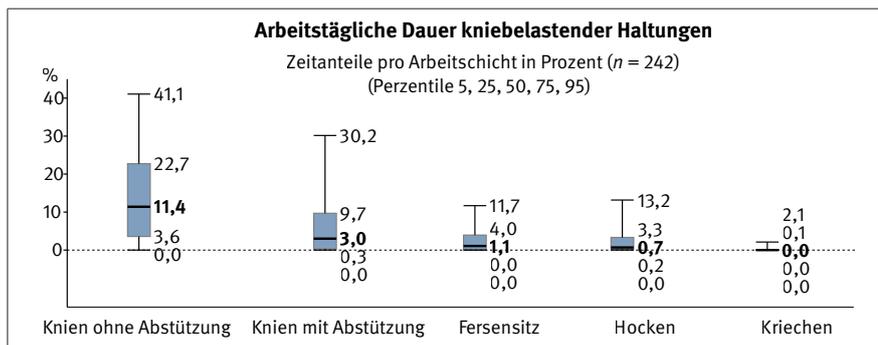


Abbildung 28: Relative arbeitstägliche Dauer der untersuchten Kniebelastungen (prozentuale Zeitanteile pro Arbeitsschicht; $n = 242$)

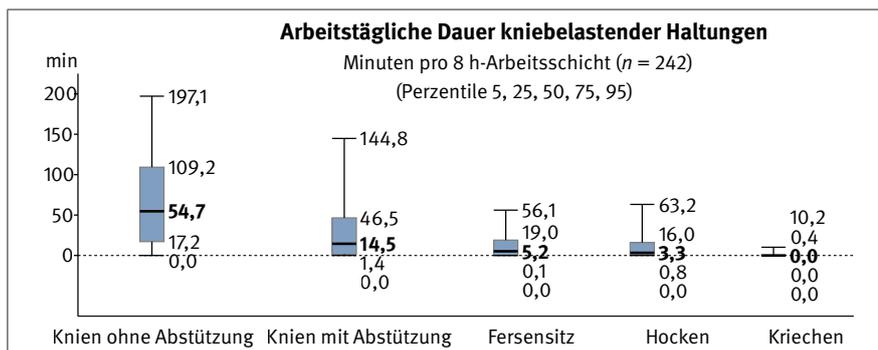


Abbildung 29: Absolute arbeitstägliche Dauer der untersuchten Kniebelastungen (Minuten pro Arbeitsschicht, bezogen auf eine Standard-Arbeitsschicht von 8 h Dauer; $n = 242$)

3.2 Gesamtdauer der Kniebelastung pro Arbeitsschicht

3.2.1 Durchschnittliche Gesamtdauer der Kniebelastung pro Tätigkeitsmodul

Die durchschnittliche arbeitstägliche Gesamtdauer der Kniebelastung pro Tätigkeitsmodul ist in Tabelle 4 dargestellt.

Die Kniebelastungsdauer wird als prozentualer Zeitanteil pro Arbeitsschicht für die fünf untersuchten Einzelhaltungen sowie die Kniebelastung gesamt als Summe aus diesen angegeben (jeweils als Mittelwert mit Standardabweichung). Die Kniebelastung gesamt wird zusätzlich absolut als Dauer in Minuten (auf 5 min gerundet) bezogen auf eine achtstündige Standard-Arbeitsschicht gezeigt.

Tabelle 4:
Durchschnittliche Dauer der Kniebelastung in den untersuchten Tätigkeitsmodulen; Mittelwerte \pm Standardabweichung;
 n = Anzahl der gemessenen Arbeitsschichten; Minutenangaben bezogen auf achtstündige Standard-Arbeitsschicht

Tätigkeitsmodul		n	Kniebelastung gesamt in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knien ohne Abstützung in %	Knien mit Abstützung in %	Kriechen in %
1. Beton und Stahlbauer									
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)
2. Bodenleger/Raumausstatter									
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)
3. Dachdecker									
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: Wellplattenmontage	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: Schweißbahnen 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: Kunststoffbahnen 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)
Sonderfälle									
S1	Steildach: Ziegeltransport 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

Tätigkeitsmodul		n	Kniebelastung gesamt in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knien ohne Abstützung in %	Knien mit Abstützung in %	Kriechen in %
4. Estrichleger									
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)
5. Fahrzeugsattler									
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)
6. Fliesenleger									
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)
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 (Dünnbett)	1	230	48,3	0,0	7,8	32,6	7,8	0,0
7. Flugzeugabfertiger									
01	Großraum- und Stan- dardrumpfflugzeuge	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	Standardrumpff- flugzeuge	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)
8. Formenbauer									
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)
9. Installateur									
01	Fußbodenheizungs- vorbereitung	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	Fußbodenheizungs- montage	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	Heizungsanlagen- montage	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)

3 Ergebnisse

Tätigkeitsmodul		n	Kniebelastung gesamt in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knien ohne Abstützung in %	Knien mit Abstützung in %	Kriechen in %
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	Unterputzkasten- montage	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	Dach- Anschlussarbeiten	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, Flachdach	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)
10. Maler und Lackierer									
01	Fassaden- vorbereitung	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	Vollwärmeschutz- Montage	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)
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	Treppenhauseanstrich	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)
11. Natur- und Kunststeinleger									
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	Fassadenplatten- montage	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
12. Parkettleger									
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
13. Pflasterer									
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)

Tätigkeitsmodul		n	Kniebelastung gesamt in min	Kniebelastung gesamt in %	Hocken in %	Fersensitz in %	Knien ohne Abstützung in %	Knien mit Abstützung in %	Kriechen in %
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)
Sonderfall									
S1	Kleinpflaster verlegen (Schemel)	1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14. Rohrleitungsbauer									
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 (± 2,0)	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
15. Schweißer (im Behälterbau)									
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)
16. Werftarbeiter									
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	Schlosser- Tätigkeiten	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

3.2.2 Durchschnittliche Gesamtdauer der Kniebelastung pro Arbeitsschicht in den untersuchten Berufsgruppen

Um eventuell vorhandene Unterschiede oder Übereinstimmungen im Belastungsmuster zwischen den verschiedenen Berufen erkennen zu können, wurde zusätzlich zu den Auswertungen für die einzelnen Tätigkeitsmodule eine Zusammenfassung der Ergebnisse je Berufsbild durchgeführt. Dazu zeigt Abbildung 30 die durchschnittlichen prozentualen Zeitanteile der gesamten Kniebelastung pro Arbeitsschicht für alle 16 untersuchten Berufe (Mittelwerte und Standardabweichungen).

Die Mittelwerte der arbeitstäglichen Kniebelastung liegen zwischen 6,5 % (Formenbauer) und 46,7 % (Werftarbeiter). Dabei ist zu beachten, dass die gezeigten Mittelwerte nicht als repräsentativ für die Gesamt-Kniebelastung in den untersuchten Berufe interpretiert werden dürfen, da nur bestimmte Tätigkeiten, in denen von einem Vorkommen kniebelastender Haltungen auszugehen war, untersucht worden sind.

Die zum Teil recht großen Standardabweichungen können als Indiz für die Heterogenität der Arbeitsinhalte und individuellen Ausführungsarten in den einzelnen Berufen betrachtet werden. Dies wird auch deutlich, wenn man sich die arbeitstägliche Dauer der Kniebelastung in den verschiedenen Berufen in Form von Perzentilen (Boxplots) ansieht, sowohl für die Einzelhaltungen als auch für die Kniebelastung gesamt (die Medianwerte für alle untersuchten kniebelastenden Haltungen und Berufe sind im Anhang 17 zusammengefasst).

Abbildung 31 zeigt die arbeitstägliche Dauer der Kniebelastung gesamt für die 16 untersuchten Berufe in alphabetischer

Reihenfolge. Große Interquartil-Bereiche (Länge der Box, Bereich zwischen Perzentil P25 und Perzentil P75) weisen auf eine große Streuung der Kniebelastungsdauern innerhalb einer Berufsgruppe hin. Ausgeprägt verschiedenartige Tätigkeiten liegen z. B. bei den Pflasterern vor, bei denen der Median (P50) bei ca. 20,2 % liegt, während der Interquartil-Bereich von 17,0 % bis 79,3 % reicht. Mit der Information aus Tabelle 4, dass für den Beruf Pflasterer insgesamt zwei Tätigkeitsmodule mit stark unterschiedlichen Kniebelastungszeiten gemessen wurden, erklärt sich die aus der Boxplot-Grafik ersichtliche Verteilung.

Berufe, in denen nur ein einziges Tätigkeitsmodul gemessen wurde, zeigen hingegen ein sehr homogenes Ergebnis für die arbeitstägliche Kniebelastungsdauer. Dementsprechend ist der Interquartil-Bereich relativ klein, z. B. für Fahrzeugsattler (22,2 bis 23,5 %) oder Formenbauer (4,8 bis 7,4 %).

In Abbildung 32 sind die berufsspezifischen arbeitstäglichen Zeitanteile des Knien ohne Abstützung zusammengestellt. Diese Haltung konnte bei allen untersuchten Berufen in mehr oder weniger hohem Maße beobachtet werden.

Ähnlich wie für die Kniebelastung gesamt können auch für das Knien ohne Abstützung sowohl Berufe mit relativ heterogenen Arbeitsinhalten (z. B. Werftarbeiter, Parkettleger, Installateure) als auch Berufe mit relativ gleichartigen Tätigkeiten und Körperhaltungen (z. B. Fahrzeugsattler, Flugzeugabfertiger, Formenbauer) identifiziert werden. Die höchsten Medianwerte (prozentuale Zeitanteile pro Arbeitsschicht) im Untersuchungskollektiv ergaben sich für Parkettleger (24,5 %), Werftarbeiter (20,1 %), Bodenleger (19,5 %) und Installateure (17,9 %). Den maximalen P95-Wert von ca. 63 % erreichten die Werftarbeiter.

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse für die arbeitstägliche Belastungsdauer durch Knien mit Abstützung in den einzelnen Berufen sind in Abbildung 33 dargestellt.

Auch diese Belastungskategorie konnte in allen untersuchten Berufen beobachtet werden, allerdings liegen die einzelnen Werte gegenüber dem Knien ohne Abstützung hier auf deutlich niedrigerem Niveau: Der höchste P95-Wert liegt bei ca. 31 % (Schweißer).

Weiterhin fällt die Berufsgruppe Schweißer durch den größten Median-Wert (P50 = 24,7 %) für diese Belastungskategorie auf. Dieser hohe Wert sowie die Tatsache, dass der Interquartil-Bereich relativ klein ist (19,7 bis 28,4 %), lassen sich durch das – einzige – untersuchte Tätigkeitsmodul „Schweißen im Behälterbau: Wände einschweißen“ begründen: Die bei dieser Tätigkeit vorliegenden engen räumlichen Verhältnisse bedingen in der Regel ein Arbeiten im abgestützten Knien.

Abbildung 30: Durchschnittliche relative Gesamtdauer der Kniebelastung pro Arbeitsschicht (prozentuale Zeitanteile: Mittelwerte und Standardabweichungen für 16 Berufe; in Klammern: Anzahl der Arbeitsschichten je Beruf; n = 242)

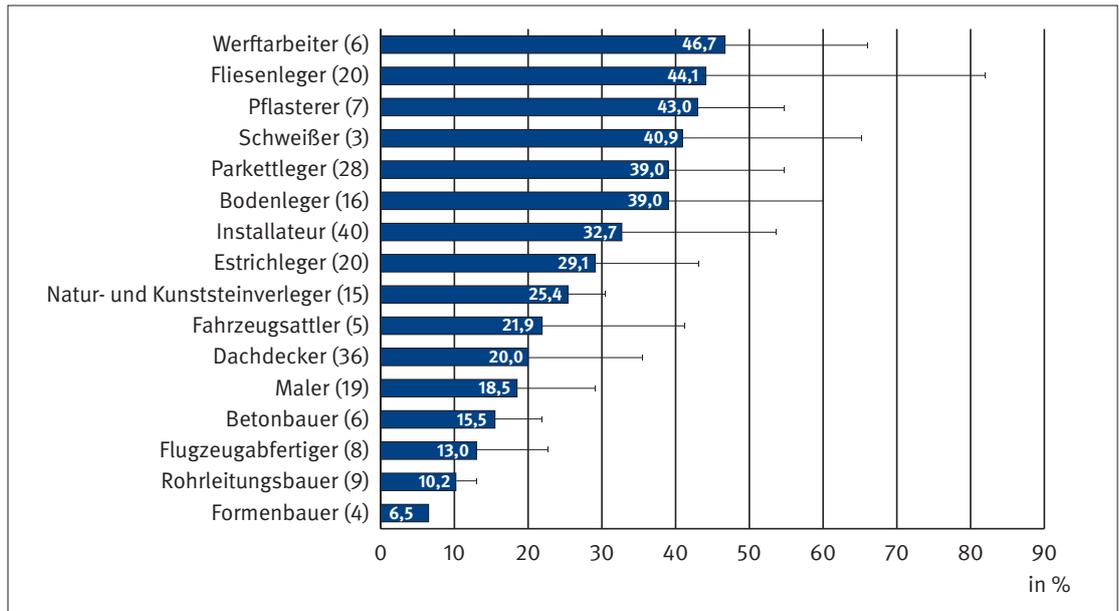


Abbildung 31: Berufsspezifische arbeitstägliche Dauer der untersuchten kniebelastenden Tätigkeiten (prozentuale Zeitanteile pro Arbeitsschicht in 16 Berufen)

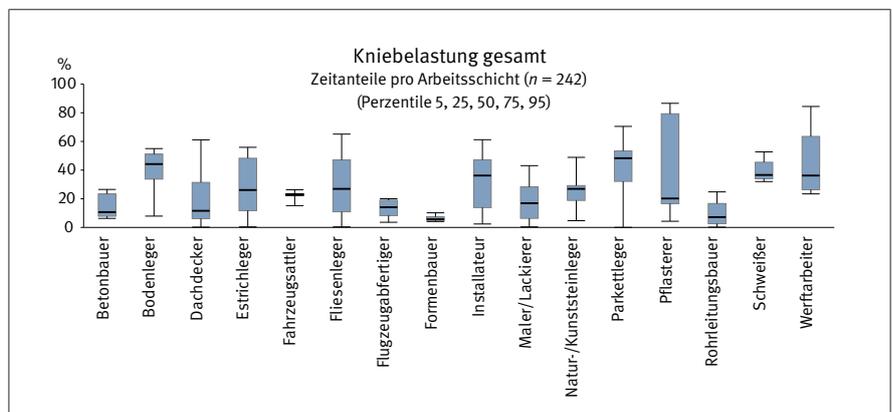
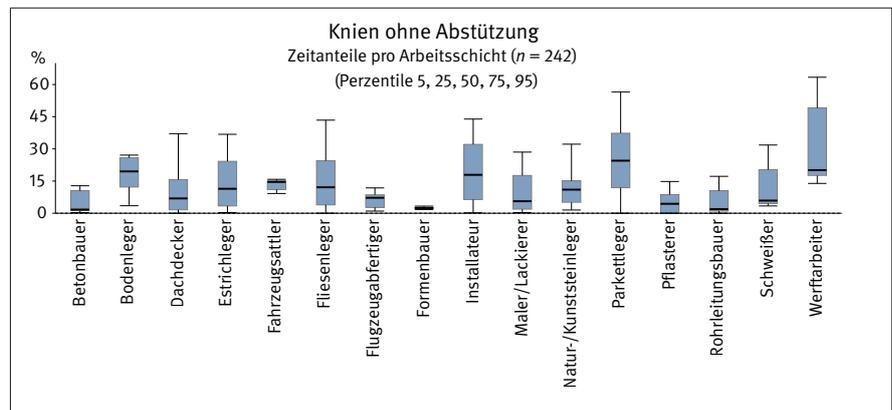


Abbildung 32: Knien ohne Abstützung: Vergleich der arbeitstäglichen Belastungsdauer in 16 Berufen



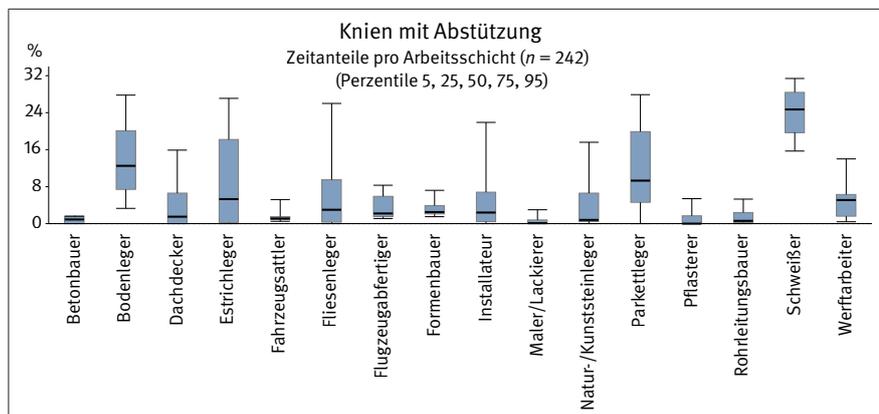


Abbildung 33:
Knien mit Abstützung: Vergleich der arbeitstäglichen Belastungsdauer in 16 Berufen

In den Berufen Bodenleger (P50 = 12,5 %), Parkettleger (P50 = 9,3 %) und Estrichleger (P50 = 5,3 %) wurden ebenfalls relativ hohe Zeitanteile für diese Belastungskategorie gemessen, allerdings weisen die entsprechenden großen Interquartil-Bereiche auf sehr heterogene Tätigkeiten hin. In den Tätigkeitsmodulen der Betonbauer, Fahrzeugsattler, Maler/Lackierer, Pflasterer sowie Rohrleitungsbauer wurde dagegen kaum oder selten im Knien mit Abstützung gearbeitet.

Mit im Mittel nochmals deutlich geringeren arbeitstäglichen Zeitanteilen war auch der Fersensitz in allen untersuchten

Berufsgruppen nachzuweisen: Der maximale P95-Wert von ca. 14 % arbeitstäglichem Zeitanteil fand sich bei den Installateuren (Abbildung 34).

Die größten Zeitanteile (Mediane) im Fersensitz konnten in den Berufen Bodenleger (4,1 %), Werftarbeiter (2,1 %), Parkettleger (2,1 %) sowie Flugzeugabfertiger (2,0 %) gemessen werden. Dagegen spielte diese Haltung in den untersuchten Tätigkeitsmodulen der Berufe Betonbauer (0,1 %), Fahrzeugsattler (0,2 %), Formenbauer (0,3 %) und Pflasterer (0,1 %) keine oder nur eine untergeordnete Rolle.

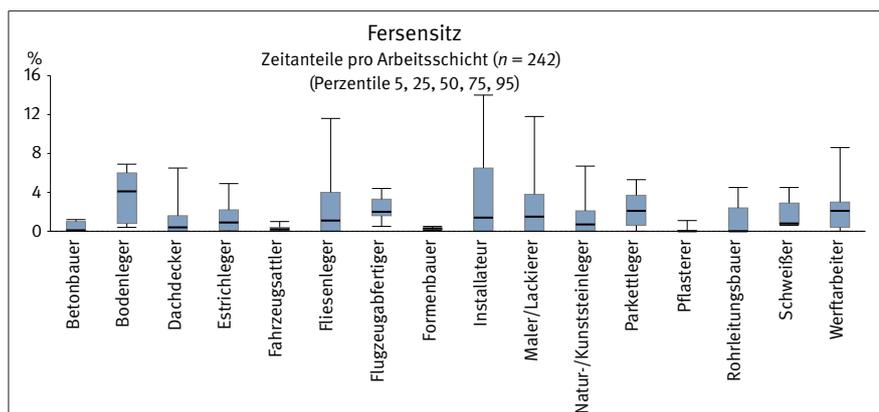


Abbildung 34:
Fersensitz: Vergleich der arbeitstäglichen Belastungsdauer in 16 Berufen

Die Ergebnisse für die Belastungskategorie Hocken (Abbildung 35) werden stark von der Berufsgruppe Pflasterer dominiert (P50 = 9,7 %, P95 = 81,8 %). Dabei lässt der große Interquartil-Bereich (0,4 bis 79,3 %) wiederum die bereits für die Kniebelastung gesamt festgestellten großen Unterschiede zwischen den beiden untersuchten Tätigkeitsmodulen des Pflasterers erkennen.

Schließt man diese Berufsgruppe aus der Auswertung aus, wird deutlich, dass für die restlichen Berufe die Zeitanteile des Hockens in der Größenordnung mit denen des Fersensitzes vergleichbar sind (Abbildung 36). Die höchsten P95-Werte finden sich dann im Bereich von 17 bis 18 % (Maler/Lackierer bzw. Natur- und Kunststeinleger). Die höchsten Medianwerte liegen in den Berufen Betonbauer (6,1 %), Natur- und Kunststeinleger (5,2 %) sowie Werftarbeiter (5,1 %) vor, wobei bei den Betonbauern auffällt, dass die Zeitanteile des Hockens in den beiden untersuchten Tätigkeitsmodulen relativ konstant sind (Interquartil-Bereich 5,6 % bis 6,7 %). In folgenden Berufen war das Hocken kaum von Bedeutung (jeweils Angabe des Medians): Bodenleger (0,4 %), Dachdecker (0,3 %), Estrichleger (0,5 %),

Flugzeugabfertiger (0,1 %), Formenbauer (0,1 %), Parkettleger (0,5 %), Rohrleitungsbauer (0,9 %) und Schweißer (0,2 %).

Wie zuvor beschrieben, stellt Kriechen die seltenste Form der hier untersuchten Kniebelastungen dar (Abbildung 28). Diese Tatsache spiegelt sich auch in den Ergebnissen für die einzelnen Berufe wider (Abbildung 37): Bei fast allen untersuchten Berufen spielen Tätigkeiten im Kriechen keine oder fast keine Rolle, sodass die höchsten P95-Werte im Bereich von 7 bis 8 % Zeitanteil pro Arbeitsschicht liegen.

Zu den Berufen, bei denen in den untersuchten Tätigkeitsmodulen mehr oder weniger regelmäßig Arbeiten im Kriechen auftraten, gehören (in Klammern jeweils Angabe des Medians): Bodenleger (1,5 %), Fahrzeugsattler (1,2 %) und mit Abstrichen auch Flugzeugabfertiger (0,4 %) und Estrichleger (0,0 %). Bei den Bodenlegern sind dies z. B. Schneidarbeiten beim Entfernen des Altbelags und bei den Fahrzeugsattlern Befestigungsarbeiten der zu bearbeitenden Plane am Boden. Die Flugzeug-

abfertiger müssen im relativ niedrigen Gepäckraum des Flugzeugs erst zu ihrem Einsatzort kriechen und bei den Estrichlegern gibt es Dämmarbeiten, bei denen z. B. ein Polyethylen-Folienrand entlang einer Wand im Kriechen befestigt werden

muss. Da letztere Tätigkeit nur eine von vielen untersuchten Estrichlege-Arbeiten darstellt, liegt der Median für alle untersuchten Arbeitsschichten bei 0,0 %, während das 75. Perzentil bei 0,7 % liegt.

Abbildung 35: Hocken: Vergleich der arbeitstäglichen Belastungsdauer in 16 Berufen

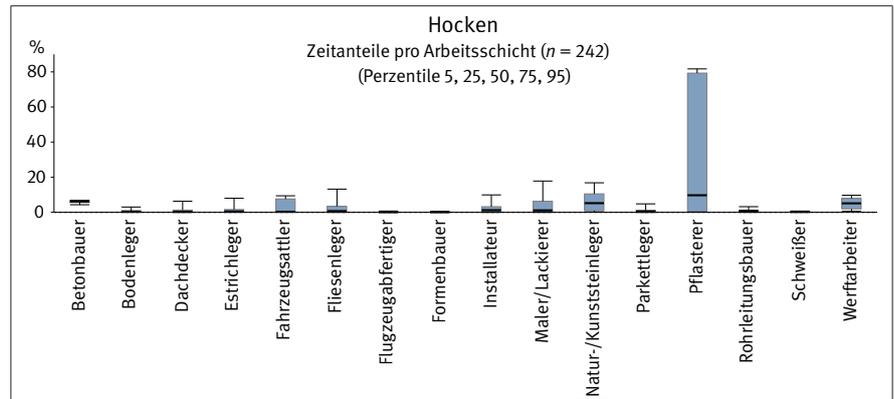


Abbildung 36: Hocken (ohne Pflasterer): Vergleich der arbeitstäglichen Belastungsdauer in 15 Berufen (ohne Pflasterer)

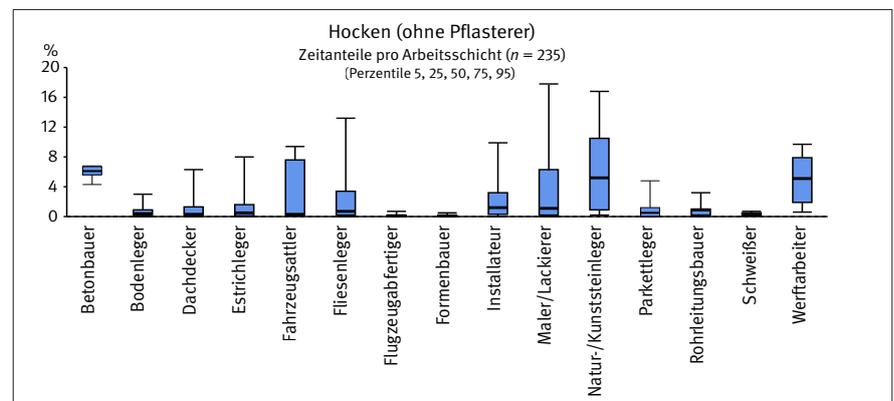
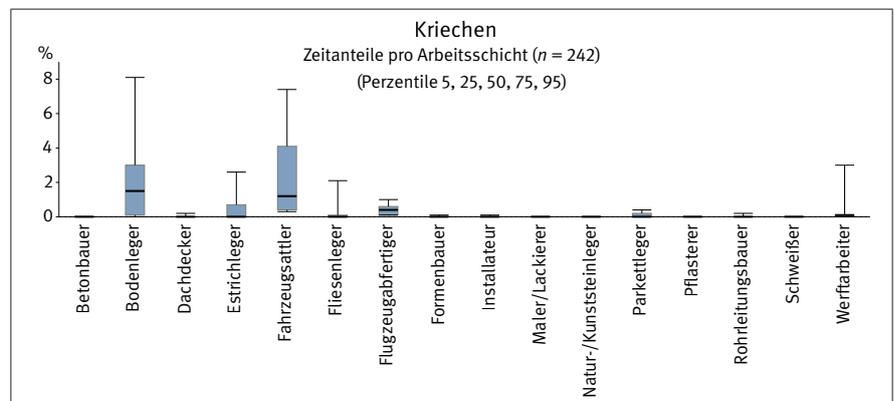


Abbildung 37: Kriechen: Vergleich der arbeitstäglichen Belastungsdauer in 16 Berufen



3.3 Anzahl der Kniebelastungsphasen pro Arbeitsschicht

Neben der arbeitstäglichen Gesamtdauer der Kniebelastung ist auch von Interesse, wie häufig sich die Probanden pro Tag in eine kniebelastende Haltung begeben, d. h. wie oft sie sich hinknien oder hinhocken. Im Folgenden sollen solche Vorgänge als Hinknie- oder Aufstehvorgänge bezeichnet werden, unabhängig davon, ob es sich bei der kniebelastenden Haltung um ein Knien, Hocken oder Kriechen handelt. Eine Kniebelastungsphase beinhaltet alle Haltungen zwischen einem Hinknien und einem Aufstehen. Haltungswechsel zwischen Knien und Hocken, Hocken und Fersensitz o. Ä. werden an dieser Stelle nicht dokumentiert, sondern lediglich Haltungswechsel zwischen Stehen/

Gehen/Sitzen und einer kniebelastenden Haltung (Knien mit und ohne Abstützung, Fersensitz, Hocken, Kriechen).

In Abbildung 38 ist die durchschnittliche Anzahl der Hinknie-Vorgänge pro Arbeitsschicht für alle untersuchten Berufe als Balkendiagramm mit Mittelwerten und Standardabweichungen dargestellt. Große Standardabweichungen zeigen auch hier wieder die Heterogenität der Arbeitsinhalte in den untersuchten Tätigkeitsmodulen. Die Ergebnisse lassen unterschiedliche Werte für die einzelnen Berufe erkennen, die von 20 Vorgängen (Flugzeugabfertiger) bis 384 Vorgängen (Betonbauer) pro Arbeitsschicht reichen. Der Mittelwert über alle Berufe liegt bei 158 ± 93 Vorgängen pro Arbeitsschicht. In neun von 16 Berufen liegt die Anzahl der Kniebelastungsphasen zwischen 100 und 200 arbeitstäglichen Vorgängen. Weniger Vorgänge waren bei

den Rohrleitungsbauern (87), Schweißern (63), Formenbauern (27) und Flugzeugabfertigern (20) zu registrieren, mehr arbeitstägliche Kniebelastungsphasen bei den Natur- und Kunststeinlegern (209), den Fahrzeugsattlern (304) und den Betonbauern (384).

Abbildung 39 vergleicht die Anzahl der Kniebelastungsphasen pro Arbeitsschicht mit der Gesamtdauer der Kniebelastung pro Arbeitsschicht in den einzelnen Berufen.

Abbildung 38:
Durchschnittliche Anzahl der Hinknie-Vorgänge pro Arbeitsschicht für 16 Berufe
(in Klammern: Anzahl der Arbeitsschichten je Beruf; n = 242)

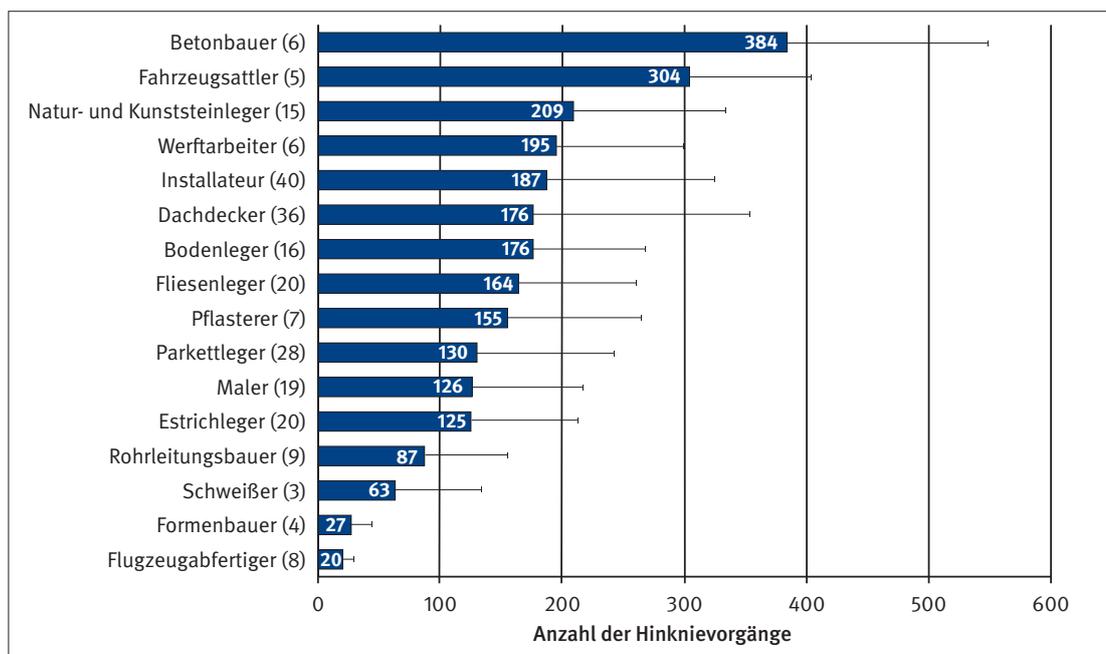
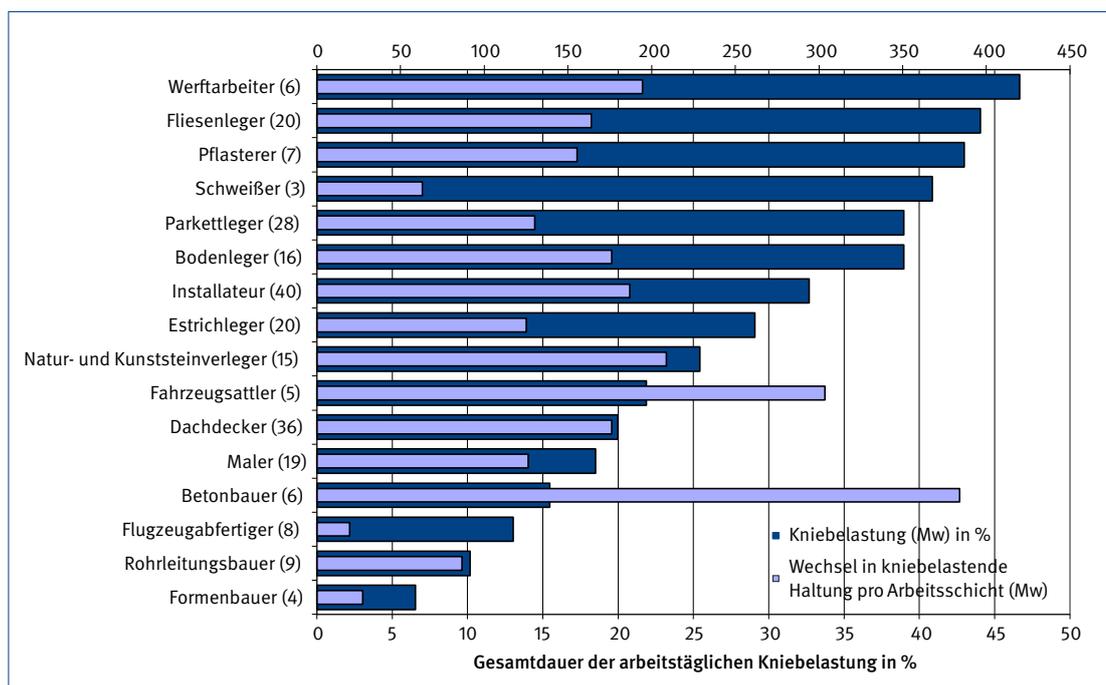


Abbildung 39:
Vergleich zwischen durchschnittlicher arbeitstäglicher Gesamtdauer der Kniebelastung in % und durchschnittlicher Anzahl der Hinknie-Vorgänge für 16 Berufe (in Klammern: Anzahl der Arbeitsschichten je Beruf; n = 242)



Es kann zwischen Berufen, in denen über längere Zeit konstant in kniebelastenden Haltungen gearbeitet wird (z. B. Fliesenleger, Parkettleger, Schweißer, Werftarbeiter), und Berufen, in denen die Kniebelastungsphasen relativ häufig durch Aufstehvorgänge unterbrochen werden (z. B. Betonbauer, Fahrzeugsattler, ach-decker, Rohrleitungsbauer, Natur- und Kunststeinleger), unterschieden werden.

3.4 Dauer der einzelnen Kniebelastungsphasen

Die durchschnittliche Dauer der in Abschnitt 3.3 genannten Kniebelastungsphasen für die untersuchten Tätigkeitsmodule der einzelnen Berufe ist in Abbildung 40 wiedergegeben. Die mit weitem Abstand längsten Kniebelastungsphasen wurden in der Berufsgruppe Schweißer gemessen: Die durchschnittliche Verweildauer in kniebelastender Haltung lag hier bei 13,5 min und damit etwa um das Zehnfache höher als der Mittelwert über alle untersuchten Arbeitsschichten von $1,4 \pm 1,5$ min.

Auch die übrigen Ergebnisse unterstreichen die bei der Untersuchung der Anzahl der Kniebelastungsphasen pro Arbeitsschicht gewonnenen Erkenntnisse: Berufe mit vielen Hinknie-Vorgängen zeigen relativ kurze durchschnittliche Kniebelastungsphasen, z. B. Betonbauer ($0,2 \pm 0,2$ min), Fahrzeugsattler ($0,4 \pm 0,6$ min) oder Rohrleitungsbauer ($0,7 \pm 1,0$ min). Dagegen liegen in Berufen mit einer geringen Anzahl an Kniebelastungsphasen deren durchschnittliche Zeitdauern vergleichsweise höher, neben Schweißern z. B. auch Flugzeugabfertiger ($2,8 \pm 3,0$ min) oder Fliesenleger ($2,0 \pm 2,5$ min).

Tabelle 5 zeigt die statistischen Kennwerte der Dauer der Kniebelastungsphasen bezogen auf die untersuchten Tätigkeitsmodule und Sonderfälle. Zur Verdeutlichung der Unterschiede zwischen den einzelnen Berufsgruppen sind auf der Basis der Mittelwerte für die Tätigkeitsmodule/Sonderfälle neben Mittelwert und Standardabweichung auch Minima und Maxima angegeben. Es wird ersichtlich, dass die hohen Werte für die Schweißer auch durch den kleinen Messumfang (drei Probanden) und das Messen eines einzigen Tätigkeitsmoduls bedingt sind. Hohe Werte für die mittlere Dauer einzelner Kniebelastungsphasen sind bei Betrachtung der Maxima auch bei den Dachdeckern (9,1 min) und den Fliesenlegern (5,3 min) zu erkennen.

Betrachtet man anstelle der über die verschiedenen Tätigkeitsmodule gemittelten Dauern der Kniebelastungsphasen die jeweils in einer untersuchten Arbeitsschicht maximal erreichte Zeitdauer einer solchen Phase, so ergibt sich die in Abbildung 41 dargestellte Verteilung. Aus dem Diagramm lässt sich z. B. ablesen, dass in 65 Arbeitsschichten (= 26,9 %) die maximal gemessene Dauer einer Kniebelastungsphase unter zwei Minuten lag. Unter vier Minuten lagen noch 43,0 %, unter sechs Minuten noch 59,5 % aller Arbeitsschichten. In 11 Arbeitsschichten (4,6 %) konnten maximale Kniebelastungsphasen von über 20 Minuten Dauer gemessen werden. Diese Arbeitsschichten sind mit Angabe von Beruf und Tätigkeitsmodul in Tabelle 6 aufgeführt. Die längste gemessene Kniebelastungsphase lag bei 40,5 min (Parkettleger, Stabparkett verlegen) und war gleichzeitig der einzige Messwert über 40 min. Unter den elf Maximalwerten befanden sich Arbeitsschichten der Berufe Parkettleger (3), Fliesenleger (3), Dachdecker (2), Schweißer (1), Estrichleger (1) und Flugzeugabfertiger (1).

Abbildung 40:
Durchschnittliche Dauern der einzelnen Kniebelastungsphasen in 16 Berufen
(Mw, Stabw.; in Klammern: Anzahl der Arbeitsschichten je Beruf; n = 242)

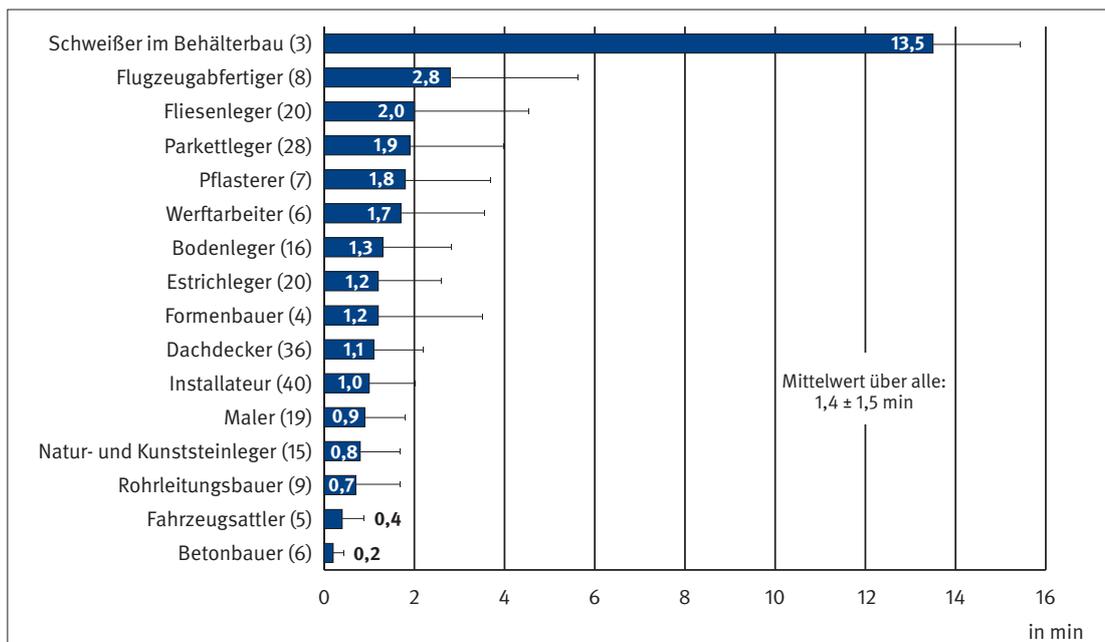


Tabelle 5:
Statistische Kennwerte zur Dauer einzelner Kniebelastungsphasen
(bezogen auf die untersuchten Tätigkeitsmodule/„Sonderfälle“; Zeitangaben in Minuten)

Beruf	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Anzahl Module/ Sonderfälle	Anzahl Probanden
Betonbauer	0,2	0,2	0,2	0,2	2	6
Bodenleger	1,3	1,5	0,8	1,6	4	16
Dachdecker	1,1	1,2	0,2	9,1	14	36
Estrichleger	1,2	1,5	0,5	2,0	7	20
Fahrzeugsattler	0,4	0,6	-	-	1	5
Fliesenleger	2,0	2,5	0,8	5,3	8	20
Flugzeugabfertiger	2,8	3,0	2,1	3,2	2	8
Formenbauer	1,2	2,2	-	-	1	4
Installateur	1,0	1,1	0,2	1,9	12	40
Maler	0,9	0,9	0,3	1,4	7	19
Natur- und Kunststeinleger	0,8	1,0	0,3	2,2	5	15
Parkettleger	1,9	2,1	0,2	3,8	7	28
Pflasterer	1,8	2,0	0,0	2,9	3	7
Rohrleitungsbauer	0,7	1,0	0,0	1,5	4	9
Schweißer (im Behälterbau)	13,5	1,9	-	-	1	3
Werftarbeiter	1,7	1,8	0,4	2,4	3	6

Abbildung 41:
Maximale Dauer einer Kniebelastungsphase in 242 untersuchten Arbeitsschichten
(Zeitdauern in Zwei-Minuten-Klassen)

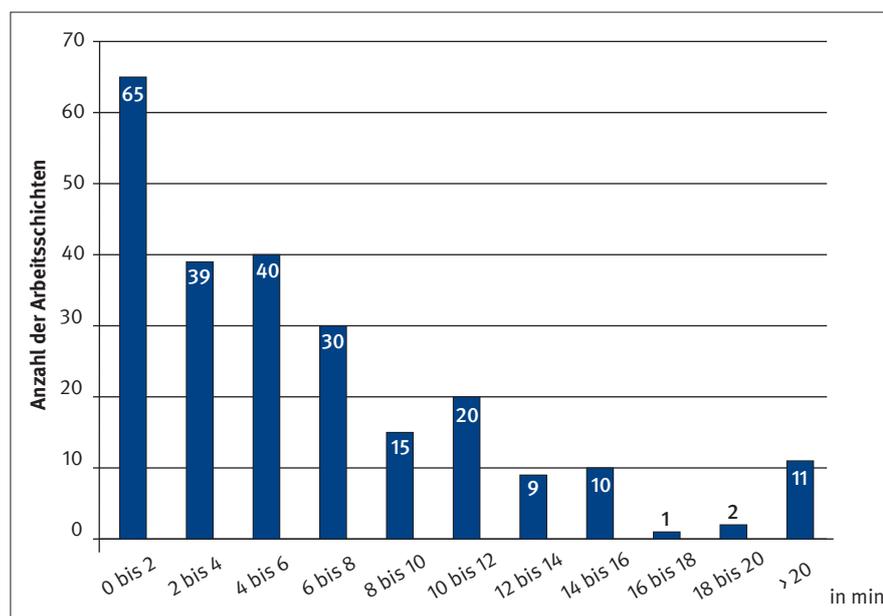


Tabelle 6:
Arbeitsschichten mit Kniebelastungsphasen von über 20 Minuten Dauer ($n = 11$)

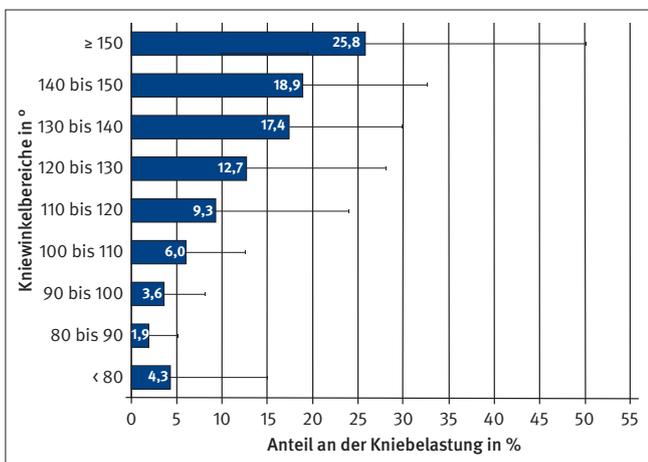
Beruf	Tätigkeitsmodul	Maximale Dauer einer Kniebelastungsphase in min
Parkettleger	Stabparkett verlegen	40,5
Schweißer	Wände einschweißen (Behälterbau)	34,3
Parkettleger	Schleifen und Verkitten	31,2
Fliesenleger	Bodenfliesen ausfugen	30,8
Estrichleger	Zementestrich glätten (3-Mann)	30,7

Beruf	Tätigkeitsmodul	Maximale Dauer einer Kniebelastungsphase in min
Dachdecker	Flachdach: Anschluss mit Flüssigfolie	30,4
Fliesenleger	Bodenfliesen ausfugen	28,6
Dachdecker	Flachdach: Anschluss mit Flüssigfolie	26,1
Fliesenleger	Wandfliesen verlegen (Dünnbett)	24,2
Parkettleger	Schleifen und Verkitten	24,1
Flugzeugabfertiger	Abfertigen von Standardrumpfflugzeugen	22,7

3.5 Kniewinkelbereiche während der Kniebelastungsphasen

Neben der Art und Dauer der jeweiligen Kniebelastung lassen sich aus den Messdaten auch die jeweils in einer bestimmten Haltung eingenommenen Kniewinkel bestimmen. Abbildung 42 zeigt die durchschnittlichen prozentualen Anteile von Kniewinkelbereichen an der Gesamt-Kniebelastung über alle untersuchten Arbeitsschichten. Dazu wurde die Kniebelastung gesamt als Referenz-Dauer mit 100 % festgelegt und die Zeitan-teile in den verschiedenen Kniewinkelbereichen, die während kniebelastender Phasen eingenommen wurden, relativ zu dieser Referenzdauer in Prozent angegeben. Dargestellt sind die in der Summe auf 100 % normierten Mittelwerte der Prozentanteile pro Arbeitsschicht inklusive Standardabweichung.

Abbildung 42:
Durchschnittliche Anteile verschiedener Kniewinkelbereiche an der Gesamt-Kniebelastung (= 100 %; Mittelwerte und Standardabweichungen über 242 Arbeitsschichten; Knie rechts)



Aus der Grafik geht hervor, dass bei knapp der Hälfte (44,7 %) aller gemessenen Kniebelastungen ein „endgradiger“ Kniewinkel von 140° und mehr eingenommen wurde (die Werte für die einzelnen untersuchten Tätigkeitsmodule und Sonderfälle finden sich in Anhang 18). Etwa 75 % der kniebelastenden

Haltungen zeigten noch Kniewinkelwerte über 120°. Dagegen machten die Kniewinkelbereiche um 90 ± 10° nur etwa 5 % der Dauer in kniebelastenden Haltungen aus.

3.6 Symmetrie der Kniebelastung

Wenn man davon ausgeht, dass bei beidbeinigem Knien, Fersensitz und Hocken die Belastung beider Kniegelenke weitestgehend identisch ist, zeigen sich Unterschiede in der Kniebelastung beider Beine in erster Linie im einbeinigen Knien: Ein Kniegelenk erfährt durch den Bodenkontakt in diesem Fall eine höhere biomechanische Belastung als das andere. Abbildung 43 zeigt – zusammengefasst für die untersuchten Berufe – das Vorkommen einbeinigen Knien als mittlere prozentuale Zeitan-teile pro Schicht, jeweils getrennt für das rechte und das linke Kniegelenk. Die über alle 242 untersuchten Arbeitsschichten gemittelten arbeitstäglichen Zeitan-teile für einbeiniges Knien lagen bei 4,4 ± 7,4 % (rechtes Knie) bzw. bei 2,6 ± 6,7 % (linkes Knie) und waren signifikant unterschiedlich ($p = 0,0051$).

Die höchsten durchschnittlichen Zeitan-teile im einbeinigen Knien (rechts bzw. links) zeigten die Berufe Werftarbeiter (3,6 bzw. 9,2 %), Installateur (8,3 bzw. 4,3 %), Fahrzeugsattler (6,4 bzw. 3,9 %) und Dachdecker (4,4 bzw. 4,0 %); die geringsten Zeitan-teile wurden für die Berufe Schweißer (0,3 bzw. 0,2 %), Flugzeugabfertiger (0,5 bzw. 0,5 %), Rohrleitungsbauer (0,3 bzw. 1,8 %) und Estrichleger (1,1 bzw. 1,4 %) gemessen.

Neben den reinen Zeitan-teilen einbeinigen Knien sind auch die jeweiligen prozentualen Anteile an der Gesamt-Kniebelastung für die einzelnen Berufe interessant (Abbildung 44). Aus dieser Auswertung geht hervor, dass die untersuchten Formenbauer etwa drei Viertel (72,7 %) ihrer kniebelastenden Tätigkeiten einbeinig ausführen. Auch die Berufe Fahrzeugsattler (47,0 %), Dachdecker (42,0 %), Betonbauer (39,6 %), Installateur (38,7 %) und Maler (38,4 %) weisen relativ hohe Anteile einbeinigen Knien auf. Dagegen hatte das einbeinige Knien bei Schweißern (1,2 %), Flugzeugabfertigern (8,0 %), Estrichlegern (8,6 %) und Bodenlegern (8,9 %) nur einen geringen Anteil an der Gesamt-Kniebelastung.

Abbildung 43:
 Durchschnittliche arbeitstägliche Dauer des einbeinigen Kniens (rechts und links),
 prozentuale Zeitanteile für 16 Berufe (in Klammern: Anzahl der Arbeitsschichten; n = 242)

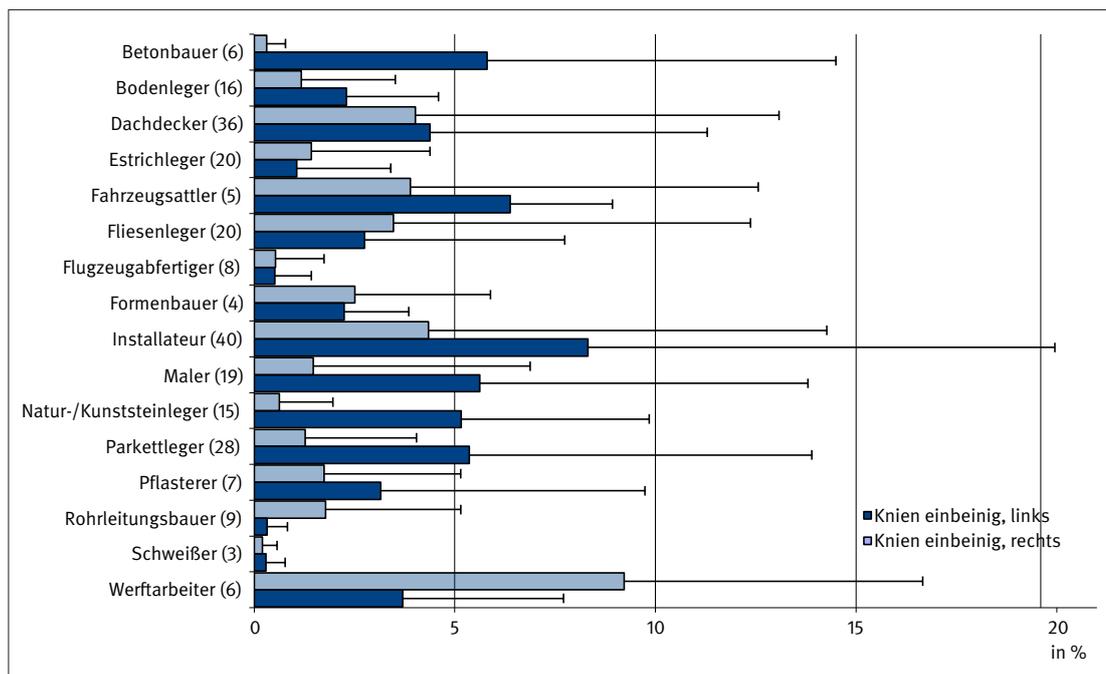
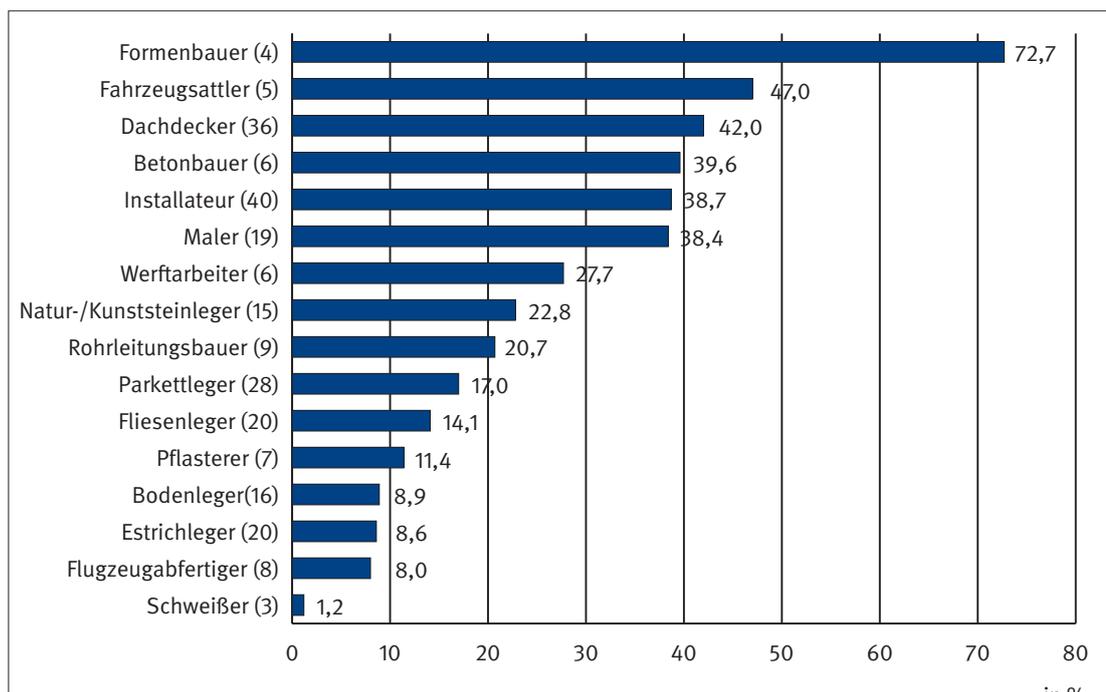


Abbildung 44:
 Durchschnittliche Anteile einbeinigen Kniens an der Gesamt-Kniebelastung
 (= 100 %) in den untersuchten Berufen (in Klammern: Anzahl der Arbeitsschichten je Beruf; n = 242)



Teil B: Methodenvergleich

Für den Vergleich der Ergebnisse aus Messung, Befragung Qt_0 und Befragung Qt , war zu klären, welche statistischen Methoden geeignet sind. Dazu wurde ein Test auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test) durchgeführt, der für alle drei Variablen

und alle Haltungen ein negatives Ergebnis lieferte (siehe Anhang 19). Dementsprechend wurden für den Methodenvergleich der Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test) und die Korrelationsberechnung nach Spearman verwendet, die keine normal verteilten Daten voraussetzen.

3.7 Vergleich: Selbsteinschätzung Qt_0 vs. Messung

Für den Vergleich zwischen den Messdaten und der Selbsteinschätzung der Probanden zu ihrer Kniebelastung zum Zeitpunkt t_0 standen insgesamt Angaben von 190 Probanden zur Verfügung (siehe Abschnitt 2.12).

Bezüglich der Frage zum Vorkommen von Kniebelastungen allgemein (ja/nein-Kategorie) stimmte das Ergebnis der Befragung mit dem der Messung zu 100 % überein, mit Hinblick auf das Vorkommen einzelner Formen der Kniebelastung lagen die prozentualen Übereinstimmungen zwischen 67,4 und 90,0 % (Tabelle 7).

Tabelle 7:
Vergleich Messung M – Befragung Qt_0 : Prozentuale Übereinstimmungen bezüglich des Vorkommens kniebelastender Haltungen (ja/nein-Kategorien)

Art der Kniebelastung	Übereinstimmungen zwischen M und Qt_0 in %
Knien ohne Abstützung	90,0
Knien mit Abstützung	85,8
Fersensitz	71,6
Hocken	67,4
Kriechen	73,2
Kniebelastung gesamt	100,0

Hinsichtlich der Dauer dieser Kniebelastungen gab es dagegen deutliche Unterschiede (siehe Tabelle 8). Die Mediane der Dauer der einzelnen Kniebelastungsformen sind für die Messdaten zwei- bis vierfach niedriger als für die entsprechenden Befragungsergebnisse. Für die durchschnittliche geschätzte Dauer der Kniebelastung gesamt liegt der Median etwa doppelt so hoch wie für die Messergebnisse (60,0 zu 32,7 min). Darüber hinaus gibt es auch Übereinstimmungen zwischen beiden Methoden in den Kategorien Fersensitz und Kriechen. Der Medianwert für Kriechen ist bei beiden Methoden Null, was

Tabelle 8:
Vergleich Messung – Befragung Qt_0 : Mediane, Mittelwerte und Standardabweichungen (Stabw.) für die Dauern der einzelnen kniebelastenden Haltungen in Minuten; n = 190

Art der Kniebelastung	Median (Min bis Max) in min		Mittelwert (\pm Stabw.) in min	
	Messung	Qt_0	Messung	Qt_0
Knien ohne Abstützung	15,3 (0 bis 125)	20,0 (0 bis 1 064)	20,9 (\pm 20,3)	52,8 (\pm 116,6)
Knien mit Abstützung	2,9 (0 bis 73)	11,0 (0 bis 1 200)	9,2 (\pm 14,3)	44,9 (\pm 115,1)
Fersensitz	1,4 (0 bis 58)	1,5 (0 bis 360)	4,2 (\pm 6,8)	16,7 (\pm 46,0)
Hocken	0,9 (0 bis 93)	2,5 (0 bis 300)	5,0 (\pm 11,5)	17,3 (\pm 37,8)
Kriechen	0,0 (0 bis 7)	0,0 (0 bis 900)	0,2 (\pm 0,9)	19,2 (\pm 90,5)
Kniebelastung gesamt	32,7 (0 bis 147)	60,0 (0 bis 2 200)	39,3 (\pm 32,3)	152,2 (\pm 279,4)

auf das seltene Vorkommen dieser Kniebelastungsform im Untersuchungskollektiv hindeutet.

Bei Betrachtung der arithmetischen Mittelwerte zeigen sich weitaus deutlichere Unterschiede zwischen Mess- und Befragungsdaten: Teilweise liegen die Werte für die Messdaten um das Drei- bis Fünffache niedriger als für die Fragebogen-Daten, für das Kriechen sogar um das 96-Fache. Die durchschnittlich geschätzte Kniebelastung gesamt liegt ca. vierfach höher als der durchschnittliche Messwert. Demnach scheint die Dauer der einzelnen Kniebelastungen von den Probanden im Durchschnitt deutlich überschätzt zu werden, insbesondere das Kriechen.

Die gegenüber den arithmetischen Mittelwerten deutlich niedrigeren Medianwerte für die Befragung weisen auf ein starke „Streuung“ der Fragebogendaten hin. Ein Vergleich der Standardabweichungen für die mittels der beiden Methoden gewonnenen Daten bestätigt diesen Hinweis: Die Befragungsdaten weisen eine weitaus höhere Varianz als die Messdaten auf. Für die Kniebelastung gesamt liegt die Standardabweichung für die Befragung ca. neunmal höher als für die Messung (279,4 gegenüber 32,3 min). Die starke Streuung der Daten ist grafisch in Anhang 20 veranschaulicht. Das Bestimmtheitsmaß R^2 liegt bei 0,09 und zeigt somit eine sehr schlechte Übereinstimmung an.

In Tabelle 9 sind die statistischen Kennwerte für die absoluten und relativen Abweichungen zwischen den für jedes Individuum mit beiden Methoden ermittelten Werten bezüglich der Kniebelastung gesamt abgebildet. Im arithmetischen Mittel unterscheiden sich die geschätzten und gemessenen Zeiten der Gesamtkniebelastung um $120,9 \pm 268,6$ min bzw. $465,8 \pm 1 152,8$ %. Dabei wurde jeweils nur der Betrag, aber nicht die Richtung der Abweichungen berücksichtigt.

Ergänzend zu diesen statistischen Kennwerten sind in Abbildung 45 die relativen Abweichungen der Befragungsdaten gegenüber den Messdaten für die Kniebelastung gesamt in Klassen dargestellt. Demnach finden sich lediglich sieben Übereinstimmungen (Abweichung: 0 %) in den Wertepaaren, während genau die Hälfte der Probanden mit ihren Einschätzungen um mehr als 100 % von den Messwerten abwichen, davon 22 Probanden sogar mehr als 1 000 %.

Tabelle 9:
Vergleich Messung – Befragung Qt_0 : absolute und relative Abweichungen für die Kniebelastung gesamt; $n = 190$

Statistische Kennwerte	Absolute Abweichung $M - Qt_0$ in min	Relative Abweichung $M - Qt_0$ in %
Mittelwert	120,9	465,8
Standardabweichung	268,6	1 152,8
Median	28,1	101,9
Minimum	0,0	0,0
Maximum	2 112,7	11 900,0

Abbildung 45:
Vergleich Messung – Befragung Qt_0 : relative Abweichungen für die Gesamt-Kniebelastung (in Klassen; $n = 190$)

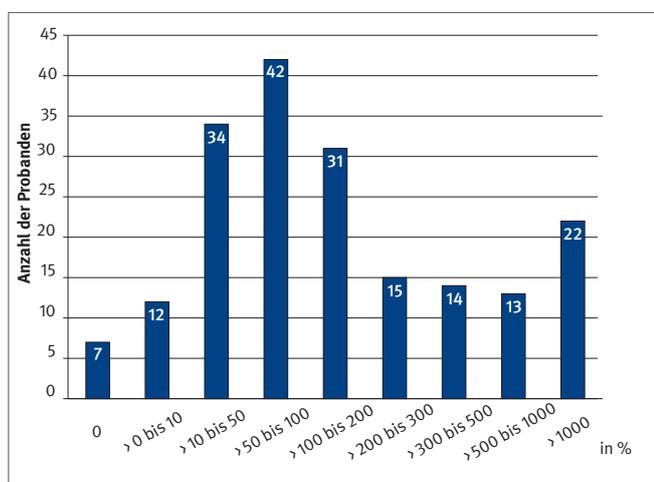


Tabelle 10:
Vergleich zwischen Messung und Befragung Qt_0 : Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test und der Korrelationsberechnung nach Spearman ($n = 190$)

Haltungen	Wilcoxon-Test		Spearman's Rangkorrelationskoeffizient				
	p	Signifikanz	ρ	p	Signifikanz	95%-KI	
						von	bis
Knie ohne Abstützung	= 0,0001	***	0,554	< 0,0001	***	0,447	0,646
Knie mit Abstützung	< 0,0001	***	0,632	< 0,0001	***	0,538	0,711
Fersensitz	< 0,0001	***	0,417	< 0,0001	***	0,292	0,528
Hocken	< 0,0001	***	0,399	< 0,0001	***	0,272	0,512
Kriechen	< 0,0001	***	0,424	< 0,0001	***	0,300	0,534
Kniebelastung gesamt	< 0,0001	***	0,630	< 0,0001	***	0,535	0,708

Abbildung 46 a) zeigt den Bland-Altman-Plot der Kniebelastung gesamt für alle 190 Probanden. Da einige Extremwerte aus der Befragung den Maßstab der Darstellung etwas verzerren, ist zur Veranschaulichung in Abbildung 46 b) die gleiche Auswertung unter Ausschluss von acht Extremwerten dargestellt (bei den Extremwerten handelt es sich um Datenpaare, bei denen der Qt_0 -Wert für die Kniebelastung gesamt über 1 000 min lag). Insgesamt traten beim Vergleich der absoluten Ergebnisse aus Befragung Qt_0 und Messung hinsichtlich der Kniebelastung gesamt 142 Überschätzungen (74,7 %), 38 Unterschätzungen (20,0 %) und 10 Übereinstimmungen (5,3 %) auf.

Die Ergebnisse des Wilcoxon-Tests für gepaarte Stichproben bestärken die aus den deskriptiven Statistiken abgeleiteten Unterschiede zwischen beiden Datenreihen. Dieser zur Überprüfung der Signifikanz der Übereinstimmung beider Verteilungen durchgeführte Test zeigt als Ergebnis höchst signifikante Unterschiede für alle untersuchten Einzelhaltungen sowie für die Kniebelastung gesamt (Tabelle 10).

Die Berechnung von Spearman's Rangkorrelationskoeffizienten (ρ) ergab für die einzeln untersuchten Haltungen Werte zwischen 0,399 (Hocken) und 0,632 (Knie mit Abstützung) und somit geringe bis mittlere Korrelationen (Tabelle 10). Für die Gesamt-Kniebelastung wird der Zusammenhang zwischen Mess- und Qt_0 -Ergebnissen als moderat eingestuft ($\rho = 0,630$).

Die Ergebnisse aus Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test und Korrelationsberechnung geben keine Auskunft über das Schätzverhalten der Probanden hinsichtlich Über- oder Unterschätzung sowie den Einfluss der Expositionshöhe auf das Schätzverhalten. Diese Informationen können aus den Graphen der Bland-Altman-Plots für die einzelnen Kniebelastungsformen abgelesen werden. Bei diesem Verfahren werden die Mittelwerte aus den einzelnen Datenpaaren $((M + Qt_0)/2)$ gegen die Differenz aus beiden Werten $(M - Qt_0)$ aufgetragen.

Die durchschnittliche Verzerrung (mean) wird bei dieser Darstellungsform als Gerade parallel zur x-Achse abgebildet. Werte unterhalb der x-Achse stellen bei diesem Vergleich eine Überschätzung der Belastungsdauer durch die Befragten dar, Werte oberhalb der x-Achse eine Unterschätzung (vergleiche auch Abschnitt 2.14).

Diese Werte lassen sich auch in Abbildung 46 erkennen: Die auf der y-Achse positiven Werte stellen Unterschätzungen, die negativen Werte Überschätzungen dar. Darüber hinaus ist der Abbildung zu entnehmen, dass im Bereich fehlender oder geringer Exposition (Punkte nahe Nullbereich der x-Achse) die Übereinstimmung zwischen Abschätzung und Messung relativ gut ist (Punkte nahe Nullbereich der y-Achse), während sich mit ansteigender Exposition (sdauer) die Übereinstimmung zwischen beiden Methoden immer weiter verschlechtert. Dies äußert sich in einem fächerartigen Auseinanderdriften der Datenpunkte vom Nullpunkt der y-Achse weg.

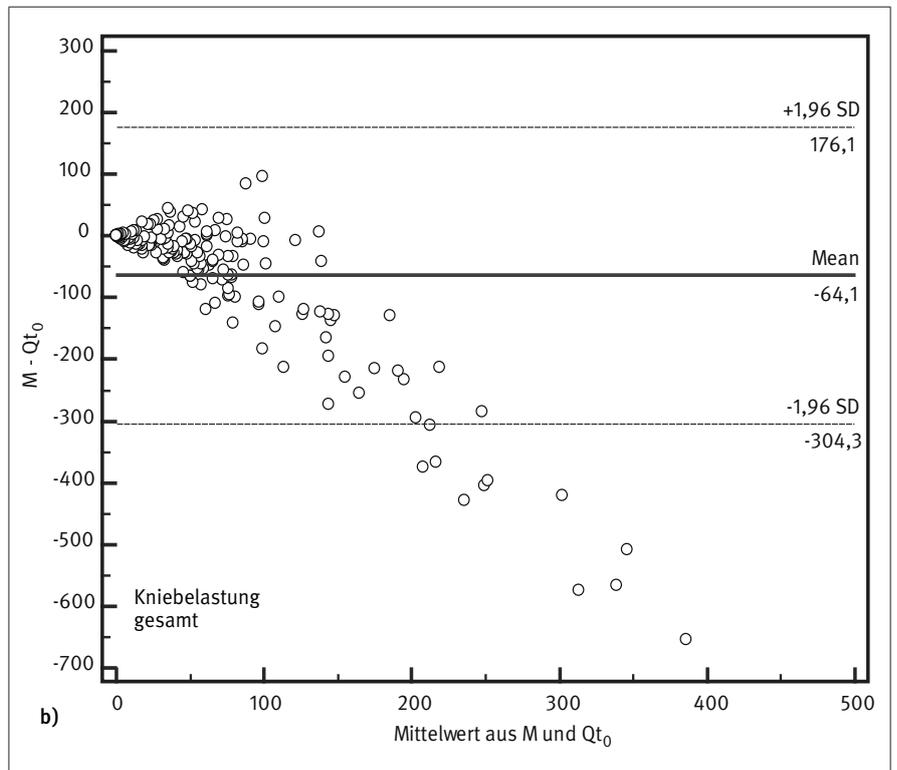
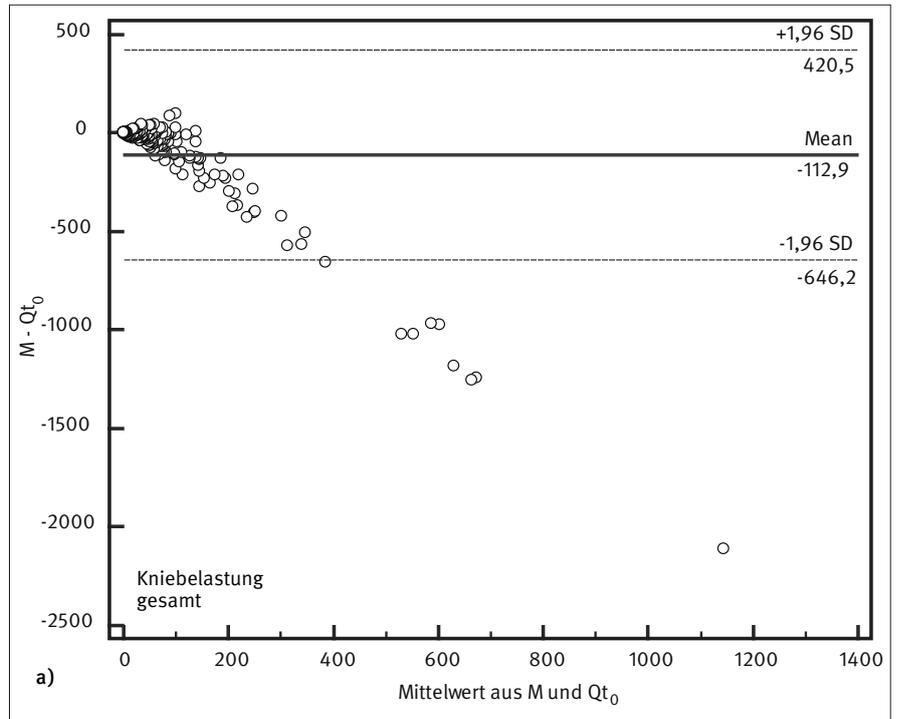


Abbildung 46:
Vergleich Messung – Befragung Qt_0 : Bland-Altman-Plot für die Kniebelastung gesamt;
a) $n = 190$; b) $n = 182$: ohne acht „Extremwerte“ mit $Qt_0 > 1\,000$ min; Angaben in Minuten

Die Darstellung verdeutlicht, dass sowohl Unter- als auch Überschätzungen vorkamen, wobei die Überschätzungen deutlich überwogen. Dies zeigt auch der negative Wert der Verzerrung (mean) von -112,9 min bzw. -64,1 min. Bei Betrachtung der Übereinstimmungsgrenzen ($\pm 1,96$ SD), die bei einer hinreichend symmetrischen Verteilung der Differenzen 95 % der Werte umfassen, fallen die sehr großen Wertebereiche von -646,5 bis 420,5 min bzw. -304,3 min bis 176,1 min auf.

Außer für die Kniebelastung gesamt liegen diese Auswertungen auch für die einzelnen Kniebelastungsformen Knien ohne Abstützung (Abbildung 47), Knien mit Abstützung (Abbildung 48), Fersensitz (Abbildung 49), Hocken (Abbildung 50) und Kriechen (Abbildung 51) vor, ebenfalls der anschaulicheren Darstellung wegen zum Teil unter Ausschluss von wenigen Extremwerten (Angabe jeweils in der Abbildungsbeschriftung).

Mit einer Ausnahme – dem Kriechen – ergeben sich für die einzelnen Kniebelastungsformen jeweils gleich interpretierbare Punktwolken wie für die Kniebelastung gesamt: Die Verzerrung nimmt bei allen Vergleichen einen negativen Wert im Sinne einer

durchschnittlichen Überschätzung an und die Übereinstimmungsgrenzen zeigen jeweils Abschätzungen von mindestens einer Stunde (Unter- und Überschätzung). Bei geringer Exposition finden sich gute Übereinstimmungen zwischen beiden Methoden, mit steigender Exposition verschlechtert sich die

Übereinstimmung und es sind sowohl Über- als auch Unterschätzungen der Exposition zu beobachten; dabei überwiegen die Überschätzungen. Beim Kriechen dagegen wurde die Dauer in allen Fällen überschätzt, was auf das seltene Vorkommen und die relativ kurzen Phasen des Kriechens zurückzuführen ist.

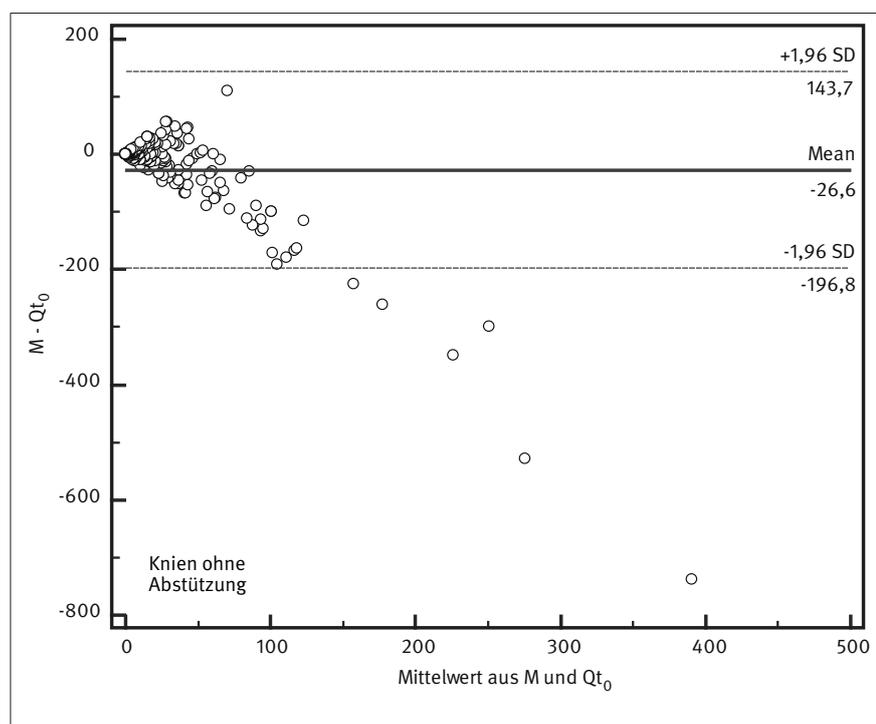


Abbildung 47:
Vergleich Messung – Befragung Qt_0 : Bland-Altman-Plot für Knien ohne Abstützung ($n = 189$: ohne einen „Extremwert“ mit $Qt_0 > 1000$ min; Angaben in Minuten)

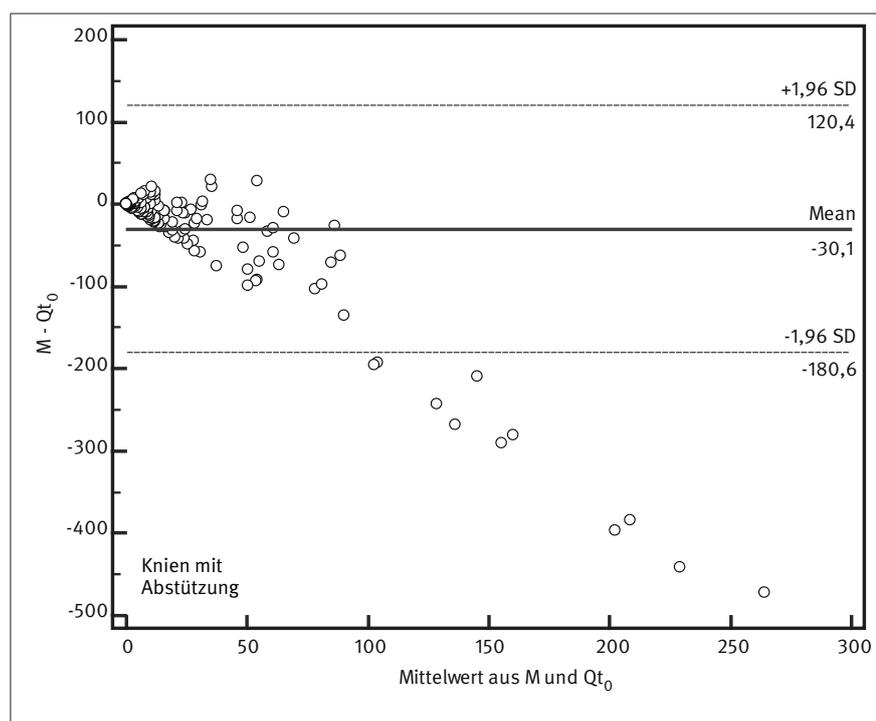


Abbildung 48:
Vergleich Messung – Befragung Qt_0 : Bland-Altman-Plot für Knien mit Abstützung ($n = 189$: ohne einen „Extremwert“ mit $Qt_0 > 1000$ min; Angaben in Minuten)

Abbildung 49:
Vergleich Messung – Befragung Qt_0 :
Bland-Altman-Plot für Fersensitz
($n = 190$; Angaben in Minuten)

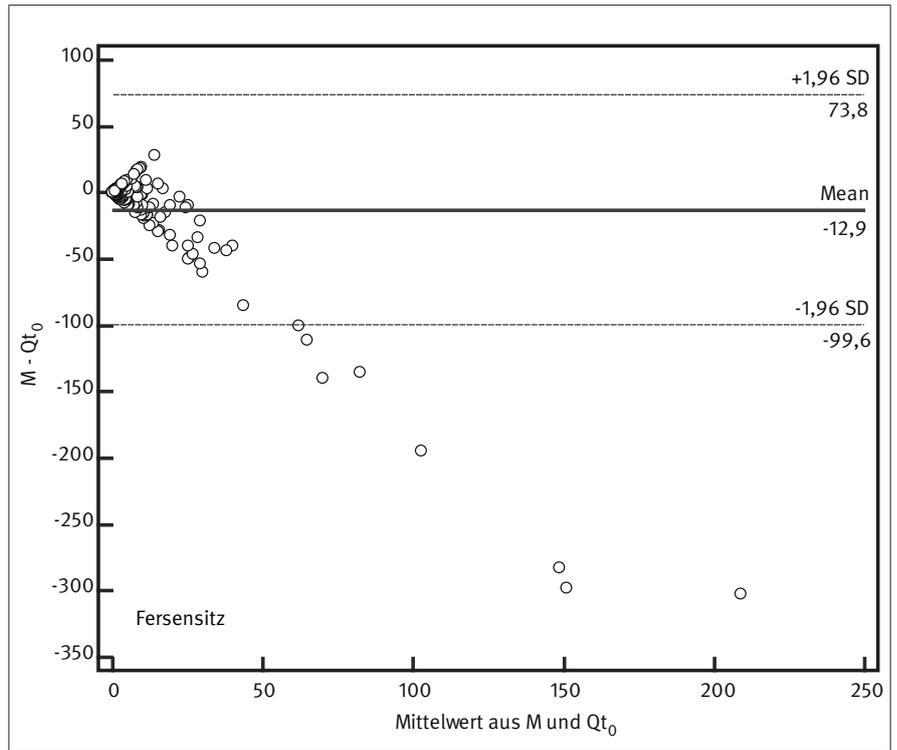
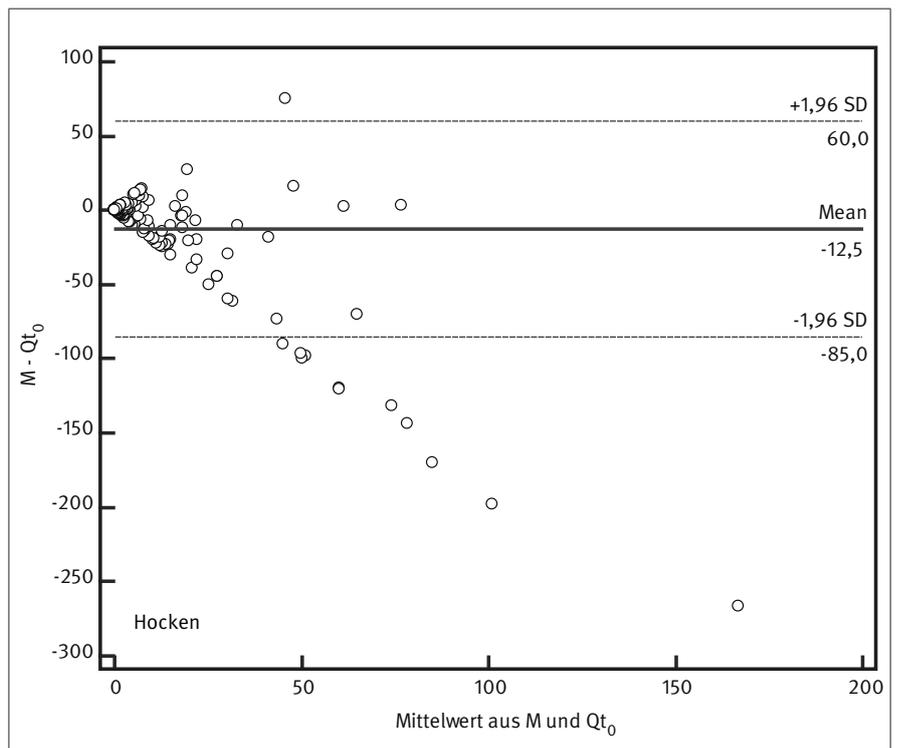


Abbildung 50:
Vergleich Messung – Befragung Qt_0 :
Bland-Altman-Plot für Hocken
($n = 190$; Angaben in Minuten)



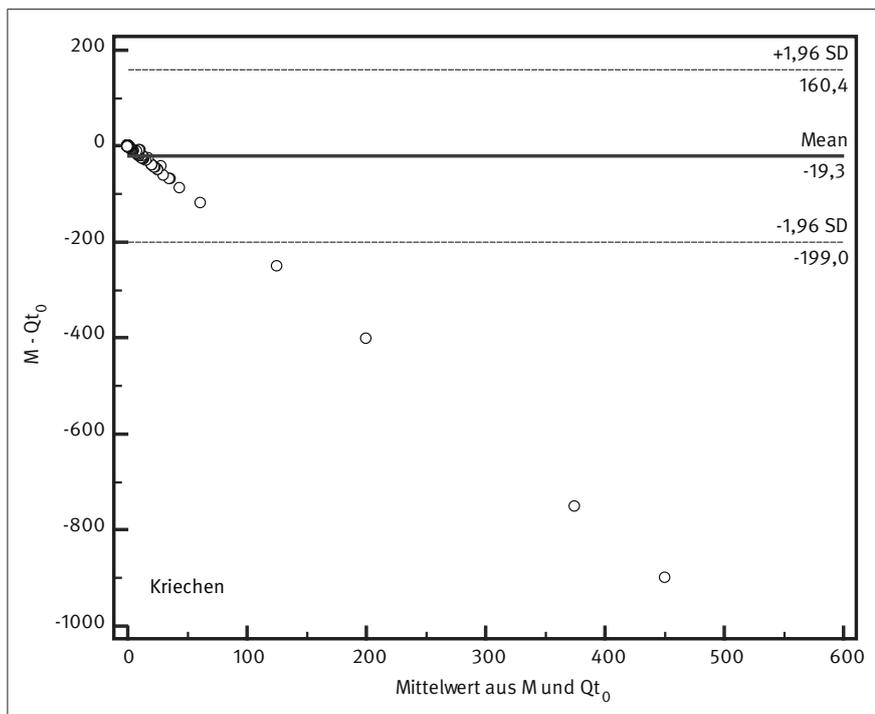


Abbildung 51:
Vergleich Messung – Befragung Q_{t_0} ;
Bland-Altman-Plot für Kriechen ($n = 190$;
Angaben in Minuten)

3.7.1 Subanalyse zum Methodenvergleich

Insgesamt gaben in der Befragung Q_{t_0} 64 Probanden (33,7 %) eine Dauer ihrer Kniebelastung an, die über der Gesamtdauer der Messung und somit über der Referenzperiode lag. Ein Vergleich der Eigenschaften dieser 64 Probanden („Extrem-Überschätzer“) mit denen der übrigen 126 Probanden ergab keine auffälligen Unterschiede hinsichtlich Alter, Berufserfahrung, Beruf oder eingesetztem Messtechniker, sodass dieser Effekt der Überschätzung nicht auf einen bestimmten Personenkreis beschränkt zu sein scheint (Anhang 21). Ein Unterschied könnte allenfalls in dem etwas höheren Anteil von Probanden mit Kniebeschwerden in den letzten 12 Monaten in der Gruppe der „Extrem-Überschätzer“ gegenüber den übrigen Probanden gesehen werden (56,4 gegenüber 44,4 %). Um eine eventuell durch diesen Effekt hervorgerufene Verzerrung der Ergebnisse zu erkennen, wurde eine Subanalyse unter Ausschluss dieser 64 Probanden durchgeführt. In Tabelle 11 sind die unterschiedlichen Ergebnisse für die Abschätzung der Kniebelastung gesamt in der Subanalyse ($n = 126$) im Vergleich zu den Ergebnissen des Gesamtkollektivs dargestellt.

Demnach überschätzten 78 Probanden (61,9 %) die Dauer ihrer Kniebelastung, 38 Probanden (30,2 %) unterschätzten diese und 10 Probanden (7,9 %) konnten sie genau abschätzen.

Tabelle 11:
Subanalyse: Vergleich der Abschätzung der Kniebelastung gesamt zum Zeitpunkt t_0

Einschätzung der Kniebelastung gesamt	alle Probanden $n = 190$		Probanden mit $Q_{t_0} < \text{Messdauer}$ $n = 126$	
	absolut	Anteil in %	absolut	Anteil in %
Überschätzungen	142	74,7	78	61,9
Übereinstimmungen	10	5,3	10	7,9
Unterschätzungen	38	20,0	38	30,2

Gegenüber den Ergebnissen des Gesamtkollektivs hat sich in erster Linie die Anzahl der Überschätzungen verringert, die dennoch weiterhin deutlich überwiegen.

Die Regressionsanalyse ergibt für das Subkollektiv zwar ein besseres Ergebnis als für das Gesamtkollektiv, allerdings muss der Zusammenhang zwischen beiden Variablen ebenfalls als schlecht bezeichnet werden ($R^2 = 0,413$, siehe Abbildung 52).

Die Korrelationsberechnung nach *Spearman* ergab in der Subanalyse für die Kniebelastung gesamt einen Korrelationskoeffizienten von 0,754 ($p < 0,0001$, 95 %-CI 0,667 bis 0,821), was einer hohen Korrelation entspricht. Das Ergebnis des Wilcoxon-Tests für gepaarte Stichproben zeigt, dass die Unterschiede zwischen beiden Methoden dennoch höchst signifikant sind ($p = 0,0002$).

Auch das entsprechende Bland-Altman-Diagramm der Subanalyse ist hinsichtlich des Auftretens von Über- und Unterschätzungen sowie des Anstiegs der Fehleinschätzungen mit steigender Exposition vergleichbar mit dem für die Gesamt-Probandenzahl (Abbildung 53). Allerdings ist der Wert für die Verzerrung mit -9,1 min gegenüber der Verzerrung für das Gesamtkollektiv deutlich geringer, da die extremen Überschätzungen entfallen. Die Übereinstimmungsgrenzen reichen von -69,5 bis 51,3 min.

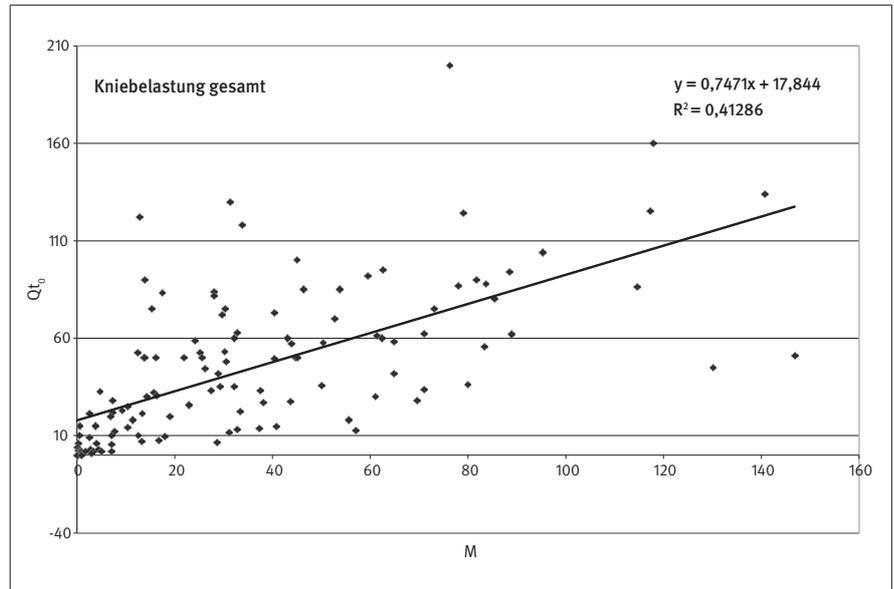


Abbildung 52:
Subanalyse: Regression und Bestimmtheitsmaß R^2 für Messung M mit Befragung Qt_0 (Kniebelastung gesamt; $n = 126$; Angaben in Minuten)

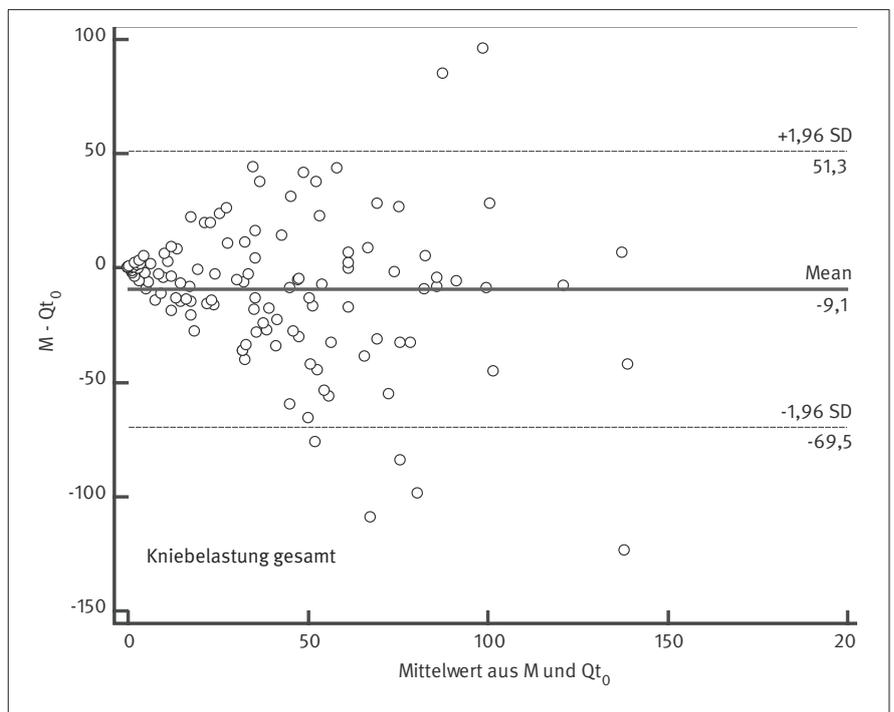


Abbildung 53:
Subanalyse: Vergleich Messung – Befragung Qt_0 (Bland-Altman-Plot für die Kniebelastung gesamt; $n = 126$; Angaben in Minuten)

3.8 Vergleich: Selbsteinschätzung Qt_1 vs. Messung

Für den Vergleich der Ergebnisse aus Messung und Befragung Qt_1 standen Daten von insgesamt 125 Probanden zur Verfügung (siehe Abschnitt 2.13). Ein Vergleich auf das reine Vorkommen kniebelastender Haltungen gesamt (ja/nein-Kategorie) ergab eine Übereinstimmung von 95,2 % zwischen beiden Methoden, während die prozentualen Übereinstimmungen für die einzelnen Kniebelastungsformen zwischen 57,6 und 87,2 % lagen (Tabelle 12). Die statistischen Kennwerte für die Dauer der Kniebelastungen nach beiden Methoden sind in Tabelle 13 abgebildet. Insgesamt kann die bereits aus Befragung Qt_0 bekannte Beobachtung vielfach höherer Mediane, Mittelwerte und Standardabweichungen für alle Kniebelastungsformen in den Fragebogendaten gegenüber den Messdaten bestätigt werden. Der Median der

Kniebelastung gesamt aus Befragung Qt_1 liegt z. B. etwa um das Dreifache höher als der entsprechende Mittelwert der Messdaten (105,0 zu 33,9 min).

Tabelle 12:
Vergleich Messung M – Befragung Qt_1 : Prozentuale Übereinstimmungen bezüglich des Vorkommens kniebelastender Haltungen (ja/nein-Kategorien)

Art der Kniebelastung	Übereinstimmungen zwischen M und Qt_1 in %
Knie ohne Abstützung	87,2
Knie mit Abstützung	81,6
Fersensitz	76,8
Hocken	67,2
Kriechen	57,6
Kniebelastung gesamt	95,2

Tabelle 13:

Vergleich Messung – Befragung Qt₁; Mediane, Mittelwerte und Standardabweichungen (Stabw.) für die Dauern der einzelnen kniebelastenden Haltungen in Minuten; n = 125

Art der Kniebelastung	Median (Min bis Max) in min		Mittelwert (± Stabw.) in min	
	Messung	Qt ₁	Messung	Qt ₁
Knien ohne Abstützung	17,2 (0 bis 125)	20,0 (0 bis 1 400)	22,8 (± 21,7)	76,4 (± 194,2)
Knien mit Abstützung	2,6 (0 bis 73)	25,0 (0 bis 18 000)	10,5 (± 15,9)	316,3 (± 1 795,2)
Fersensitz	1,8 (0 bis 58)	11,0 (0 bis 18 000)	4,5 (± 7,6)	193,8 (± 1 607,5)
Hocken	0,8 (0 bis 79)	6,0 (0 bis 2 000)	4,5 (± 10,2)	54,4 (± 204,5)
Kriechen	0,0 (0 bis 7)	2,0 (0 bis 9 000)	0,3 (± 1,0)	121,7 (± 822,9)
Kniebelastung gesamt	33,9 (0 bis 147)	105,0 (0 bis 39 850)	42,6 (± 34,5)	762,6 (± 3 977,0)

Bei den Einzelbelastungen sind die Abweichungen teilweise noch deutlicher: Fersensitz wurde in der Befragung im Median etwa um das Sechsfache überschätzt, Knien mit Abstützung etwa um das Zehnfache. Beim Knien ohne Abstützung konnte dagegen eine weitgehende Übereinstimmung zwischen Befragung und Messung beobachtet werden (Median: 20,0 zu 17,2 min).

Der Vergleich der Mediane für beide Methoden zeigt auch hier die starke Streuung der Befragungsdaten sowie das Vorhandensein hoher Extremwerte, die die arithmetischen Mittelwerte stark beeinflussen: Der Vergleich der arithmetischen Mittelwerte zeigte für die verschiedenen Einzelbelastungen z. T. etwa um das 400-Fache erhöhte Werte der Befragungs- gegenüber den Messdaten (Kriechen). Für die Kniebelastung gesamt liegt der Mittelwert aus den Fragebogendaten etwa 18-fach höher als der entsprechende Wert für die Messdaten (762,6 zu 42,6 min).

Der Vergleich der Standardabweichungen beider Methoden für alle Kniebelastungsformen bestätigt die bereits vermutete starke Streuung der Qt₁-Daten: Für die Kniebelastung gesamt liegt die Standardabweichung der Befragungsdaten etwa 115-fach höher als die der Messdaten (3 977,0 gegenüber 34,5 min).

Die starke Streuung der Daten ist im Anhang 22 grafisch dargestellt. Das Bestimmtheitsmaß R² liegt bei 0,03 und zeigt somit eine sehr schlechte Übereinstimmung an, was sich selbst nach Ausschluss von neun Extremwerten nicht wesentlich ändert (R² = 0,08).

Tabelle 14 zeigt die statistischen Kennwerte für die absoluten und relativen Abweichungen (Beträge) zwischen beiden Methoden für die Kniebelastung gesamt.

Im arithmetischen Mittel unterscheiden sich die geschätzten und gemessenen Zeiten der Gesamt-Kniebelastung um 724,2 ± 3 986,9 min bzw. 2 431,0 ± 8 991,7 %. Aufgrund der bereits angesprochenen Extremwerte (Qt₁-Maximum bei 39 744,0 min!) liefert der Vergleich der Median-Werte hier aussagekräftigere Ergebnisse: Hier unterscheiden sich beide Methoden um 59,3 min bzw. 191,2 %.

In Abbildung 54 sind die relativen Abweichungen der Qt₁-Daten gegenüber den Messdaten für die Kniebelastung gesamt in Klassen dargestellt. Aus der Abbildung geht hervor, dass in den Daten lediglich drei Übereinstimmungen (Abweichung: 0 %) zu

finden sind, während 79 von 125 Probanden mit ihren Einschätzungen um mehr als 100 % von den Messwerten abwichen, davon 26 Probanden sogar mehr als 1 000 %.

Für den Vergleich der Ergebnisse aus Messung und Befragung Qt₁ ergab der Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben bis auf eine Ausnahme höchst signifikante Unterschiede für die einzelnen Haltungen (Tabelle 15).

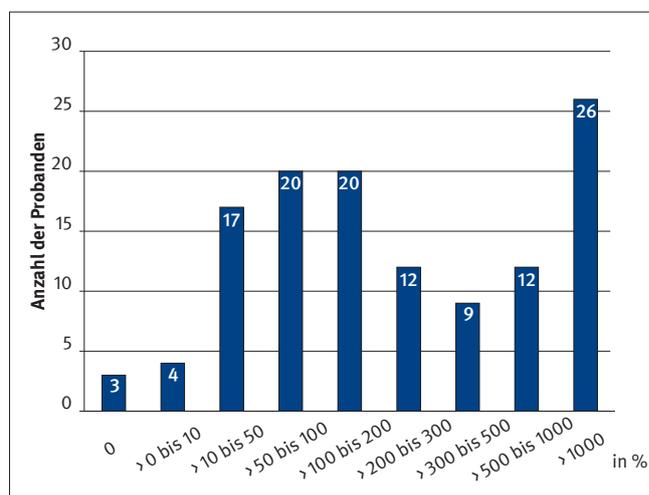
Tabelle 14:

Vergleich Messung – Befragung Qt₁; Absolute und relative Abweichungen für die Kniebelastung gesamt; n = 125

Statistische Kennwerte	Absolute Abweichung M-Qt ₁ in min	Relative Abweichung M-Qt ₁ in %
Mittelwert	724,2	2 431,0
Standardabweichung	3 986,9	8 991,7
Median	59,3	191,2
Minimum	0,0	0,0
Maximum	39 744,0	67 500,0

Abbildung 54:

Vergleich Messung – Befragung Qt₁; Prozentuale Abweichungen für die Kniebelastung gesamt (in Klassen; n = 125)



3 Ergebnisse

Tabelle 15:

Vergleich zwischen Messung und Befragung Qt_1 ;

Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test und der Korrelationsberechnung nach Spearman ($n = 125$)

Haltungen	Wilcoxon-Test		Spearman's Rangkorrelationskoeffizient				
	p	Signifikanz	ρ	p	Signifikanz	95%-KI	
						von	bis
Knie ohne Abstützung	= 0,0160	*	0,281	= 0,0007	***	0,111	0,435
Knie mit Abstützung	< 0,0001	***	0,542	< 0,0001	***	0,405	0,655
Fersensitz	< 0,0001	***	0,317	= 0,0002	***	0,149	0,466
Hocken	< 0,0001	***	0,328	< 0,0001	***	0,161	0,476
Kriechen	< 0,0001	***	0,233	= 0,0013	**	0,060	0,392
Kniebelastung gesamt	< 0,0001	***	0,433	< 0,0001	***	0,279	0,566

Lediglich der Unterschied für das Knie ohne Abstützung ist als (einfach) signifikant einzustufen. Der Zusammenhang zwischen beiden Methoden ist nach Berechnung des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman mit Ausnahme des Knies mit Abstützung ($\rho = 0,542$, mittlere Korrelation) für alle anderen untersuchten Haltungen als gering einzustufen. Trägt man die Mittelwerte der Qt_1 - und Messwerte für die Kniebelastung gesamt gegen ihre Differenzen auf, erhält man das in Abbildung 55 a) dargestellte Bland-Altman-Diagramm. Abbildung 55 b) zeigt zur Veranschaulichung das gleiche Diagramm nach Ausschluss von neun Extremwerten, bei denen der Qt_1 -Wert über 1000 min lag.

Wie beim Vergleich zwischen Befragung Qt_0 und Messung sind auch hier die guten Übereinstimmungen bei fehlender bzw. geringer Exposition, das „Auseinanderdriften“ der Diagrammpunkte mit steigender Exposition sowie das Vorkommen von Unter- und Überschätzungen bei klarer Dominanz des Überschätzens zu erkennen. Die Verzerrung liegt jeweils im negativen Bereich (-720,1 bzw. -104,4 min) und die Übereinstimmungsgrenzen liegen bei -8 535,9 min und 7 095,8 min bzw. -407,8 und 199,0 min. Insgesamt erbrachte der Vergleich der Ergebnisse der Selbsteinschätzungen Qt_1 und der Messungen 109 Überschätzungen (87,2 %), 13 Unterschätzungen (10,4 %) und drei Übereinstimmungen (2,4 %).

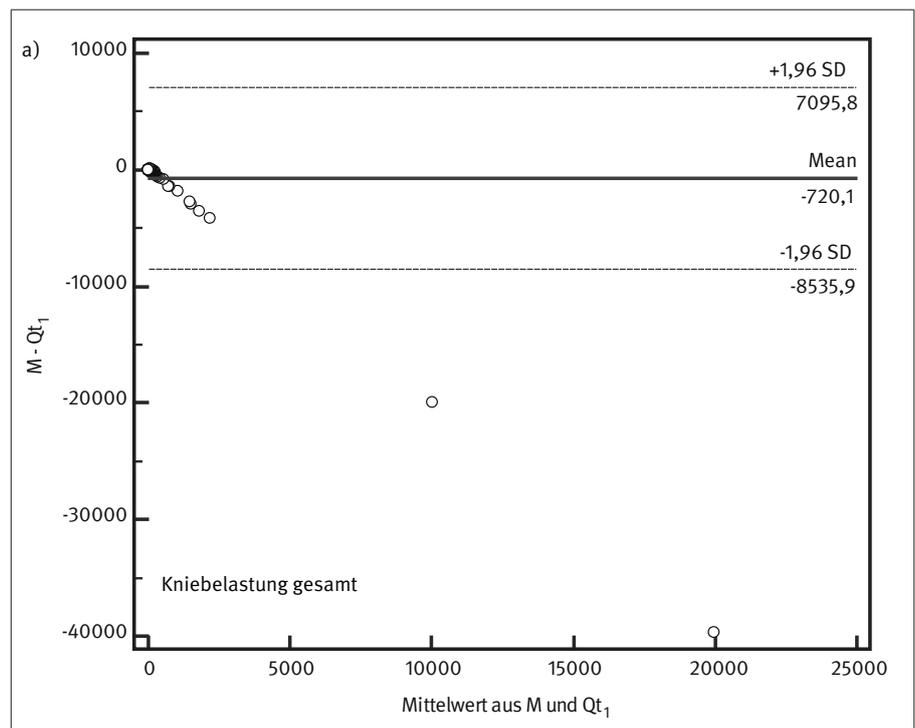


Abbildung 55a:

Vergleich Messung – Befragung Qt_1 ; Bland-Altman-Plot für die Kniebelastung gesamt; $n = 125$; $Qt_1 > 1000$ min; Angaben in Minuten

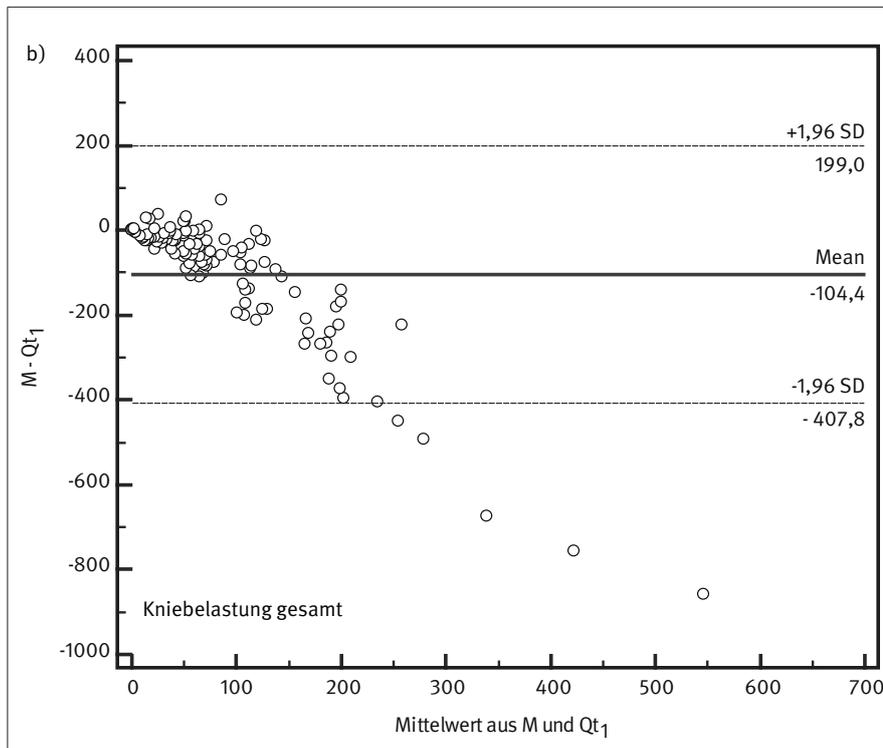


Abbildung 55b: Vergleich Messung – Befragung Qt₁; Bland-Altman-Plot für die Kniebelastung gesamt; n = 116: ohne neun „Extremwerte“ mit Qt₁ > 1 000 min; Angaben in Minuten

3.9 Vergleich: Selbsteinschätzung Qt₀ vs. Selbsteinschätzung Qt₁

Für den Vergleich der Ergebnisse aus beiden Befragungen (Qt₀ und Qt₁) standen Daten von 125 Probanden zur Verfügung. Die statistischen Kennwerte für die absoluten und relativen Abweichungen (Beträge) zwischen beiden Befragungen zur Kniebelastung gesamt sind in Tabelle 16 dargestellt.

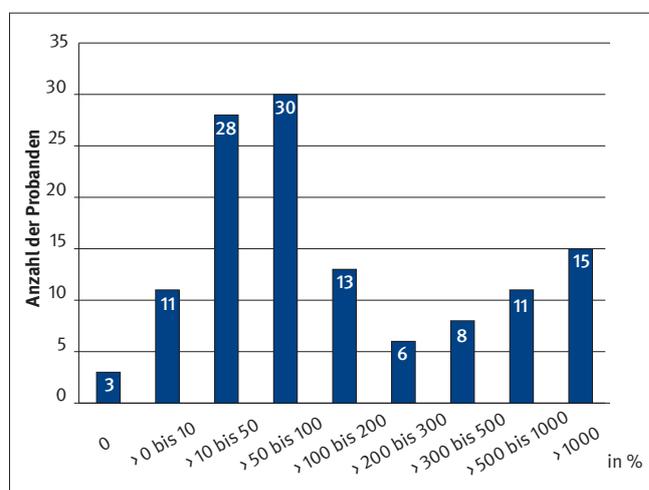
Die Ergebnisse beider Befragungen weichen hinsichtlich der Kniebelastung gesamt im Mittel um 738,9 ± 3 953,9 bzw. 738,3 ± 3 067,5 % voneinander ab. Die in Klassen eingeteilten relativen Abweichungen zwischen beiden Methoden sind in Abbildung 56 dargestellt. Wie dem Diagramm zu entnehmen ist, schätzten drei Probanden die Dauer ihrer Kniebelastung in beiden Befragungen gleich ein, während 69 Probanden in der zweiten Befragung bis 100 % von ihrer ersten Schätzung abwichen und 53 Probanden mehr als 100 %, davon 15 mehr als 1 000 %.

Tabelle 16: Vergleich Befragung Qt₀ – Befragung Qt₁; Absolute und relative Abweichungen für die Kniebelastung gesamt; n = 125

Statistische Kennwerte	Absolute Abweichung Qt ₁ -Qt ₀ in min	Relative Abweichung Qt ₁ -Qt ₀ in %
Mittelwert	738,9	738,3
Standardabweichung	3 953,9	3 067,5
Median	64,4	87,4
Minimum	0,0	0,0
Maximum	39 460,0	31 797,9

Der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test ergab höchst signifikante Unterschiede zwischen den Ergebnissen beider Befragungen (p = 0,0004) und die Berechnung des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman lässt lediglich eine geringe Korrelation zwischen beiden Datenreihen erkennen (ρ = 0,490; p < 0,0001; CI (95 %) von 0,344 bis 0,613). Das entsprechende Bland-Altman-Diagramm zum Vergleich beider Befragungen hinsichtlich der Kniebelastung gesamt zeigt, dass die Befragungsergebnisse bei niedriger Exposition relativ gut übereinstimmen (Abbildung 57 a) bzw. Abbildung 57 b) nach Ausschluss von neun Extremwerten, bei denen das Qt₁-Ergebnis über 1 000 min lag). Es ist weiterhin zu erkennen, dass die Abweichungen etwa ab einem Mittelwert der Kniebelastung aus beiden Befragungen von 100 min stärker werden. Nach Ausschluss der genannten Extremwerte nimmt die Verzerrung einen Wert von -11,1 min an.

Abbildung 56: Vergleich Befragungen Qt₀ – Qt₁; Prozentuale Abweichungen für die Kniebelastung gesamt (in Klassen; n = 125)



3 Ergebnisse

Insgesamt überschätzten 80 Probanden (64,0 %) in der zweiten Befragung ihre Gesamt-Kniebelastung gegenüber ihren Angaben in der ersten Befragung, bei drei Probanden (2,4 %) stimmten

die Ergebnisse überein und 42 Probanden (33,6 %) gaben in der zweiten Befragung eine geringere Kniebelastung als in der ersten Befragung an.

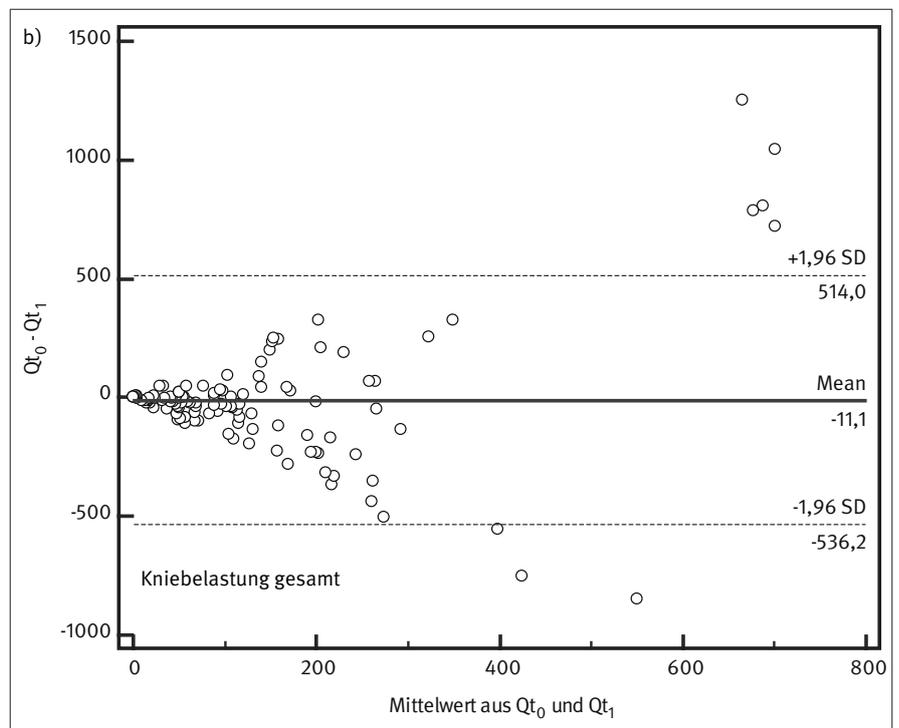
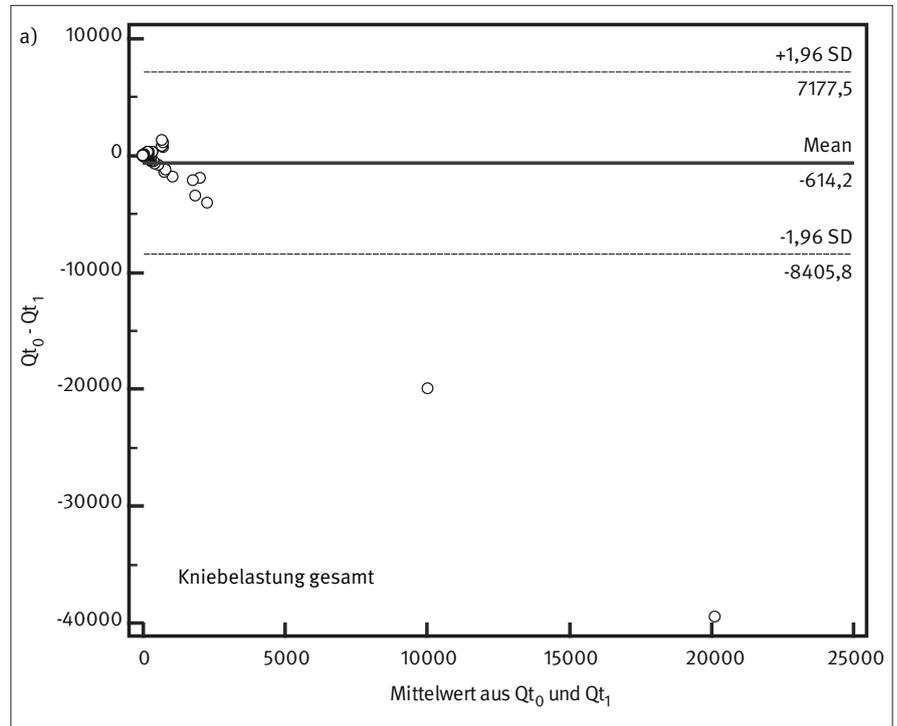


Abbildung 57:
Vergleich Befragungen $Qt_0 - Qt_1$; Bland-Altman-Plot für die Kniebelastung gesamt; a) $n = 125$; b) $n = 116$: ohne neun „Extremwerte“ mit $Qt_1 > 1000$ min; Angaben in Minuten

3.10 Vergleich der Selbsteinschätzung von Probanden mit und ohne Kniebeschwerden

3.10.1 Vergleich zum Zeitpunkt t_0

Von den insgesamt 190 Probanden, die an der Befragung Qt_0 teilnahmen, lagen für 182 Probanden vollständige Daten zu Gesundheit und Freizeitverhalten vor (siehe Abschnitt 2.4). Von diesen gaben insgesamt 55 Probanden (30,2 %) an, in den letzten 12 Monaten unter Kniebeschwerden gelitten zu haben. Um ein eventuell durch den Einfluss der Beschwerden hervorgerufenen selektives Erinnerungsvermögen dieser Probanden zu untersuchen, wurde ihr Abschätzverhalten mit dem der restlichen 127 Probanden (68,8 %) ohne Angabe von Kniebeschwerden in den letzten zwölf Monaten verglichen.

Die unterschiedlichen Einschätzungen zwischen beiden Gruppen sind in Tabelle 17 einander gegenübergestellt. Die

jeweiligen Anteile an Überschätzungen (72,7 zu 73,2 %), Übereinstimmungen (3,6 zu 7,1 %) und Unterschätzungen (23,6 zu 19,7 %) der Kniebelastung gesamt sind in beiden Kollektiven sehr ähnlich.

Dieses ähnliche Schätzverhalten zeigt sich auch beim Vergleich der Bland-Altman-Diagramme zur Kniebelastung gesamt für beide Untergruppen (Abbildungen 58 und 59). In beiden Diagrammen sind die bereits für das Gesamtkollektiv bekannten Ergebnisse zu erkennen: Gute Übereinstimmung bei niedriger Exposition, eine sich verschlechternde Übereinstimmung bei steigender Exposition, das Vorliegen von Über- und Unterschätzungen sowie das deutliche Überwiegen der Überschätzungen.

Das Ergebnis des Mann-Whitney-U-Tests für unabhängige Stichproben bestätigt die deskriptiv und grafisch erkennbaren Ähnlichkeiten im Abschätzverhalten beider Gruppen: Der Test ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Verteilungen ($p = 0,153$; siehe Anhang 23 a).

Tabelle 17:

Vergleich der Selbsteinschätzung der Kniebelastung gesamt durch Probanden mit und ohne Kniebeschwerden in den letzten 12 Monaten in Befragung Qt_0 ; $n = 182$

Angaben der Probanden zum Zeitpunkt t_0	Probanden mit Kniebeschwerden (in den letzten 12 Monaten) $n = 55$		Probanden ohne Kniebeschwerden (in den letzten 12 Monaten) $n = 127$	
	absolut	Anteil in %	absolut	Anteil in %
Überschätzungen	40	72,7	93	73,2
Übereinstimmungen	2	3,6	9	7,1
Unterschätzungen	13	23,6	25	19,7

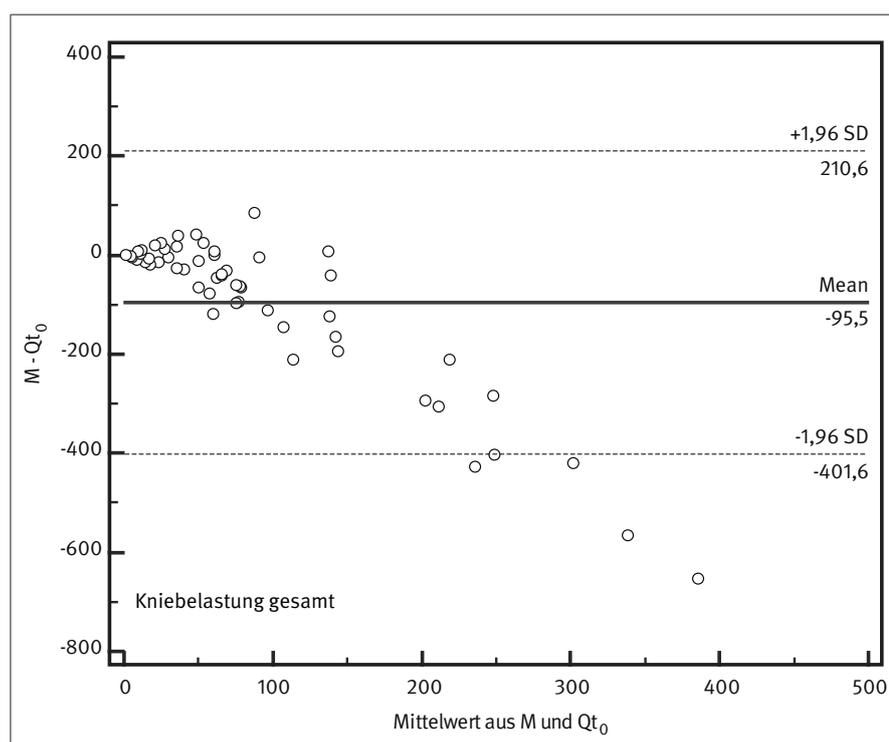


Abbildung 58:
Vergleich Messung – Befragung Qt_0 für Probanden mit Kniebeschwerden in den letzten zwölf Monaten (Kniebelastung gesamt; $n = 55$; Angaben in Minuten)

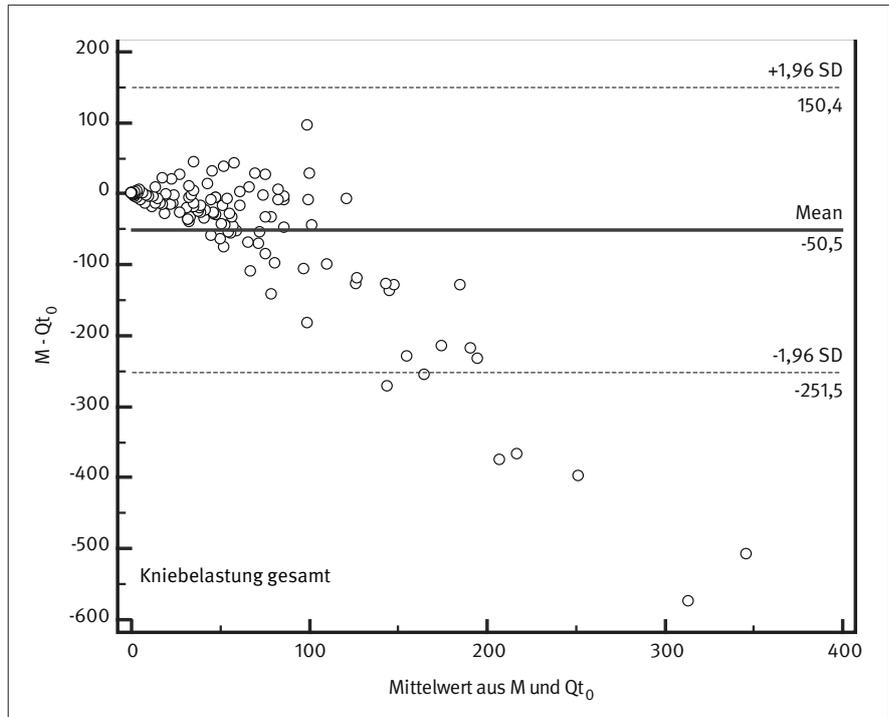


Abbildung 59:
Vergleich Messung – Befragungen Q_{t_0} für Probanden ohne Kniebeschwerden in den letzten 12 Monaten (Kniebelastung gesamt; $n = 127$; Angaben in Minuten)

3.10.2 Vergleich zum Zeitpunkt t_1

Von den 125 an Befragung Q_{t_1} teilnehmenden Probanden lagen für 119 Angaben zu Gesundheit und Freizeitverhalten vor. Von diesen gaben 38 (= 31,9 %) Kniebeschwerden in den letzten zwölf Monaten an. Ihr Abschätzverhalten zum Zeitpunkt t_1 wurde wiederum mit dem der restlichen 81 (= 68,1 %) Probanden ohne derartige Kniebeschwerden verglichen.

Tabelle 18 zeigt die unterschiedlichen Einschätzungen in beiden Gruppen. Die jeweiligen Anteile an Überschätzungen (86,8 zu 86,4 %), Übereinstimmungen (2,6 zu 2,5 %) und

Unterschätzungen (10,5 % zu 11,1 %) der Kniebelastung gesamt sind in beiden Kollektiven fast identisch.

Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Gruppengrößen zeichnen die Bland-Altman-Diagramme der Kniebelastung gesamt für beide Subkollektive ein ähnliches Bild (Abbildungen 60 und 61). Die Verteilungen bestätigen erneut die schon zuvor beschriebenen Eigenschaften des Abschätzverhaltens.

Das Ergebnis des Mann-Whitney-U-Tests zeigt dementsprechend auch hier keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Stichproben ($p = 0,294$, siehe Anhang 23 b).

Tabelle 18:
Vergleich der Selbsteinschätzung der Kniebelastung gesamt durch Probanden mit und ohne Kniebeschwerden in den letzten 12 Monaten in Befragung Q_{t_1} ; $n = 119$

Angaben der Probanden zum Zeitpunkt t_1	Probanden mit Kniebeschwerden (in den letzten 12 Monaten) $n = 38$		Probanden ohne Kniebeschwerden (in den letzten 12 Monaten) $n = 81$	
	absolut	Anteil in %	absolut	Anteil in %
Überschätzungen	33	86,8	70	86,4
Übereinstimmungen	1	2,6	2	2,5
Unterschätzungen	4	10,5	9	11,1

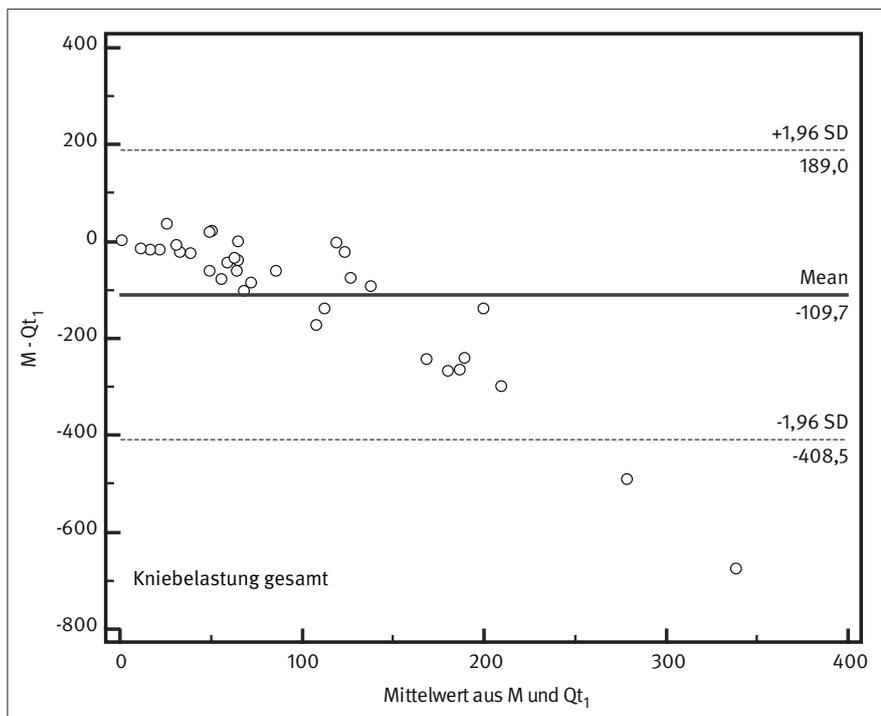


Abbildung 60:
Vergleich Messung – Befragung Q_{t_1} für Probanden mit Kniebeschwerden in den letzten 12 Monaten (Kniebelastung gesamt; $n = 34$, ohne vier Extremwerte mit $Q_{t_1} > 1000$ min; Angaben in Minuten)

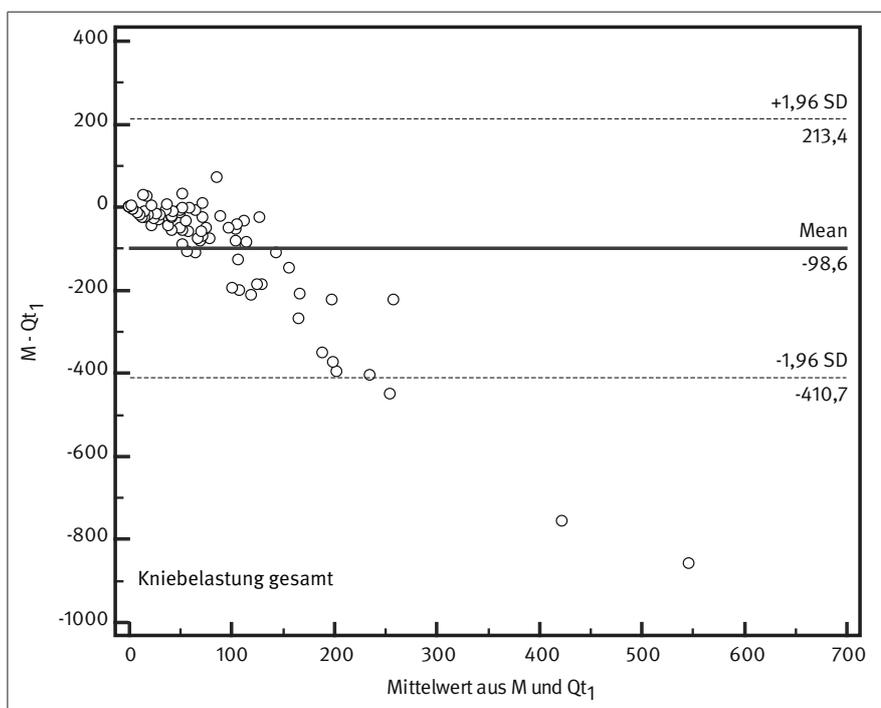


Abbildung 61:
Vergleich Messung – Befragung Q_{t_1} für Probanden ohne Kniebeschwerden in den letzten 12 Monaten (Kniebelastung gesamt; $n = 77$, ohne vier Extremwerte mit $Q_{t_1} > 1000$ min; Angaben in Minuten)

4 Diskussion

In diesem Kapitel werden die in dieser Untersuchung eingesetzten Methoden beider Studienteile kritisch hinterfragt und vergleichbaren Methoden aus der Literatur gegenübergestellt. Auf diese Weise soll eine Beurteilung der vorliegenden Arbeit hinsichtlich ihrer Stärken und Schwächen erfolgen.

Ferner werden die Ergebnisse beider Studienteile jeweils diskutiert und auf dieser Grundlage Antworten auf die in der Einleitung formulierten Fragen gegeben. Durch Vergleich mit relevanten Studien aus der Literatur erfolgt eine Einordnung des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns aus der vorliegenden Arbeit.

Teil A: Tätigkeitsanalysen

4.1 Diskussion der eingesetzten Methoden (Teil A)

In diesem Abschnitt soll der Frage nachgegangen werden, ob das in der vorliegenden Studie untersuchte Probandenkollektiv als repräsentativ für die Ziele der Untersuchung gelten kann. Dazu wird die Auswahl der zu untersuchenden Berufe kritisch hinterfragt, ebenso die Auswahl der teilnehmenden Betriebe und Probanden. Des Weiteren stehen die in Teil A eingesetzten Methoden zur Erfassung der Exposition (Kniebelastung) im Mittelpunkt der Diskussion: Anhand eines Vergleichs mit den in ähnlichen Studien eingesetzten Methoden werden die Stärken und Schwächen der eingesetzten Methodik zur Expositionsermittlung diskutiert.

4.1.1 Auswahl der untersuchten Berufe

Aus wissenschaftlichen Studien zu berufsbezogenen Beschwerden oder Erkrankungen des Kniegelenks ist eine Reihe von Berufen bekannt, für die ein erhöhtes Risiko zur Ausbildung von Kniegelenkerkrankungen wie der Gonarthrose anzunehmen ist. In Tabelle 19 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. in [13; 61; 62; 64] ausführlich dargestellt, die jeweils eingesetzten Verfahren zur Expositionsabschätzung sind in Abschnitt 4.1.3 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 und die deshalb auch zum Untersuchungskollektiv der vorliegenden Studie gehörten, z. B. Bodenleger, Installateure, Dachdecker, Maler oder Werftarbeiter. Weiterhin findet sich in den Studien eine Reihe von Berufen, in

denen eine etwaige Belastung der Kniegelenke durch Knien oder Hocken nur vermutet werden kann, z. B. Forstarbeiter, Mechaniker, Stahlbauer oder Reinigungskräfte. Hier könnten auch andere Risikofaktoren für die Ausbildung einer Kniegelenkerkrankung ausschlaggebend sein. 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, Lehrer oder Verkäufer. Auch hier könnten andere Faktoren für das erhöhte Erkrankungsrisiko der Kniegelenke verantwortlich sein. Aufgrund des nur sehr geringen Ausmaßes oder gänzlichen Fehlens kniebelastender Haltungen in den letzten beiden Gruppen wurde in der vorliegenden Studie auf die Untersuchung derartiger Berufe verzichtet.

In den meisten Studien waren Berufe aus den Bereichen Bauwirtschaft, Bergbau oder Schiffbau Gegenstand der Untersuchungen, und somit Berufe, die als typische „Männerberufe“ bezeichnet werden können. Andere Studien haben zwar beide Geschlechter berücksichtigt, die Risikoberufe aber nicht nach Geschlecht aufgeschlüsselt. In fünf 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 Kniegelenkerkrankung infrage zu kommen, sie blieben daher in der vorliegenden Arbeit unberücksichtigt.

Weitere Hinweise auf Berufsgruppen mit erhöhtem Risiko für Kniegelenkerkrankungen können speziell für Deutschland aus Daten der gesetzlichen Krankenversicherung gewonnen werden. *Liebers* und *Caffier* untersuchten anhand der Daten von vier gesetzlichen Krankenkassen (AOK-Bundesverband, BKK-Bundesverband, Techniker-Krankenkasse, Gmünder Ersatzkasse) für das Jahr 2003 jeweils in aggregierter Form die Arbeitsunfähigkeits-(AU-) Fälle und -Tage für Muskel-Skelett-Erkrankungen mit Schichtung nach Beruf, Alter und Geschlecht [6]. 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 20 dargestellt, finden sich für beide Krankheitsdiagnosen bei den Männern typische Knieberufe wie Raumausstatter, Estrich- und Fliesenleger, Rohrinstateure oder Dachdecker. Wie schon bei den wissenschaftlichen Studien finden sich daneben auch Berufsgruppen wie Straßenreini-ger/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.

4 Diskussion

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 21). Vielmehr werden hier insbesondere Berufe aus der Nahrungsmittelherstellung wie Fleisch- und Wurstwarenhersteller, Fischverarbeiter oder Milch- und Fettverarbeiter gelistet.

Der Vergleich mit der Fachliteratur zeigt, dass über die in dieser Studie 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. Für zukünftige Forschungen könnte das Spektrum an untersuchten Berufen durch Messungen der Kniebelastungszeiten von Elektroinstallateuren, Bergleuten im untertägigen Bergbau, Beschäftigten in der Forst- und Landwirtschaft sowie – zur Untersuchung beruflicher Kniebelastungen bei Frauen – landwirtschaftlichen Helferinnen, Reinigungskräften und Pflegekräften sinnvoll ergänzt werden.

Tabelle 19:

„Risikoberufe“ für die Ausbildung von Kniebeschwerden und -erkrankungen in internationalen Studien und dem Merkblatt zur BK 2112 (x = Männer, o = Frauen (falls explizit genannt), (x) = nur bestimmte Berufe aus der genannten Gruppe)

Berufe	Studien																					
	BMAS [5]	Coggon et al. [19]	Cooper et al. [18]	Elsner et al. [98]	Greinmann [59]	Holmberg et al. [99]	Holmström & Engholm [100]	Hotz et al. [101]	Järvholm et al. [102]	Jensen et al. [103]	Kasch & Enderlein [104]	Kellgren & Lawrence [105]	Kivimäki et al. [24]	Lindberg & Montgomery [106]	Nauwald [107]	Ryffter et al. [108]	Sandmark et al. [20]	Seidler et al. [109]	Seidler et al. [21]	Thun et al. [110]	Vingard et al. [17]	
Asphaltierer								x														
Bauarbeiter allgemein (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																				

Tabelle 20:

Die zehn am häufigsten genannten 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 [6])

Beruf	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	
Stuckateure u. Ä.	x	
Rohrinstallateure		x
Artisten und Berufssportler		x
Brauer, Mälzer		x
Dachdecker		x
Flach-, Tiefdrucker		x

Tabelle 21:

Die zehn am häufigsten genannten 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 [6])

Beruf	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

4.1.2 Auswahl der Betriebe und Probanden

Die Auswahl der teilnehmenden Betriebe erfolgte durch die beteiligten Unfallversicherungsträger. Dabei wurde eine deutschlandweite Rekrutierung von Betrieben angestrebt. Aufgrund der Konzentration der Projektpartner im süddeutschen

Raum kam es zu einer verstärkten Auswahl von Betrieben aus dieser Region. Inwieweit die Ansprache durch die gesetzlichen Unfallversicherungsträger die Teilnahmebereitschaft der Betriebe beeinflusst hat, kann hier nicht beurteilt werden. Für den Beruf Parkettleger ist anzumerken, dass alle Messungen an Probanden eines Unternehmens, das durch viele Niederlassungen aber deutschlandweit aktiv ist, durchgeführt wurden. Laut Aussage der zuständigen Holz-Berufsgenossenschaft sind die gemessenen Aktivitäten als repräsentativ für die Arbeitsweise von Parkettleger in Deutschland anzusehen. Eine Ausnahme stellt die Unterscheidung zwischen Groß- und Kleinbaustellen dar (siehe Abschnitt 4.1.5).

Die Auswahl der Probanden erfolgte durch die teilnehmenden Unternehmen selbst. Inwieweit hierdurch Verzerrungseffekte entstanden sein könnten, kann nicht beurteilt werden. Die in Abschnitt 2.4 beschriebenen Probandeneigenschaften sprechen für eine repräsentative Stichprobe aus der (männlichen) Erwerbsbevölkerung in den untersuchten Berufen.

4.1.3 Ermittlung der Exposition

In der vorliegenden Studie lag der Fokus auf einer möglichst genauen Erfassung der Exposition durch kniebelastende Tätigkeiten, wozu neben einem erheblichen organisatorischen auch ein immenser technischer Aufwand durch den kombinierten Einsatz eines Mess- und Videoverfahrens notwendig war. In vergleichbaren Studien zum Thema „berufliche Kniebelastungen“ kamen in der Regel weniger aufwendige Verfahren der Expositionsermittlung zum Einsatz, die sich grob in die beiden Kategorien Fragebogenverfahren sowie Beobachtungs- und Messverfahren aufteilen lassen. Für beide Kategorien sollen im Folgenden Beispiele genannt und erläutert werden.

Fragebogenverfahren

Unter den Fragebogenverfahren sind Methoden zu verstehen, in denen Expositionen, die z. T. Jahrzehnte zurückliegen können, retrospektiv per Fragebogen erhoben werden. Die Fragebögen werden von den Probanden selbst (Selbstaussfüller) oder während einer Befragung durch einen Interviewer ausgefüllt. Üblicherweise kommen diese Verfahren in epidemiologischen Fall-Kontroll-Studien zum Einsatz, aber auch in Kohortenstudien sind sie nicht selten das Mittel der Wahl. Es lassen sich vier Typen unterscheiden, zu denen im Folgenden einige Beispiele genannt werden sollen.

In vielen Studien erfolgte die Einschätzung der beruflichen Kniebelastung anhand der Berufsbezeichnungen (job titles) der Probanden: *Lindberg* und *Montgomery* untersuchten z. B. den Zusammenhang zwischen der Entstehung einer Gonarthrose und der Ausübung schwerer Arbeit (heavy labour) auf einer Werft allein anhand der verschiedenen Berufsbezeichnungen der Wertangestellten [106]. *Felson et al.* erforschten in der Subanalyse einer großen Kohortenstudie (The Framingham Study) u. a. die Kniebelastung der Probanden durch eine alle zwei Jahre wiederholte Abfrage des jeweils aktuell ausgeübten Berufs [16]. Die genannten Berufe wurden anschließend in die beiden Gruppen mit Kniebelastung und ohne Kniebelastung eingeteilt. In einer schwedischen Kohortenstudie erfolgte die Expositionsabschätzung für 250 217 Probanden aus Krankenhausregistern durch

zwei Arbeitsmediziner auf Grundlage der Berufsbezeichnungen [17]. Die Berufe wurden in die beiden Klassen hoch exponiert und niedrig exponiert unterteilt, nicht einzuordnende Berufe wurden ausgeschlossen. Analog verfahren auch *Imeokparia* et al. in einer US-amerikanischen Fall-Kontroll-Studie (Subanalyse der Kohortenstudie Clearwater Osteoarthritis Study), wobei sie die Expositionsermittlung noch weiter vereinfachten, indem sie nur den jeweils am längsten ausgeübten Beruf der Probanden auswerten [111]. *Holmberg* et al. befragten in einer schwedischen Fall-Kontroll-Studie 778 Fälle und 695 Kontrollen zu Risikofaktoren für die Ausbildung einer Gonarthrose [99]. Die Erfassung der beruflichen Risiken erfolgte durch Abfrage der Berufsbezeichnungen. Die Autoren stufen diese Methode der Expositionsabschätzung aufgrund der wegfallenden Verzerrung durch Erinnerungseffekte (recall bias) höher ein als eine detaillierte Expositionsabschätzung. In einer schwedischen Kohortenstudie mit 204 741 Angestellten aus der Baubranche untersuchten *Järvholm* et al. die Risiken zur Ausbildung von Hüft- und Kniegelenksarthrosen. Als „Expositionsmaß“ galt auch hier die Berufsbezeichnung [102].

Diese Art der Expositionsermittlung bietet die Vorteile, dass sie in der Regel relativ günstig und schnell bei großen Probandenkollektiven angewendet werden kann (Versand von einfachen Fragebögen als Selbstausfüller per Post) und die Angabe der Berufsbezeichnungen im Arbeitsleben auch retrospektiv in der Regel relativ valide möglich ist. Dennoch können auch hier Erinnerungslücken oder -fehler der Probanden die Ergebnisse verfälschen (recall bias). Die alleinige Angabe der Berufsbezeichnung birgt auch ein hohes Risiko der Missklassifikation, 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.

Eine ähnliche Methode der Expositionsermittlung verwendet ebenfalls Fragebögen zur Abfrage von Berufsbezeichnungen, allerdings erfolgt anschließend eine differenziertere Einteilung der Berufe in Belastungskategorien durch arbeitstechnische Experten. *Anderson* und *Felson* erforschten z. B. in einer US-amerikanischen Reihenuntersuchung zu Gesundheit und Ernährung (HANES I) Risikofaktoren für die Entwicklung einer Gonarthrose [112]. Die berufliche Exposition wurde anhand eines Berufscodes mit 400 Berufen und sieben Kategorien (z. B. Handel, Dienstleistung, Transport) sowie zweier zusätzlich verwendeter Codes zu Schwere der Arbeit (z. B. Sitzarbeitsplatz, leichte Arbeit, schwere Arbeit) und Kniegelenksbeanspruchung (ja/nein) abgeschätzt. *D'Souza* et al. führten eine Re-Analyse der Ergebnisse einer ähnlichen Querschnittsstudie (NHANES III) aus, mit dem Ziel, Dosis-Wirkungs-Beziehungen zwischen beruflicher Exposition und der Entstehung von Gonarthrosen beschreiben zu können [113]. Dazu wurden Berufsangaben durch arbeitstechnische Experten neu codiert (und reduziert) und zusätzlich ein Tätigkeitscode zur besseren Abschätzung der Exposition verwendet (z. B. Sitzen, Stehen, Gehen/Rennen, Knien/Hocken, schweres Heben). In die endgültige Auswertung gingen lediglich Daten zum am längsten ausgeübten Beruf ein.

Wie bei der zuvor beschriebenen Methode können auch hier die Vorteile günstig, zeitsparend, leicht anwendbar gelten. Zusätzlich wird arbeitstechnisches Fachwissen in die Bewertung der

Exposition einbezogen. Die Nachteile der Methode sind identisch mit denen des erstgenannten Verfahrens.

Im dritten Typus dieser Kategorie der Expositionsermittlung wird die einfache Abfrage von Berufsbezeichnungen kombiniert mit der Abfrage von vorgegebenen Belastungskategorien (z. B. Knien pro Tag, Heben von Lasten). *Elsner* et al. untersuchten in einer deutschen Fall-Kontroll-Studie mit 201 Fällen und 182 Kontrollen arbeitsbedingte Faktoren zur Ausbildung einer Kniegelenksarthrose [98]. Dazu führten sie eine Berufsanamnese durch und erfassten bestimmte potenzielle Risikofaktoren, z. B. Knien, Hocken und schweres Heben in dichotomisierter Form (ja/nein-Kategorien). *Cooper* et al. befragten in einer britischen Fall-Kontroll-Studie zum Zusammenhang zwischen beruflichen Tätigkeiten und der Ausbildung einer Gonarthrose 109 Fälle und 218 Kontrollen [18]. Neben einer vollständigen Berufsanamnese erhoben sie für den jeweils am längsten ausgeübten Beruf auch Daten zum Vorkommen von acht verschiedenen Tätigkeiten in ja/nein-Kategorien. Die Kategorien wiesen in diesem Fall zusätzlich ein Quantifizierungsmerkmal auf (z. B. Hocken > 30 min/Tag, Knien > 30 min/Tag, schweres Heben > 25 kg, Treppen steigen > 10 Absätze/Tag). Das identische Verfahren wurde auch von *Amin* et al. in einer Magnetresonanztomographie-Studie an Gonarthrosepatienten in den USA eingesetzt [114]. In einer Reihe von weiteren Studien kam dieses Verfahren ebenfalls zum Einsatz, wobei in der Regel die Belastungskategorien leicht modifiziert wurden (z. B. Knien > 1 h/Tag) [19; 115; 116]. Andere Studien mit ähnlichem Studiendesign fragten neben der Berufsanamnese bestimmte potenzielle Risikofaktoren in offener Form ab, da auch die Untersuchung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen möglich sein sollte. Die Probanden konnten ihre tägliche Belastung in den Kategorien Knien, Hocken, schweres Heben usw. selbst abschätzen und waren nicht an Kategorien gebunden, z. B. [20; 21; 23].

Die Vorteile dieser Methode liegen wiederum in der relativ schnell und einfach durchzuführenden sowie preiswerten Erhebung der Daten per Fragebogen und Postversand. Durch die zusätzlich zur einfachen Berufsanamnese durchgeführte Abfrage bestimmter Belastungskategorien ist das Risiko einer Missklassifikation geringer einzuschätzen. Da die Auswertung der weitaus differenzierteren Daten komplexer und zeitaufwendiger wird, sind die Probandenzahlen in den entsprechenden Studien in der Regel kleiner als in den zuvor genannten, in denen weniger detaillierte Daten erhoben wurden. Allerdings steigt mit der Komplexität der retrospektiv gewonnenen Daten auch der Anspruch an das Erinnerungsvermögen und somit die Gefahr einer Verzerrung, was sich negativ auf die Validität der Angaben auswirken kann (recall bias).

Eine weitere Variante dieser Verfahren setzt zur retrospektiven Expositionsermittlung arbeitstechnische Experten ein. In der Deutschen Wirbelsäulenstudie, in der auch Belastungen durch Knien und Hocken erfasst wurden, führten Experten der Technischen Aufsichtsämter der gesetzlichen Unfallversicherungsträger anhand eines Interview-Leitfadens intensive Befragungen bei ca. 1 200 Probanden durch [70]. Die Abfrage der Belastungen erfolgte quantitativ und nicht in ja/nein-Kategorien, wobei die Interviewer ihnen aufgrund ihrer Erfahrung un plausible Angaben der Probanden hinterfragen und korrigieren konnten.

Gegenüber den zuvor genannten Verfahren bietet diese Methode durch die von Experten vorgenommene Plausibilitätskontrolle eine höher einzustufende Datenvalidität. Einschränkend gilt jedoch, dass auch der Sachverstand der Experten fehlerhafte Selbsteinschätzungen der Probanden nur in begrenztem Maße korrigieren kann. Außerdem ist die Methode sehr zeit- und kostenintensiv.

Beobachtungs- und Messverfahren

Die zweite Gruppe der Verfahren zur Expositionsermittlung beinhaltet Varianten, bei denen kniebelastende Tätigkeiten direkt an den Arbeitsplätzen untersucht wurden. Die Beurteilung der Exposition beruht in diesen Fällen also nicht mehr auf einer Klassifizierung der Berufe oder der Selbsteinschätzung von Probanden, sondern auf der Grundlage direkter Beobachtungen oder Messungen, was die Validität und Reliabilität der Ergebnisse deutlich erhöht. Verzerrungen durch Erinnerungsfehler stellen bei diesen Verfahren kein Problem dar, allerdings sind sie weitaus zeit- und kostenintensiver als die Befragungsmethoden und kommen in großen Studien deshalb seltener zum Einsatz. Sie können nur aktuelle Expositionen erfassen, da sie nicht retrospektiv einsetzbar sind. Deshalb muss bei Untersuchungen zu Erkrankungen, die sich über einen längeren Zeitraum entwickeln, geprüft werden, ob die aktuellen Expositionsbedingungen noch denen aus der Vergangenheit entsprechen. Im Folgenden sollen vier Typen solcher Beobachtungs- oder Messverfahren nach steigendem Differenzierungsgrad vorgestellt werden.

Zur ersten Variante zählen Methoden, bei denen die relevante Exposition an den Arbeitsplätzen ohne den Einsatz spezieller technischer Hilfsmittel „einfach“ beobachtet und dokumentiert wird (Papier- und Bleistift-Verfahren). In einer finnischen Studie zu degenerativen Veränderungen der Kniegelenke bei Stahlbetonbauern beobachteten *Wickström et al.* die Tätigkeiten von 352 Stahlbetonbauern und 231 Malern (Kontrollgruppe) über insgesamt 270 Stunden [117]. Die Haltung der Beine (zehn Kategorien) sowie die manuelle Handhabung von Lasten (drei Klassen) wurden in Intervallen von jeweils 30 Sekunden anhand einer Matrix dokumentiert (z. B. Stehen einbeinig, Stehen beidbeinig, Knien, Hocken, Sitzen, Heben von Lasten, 5 bis 20 kg). Ähnlich gingen *Baty et al.* bei ihrer Untersuchung der Körperhaltungen von Krankenschwestern vor [118]. Sie beobachteten 46 Krankenschwestern während ihrer Arbeitszeit und notierten alle 15 Sekunden die Körperhaltung anhand einer vorgegebenen Codierung (z. B. Stehen, Sitzen, Knien, Hocken, Oberkörperverneigung, -verdrehung). In Deutschland führten *Bolm-Audorff et al.* eine Untersuchung zu Kniebelastungen in zwölf Berufen durch, wozu sie 125 Probanden jeweils während einer ca. vierstündigen Teilschicht mit einer Stoppuhr begleiteten und die Zeitanteile für die Kategorien Knien, Hocken und Fersensitz kontinuierlich notierten [26].

Die in diesen Studien eingesetzten Verfahren liefern Daten deutlich höherer Validität verglichen mit den in einer Befragung gewonnenen, die Datenqualität ist aber stark von der Motivation und Erfahrung des Beobachters abhängig. Die Möglichkeit einer nachträglichen Überprüfung oder Korrektur der Ergebnisse ist ebenso wie die Möglichkeit einer späteren Auswertung hinsichtlich anderer Aspekte nicht gegeben. Bei sehr dynamischen

Vorgängen besteht außerdem die Gefahr, dass bestimmte Belastungen stark unterschätzt werden, da diese entweder aufgrund der Intervall-Methode häufig „verpasst“ werden oder das kontinuierliche Mitschreiben nicht schnell genug erfolgen kann. Dies gilt insbesondere dann, wenn mehrere Belastungsfaktoren notiert oder gar mehrere Probanden gleichzeitig beobachtet werden müssen.

Die zweite Gruppe von Beobachtungsverfahren zeichnet sich durch den Einsatz technischer Hilfsmittel zur Expositionsermittlung am Arbeitsplatz aus. Diese erlauben eine mehr oder weniger kontinuierliche Erfassung der interessierenden Belastung, die teilweise automatisiert ablaufen kann. *Hartmann und Fleischer* führten eine Feldstudie zu körperlichen Belastungen in Bauberufen durch, in der sie 247 Probanden mithilfe eines speziellen Touchpad (AEB) auf der Baustelle begleiteten und vorgegebene Belastungskategorien per Antippen protokollierten [119]. Zu den untersuchten Belastungen zählten z. B. manuelle Lastenhandhabungen, Zwangshaltungen, Über-Kopf-Arbeiten sowie Knien und Hocken. In der ArGon-Studie zur Bewertung beruflicher Faktoren im Zusammenhang mit Gonarthrose setzten *Klußmann et al.* in einer Subanalyse mit 25 Probanden einen Personal Digital Assistant (PDA) zur Erfassung manueller Lastenhandhabungen und verschiedener Körperhaltungen (z. B. Stehen, Gehen, Sitzen, Knien mit und ohne Abstützung, Fersensitz, Hocken, Kriechen) in kategorialer Form ein [92]. Auch hier war durch Antippen von Piktogrammen die kontinuierliche Erfassung der genannten Faktoren und eine spätere computergestützte Auswertung der Daten möglich.

Die genannten Verfahren bieten eine dem einfachen Beobachtungsverfahren ähnliche Expositionserhebung, die aber schneller und genauer stattfinden kann. Die Beobachtungsdaten können automatisch gespeichert und im Anschluss an die Untersuchung am PC ausgewertet werden, was eine deutliche Verbesserung gegenüber den zuvor genannten Methoden darstellt. Es ist aber zu beachten, dass die Erfassung der Exposition auf die vorgegebenen Kategorien beschränkt bleibt und nach wie vor die Qualität der Erhebung abhängig von Erfahrung und Motivation des Beobachters ist. Eine Möglichkeit zur späteren Überprüfung oder Korrektur der Daten besteht nicht. Bei den technischen Geräten handelt es sich in der Regel um Eigenentwicklungen, die nicht auf dem freien Markt zum Einsatz in anderen Studien verfügbar sind.

Eine weitere Möglichkeit zur zeitkontinuierlichen Erfassung kniebelastender Tätigkeiten direkt am Arbeitsplatz bietet der Einsatz von Videokameras. In einer finnischen Studie zu Kniebeschwerden von Bodenlegern und Malern nutzten *Kivimäki et al.* das Mittel der Videoanalyse, um die Tätigkeiten von 26 Bodenlegern und neun Malern hinsichtlich kniebelastender Tätigkeiten während einer Gesamtbeobachtungszeit von ca. 12 Stunden zu untersuchen [24]. *Jensen et al.* nutzten ein ähnliches Verfahren für ihre Untersuchung zu beruflichen Kniebelastungen in Dänemark: Sie filmten typische Tätigkeiten von 39 Zimmerern und 33 Bodenlegern über insgesamt 23,5 Stunden und werteten das Videomaterial hinsichtlich der Häufigkeit kniender und hockender Tätigkeiten aus [38].

Es handelt sich bei diesem Verfahren um eine direkte, zeitkontinuierliche Beobachtung des Arbeitsplatzes, die eine

nachträgliche Überprüfung und Korrektur der Ergebnisse, u. U. auch eine Auswertung hinsichtlich weiterer Aspekte, ermöglicht. Probleme können z. B. bei der Untersuchung von sehr dynamischen Arbeitsplätzen mit häufigen Ortswechslern auftreten, da der Proband dann aus dem Fokus der Kamera rückt, sodass in diesen Situationen keine Aussagen zur Körperhaltung möglich sind. Die Auswertung der Videodateien ist in der Regel sehr zeitintensiv, da in einem zweistufigen Verfahren die Videoaufnahmen erst betrachtet und in Messwerte übertragen werden müssen, bevor die eigentliche Datenanalyse beginnen kann. An stark strukturierten Arbeitsplätzen können je nach Perspektive und Standort der Kamera wichtige Details verdeckt sein, was eine genaue Identifizierung von Körperhaltungen (z. B. Bein-stellung) erschwert. Die Videoanalyse bietet insgesamt aber eine gute Möglichkeit zur intensiven Untersuchung beruflicher Tätigkeiten, insbesondere mit modernen Videokameras, die über lange Akku-Laufzeiten, große Datenspeicher sowie PC-Schnittstellen verfügen und relativ preiswert im Fachhandel erhältlich sind.

Die letzte Gruppe in dieser Kategorie stellen spezielle Messverfahren dar, bei denen eine automatische und zeitkontinuierliche Aufzeichnung der interessierenden Körperhaltungen und -bewegungen durch direkte Messung an den Probanden erfolgt. *Burdorf* et al. verwendeten in ihrer Untersuchung zu körperlichen Belastungen von Straßenarbeitern/Pflasterern und Estrichlegern in den Niederlanden ein Messsystem auf der Basis von Beschleunigungssensoren (Accelerometern, DynaPort) mit einer Abtastfrequenz von 16 Hz [25]. Mithilfe dieses Systems konnten sie die Belastungen durch Stehen, Gehen, Sitzen, Hocken sowie ein- und beidbeiniges Knien von 15 Probanden über ca. 380 Stunden Messzeit quantifizieren. Um zusätzliche Informationen zu den durchgeführten Tätigkeiten zu sammeln, nutzten sie einen PDA (z. B. gehandhabte Lastgewichte in zwei Kategorien).

Die messtechnische Erfassung von Belastungsdaten erlaubt eine höchst differenzierte qualitative und quantitative Auswertung der relevanten Körperhaltungen. Durch die kontinuierliche Datenaufzeichnung sind eine spätere Überprüfung und Korrektur sowie eine Auswertung der Daten zu anderen interessierenden Aspekten (z. B. manuelle Lastenhandhabung) bedingt möglich. Um einen Zusammenhang zwischen den Messergebnissen und den durchgeführten Tätigkeiten herstellen zu können, ist eine zusätzliche Dokumentation dieser Tätigkeiten notwendig. Bei den Messsystemen handelt es sich in der Regel um Eigenentwicklungen, die kostenintensiv und im Handel nicht erhältlich sind.

4.1.4 Stärken der eingesetzten Methodik (Teil A)

Die in der vorliegenden Studie eingesetzte Methodik zur Ermittlung der Exposition stellt eine Kombination aus den beiden im vorigen Abschnitt vorgestellten Methoden Messverfahren und Videoanalyse dar. Es handelt sich um eine automatische und zeitkontinuierliche Messung von Körperhaltungen und -bewegungen direkt am Arbeitsplatz unter Einsatz eines Expertensystems (CUELA). Die Methodik ähnelt der von *Burdorf* et al. eingesetzten Messtechnik [25], bietet aber durch die Sensorkombination aus Gyroskopen, Inklinometern und Potentiometern eine weitaus differenziertere und deutlich erweiterte

Erfassung von Messparametern. Durch die kontinuierliche Messung mit einer Abtastfrequenz von 50 Hz ist auch die Abbildung hochdynamischer Bewegungen gewährleistet. Die parallel zur Messung durchgeführte Videodokumentation erlaubt darüber hinaus eine direkte Zuordnung der Messergebnisse zu den jeweils durchgeführten Tätigkeiten.

Die Kombination aus beiden Verfahren macht die eingesetzte Methodik nahezu unabhängig von der Motivation der Erfahrung des „Beobachters“ vor Ort und liefert quasi objektive, reliable und durch die Videodokumentation auch überprüfbare Ergebnisse (siehe Abschnitt 2.11). Durch die Auswahl dieser Methode wurde von Beginn an eine hohe Validität der Ergebnisse angestrebt. Die Objektivität des Verfahrens hängt lediglich davon ab, mit welchen Algorithmen die einzelnen Körperhaltungen aus den Messergebnissen abgeleitet werden.

Ein weiterer 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. Dieses Vorhalten der Rohdaten ermöglicht zukünftige Auswertungen der Messdaten hinsichtlich weiterer Kriterien, etwa aufgrund aktueller Erkenntnisse aus der medizinischen oder biomechanischen Forschung. Die auf Basis der Messdaten entwickelte Datenbank (GonKatast) steht somit für zusätzliche Analysen zu potenziellen Risikofaktoren für berufliche Kniegelenkserkrankungen zur Verfügung. Da neben den Daten der Kniegelenke auch Daten zu weiteren Körperregionen erfasst wurden (z. B. Hüfte, Wirbelsäule), sind auch Analysen über die Kniebelastungen hinaus möglich. Die Datenbank ist offen für zukünftige Erweiterungen und Aktualisierungen.

Neben der differenzierten Messtechnik kann die detaillierte Dokumentation der untersuchten Arbeitsschichten als ein Schlüssel zur verlässlichen Quantifizierung der arbeitstäglichen Kniebelastung gelten. Durch die eingesetzten Arbeitsschichtprotokolle (Messstundenpläne) war eine vollständige Dokumentation der Arbeitsinhalte der untersuchten Tagesschichten möglich – inklusive der verschiedenen Arbeitsgänge, Pausen- und Fahrzeiten. Mithilfe der Auswerte-Software Schichteditor konnten die auf diese Weise gewonnenen Informationen mit den Messdaten kombiniert und Schichtprofile für die Kniebelastung erstellt werden. Ein einfaches „Hochrechnen“ der Ergebnisse der Einzelmessungen auf die gesamte Schichtdauer wurde somit vermieden.

Die Einbindung branchenspezifischer Experten aus den Präventionsdiensten der gesetzlichen Unfallversicherungsträger bei der Konzeption des Studiendesigns und der Auswahl der zu untersuchenden Tätigkeiten garantierte von Beginn an einen hohen Praxisbezug der vorliegenden Arbeit und ist als besondere Stärke der Studie hervorzuheben.

Durch die Untersuchung von insgesamt 242 Arbeitsschichten in 16 verschiedenen Berufen mit einer Gesamtmessdauer von über 530 Stunden können die Ergebnisse der Expositionsermittlung als repräsentativ für die untersuchten Tätigkeiten gelten. Der Vergleich mit den in Abschnitt 4.1.3 zitierten Studien zeigt, dass diese Zahlen für Studien mit analogem Messaufwand als sehr hoch einzustufen sind. Die Datenbank GonKatast deckt

ein breites Spektrum an Branchen, Berufen und Tätigkeiten ab und umfasst einen Großteil der in der Literatur genannten und heute noch existierenden „Risikoberufe“ für die Ausbildung von Kniegelenkerkrankungen.

4.1.5 Limitationen der eingesetzten Methodik (Teil A)

Da es sich bei den eingesetzten Methoden zur Ermittlung der Exposition um Feldmessungen an aktuellen Arbeitsplätzen und Baustellen handelte, unterlagen diese gewissen methodenimmanenten Limitationen, die v. a. die Planbarkeit der Messungen betraf. So konnte die ursprünglich angestrebte Mindestzahl von drei untersuchten Arbeitsschichten pro Tätigkeitsmodul in wenigen Fällen nicht erreicht werden. Gründe für diesen Umstand waren z. B. Lieferprobleme beim Material, Ausfall von Maschinen, Kooperation mit anderen Unternehmen und Kunden, Witterungseinflüsse u. Ä., wie sie bei handwerklichen Tätigkeiten insbesondere in der Bauwirtschaft regelmäßig auftreten. In Einzelfällen mussten Messungen aus diesen Gründen ersatzlos gestrichen werden.

Obwohl es in der Literatur Hinweise auf Risiken für Kniegelenkerkrankungen im untertägigen Bergbau gibt (z. B. [19; 59; 105; 120]) konnten Tätigkeiten aus diesem Bereich mit der in der Studie eingesetzten Messtechnik aus Sicherheitsgründen (Explosionsschutz) nicht untersucht werden. Derartige Tätigkeiten könnten allenfalls unter hohem technischem und finanziellem Aufwand im Labor nachgestellt werden, wobei das Verhältnis von Aufwand und Nutzen entsprechend zu berücksichtigen ist.

Wie bei allen Studien, die Beobachtungs- und Messverfahren einsetzen, konnten auch in diese Untersuchung lediglich aktuell vorhandene Arbeitsplätze und Tätigkeiten einbezogen werden. Eine Beurteilung von Tätigkeiten an heute nicht mehr existenten Arbeitsplätzen durch Analogieschlüsse aus Befragungen von Experten ist nur bedingt möglich. Solche Tätigkeiten spielen zwar für die Prävention beruflicher Kniebelastungen keine Rolle mehr, können aber in BK-Feststellungsverfahren oder bei der retrospektiven Expositionsermittlung in epidemiologischen Studien von Bedeutung sein. In der vorliegenden Studie ist aber zu berücksichtigen, dass die untersuchten Tätigkeiten größtenteils als sehr traditionell einzustufen sind, d. h. viele Arbeitsweisen haben sich in den letzten 30 bis 40 Jahren kaum bis wenig geändert (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). Wo es möglich war, erfolgten auch Messungen von heute eher unüblichen Arbeitsverfahren, die aber früher sehr verbreitet waren (z. B. Verlegen von Fliesen im Dick- oder Mörtelbettverfahren).

Eine beschränkte Nutzungsmöglichkeit der GonKatast-Daten könnte für die Beurteilung der Kniebelastung auf Kleinbaustellen (z. B. in Privathaushalten) gelten. Die Messungen fanden aus organisatorischen und datenschutzrechtlichen Gründen zum überwiegenden Teil auf Großbaustellen statt: Einerseits sind größere Gewerke für Handwerksfirmen in der Regel zeitlich besser planbar, andererseits können Messungen in Verbindung mit Videoaufnahmen in Privathaushalten datenschutzrechtlichen

Einschränkungen unterliegen. Ähnliche Tätigkeiten auf Groß- und Kleinbaustellen unterscheiden sich vor allem durch den arbeitstäglichen Aufwand. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen: 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. Mithilfe der GonKatast-Daten lässt sich aber auch für solche „Misch Tätigkeiten“ die Kniebelastung pro Arbeitstag abschätzen. Wichtig ist in solchen Fällen eine plausible Zusammensetzung der Arbeitsinhalte eines Tages, die von arbeitstechnischen Experten in Rücksprache mit den Unternehmen geprüft werden sollte.

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.

Die Untersuchungen können keine Aussagen zu beruflichen Kniebelastungen von Frauen treffen, da alle Probanden männlich waren.

4.2 Diskussion der Ergebnisse (Teil A)

4.2.1 Lassen sich die interessierenden Belastungen in der Praxis messtechnisch qualitativ und quantitativ erfassen?

Die messtechnische Erfassung der für diese Studie als relevant bezeichneten beruflichen Belastungen durch Knien ohne Abstützung, Knien mit Abstützung, Fersensitz, Hocken und Kriechen konnte erfolgreich in die Praxis umgesetzt werden. Die qualitative Erfassung der verschiedenen Haltungen erfolgte nach Anpassung der Auswertesoftware des Messsystems CUELA mit Ausnahme des Kriechens automatisiert. Kriechen wurde von der Software als Knien mit Abstützung identifiziert und konnte anhand des typischen Bewegungsmusters der Kniegelenkflexion und der synchronen Videoaufnahmen entsprechend umcodiert werden. Die quantitative Erfassung der fünf Einzelbelastungen und der Summe aus diesen (Kniebelastung gesamt) als Zeitanteile pro Messdauer oder absolut in Minuten war unmittelbar im Anschluss an die Messung abgeschlossen. Die im Rahmen der Qualitätskontrolle durchgeführten Untersuchungen zur Validität der Messungen und Reliabilität der Auswertung zeigen für beide Maße gute bis sehr gute Werte (siehe Abschnitt 2.11). Einige Besonderheiten wie das abgestützte Stehen oder abgestützte Knien auf einer Dachschräge waren vom Messsystem nicht automatisch zu erkennen, aber mithilfe der Videoanalyse leicht zu ergänzen (siehe Abschnitt 4.2.3 Knien mit Abstützung).

4.2.2 Lässt sich auf der Grundlage der Messdaten ein berufs- und tätigkeitsspezifisches Kataster zu Vorkommen und Häufigkeit beruflicher Kniebelastungen aufbauen?

Auf der Basis der objektiv gemessenen Kniebelastungen und Tätigkeitsdokumentationen war es möglich, Arbeitsschichtprofile zu erstellen und in Form eines Messwert-Katasters aufzubereiten. Dieses Kataster (GonKatast) umfasst derzeit 16 Berufe mit 242 Arbeitsschichten, die in 60 Tätigkeitsmodule und 21 Sonderfälle unterteilt sind (siehe Tabelle 4, S. 34 ff.). Die entsprechende Datenaufbereitung war durch den Einsatz der hochentwickelten Messtechnik und Auswertesoftware möglich. Um eine breite Gültigkeit der Katasterdaten zu erzielen, wurde das arbeitstechnische Fachwissen aus den Technischen Aufsichtsdiensten der gesetzlichen Unfallversicherungsträger eingesetzt und eine deutschlandweite Erhebung am Arbeitsplatz in der Praxis unter Einbeziehung von insgesamt 110 Betrieben und 197 Probanden durchgeführt. Diese Merkmale sowie die Auswertung von ca. 530 Stunden an Messdaten garantierten eine hohe interne und externe Validität des Katasters, das sich durch den betriebenen Aufwand von ähnlichen Studien abhebt (siehe Abschnitt 4.1.3). Das Kataster ist inzwischen publiziert und steht interessierten Anwendern im Internet zur Verfügung [66].

4.2.3 Wie unterscheiden sich die untersuchten Formen der beruflichen Kniebelastung?

Die fünf in dieser Studie untersuchten Formen der Kniebelastung (Knien ohne Abstützung, Knien mit Abstützung, Fersensitz, Hocken und Kriechen) unterscheiden sich im untersuchten Kollektiv teilweise stark bezüglich Vorkommen und Häufigkeit. Die Eigenschaften und Besonderheiten der einzelnen Belastungsformen werden im Folgenden kurz dargestellt.

Knien ohne Abstützung

Wie bereits in Abschnitt 3.1 beschrieben, war das Knien ohne Abstützung im Untersuchungskollektiv die mit Abstand am häufigsten beobachtete Form der Kniebelastung (51,3 % der Gesamt-Kniebelastung) und konnte bei allen untersuchten Berufen in mehr oder weniger hohem Maße nachgewiesen werden. Auffallend häufig arbeiteten Werftarbeiter, Parkettleger, Installateure und Bodenleger in dieser Haltung.

Im Allgemeinen wird das Knien ohne Abstützung in Piktogrammen mit einem Kniewinkel von etwa 90° sowie einer Abstützung des Körpers durch das Knie und die Vorderseite des Unterschenkels dargestellt, z. B. [5]. In der Praxis schienen beide Kriterien eher selten erfüllt: Der Kniewinkel war bei den verschiedenen Arbeitsaufgaben unterschiedlich und lag in der Regel über 90° (Abbildung 62). Ein Kontakt der Unterschenkel-Vorderseite mit dem Boden war auf den Baustellen eher selten zu beobachten, was eventuell auf die relativ unflexiblen Sohlen der Arbeitssicherheitsschuhe zurückzuführen ist, die ein Abknicken im Fußgelenk erschweren (Abbildung 63).

Bei dieser Form des Knien trat in der Regel kein oder nur ein geringer sog. „Weichteilkontakt“ („thigh-and-calf-contact“ [65; 121; 122]) zwischen Oberschenkel-Rückseite und Wade auf. Dieser stellt ein wichtiges Kriterium bei der Abschätzung der im

Kniegelenk auftretenden Kräfte dar: Biomechanische Modellrechnungen zeigten bei knienden oder hockenden Haltungen mit ausgeprägtem Weichteilkontakt deutlich geringere Gelenkkräfte als bei knienden Haltungen ohne Weichteilkontakt [123].

Im Knien ohne Abstützung wurde in der Regel immer dann gearbeitet, wenn die Arbeitshöhe über längere Zeit unter Hüftniveau lag, sodass Arbeiten in Rumpfbeuge oder im Hocken als zu anstrengend empfunden wurden, sich der eigentliche Arbeitsort aber vor dem Körper, z. B. an einer Wand, befand (Abbildung 63). Waren die räumlichen Gegebenheiten beengt oder wechselte die Arbeitshöhe häufig, wurde eher einbeinig gekniet. Ob dies auf dem rechten oder linken Knie geschah, schien von verschiedenen Faktoren abhängig zu sein, z. B. individuelle Vorlieben, räumliche Gegebenheiten, einseitige Kniebeschwerden oder Händigkeit des Probanden.

Knien mit Abstützung

Das Knien mit abgestütztem Oberkörper war die am zweithäufigsten beobachtete Form der Kniebelastung in den untersuchten Arbeitsschichten (25,1 % der Kniebelastung gesamt). Die Messergebnisse zeigen das Vorkommen dieser Kniebelastung in allen untersuchten Berufen, wobei hier neben den Schweißern im Behälterbau insbesondere typische „Bodenberufe“ wie Parkett-, Estrich- und Fliesenleger (Abbildung 64) die höchsten Zeitanteile in dieser Haltung aufwiesen. Die untersuchten Betonbauer, Fahrzeugsattler, Maler, Pflasterer und Rohrleitungsbauer arbeiteten dagegen eher selten im abgestützten Knien. Eine Erklärung hierfür könnten für das Knien schlecht geeignete Untergründe (Betonbauer, Pflasterer), kurze Dauern der einzelnen Kniebelastungsphasen (Betonbauer, Fahrzeugsattler, Rohrleitungsbauer, Maler) sowie für diese Haltung ungeeignete Arbeitshöhen sein (Maler, Rohrleitungsbauer).

Das Knien mit Abstützung wurde üblicherweise beidbeinig ausgeführt, seltener auch einbeinig, z. B. an schwer zugänglichen Stellen (Abbildung 65), wobei der Oberkörper in solchen Fällen auch an der Wand statt am Boden abgestützt werden konnte. Ein Weichteilkontakt zwischen Oberschenkel-Rückseite und Wade war seltener zu beobachten, konnte aber auftreten.

Als Sonderfall ist das „Knien“ auf einer schiefen Ebene, z. B. einer Dachschräge anzusehen: Hierbei steht der Proband zu meist mit einem (gestreckten) Bein auf einer Dachlatte, während er sich mit dem anderen Bein auf der Dachschräge weiter oben kniend abstützt. Diese Körperhaltung wird in der Literatur auch als „knee supporting position“ beschrieben [38]. Bei relativ steilen Dächern (ca. > 40°) ist von einem „abgestützten Stehen“ auszugehen (Abbildung 66), bei weniger steilen Dächern (ca. < 40°) liegt dagegen der Körperschwerpunkt über dem gebeugten Knie, sodass die Haltung in diesem Fall als einbeiniges Knien mit oder ohne Abstützung des Oberkörpers definiert wurde (Abbildung 67).

Abbildung 62:
Beidbeiniges Knien ohne Abstützung, Kniewinkel ca. 130° (Dachdecker)



Abbildung 64:
Beidbeiniges Knien mit Abstützung (Fliesenleger)



Abbildung 65:
Einbeiniges Knien mit Abstützung an der Wand (Betonbauer)



Abbildung 63:
Beidbeiniges Knien ohne Abstützung, Kniewinkel ca. 90° (Fliesenleger)



Abbildung 66:
Sonderfall „Abgestütztes Stehen“ (Dachdecker)



Abbildung 67:
Sonderfall: Abgestütztes Knieen auf der Dachschräge (Dachdecker)



Fersensitz

Weitaus seltener als die zuvor beschriebenen Kniehaltungen war das Knieen im Fersensitz im Untersuchungskollektiv zu beobachten (9,5 % der Gesamt-Kniebelastung). Während etwa im Merkblatt zur BK 2112 die Seiza-Haltung mit den nach oben zeigenden Fußsohlen dargestellt ist, war in der Praxis eher die Kiza-Haltung mit den aufgestellten Füßen zu beobachten – vermutlich aufgrund der relativ unflexiblen Sohlen der Arbeitssicherheitsschuhe. Durch die maximal gebeugten Kniegelenke liegen im Fersensitz die Oberschenkel-Rückseiten auf den Waden auf, sodass ein ausgeprägter Weichteilkontakt besteht.

Der Fersensitz konnte in allen untersuchten Berufen beobachtet werden, wobei es keine Berufsgruppe mit einer wirklich starken Ausprägung dieser Haltung gab. Die bei Installateuren, Malern, Parkett-, Boden- und Fliesenlegern nachgewiesenen hohen durchschnittlichen Zeitanteile sind in der Regel auf Tätigkeiten im bodennahen Wandbereich, also vor dem Körper der Probanden zurückzuführen. Dazu zählen z. B. die Rohrleitungsmontage (Installateure), der Wandanstrich unterhalb Hüfthöhe (Maler) oder das Verlegen von Wandfliesen (Fliesenleger). Die Bodenleger im weiteren Sinne arbeiteten z. B. beim Anzeichnen und Zuschneiden von Fliesen (Fliesenleger), beim Parkettzuschnitt (Parkettleger) oder bei der Montage von Sockelleisten (Bodenleger) bevorzugt im Fersensitz. Allgemein kann der Fersensitz als eine Art „Erholungshaltung“ für Lendenwirbelsäule und Kniegelenke (v. a. für die Kniescheiben) nach längeren Bodentätigkeiten mit vorgebeugtem Oberkörper angesehen werden: Durch das Aufrichten des Oberkörpers und eine Entlastung der Patella-Außenseite, die im Fersensitz ihren Bodenkontakt verliert, bietet diese Haltung eine gewisse Entlastung für die genannten Strukturen. Auch hier bedingt der vollständig ausgeprägte Weichteilkontakt eine Reduzierung der Muskelkräfte im Oberschenkel und der Gelenkkräfte im Knie [123]. Jensen et al. konnten in ihren Laboruntersuchungen beim Fersensitz (kneeling back on heels) die geringsten externen Kniegelenkskräfte im Vergleich zu ein- und beidbeinigem Knieen sowie Kriechen verzeichnen [28]. Diese biomechanischen Erkenntnisse unterstützen die Theorie, den Fersensitz als „Erholungshaltung“ einzuschätzen.

Hocken

Hocken war in den Messergebnissen etwas häufiger als der Fersensitz zu verzeichnen (12,8 % der Kniebelastung). Beide in Abschnitt 1.5.4 beschriebenen Formen des Hockens – symmetrisch und unsymmetrisch – kamen in der Praxis vor.

Wie in Abschnitt 3.2.2 dargestellt, traten beim Hocken teilweise große Unterschiede zwischen den einzelnen Berufsgruppen auf. Die größten Zeitanteile in dieser Haltung waren bei den Pflasterern zu verzeichnen, die etwa beim Verlegen von Kleinpflaster im Schnitt ca. 80 % ihrer täglichen Arbeitszeit im Hocken arbeiteten. Derartige hohe Zeitanteile stellten im Untersuchungskollektiv aber die Ausnahme dar. Aufgrund der relativ hohen Instabilität dieser Haltung fand sie sich meist nur bei kurzen Vorgängen (z. B. Aufheben von Werkzeug) oder bei Fortbewegungen am Boden, bei denen in kurzen Abständen immer wieder dieselbe Tätigkeit zu verrichten war (z. B. Abkleben von Sockelleisten). Auch bei ungünstigen räumlichen Gegebenheiten wie Arbeiten auf stark unebenem Untergrund, bei denen kein Knieen möglich war (z. B. Werftarbeiter oder Betonbauer, Abbildung 68), oder auf Treppenstufen (z. B. Natur- und Kunststeinleger, Abbildung 69) wurde bevorzugt im Hocken gearbeitet.

Die üblicherweise relativ kurze Dauer der Hockvorgänge deckt sich mit den Ergebnissen der Studien von Chung et al., die das persönliche Beschwerdenempfinden von Probanden während des Hockens untersuchten [124; 125]. Sie geben an, dass mit zunehmender Kniegelenksflexion im Hocken die Beschwerden der Probanden anstiegen. Des Weiteren führten Lee und Chung Laboruntersuchungen zur maximal tolerierbaren Hockdauer durch und stellten fest, dass die individuellen Beschwerden der Probanden nach etwa vierminütigem Hocken signifikant anstiegen [126]. Ähnliche Ergebnisse erbrachte eine dänische Kohortenstudie zum Zusammenhang zwischen beruflichen physischen und psychosozialen Expositionen sowie der Ausbildung muskuloskelettaler Schmerzen [127]. Hier zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen Hocken (> 5 min/h) und der Ausbildung von Schmerzen in den Unterschenkeln sowie im Bereich der Schultern und des Nackens. Aus der Übersichtsarbeit von Reid et al. zum Zusammenhang zwischen beruflichen Körperhaltungen und Beschwerden in den unteren Extremitäten geht hervor, dass Hocken im Zusammenhang mit Beschwerden in Hüfte, Oberschenkel, Knie, Unterschenkel und Fuß steht [128]. Umso erstaunlicher erscheinen die hohen täglichen Zeitanteile des Hockens von durchschnittlich $82,5 \pm 5,9$ %, die in der vorliegenden Untersuchung bei Pflasterern (Kleinpflaster verlegen) nachgewiesen wurden. Vergleichbare Beobachtungen machten Jin et al. auch für bestimmte manuelle Erntetätigkeiten in den USA, wo Hocken – trotz im Labor nachgewiesener hoher körperlicher Belastungen – als durchaus übliche Körperhaltung unter den Probanden festzustellen war [129].

Eine Sonderform stellt das Hocken auf einem Schemel dar, wie es unter Pflasterern beim Verlegen von Kleinpflaster teilweise anzutreffen war (Abbildung 70). Da durch den Schemel bereits ein Großteil des Körpergewichts abgeleitet wird, reduziert sich die Belastung der Kniegelenke deutlich [130]. Aus diesem Grund wurde die Haltung in der Studie nicht als Hocken, sondern als Sitzen interpretiert.

Abbildung 68:
Sonderfall: Hohe Hocke (Betonbauer)



Abbildung 69:
Unsymmetrisches Hocken auf Treppenstufen
(Natur- und Kunststeinleger)



Abbildung 70:
Sonderfall: Hocken auf Schemel (Pflasterer)



Als weitere Sonderform ist die hohe Hocke anzusehen, bei der die Knie um ca. 60° bis 85° gebeugt werden, sodass kein Weichteilkontakt zustande kommt (Abbildung 68). Diese Haltung wird von Chung et al. als severe knee flexion eingestuft [124]. In ihrer Studie empfanden Probanden diese Haltung als sehr unangenehm, noch vor Knien, „tiefem“ Hocken, Stehen oder Sitzen. Auch in der vorliegenden Arbeit nahmen die Probanden diese Haltung – wenn überhaupt – in der Regel nur kurzzeitig ein. Die empfundenen Beschwerden korrespondieren mit den in dieser Haltung auftretenden hohen Muskel- und Gelenkkraften an den unteren Extremitäten [123].

Die hohe Hocke geht zwangsläufig mit dem Hinknien/Hinhocken und dem Wiederaufrichten aus diesen Haltungen einher, weshalb sie bei der Beurteilung dieser Vorgänge eine große Rolle spielt (siehe Abschnitt 4.2.5).

Kriechen

Die mit Abstand seltenste Form der untersuchten Kniebelastungen im Untersuchungskollektiv stellt das Kriechen dar (1,2 % Anteil an der Gesamt-Kniebelastung). Diese Art der Fortbewegung kann bei fast allen untersuchten Berufen aufgrund des geringen Vorkommens vernachlässigt werden. Ausnahmen scheinen die Berufsgruppen Fahrzeugsattler, Boden- und Estrichleger sowie Flugzeugabfertiger darzustellen, in denen mehr oder weniger regelmäßig kriechende Tätigkeiten zu beobachten waren. Die Fahrzeugsattler mussten z. B. Tackernadeln aus einer am Boden befestigten Lkw-Plane lösen und krochen dazu am Rand der Plane entlang. Bei den Bodenlegern waren kriechende Arbeiten z. B. beim Verlegen textiler Bodenbeläge und beim Zerschneiden von Altbelägen zu beobachten. Estrichleger mussten Dämmfolien am Rand und an den Stoßstellen im Kriechen verkleben. Die Flugzeugabfertiger schließlich waren durch die niedrige Deckenhöhe in den Gepäckfrachträumen genötigt, zu ihrem Einsatzort am Ende der Frachträume zu kriechen. Dies gilt in geringerem Maße auch für die untersuchten Werftarbeiter.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Kriechen in den untersuchten Tätigkeiten immer dann vorkam, wenn ununterbrochene Arbeiten entlang einer Strecke am Boden durchzuführen waren (z. B. Schneiden, Andrücken, Kleben) oder die räumlichen Gegebenheiten eine andere Fortbewegungsweise nicht zuließen (geringe Raumhöhe).

4.2.4 Wie hoch ist die arbeitstägliche Dauer der Kniebelastung in den untersuchten Tätigkeitsmodulen?

Die in Abschnitt 3.2 dargestellten Ergebnisse zeigen die Problematik, die Dauer der arbeitstäglichen Kniebelastung spezifisch für eine Berufsgruppe zu quantifizieren. Bei Betrachtung der verschiedenen Kniebelastungszeiten in einem Beruf wird deutlich, dass die Höhe der Expositionsdauer von verschiedenen Parametern abhängig ist. Hier sind neben individuellen Eigenheiten in erster Linie die Arbeitsinhalte zu nennen. Als Beispiel seien die Installateure oder Parkettleger genannt, bei denen das Spektrum des durchschnittlich gemessenen Schichtanteils kniebelastender Haltungen von 5,3 % (Fotovoltaikmontage, Flachdach) bis 65,8 % (Fußbodenheizungsvorbereitung) bzw.

von 0 % (Stabparkett federn) bis 74,1 % (Stabparkett verlegen) pro Tag reicht.

Die Messergebnisse bestätigen somit das a priori gewählte Design der Tätigkeitsmodule als Mittel der Wahl. 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 kann. Auch Tak et al. zeigten in ihrer Studie, dass Berufsgruppen nicht als homogene Expositionsgruppen aufgefasst werden können und empfehlen deshalb, feiner differenzierte Gruppen (z. B. Tätigkeitsmodule) zu untersuchen [131].

Darüber hinaus standen in der Studie in erster Linie Tätigkeiten im Fokus, bei denen das Vorkommen kniebelastender Körperhaltungen bereits erwartet wurde. Bei allen untersuchten Berufen sind aber auch Tätigkeiten bekannt, in denen Kniebelastungen gänzlich fehlen. Solche Arbeiten wären bei einer Mittelwertbildung über das gesamte Berufsbild ebenfalls zu berücksichtigen. Aus diesen Gründen wurde bei der Erstellung des Katasters auf die Angabe einer durchschnittlichen Kniebelastungsdauer pro Berufsbild verzichtet (Anmerkung: Alle folgenden Prozentangaben in diesem Unterkapitel beziehen sich auf Tabelle 4, S. 34 ff.).

Unter den Tätigkeitsmodulen gibt es eine Reihe von Beispielen, bei denen eine ähnlich hohe Kniebelastungsdauer in allen Einzelmessungen ermittelt wurde. Als Beispiele seien genannt (jeweils mit Angabe von Mittelwert \pm Standardabweichung der Kniebelastung gesamt in Prozent): Bodenbelag verlegen (Bodenleger, $48,2 \pm 5,9$ %), Flachdach: Anschluss mit Flüssigfolie (Dachdecker, $64,7 \pm 0,7$ %), Fließestrich: Dämmen (Estrichleger, $49,3 \pm 7,3$ %), Bodenfliesen verfugen (Fliesenleger, $66,7 \pm 2,8$ %), Heizkörpermontage (Installateur, $51,0 \pm 5,2$ %) oder Mosaikparkett verlegen (Parkettleger, $52,4 \pm 5,9$ %).

Neben diesen Beispielen sind aber auch innerhalb eines Tätigkeitsmoduls erhebliche Streuungen der Messwerte zu erkennen, die einerseits auf individuelle Vorlieben der Probanden zurückgehen, andererseits den Arbeitsinhalten und den Gegebenheiten auf den untersuchten Baustellen geschuldet sind. So hatten etwa unterschiedliche Arbeitshöhen in vielen Messungen einen großen Einfluss auf die Dauer der Kniebelastung für ein Tätigkeitsmodul. Als Beispiel sei das Tätigkeitsmodul Fassadenvorbereitung (Maler) genannt, das einen mittleren Schichtanteil der Kniebelastung von $35,0 \pm 21,4$ % ($n = 3$) aufweist. Die große Streuung der Messwerte ist durch unterschiedliche Arbeitshöhen und den Einsatz von Gerüsten zu erklären, die dazu führten, dass die Probanden bei derselben Tätigkeit je nach Gerüstlage im Stehen oder Knien arbeiten konnten.

Ähnliche Auswirkungen hatten unterschiedliche Dachneigungen auf die Dauer der Kniebelastung bei Steildacharbeiten, z. B. Dachanschlussarbeiten (Installateur) mit einer durchschnittlichen Kniebelastung von $20,3 \pm 17,7$ % pro Arbeitsschicht oder Steildach eindecken mit Biberschwanzziegeln (Dachdecker) mit einer mittleren Kniebelastung von $27,2 \pm 18,8$ % pro Arbeitsschicht.

Weiteren Einfluss auf die Höhe der arbeitstäglichen Kniebelastung hatten die Bedingungen vor Ort. So fanden sich hohe Streuungen der Kniebelastung bei Dachdeckerarbeiten auf Flachdächern: Schweißbahnen verlegen ($18,1 \pm 10,9$ %) und Kunststoffbahnen verlegen ($22,1 \pm 17,4$ %). In beiden Fällen waren unterschiedliche Strukturen der zu bearbeitenden Flachdächer (viele Lichtkuppeln – wenige Lichtkuppeln, viele Randarbeiten – wenige Randarbeiten) für die starke Streuung der Ergebnisse verantwortlich: Arbeiten in der Fläche des Daches waren in erster Linie im Stehen durchzuführen, Detailarbeiten an den Lichtkuppeln und den Randbereichen des Daches erfolgten dagegen hauptsächlich im Knien.

Schließlich spielten auch unterschiedliche Arbeitstechniken eine entscheidende Rolle für die in kniebelastenden Haltungen verbrachten Schichtanteile. Ein Beispiel hierfür ist das Tätigkeitsmodul Untergrund vorbereiten (Bodenleger). Die mittlere Kniebelastung pro Arbeitsschicht wurde hier mit $22,0 \pm 23,0$ % gemessen ($n = 4$). Die große Bandbreite der Messwerte ist durch den Einsatz von Hilfsmitteln zu erklären: Während drei Probanden die Ausgleichsmasse mittels eines Handspachtels im Knien auftrugen, arbeitete ein Proband zusätzlich mit einer sog. Rakel („Spachtel mit Teleskopstiel“) im Stehen.

Die Beispiele verdeutlichen die große Bandbreite individueller Belastungen, die selbstverständlich auch bei der Verwendung von Katasterdaten auftreten können. Dennoch ist davon auszugehen, dass sich die eingesetzte Methodik bezüglich Validität, Reliabilität und Differenziertheit der Ergebnisse sowie des Messumfangs in hohem Maße von bisher durchgeführten Expositionsermittlungen zu beruflichen Kniebelastungen abhebt.

Dies soll anhand eines Vergleichs der Ergebnisse mit ähnlichen Angaben aus der Fachliteratur gezeigt werden. Dabei ist festzustellen, dass sich in der internationalen und nationalen Literatur nur sehr wenige quantitative Angaben zum Vorkommen knien- oder hockender Tätigkeiten pro Arbeitsschicht in verschiedenen Berufen finden lassen. Beim Vergleich mit internationalen Studien kommt die Schwierigkeit hinzu, Berufsbezeichnungen exakt vergleichen zu können: Arbeitsinhalte gleicher Berufsbezeichnungen innerhalb verschiedener Staaten können stark unterschiedlich sein. Als Beispiel sei die englische Bezeichnung carpenter genannt, für die es mehrere deutsche Übersetzungen gibt: Schreiner, Tischler oder Zimmerer. Demnach können in Deutschland recht unterschiedliche Berufe gemeint sein. In Dänemark führt diese Berufsgruppe darüber hinaus auch Parkettverlegearbeiten durch, was in Deutschland eher unüblich ist [38; 103].

Im Folgenden sollen die Ergebnisse aus sieben Studien vorgestellt und mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit verglichen werden.

Wickström et al. untersuchten in einer finnischen Querschnittsstudie degenerative Kniegelenkserkrankungen von Stahlbetonbauern und Malern auf acht Baustellen [117]. 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 25 108 Beobachtungspunkte für

die Stahlbetonbauer und 7 512 für die Maler. Die Beinhaltungen 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 der Publikation nicht hervor. Für beide Gruppen wurden 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 der vorliegenden Untersuchung: Hier weisen die beiden untersuchten Tätigkeitsmodule des (Stahl-)Betonbauers durchschnittliche Kniebelastungen von ca. 14 bzw. 17 % auf, beim Maler liegen die mittleren Werte für die gemessenen fünf Tätigkeitsmodule und zwei Sonderfälle zwischen ca. 3 und 35 % (siehe Tabelle 4, S. 34 ff.).

In einer weiteren finnischen Studie wurden Kniebeschwerden von Parkett- und Bodenlegern sowie Malern untersucht [24]. Die damit verbundene Expositionsermittlung erfolgte mittels Videobeobachtung an den Arbeitsplätzen von 35 Probanden (elf Parkettleger, 15 Bodenleger, neun Maler) mit einer Gesamtbeobachtungszeit von zwölf Stunden. Somit wurden 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. In Tabelle 22 ist ein Vergleich der Ergebnisse jener Studie mit denen aus GonKatast dargestellt.

Tabelle 22:

Vergleich der prozentualen Kniebelastung aus der Studie von Kivimäki et al. [24] mit den Messwerten aus GonKatast (jeweils Mittelwert \pm Standardabweichung)

Beruf	Tätigkeit	Beobachtungszeit in min (aus [24])	Kniebelastung in % (aus [24])	arbeitstägliche Kniebelastung in % (aus GonKatast)
Parkettleger	Mosaikparkett verlegen	76	ca. 90	52 (\pm 6)
	Unterkonstruktion herstellen	37	ca. 60	62 (-) *
	Dielenboden verlegen	59	ca. 25	34 (-)
	Oberflächenbehandlung	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; **** Spachteln und Rakeln; ***** Innenanstrich

Teils stimmen die Ergebnisse überein, teils zeigen sich deutliche Unterschiede in den Werten, was die die Bedeutung der Erfassung sämtlicher Tätigkeiten einer Arbeitsschicht für die Validität der Ergebnisse hervorhebt.

Jensen et al. führten Videobeobachtungen zu Kniebelastungen bei Bodenlegern, Zimmerern und Schriftsetzern (Kontrollgruppe) in Dänemark durch [38; 103]. Sie beobachteten jeweils nur kurze Tätigkeitssequenzen von drei bis 30 Minuten Dauer und einer Gesamtbeobachtungszeit von ca. 1 400 Minuten. Als Ergebnis fanden sie für Bodenleger kniebelastende Körperhaltungen während ca. 56 % der Arbeitsstunden, für Zimmerer (u. a. mit Parkettarbeiten) eine Kniebelastung während etwa 25 % der beobachteten Arbeitsstunden und für Schriftsetzer keine relevanten Kniebelastungen.

Die Werte liegen im Vergleich mit den GonKatast-Ergebnissen sehr hoch, was u. U. mit den kurzen Beobachtungssequenzen zu erklären ist, deren Ergebnisse einfach auf die Gesamtdauer der Arbeitsschicht hochgerechnet wurden. Dies wurde auch von den Autoren kritisch beurteilt, sodass sie in einer

zusätzlichen Analyse vier Bodenleger während einer vollständigen Arbeitsschicht mit der Videokamera beobachteten und die Kniebelastungen auswerteten [28]. Insgesamt werteten sie ca. 1 670 Minuten Videofilm aus und erfassten die Zeitanteile der kniebelastenden Haltungen Knien, Fersensitz, Hocken und Kriechen mittels Stoppuhr. Zu den Tätigkeiten zählten 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 bessere Übereinstimmung mit den nachermittelten Ergebnissen aus Dänemark. Der Vergleich belegt erneut, wie wichtig die vollständige Abbildung einer Arbeitsschicht mit allen Tätigkeiten, Pausen- und Fahrzeiten u. Ä. für die Abschätzung der Tagesbelastung ist.

Aus den Niederlanden liegen quantitative Analysen zur Kniebelastung von Estrichlegern und Pflasterern vor [25]. Mittels des in Abschnitt 4.1.3 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 einbauen (3-Mann) und Zementestrich einbauen (2-Mann) in Höhe von ca. 52 bzw. 55 %. Für die Pflasterer (road maker) 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 ± 3 % aufwiesen. Ob hier von den Probanden in beiden Studien dieselben Tätigkeiten durchgeführt worden sind, ist anhand der Publikation nicht näher zu klären.

Hartmann und Fleischer 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) [119]. Zur Erhebung der Belastungen durch Knien, Hocken und Fersensitz setzten sie das in Abschnitt 4.1.3 beschriebene technisch unterstützte Beobachtungsverfahren ein (Arbeitswissenschaftliches Erhebungsverfahren für Bauarbeiten, AEB). 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 % (Rohrleitungs montage) 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 Rohrleitungs montage 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. 125 Beschäftigte aus zwölf Berufen hinsichtlich ihrer Kniebelastung durch Knien, Hocken und Fersensitz [26]. Die Beobachtung erfolgte mittels Papier- und Bleistift-Verfahren direkt an den Baustellen, und die Zeitanteile der kniebelastenden Haltungen wurden während eines vierstündigen Schichtanteils per Stoppuhr erfasst und auf die Gesamtschicht hochgerechnet (siehe Abschnitt 4.1.3). Die in den untersuchten Berufen jeweils ausgeübten Tätigkeiten sind in der Publikation nicht näher erläutert, stattdessen ist die Kniebelastung jeweils undifferenziert nur nach Berufsbild kategorisiert wiedergegeben (Tabelle 23).

Tabelle 23:
Prozentuale Kniebelastung pro Tag in zwölf Berufen nach Bolm-Audorff et al. [26] (jeweils Angabe von Mittelwert \pm Standardabweichung)

Beruf	Anzahl untersuchter Teilschichten à 4 h	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 der vorliegenden Arbeit 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 eine geringere Kniebelastung ermittelt, beim Verlegen von Kleinpflaster lagen die Werte mit einer durchschnittlichen Kniebelastung pro Schicht von $82,5 \pm 5,9$ % dagegen um fast das Fünffache 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 GonKatast-Ergebnisse 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 auch hier zu bedenken, dass in Studien zu beruflichen Kniebelastungen der Fokus 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 eigenen Studienergebnisse mit Angaben aus der Fachliteratur festhalten, dass nur wenige Angaben mit vergleichbar hoher interner und externer Validität zur arbeitstäglichen Kniebelastung in

verschiedenen Berufen verfügbar sind. Durch Zusammenfassen einzelner GonKatast-Ergebnisse sind z. T. direkte Vergleiche mit Literaturangaben möglich. Dabei sind einige Übereinstimmungen in den Ergebnissen zu finden. Insgesamt zeigt sich aber, dass die in den meisten Publikationen zu findenden berufsspezifischen Angaben zur Kniebelastung eine sehr vereinfachende Methode darstellen, die im Vergleich zu einer differenzierteren, tätigkeitsbezogenen Expositionsermittlung große Limitationen aufweisen.

4.2.5 Wie häufig kommen arbeitstägliche Kniebelastungsphasen in den untersuchten Berufen vor?

Da die untersuchten Berufsgruppen auch mit Blick auf die Häufigkeit der arbeitstäglichen Kniebelastungsphasen keine homogenen Expositiongruppen (homogenous exposure groups [131]) darstellen, wäre eine Auswertung auf der Basis der Tätigkeitsmodule ein sinnvoller Ansatz. Der besseren Übersicht halber wurde dennoch versucht, die Auswertungen auf der Basis der Berufe durchzuführen. Jede Kniebelastungsphase beginnt mit einem Hinknie- oder Hinhockvorgang, sodass die Anzahl dieser Vorgänge identisch mit der Anzahl der Kniebelastungsphasen ist.

Die entsprechenden Ergebnisse in Abschnitt 3.3 zeigen z. T. stark unterschiedliche Werte für die verschiedenen Berufsgruppen. Die Betonbauer liegen mit einer durchschnittlichen Anzahl von 384 Kniebelastungsphasen pro Arbeitsschicht an der Spitze des Untersuchungskollektivs, gefolgt von den Fahrzeugsattlern mit 304 Vorgängen. Bei beiden Berufen zeichnen sich die untersuchten Tätigkeitsmodule (Bewehren und Schalungsarbeiten bzw. Lkw-Planen anfertigen) dadurch aus, dass häufig am Boden gearbeitet werden musste, die einzelnen Vorgänge aber jeweils nur kurze Zeit beanspruchten (z. B. Schalbrett ausrichten und nageln, Lkw-Plane am Boden befestigen).

Am unteren Ende der Skala findet man dagegen Berufe, bei denen eine geringere Anzahl an Kniebelastungsphasen auftrat. Dazu zählen z. B. die Flugzeugabfertiger mit durchschnittlich 20 und die Formenbauer mit durchschnittlich 27 Hinknie-Vorgängen pro Arbeitsschicht. Die Arbeit der ersten Berufsgruppe zeichnet sich dadurch aus, dass die Probanden zum Be- und Entladen von Passagierflugzeugen in die relativ engen und niedrigen Gepäckräume kriechen und dort aufgrund der beengten Raumverhältnisse ihre Arbeit im Knien verrichten mussten. Erst nach dem Be- oder Entladen konnten sie den Gepäckraum wieder verlassen und sich aufrichten. Die Anzahl der durchschnittlichen Kniebelastungsphasen pro Arbeitsschicht (20) korrespondiert recht gut mit der pro Arbeitsschicht durchschnittlich abgefertigten Anzahl von etwa acht Flugzeugen, wenn man bedenkt, dass die Probanden zwischen Ent- und Beladen der Maschinen jeweils Gelegenheit hatten, sich an der Frachtraumluke aufzurichten oder hinzusetzen. Bei den Formenbauern kamen kniebelastende Haltungen üblicherweise nur bei der Tätigkeit Auftragen der Formschichte vor, die pro Form nur einmal – und somit selten am Tag – durchgeführt werden musste.

Der ebenfalls in Abschnitt 3.3 gezeigte Vergleich der Anzahl täglicher Kniebelastungsphasen mit der durchschnittlichen Dauer der gesamten Kniebelastung pro Tag in den einzelnen Berufen bestätigt die o. g. Erläuterungen. Die Flugzeugabfertiger hatten

im Vergleich zu den wenigen Kniebelastungsphasen (20) eine relativ hohe mittlere Kniebelastungsdauer pro Tag (ca. 13,0 % Schichtanteil), die Betonbauer gegenüber ihrer hohen Anzahl an Kniebelastungsphasen (384) eine relativ geringe mittlere Dauer der arbeitstäglichen Kniebelastung (ca. 15,5 % Schichtanteil). Ein ähnliches Verhältnis zwischen Anzahl der Kniebelastungsphasen und täglicher Dauer der Kniebelastung wie bei den Flugzeugabfertigern fand sich bei Formenbauern, Schweißern und weniger ausgeprägt bei Estrich-, Parkett-, Boden- und Fliesenlegern sowie Pflasterern und Werftarbeitern. Zu dieser Gruppe zählen also insbesondere typische Bodenberufe, bei denen längere ununterbrochene Phasen von Arbeiten am Boden vorkommen können. Ähnliche Verhältnisse wie bei den Betonbauern fanden sich dagegen lediglich noch bei Fahrzeugsattlern und weniger deutlich bei Dachdeckern, Rohrleitungsbauern sowie Natur- und Kunststeinlegern. In diesen Berufen wurden die Kniebelastungsphasen immer wieder durch Ortswechsel o. Ä. unterbrochen. Man kann hier von einer höheren Dynamik hinsichtlich der Kniebelastung sprechen.

Diese Ergebnisse können in Verbindung mit biomechanischen und medizinischen Erkenntnissen eventuell wichtig sein, wenn sich hinsichtlich der Empfehlung von Präventionsmaßnahmen folgende Frage stellt: Ist es für die Kniegelenke vorteilhafter, in längerem, quasi-statischen Knien zu arbeiten oder häufiger die Arbeit zu unterbrechen und aufzustehen? Die Frage kann derzeit nicht fundiert beantwortet werden, da in der Fachliteratur z. T. Argumente gegen beide Optionen sprechen: Einerseits finden sich Anzeichen, dass die beim Aufstehen und Hinknien zu durchlaufende hohe Hocke mit erheblichen Belastungen verbunden ist [123; 124] (siehe auch Abschnitt 4.2.3 Hocken), andererseits sind auch Beschwerden durch Gefäßkompressionen infolge mehr oder weniger statischen Knien mit stark gebeugten Kniegelenken bekannt [125]. Hier sind weitere Forschungsarbeiten zur Klärung notwendig.

4.2.6 Wie lange dauern die einzelnen Kniebelastungsphasen in den verschiedenen Berufen?

Die Auswertungen zur Dauer der einzelnen Kniebelastungsphasen in den untersuchten Berufen ergaben teilweise recht hohe Streuungen innerhalb einzelner Berufsgruppen. Als Beispiele seien die Berufe Dachdecker (0,2 bis 9,1 min, bei 14 Modulen), Fliesenleger (0,8 bis 5,3 min, bei acht Modulen) oder Parkettleger (0,2 bis 3,8 min, bei sieben Modulen) genannt. Somit weisen auch die Ergebnisse zur Dauer einzelner Kniebelastungsphasen darauf hin, dass die Expositionen innerhalb einer Berufsgruppe sehr heterogen sein können und demnach keine homogenous exposure groups bilden [131]. Ein Indiz dafür sind die in Abschnitt 3.4 erläuterten Standardabweichungen für die Dauer der Kniebelastungsphasen in den einzelnen Berufen, die im Verhältnis zu den jeweiligen Mittelwerten relativ hoch sind. Der Mittelwert über alle Kniebelastungsphasen lag bei $1,4 \pm 1,5$ min. Durch die relativ häufig vorkommenden kurzen Vorgänge im Hocken ist der arithmetische Mittelwert allerdings für die Beantwortung der Frage, wie lange in der Praxis ohne Unterbrechung in einer kniebelastenden Haltung gearbeitet wird, wenig hilfreich. Dies wird besonders deutlich bei Betrachtung der Maximalwerte zur Dauer der Kniebelastungsphasen in den einzelnen Arbeitsschichten: Diese lagen bei 40,4 min (Parkettleger, Stabparkett verlegen), 34,3 min (Schweißer, Wände

einschweißen) oder 31,2 min (Parkettleger, Schleifen und Verkiten). Es ist aber darauf hinzuweisen, dass solche Maximalwerte über 20 min lediglich in elf der 242 untersuchten Arbeitsschichten (= 4,6 %) vorkamen. Etwa 78 % der Arbeitsschichten wiesen eine Maximaldauer der Kniebelastungsphasen unter zehn Minuten auf, in etwa einem Viertel (26,9 %) aller untersuchten Arbeitsschichten lag diese Maximaldauer sogar unterhalb von zwei Minuten.

Die heterogenen Expositionsverhältnisse innerhalb einer Berufsgruppe wirken sich beispielsweise auch hinsichtlich der Auswertung zur mittleren Dauer der Kniebelastungsphasen je Beruf aus. Der in Abschnitt 3.4 für die Schweißer dargestellte Wert von 13,5 min stellt die mit Abstand längste gemessene mittlere Dauer einer Kniebelastungsphase dar. Dagegen liegen etwa die Parkettleger, unter denen der höchste Wert für die Dauer einer Kniebelastungsphase überhaupt gemessen wurde (s. o.), lediglich bei einem Mittelwert von $1,9 \pm 2,1$ min. Bei der Interpretation dieser Werte ist zu berücksichtigen, dass für die Schweißer lediglich ein Tätigkeitsmodul (Wände einschweißen) mit drei Arbeitsschichten in die Untersuchung einbezogen werden konnte. Die beengten Verhältnisse im Behälter erlaubten den Schweißern nur sehr geringe Variationen in ihrer Arbeitshaltung. Dagegen gingen die Arbeiten der Parkettleger mit drei Tätigkeitsmodulen, vier Sonderfällen und insgesamt 28 Arbeitsschichten in die Auswertungen ein, umfasst sind verschiedenartige Arbeiten wie Reinigen, Schleifen am Boden, Schleifen im Stehen, Parkett verlegen usw.

Insgesamt stimmen die Ergebnisse zur Dauer einzelner Kniebelastungsphasen gut mit den in Abschnitt 4.2.5 beschriebenen Ergebnissen zur Anzahl der Kniebelastungsphasen pro Arbeitsschicht überein. Berufe, in denen viele Kniebelastungsphasen gemessen wurden, zeichnen sich durch relativ kurze Kniebelastungsphasen aus (z. B. Betonbauer, Fahrzeugsattler), Berufe, in denen längere Zeit stationär am Boden zu arbeiten war, weisen im Umkehrschluss weniger Hinknie- und Aufstehvorgänge auf, z. B. Flugzeugabfertiger, Fliesenleger, Parkettleger und Schweißer (im Behälterbau).

In der Literatur konnten keine vergleichbaren Untersuchungen gefunden werden.

4.2.7 Welche Kniewinkelbereiche umfassen die untersuchten Kniebelastungen?

Die in Abschnitt 3.5 zusammengefassten Auswertungen zu den während der Kniebelastungsphasen eingenommenen Kniewinkelbereichen haben gezeigt, dass die untersuchten kniebelastenden Haltungen in hohem Maße große bis sehr große Flexionswinkel der Kniegelenke von über 120° zur Folge hatten. Im Gegensatz etwa zu den häufig verwendeten Piktogrammen kniender Haltungen, die Kniewinkel von ca. 90° darstellen, konnte die vorliegende Studie zeigen, dass in den typischen beruflichen Kniebelastungen dieser Winkelbereich fast keine Rolle spielt. Dagegen waren extreme Beugewinkel von über 150° mit einem Anteil von ca. 25 % an der Gesamt-Kniebelastung relativ häufig.

Diese Ergebnisse sprechen für den Effekt des bereits mehrfach erwähnten Weichteilkontakts bei hohen Kniewinkelgraden, der zu einer Reduzierung der Gelenkkräfte im Knie führt [28; 123]. Da der Anteil an Kniewinkelbereichen über 120° an der Gesamt-Kniebelastung mit 75 % weitaus höher ist als die Summe der durchschnittlichen Anteile aus Fersensitz (9,5 %) und Hocken (12,8 %), belegen die Ergebnisse, dass die hohen Kniewinkelbereiche auch in anderen Haltungen wie dem Knien mit oder ohne Abstützung erreicht wurden. Die aus der Studie von Chung et al. [124] abgeleiteten Erkenntnisse, dass beidbeiniges Knien mit vollkommen ausgeprägter Kniegelenksflexion von den Probanden als deutlich unangenehmer eingestuft wird als Knien in 90° -Flexion, scheint auf die Ausführung des Knien in den untersuchten Tätigkeiten keinen Einfluss zu haben. Sollten die von Chung et al. genannten Symptome wie Kribbeln und Taubheitsgefühl in den Beinen nach Knien in Vollflexion zutreffen, könnten die vorliegenden Ergebnisse zu den Kniewinkelbereichen Hinweise zu Klärung von Kniegelenksbeschwerden in Berufen mit hoher Kniebelastung geben.

4.2.8 Betreffen die untersuchten Kniebelastungen beide Kniegelenke gleichmäßig?

Die Auswertungen zum einbeinigen Knien ergaben für die einzelnen Berufe sehr unterschiedliche Ergebnisse (siehe Abschnitt 3.6). Betrachtet man die Unterschiede zwischen einbeinigem Knien rechts und links, so wird deutlich, dass diese Anteile nicht gleichmäßig verteilt sind. In der Regel wird eine Seite bevorzugt, sodass nicht von einer gleichmäßigen Belastung beider Kniegelenke anhand dieses Merkmals gesprochen werden kann. Das untersuchte Probandenkollektiv tendierte bevorzugt zum einbeinigen Knien auf der rechten Seite. Rechtshänder scheinen eher auf dem rechten Knie zu knien, möglicherweise damit das aufgestellte Bein nicht den Bewegungsradius des rechten Arms beeinträchtigt. Da die Mehrzahl der Probanden (93,3 %) Rechtshänder waren, könnte dies eine Erklärung für die beobachtete Präferenz sein. Weitere Faktoren, die ein einbeiniges Knien bedingen und bestimmen, waren z. B. örtliche Gegebenheiten, individuelle Vorlieben sowie einseitige Kniebeschwerden.

Biomechanisch lässt sich nicht begründen, dass beim einbeinigen Knien nur das Knie mit Bodenkontakt belastet ist. Durch die starke Flexion wirken auch im anderen Knie Gelenkkräfte, die sich von denen im Stehen unterscheiden. Dennoch scheinen beide Belastungen unterschiedlich zu sein. Für Gelenkstrukturen, die unmittelbar vom Bodenkontakt betroffen sind, etwa die Schleimbeutel, ist das entsprechende „Boden-Knie“ als deutlich höher belastet einzustufen.

Wie die mittleren Zeitanteile im einbeinigen Knien von 4,4 % (rechts) bzw. 2,6 % (links) zeigten, spielte diese Belastungsform im gesamten Probandenkollektiv eine eher untergeordnete Rolle. Dennoch machte das einbeinige Knien in einigen Berufen einen großen Anteil an der Gesamt-Kniebelastung aus (z. B. Formenbauer, Fahrzeugsattler, Dachdecker), sodass in zukünftigen Studien auch diese Belastungsform berücksichtigt werden sollte.

Den in dieser Arbeit zitierten Studien zu Kniegelenkskrankungen oder -belastungen waren keine Informationen zur Unterscheidung von ein- oder beidbeinigem Knien zu entnehmen.

Teil B: Methodenvergleich

Analog zu Studienteil A sollen in diesem Abschnitt die Methoden und Ergebnisse aus Studienteil B inhaltlich und im Vergleich mit ähnlichen Studien aus der Literatur diskutiert werden.

4.3 Diskussion der eingesetzten Methoden (Teil B)

Die Erhebung beruflicher Belastungen über Probandenbefragungen ist eine weit verbreitete Methode in Epidemiologie, Arbeitsmedizin und Arbeitswissenschaft. Dies gilt in besonderem Maße für die Erfassung mechanischer Belastungen des Muskel-Skelett-Systems. Dementsprechend groß ist auch das Interesse an Informationen zur Validität und Reliabilität der auf diese Weise gewonnenen Daten. Zur Klärung dieser Fragen sind Vergleiche zwischen den subjektiven Befragungsergebnissen und den mittels objektiverer Beobachtungs- oder Messverfahren gewonnenen Daten notwendig, wie sie in der vorliegenden Arbeit durchgeführt wurden. In der wissenschaftlichen Literatur findet sich eine Reihe von Methodenvergleichen, für die in den letzten Jahren in verschiedenen Übersichtsarbeiten Qualitätskriterien vorgeschlagen wurden, die in diesem Kapitel zusammenfassend dargestellt sind.

Barrero et al. bewerteten in ihrem Review zum Zusammenhang zwischen arbeitsbezogenen mechanischen Beanspruchungen und der Ausbildung von Muskel-Skelett-Erkrankungen die Qualität von 40 Validierungsstudien nach folgenden Kriterien [132]:

- Art der Referenzmethode (Abschätzung, Beobachtung, Messung)
- Art der Selbsteinschätzung (Selbstaussfüller, Interview, Logbuch)
- Beschreibung des untersuchten Probandenkollektivs (Alter, Geschlecht, Bildungsgrad, blue- oder white-collar-worker usw.)
- Art der Fragestellung (offen, geschlossen)
- Angaben der wörtlichen Fragestellung
- Antwortmöglichkeiten (offen, kategorial mit drei-, vier-, sechsstufigen Antwortskalen usw., dichotome Skalen, z. B. ja/nein-Fragen)
- Art der untersuchten Exposition (Haltung, Bewegung, Kraft, u. a.)
- Dimension der untersuchten Exposition (Dauer, Häufigkeit, Stärke)
- Übereinstimmung der zu vergleichenden Zeiträume
- Vorkommen/Streuung der Exposition im Untersuchungskollektiv.

Stock et al. führten darüber hinaus noch die folgenden zusätzlichen Kriterien ins Feld [133]:

- Zeitspanne zwischen Einsatz der Referenzmethode und Befragung
- ausreichend lange Vergleichsintervalle
- ausreichend große Probandenkollektive
- methodische Einschränkungen der Referenzmethode (Reliabilität, Validität)
- Übereinstimmung der Probanden in beiden Verfahren.

Anhand dieser Kriterien sollen die Stärken und Limitationen der in Studienteil B eingesetzten Methoden diskutiert werden.

4.3.1 Stärken der eingesetzten Methodik (Teil B)

Der in der vorliegenden Studie durchgeführte Methodenvergleich zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

Der Vergleich zwischen subjektiver Selbsteinschätzung und objektivem Verfahren wurde zu zwei verschiedenen Zeitpunkten durchgeführt: direkt im Anschluss an die einzuschätzende Tätigkeit sowie ein halbes Jahr später. Ähnliche Vergleiche zu kniebelastenden Tätigkeiten über längere Zeiträume mit der Untersuchung von Recall-Effekten waren in der Literatur nicht zu finden.

Als Referenzmethode wurde ein Messverfahren mit hoher Validität und Reliabilität eingesetzt, was z. B. in der Übersichtsarbeit von *Barriera-Viruet et al.* in die höchste Qualitätsstufe klassifiziert wurde [134]. Aufgrund des damit verbundenen hohen technischen und zeitlichen Aufwands waren Messmethoden in den von *Barrero et al.* untersuchten Studien nur zu ca. 18 % als Referenz eingesetzt [132]; demgegenüber standen 74 % der Studien mit Beobachtungsverfahren und 6,5 % mit anderen Selbsteinschätzungen. In ähnlichen Vergleichsstudien zu beruflichen Kniebelastungen kamen verschiedene Varianten von Beobachtungsverfahren zum Einsatz, aber keine Messverfahren (siehe Abschnitt 4.4.1).

Als Methode der Selbsteinschätzung kam in der vorliegenden Studie zu beiden Befragungszeitpunkten t_0 und t_1 ein Fragebogen (Selbstaussfüller) zum Einsatz, was die in epidemiologischen Studien übliche Form für derartige Erhebungen darstellt: *Barrero et al.* fanden diese Erhebungsart in ca. 70 % der von ihnen untersuchten Studien, gefolgt von Tage-/Logbüchern (ca. 17 %) und Interviews (ca. 13 %).

Beide Methoden wurden „eins zu eins“ eingesetzt, d. h. sowohl die Probanden als auch die zu beschreibende Tätigkeit waren für die messtechnische Erfassung und für beide Befragungen identisch. Es wurden zu beiden Zeitpunkten t_0 und t_1 die Ergebnisse einer Messung und einer Befragung eines Probanden zu einer spezifischen Tätigkeit miteinander verglichen. Somit sind auch hier die höchsten Qualitätskriterien für den Methodenvergleich erreicht.

Die jeweils untersuchten Zeiträume erscheinen mit einer durchschnittlichen Messdauer von etwa zwei Stunden (118 ± 44 min) im Vergleich zu Angaben aus der Literatur mehr als ausreichend. Bei der Wahl kürzerer Zeiträume können die interessierenden Expositionen eventuell so selten sein, dass eine künstliche Übereinstimmung zwischen gemessener und geschätzter Dauer resultieren kann [133].

Auch der Umfang der Untersuchung mit 190 Teilnehmern an der ersten und 125 Teilnehmern an der zweiten Befragung muss im Vergleich zu den meisten veröffentlichten Studien auf diesem Gebiet als eine Stärke der Methodik angesehen werden: In den zehn von *Stock et al.* untersuchten Validierungsstudien lagen die Probandenzahlen im Mittel bei 104 ± 63 bzw. bei 79 ± 30 , wenn man nur die vier Studien auswählt, in denen Messverfahren als Referenz Verwendung fanden [133].

Durch den Einsatz des Nordischen Fragebogens war eine Beschreibung des Probandenkollektivs hinsichtlich Alter, Geschlecht, BMI, Beruf, Berufsjahren im aktuellen Beruf sowie dem Auftreten muskuloskelettaler Beschwerden möglich. Demnach kann das Untersuchungskollektiv in Bezug auf Geschlecht, Alter, BMI und Berufsklasse (blue collar worker) als relativ homogen bezeichnet werden. Die Erfassung von Beschwerden ermöglichte die Untersuchung einer möglicherweise durch diese verursachte Fehleinschätzung der Belastung (differential misclassification, siehe Abschnitt 4.4.5).

Bei den Fragen zur Kniebelastung der Probanden handelte es sich um offene Fragen mit der Möglichkeit der freien Antwort zur Quantifizierung der Belastungen. Auf diese Weise sollte verhindert werden, dass Probanden in der Darstellung ihrer Exposition beschränkt sind [133]. Des Weiteren erlaubte diese Art der Fragestellung nicht nur einen Vergleich der Identifizierung der Exposition durch beide Verfahren (Vorkommen ja/nein), sondern auch einen Vergleich der quantitativen Angaben. Die einzelnen Fragen sind in den Anhängen 14 und 16 im Wortlaut (wording) dargestellt.

Die untersuchten Expositionen umfassen Haltungen und Bewegungen (Kriechen) in den dafür üblichen Dimensionen Dauer und Häufigkeit.

Die Auswahl der in der Arbeit eingesetzten statistischen Verfahren wurde erst nach Prüfung der Daten auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test) in adäquater Weise getroffen: Da keine Normalverteilung vorlag, fanden die Korrelationsberechnung nach Spearman und der Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben Verwendung. Beide Verfahren kommen in Validierungsstudien häufig zum Einsatz: Korrelationsmaße etwa sind nach *Barrero et al.* in 27 von 40 Studien angegeben [132], *Stock et al.* konnten sie für sechs von zehn Studien beschreiben [133]. *Grouven et al.* weisen aber darauf hin, dass die Übereinstimmung von Messmethoden mit einer einzelnen statistischen Maßzahl nicht umfassend zu beschreiben ist [96]. Hohe Korrelationen sind z. B. nicht gleichbedeutend mit einer hohen Übereinstimmung: Ein konstanter Unterschied – egal welcher Größe – in den Ergebnissen beider Methoden schließt eine hohe Korrelation nicht aus. Zusätzlich geben sie zu bedenken, dass Korrelationen abhängig vom betrachteten Wertebereich sind: Bei einer großen Spannweite der Stichprobenwerte erreichen die

Korrelationen höhere Werte als bei kleineren Wertebereichen. Ein Vergleich der durchschnittlichen Differenzen der Wertepaare mit anschließendem Test auf eine nicht vorhandene Verzerrung (t-Test bzw. nicht-parametrisch: Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben), wie er häufig durchgeführt wird, gibt keinen Aufschluss über die Übereinstimmung der Methoden. Die Autoren legen anschaulich dar, dass bei der Beurteilung der Übereinstimmung zweier auf einer kontinuierlichen Skala erfassten Messmethoden zwei Aspekte eine Rolle spielen: die durchschnittliche Übereinstimmung der Verfahren (Bias) und die Streuung der individuellen Messwertdifferenzen. Aus diesen Gründen wurde zusätzlich das grafische Verfahren nach *Bland* und *Altman* zur Darstellung und Quantifizierung der Übereinstimmung beider Methoden eingesetzt [94]. Mithilfe der entsprechenden Bland-Altman-Plots lassen sich Größenordnungen und Muster der individuellen Abweichungen zwischen Messung und Selbsteinschätzung ablesen.

Zusammengefasst lassen sich die Stärken der Methoden aus Teil B wie folgt darstellen:

- valide Referenzmethode
- großes Probandenkollektiv
- qualitativ hochwertiges Studiendesign (Vergleichszeiträume, Probanden)
- Befragung zu zwei Zeitpunkten zur Untersuchung von Langzeiteffekten in der Angabe von Belastungen (Recall-Bias)
- Erfassung von Beschwerden, um deren Einfluss auf die Abschätzungsgüte untersuchen zu können (differential misclassification)
- Anwendung adäquater statistischer Methoden, um Übereinstimmungen und Abweichungen zwischen beiden Methoden sowie den Einfluss der Expositionshöhe auf die Abschätzungsgüte untersuchen zu können.

4.3.2 Limitationen der eingesetzten Methodik (Teil B)

Die vorliegende Arbeit unterlag verschiedenen Beschränkungen, die bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen sind.

Die Responserate für die zweite Befragung Qt_1 fiel mit 67,2 % gegenüber der 100-%-Teilnahmequote aus der ersten Befragung Qt_0 weitaus geringer aus. Da auf diese Weise immer noch über zwei Drittel der Probanden an beiden Befragungen teilnahm, kann dies im Vergleich zu ähnlichen Studien aus Deutschland schon als Erfolg gelten (zur geringen Responserate wissenschaftlicher Studien in Deutschland vgl. [135] und [136]). Eine Nonresponder-Analyse ergab ähnliche bis identische Ergebnisse wie für das gesamte Probandenkollektiv: Unter den Nichtteilnehmern fanden sich 13 der insgesamt 16 untersuchten Berufe wieder, das Durchschnittsalter lag bei $33,0 \pm 11,3$ Jahren (gesamt: $35,6 \pm 11,5$ Jahre), die durchschnittliche Anzahl der Jahre im aktuellen Beruf bei $13,0 \pm 11,0$ Jahren (gesamt: $14,8 \pm 11,5$ Jahre) und der Ausländeranteil bei 20,0 % (gesamt: 16,3 %). Ein Nonresponder-Bias auf der Grundlage dieser Daten erscheint deshalb

unwahrscheinlich. Ob dagegen gerade solche Probanden an der zweiten Befragung nicht mehr teilgenommen haben, die ihre Exposition gut oder schlecht abschätzen können, ist aus den Daten nicht ersichtlich.

Beim Vergleich zwischen den beiden Befragungen Qt_0 und Qt_1 ist zu berücksichtigen, dass nur bei der ersten Befragung Verständnisfragen der Probanden möglich waren, da zu diesem Zeitpunkt ein Messingenieur anwesend war, während die zweite Befragung über den Postweg erfolgte. Dies könnte Verständnisprobleme bei der zweiten Befragung und dadurch schlechtere Selbsteinschätzungen der Probanden zur Folge haben. Allerdings enthielt der Fragebogen Qt_1 ein erläuterndes Begleitschreiben sowie eine kurze Zusammenfassung der während der Messzeit vorgenommenen Tätigkeiten als Ausfüllhilfen (z. B. geflieste Fläche, Art der Baustelle). Die Struktur des Fragebogens war identisch mit Fragebogen Qt_0 .

Als kritisch kann die Abfrageform der Kniebelastungen angesehen werden, bei der die Probanden zwischen fünf verschiedenen Formen der Kniebelastung unterscheiden mussten und jeweils Häufigkeit und Dauer von Einzelvorgängen angeben sollten. Auf diese Art und Weise war eine Prüfung der Angaben auf Plausibilität für die Probanden nur durch Multiplizieren und Addieren möglich. Solche Transferleistungen waren eventuell nicht für alle Probanden möglich. Es handelt sich bei dieser Form der Abfrage dennoch um eine in epidemiologischen Studien durchaus übliche Art der Expositionsermittlung (z. B. [69]). Zur Vermeidung eines solchen Effekts werden in epidemiologischen Studien üblicherweise Plausibilitätsprüfungen durchgeführt, um unplausible Angaben aus der Analyse auszuschließen. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen zeigen, wie wichtig derartigen Plausibilitätskontrollen sind.

Um die Validität von quantitativen Abschätzungen prüfen zu können, waren die Fragen mit Absicht offen und ohne Vorgaben von Antwortoptionen gestaltet. Dies hatte zur Folge, dass z. T. Kniebelastungsdauern geschätzt wurden, die über der gesamten Messdauer lagen. In der Befragung Qt_0 lag ca. ein Drittel (33,7 %) aller Schätzungen für die Gesamt-Kniebelastung über der Messdauer, in Befragung Qt_1 sogar 44,5 %. Ähnliche Effekte sind auch aus anderen Studien mit offener Frageform bekannt (z. B. [34]). Es ist denkbar, dass sich die Probanden nicht an die Dauer einzelner Körperhaltungen während des Messzeitraums erinnerten, sondern – trotz deutlicher Hinweise in Anschreiben und Fragebogen – ihre Angaben auf eine gesamte Arbeitsschicht bezogen haben. Zum Abschätzverhalten von Probanden bezüglich der Kniebelastung pro Arbeitsschicht kann die Studie keine Aussage treffen.

Um eine eventuell hierdurch hervorgerufene Verzerrung der Ergebnisse zu erkennen, wurde für die Befragung Qt_0 ein zweiter Methodenvergleich mit einem Subkollektiv durchgeführt, welches lediglich Schätzwerte enthielt, die innerhalb der Messdauer lagen ($n = 126$, siehe Abschnitt 3.7.1). Die Ergebnisse dieser Subanalyse sind vergleichbar mit denen des Gesamtkollektivs. Unterschiede sind erwartungsgemäß v. a. im Bereich der extremen Überschätzungen zu sehen. Demnach erscheinen Effekte durch die Art der Fragestellung möglich, beeinflussen aber die Ergebnisse des Methodenvergleichs nur geringfügig.

Die Abschätzung der Belastungsdauern in der Zeiteinheit Minuten könnte eventuell bei Vorgängen von kurzer Dauer zu Problemen bei der Abschätzung geführt haben. Die Optionen Sekunden oder Stunden erschienen für die abgefragten Expositionen allerdings gänzlich inadäquat. Eine Abfrage von Zeitanteilen pro Messung in Prozent erschien ebenfalls als nicht geeignet, da die Messdauern nicht konstant waren, sondern sich nach den Gegebenheiten vor Ort richten mussten und auch Werte wie 87 min o. Ä. annehmen konnten. Eine Abschätzung von Prozentanteilen zu derartigen Referenzzeiten erschien als nicht durchführbar. Nach *Heinrich et al.*, die die Selbsteinschätzung der Dauer von Computerarbeit untersuchten, war es für die Probanden leichter, die Expositionsdauer in absoluter Zeit anzugeben als in prozentualen Anteilen an der Gesamtschicht [137].

Die Studie kann keine Aussagen zum Abschätzverhalten von Frauen treffen, da nur männliche Probanden an der Untersuchung teilnahmen. In der Übersichtsarbeit von *Stock et al.* [133] waren in der Mehrzahl der Studien keine geschlechtsspezifischen Unterschiede im Einschätzverhalten beruflicher Expositionen nachzuweisen, dennoch finden sich in einer Studie zu Büroarbeit Hinweise auf das Vorliegen einer geschlechtsbezogenen, differenziellen Fehleinschätzung.

4.4 Diskussion der Ergebnisse (Teil B)

Analog zu Studienteil A werden auch die in Abschnitt 1.2 formulierten Fragen zu Untersuchungsteil B beantwortet und wiederum die Ergebnisse mit Angaben aus ähnlichen Studien verglichen.

4.4.1 Wie gut können die Probanden ihre Kniebelastung direkt im Anschluss an die Messung abschätzen?

Wie die in Abschnitt 3.7 dargestellten Ergebnisse belegen, ist bei der Qualität der Selbsteinschätzung grundsätzlich zwischen der Identifizierung (ja/nein) und der Quantifizierung der interessierenden Expositionen zu unterscheiden.

Die Identifizierung, also die Frage nach dem Vorkommen oder Fehlen der Exposition, kann für die Befragung Qt_0 als befriedigend bis sehr gut eingestuft werden: Hinsichtlich des Vorkommens irgendeiner Kniebelastung fand sich eine 100%ige Übereinstimmung zwischen Befragung und Messung. In Bezug auf die Identifizierung der einzelnen Kniebelastungsformen stimmten die Ergebnisse beider Methoden zwischen 67,4 % (Hocken) und 90,0 % (Knien ohne Abstützung) überein. Die Befragung direkt im Anschluss an die Messung war somit durchaus geeignet, das Vorkommen der einzelnen Expositionen korrekt zu beschreiben.

Zur Quantifizierung der einzelnen Belastungen ergaben die Untersuchungen dagegen relativ schlechte Übereinstimmungen zwischen beiden Methoden. Die von den Probanden abgeschätzte Dauer ihrer Kniebelastung wich in der Regel deutlich von der gemessenen Expositionszeit ab: Die Befragungsdaten zeigten signifikant höhere Mediane, Mittelwerte und Standardabweichungen gegenüber den Messwerten für alle untersuchten Kniebelastungsformen. Die schlechten Übereinstimmungen wurden durch Analysen zur Regression und Korrelation bestätigt

(z. B. Kniebelastung gesamt: $R^2 = 0,09$, Spearman's $\rho = 0,630$). Für die einzelnen Kniebelastungsformen waren die Korrelationen mit Ausnahme des Kniens mit Abstützung (0,632) noch schlechter (0,399 bis 0,554). Die Schätzwerte für die Kniebelastung gesamt wichen im Mittel um $465,8 \pm 1152,8\%$ von den Messwerten ab (Median: 101,9 %). Eine Klassifizierung der Abweichungen machte deutlich, dass die Hälfte der Probanden mit ihren Einschätzungen zur Dauer der Kniebelastung gesamt um über 100 % von den Messergebnissen abwich. Insgesamt bleibt für alle Belastungsformen festzustellen, dass die Befragung der Probanden keine valide Quantifizierung der Kniebelastung erbrachte.

Ergebnisse aus derartigen Fehlschätzungen könnten dennoch für viele Zwecke als ausreichend genau eingestuft werden, wenn die Fehlschätzung immer in einer bestimmten Größe und Richtung erfolgte. Dies konnte in der vorliegenden Arbeit allerdings nicht bestätigt werden: Etwa 75 % der Probanden überschätzten die Dauer ihrer Kniebelastung, 20 % unterschätzten sie und etwa 5 % konnten sie korrekt einschätzen.

Entsprechende Ergebnisse hinsichtlich einer erfolgreichen Identifizierung und schlechten Quantifizierung von Expositionsdauern finden sich in einer Reihe von Studien zu Risikofaktoren für Muskel-Skelett-Beschwerden (z. B. [35; 91; 133; 137; 138]). Auch aus Studien, in denen Expositionen durch kniende und/oder hockende Haltungen (mit-)untersucht wurden, sind ähnliche Ergebnisse bekannt:

Baty et al. (Großbritannien) fanden eine etwa vierfache Überschätzung der Kniebelastungsdauer durch die von ihnen beobachteten und befragten 46 Krankenschwestern, aber eine gute Übereinstimmung hinsichtlich des Vorkommens der entsprechenden Haltungen. Kniende und hockende Haltungen waren in den untersuchten Tätigkeiten allerdings selten [118].

Burdorf und *Laan* untersuchten in den Niederlanden 35 Reparaturmechaniker und verglichen die von ihnen beobachtete Dauer von Haltungen mit den von den Probanden eingeschätzten [30]. Die Angaben zum Vorkommen kniender Haltungen waren gut, die Quantifizierung der Dauer dagegen schlecht, wobei die Dauer eher unterschätzt wurde. Methodische Schwächen (z. B. nur zweimal zehnmündige OWAS-Beobachtungen, unterschiedliche Zeiträume für Beobachtung und Befragung, kleines Probandenkollektiv, siehe auch Abschnitt 4.3) schränken die Aussagekraft der Ergebnisse jedoch erheblich ein.

Wiktorin et al. führten in Schweden eine Studie zur Validität von Selbsteinschätzungen zu Körperhaltungen und manuellen Lastenhandhabungen in verschiedenen Berufen durch [31]. Da kniende und hockende Haltungen in den untersuchten Berufen selten waren, fragten sie lediglich deren Vorkommen ab und verzichteten auf eine Quantifizierung. Die Identifizierung der Haltungen wurde von ihnen als gut eingestuft (Kappa = 0,76, Übereinstimmung: 88 %). Die durchschnittliche Beobachtungszeit betrug jedoch lediglich 26 Minuten und das Probandenkollektiv muss als sehr heterogen eingestuft werden (97 Probanden aus 45 Berufen).

In einer finnischen Validierungsstudie zur Selbsteinschätzung beruflicher Belastungen in der Forstwirtschaft fanden

Viikari-Juntura et al. nur geringe Korrelationen für den Vergleich beobachteter und geschätzter Dauer im Knien oder Hocken ($r = 0,42$, $p < 0,001$) [32]. Aus diesem Grund stuften sie die Selbsteinschätzungen als hilfreich zur Identifizierung von hoch exponierten Berufsgruppen, aber als ungeeignet für die Untersuchung quantitativer Dosis-Wirkungs-Beziehungen ein. Die Studienergebnisse basieren allerdings auf dem Vergleich spezifischer Beobachtungen von 36 Probanden mit der Expositionseinschätzung einer durchschnittlichen Arbeitsschicht durch 2756 Probanden, d. h. die beiden Probandenkollektive waren nicht identisch. Darüber hinaus lag der Median der Beobachtungsdauer bei lediglich 18 Minuten (2 bis 90 min) und die Abfrage der Kniebelastungsdauer erfolgte kategorial.

Im Gegensatz zu den bisher genannten Studien gibt es auch Untersuchungen, deren Ergebnisse denen der vorliegenden Arbeit teilweise widersprechen:

Pope et al. beobachteten in einer englischen Studie 123 Beschäftigte aus ca. sieben verschiedenen Berufsgruppen hinsichtlich ihrer körperlichen Belastungen, u. a. durch Tätigkeiten im Knien (Beobachtungsdauer: eine Stunde) [139]. Anschließend legten sie den Probanden einen Fragebogen vor und baten sie um eine Einschätzung verschiedener Expositionen aus der einstündigen Teilschicht. Für die Identifizierung der Haltung Knien ergaben sich hohe Werte der Spezifität (86 %) und Sensitivität (91 %). Darüber hinaus lassen die Studienergebnisse auch eine gute Übereinstimmung hinsichtlich der Dauer der knienden Haltungen erkennen: Der Median der Differenz zwischen beiden Methoden lag bei lediglich einer Minute. Diese Besonderheit kann eventuell dadurch erklärt werden, dass kniende Tätigkeiten in der Studie nur bei etwa der Hälfte der Probanden nachzuweisen waren. Des Weiteren ist die angewandte Beobachtungsmethode, bei der die Haltung alle 30 Sekunden erfasst wurde, wenig geeignet, um valide quantitative Aussagen zur Expositionsdauer zu erhalten, da je nach untersuchter Tätigkeit eine hohe Dynamik der Knievorgänge vorliegen kann (siehe Abschnitt 3.3).

In einer dänischen Untersuchung zur Kniebelastung von Bodenlegern und Zimmerern führten *Jensen et al.* auch eine Untersuchung zur Validität der Eigenangaben der Probanden durch [38]. 39 Zimmerer und 33 Bodenleger wurden dazu während ihrer Tätigkeit mit einer Videokamera begleitet und anschließend zu ihrer Kniebelastung befragt. Die Videoanalyse lieferte später die Referenzwerte. Der Vergleich beider Methoden ergab für die Dauer der Gesamt-Kniebelastung eine hohe Korrelation (Spearman's $\rho = 0,89$). Bei der Studie ist zu berücksichtigen, dass die abzuschätzenden Zeiträume mit einer mittleren Dauer von ca. 20 Minuten (3 bis 30 min) sehr kurz waren und sehr homogene Tätigkeiten umfassten, was eine Abschätzung der Gesamt-Kniebelastung erleichtern dürfte. Die Forscher beobachteten ähnlich wie in der vorliegenden Arbeit sowohl Über- als auch Unterschätzungen, ein Effekt, der bereits in anderen Studien zur Einschätzung physischer Belastungen nachzuweisen war (siehe z. B. [140]).

Aus Deutschland sind zwei Studien zu beruflichen Kniebelastungen bekannt, die ähnliche Vergleiche zwischen einer Beobachtungsmethode und Eigenangaben von Probanden beinhalteten. *Bolm-Audorff et al.* beobachteten 125 Probanden aus zwölf

Berufen und ermittelten die Dauer kniebelastender Haltungen mittels Stoppuhr während einer vierstündigen Teilschicht [26]. Anschließend baten sie 75 dieser Probanden um eine Selbsteinschätzung der Zeitanteile im Knien, Hocken und Fersensitz. Der Vergleich ergab eine gute Korrelation nach *Pearson* zwischen beiden Methoden ($r^2 = 0,74$, $p < 0,01$). Die Autoren geben an, dass die Probanden ihre Kniebelastung systematisch überschätzten, da der Medianwert des belasteten Schichtanteils bei der Probandenschätzung mit 35,0 % gegenüber dem Wert der Messung von 21,9 % ($p < 0,001$) signifikant höher war. Dieser Effekt ist auch bei der vorliegenden Arbeit zu beobachten, dabei kann aber nicht von einer systematischen Überschätzung ausgegangen werden, da 20 % der Probanden ihre Exposition unterschätzten. Weitere Details zur Befragung von *Bolm-Audorff* et al. sind der Literatur nicht zu entnehmen, sodass die abweichenden Ergebnisse nicht weiter interpretiert werden können.

In der ArGon-Studie wurden zusätzlich zur eigentlichen Fall-Kontroll-Studie in kleinerem Rahmen auch Tätigkeitsanalysen mit 25 Probanden aus neun Berufen durchgeführt [92]. Die Analysen setzten sich aus PDA-gestützten Arbeitsplatzbeobachtungen und anschließenden Befragungen der Probanden zu verschiedenen Körperhaltungen und manuellen Lastenhandhabungen zusammen (siehe auch Abschnitt 4.1.3). Aus den Ergebnissen des Methodenvergleichs ist ersichtlich, dass auch in diesem Fall das Vorkommen oder Fehlen kniender Haltungen durch die Probanden gut reproduziert werden konnte (23/25 Probandangaben stimmten mit den Beobachtungsergebnissen überein). Bei den quantitativen Angaben zur Dauer kniender Haltungen stellten die Autoren dagegen deutliche Unterschiede zwischen Befragung und Beobachtung fest: Hier lag die mittlere Abweichung der Probandangaben vom beobachteten Wert bei 171,0 %. In der Expositionsgruppe „< 1 Stunde“ lag die mittlere Abweichung sogar bei 258,2 % (10,0 bis 1 150,0 %). Aufgrund des kleinen Probandenkollektivs ist die Interpretation der Ergebnisse nur eingeschränkt möglich.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit in weitgehendem Einklang mit den Ergebnissen ähnlicher Studien stehen: Das Fehlen oder Vorkommen der Kniebelastungen kann gut abgeschätzt werden, die Quantifizierung ist dagegen – sowohl für die einzelnen Formen der Kniebelastung als auch für die Gesamtbelastung – als mangelhaft einzustufen. Eine Besonderheit gegenüber bisherigen Studienergebnissen stellt das unterschiedliche Ausmaß des Auftretens von Über- und Unterschätzungen der Expositionsdauer dar, wobei die Überschätzungen überwogen.

Schließlich bleibt zu berücksichtigen, dass aufgrund der Herangehensweise in dieser Untersuchung Daten in der Auswertung verblieben sind, die in einer epidemiologischen Studie z. B. durch entsprechende Plausibilitätskontrollen herausgefiltert werden müssten.

4.4.2 Wie gut können die Probanden ihre Kniebelastung sechs Monate nach der Messung abschätzen?

Die sechs Monate nach der Messung durchgeführte Wiederholung der Selbsteinschätzung durch die Probanden lieferte Ergebnisse, die die Erkenntnisse aus der ersten Befragung weitestgehend bestätigen konnten. Wie die Ergebnisse des

Methodenvergleichs zeigen, konnten sich die Probanden an das Vorkommen oder Fehlen kniebelastender Tätigkeiten während der zurückliegenden Messung relativ gut erinnern (Abschnitt 3.8): Für die Kniebelastung gesamt (ja/nein) fand sich eine Übereinstimmung von 95,2 % zwischen Messung und Befragung, für die einzelnen Belastungsarten lag die Konkordanz immerhin noch zwischen 57,6 % (Kriechen) und 87,2 % (Knien ohne Abstützung).

Erwartungsgemäß war die Dauer kniender, hockender oder kriechender Haltungen von den Probanden nach einem halben Jahr nicht besser abzuschätzen, und es zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen beiden Methoden. Der Mittelwert der Kniebelastung gesamt aus Befragung Q_{t_1} lag z. B. etwa um das 18-Fache höher als der entsprechende Mittelwert der Messdaten (762,6 zu 42,6 min), der Median etwa dreifach höher (105,0 zu 33,9 min). Die Ergebnisse der Regressionsanalyse ($R^2 = 0,03$) und der Korrelationsberechnung ($\rho = 0,433$) bestätigten diese Unterschiede. Für die einzelnen Formen der Kniebelastung lagen die Korrelationskoeffizienten mit Ausnahme des Kniens mit Abstützung (0,542) noch niedriger (Kriechen mit $\rho = 0,233$ bis Hocken mit $\rho = 0,328$). Gegenüber der ersten Befragung wichen die Q_{t_1} -Schätzwerte stärker von den Messdaten ab: Die mittlere Abweichung für die Kniebelastung gesamt lag bei $2\,431,0 \pm 8\,991,7$ % (Median: 191,2 %), wobei knapp zwei Drittel der Probanden (63,2 %) mit ihren Einschätzungen um mehr als 100 % von den Messergebnissen abwichen. Im Gegensatz zur ersten Befragung zeigte sich bei der zweiten Befragung ein deutlicherer Trend zur Überschätzung der Kniebelastungsdauer: Von den 125 Probanden, die an der zweiten Befragung teilnahmen, überschätzten 109 (87,2 %) ihre Belastungsdauer, während 13 Probanden (10,4 %) sie unterschätzten. Die grafische Auftragung der Daten nach der Bland-Altman-Methode erbrachte für die Gesamt-Kniebelastung limits of agreement von -8 405,8 min und 7 177,5 min, d. h. zwischen diesen beiden Extremen der Über- und Unterschätzung lagen etwa 95 % der absoluten Abweichungen. Bei einer durchschnittlichen Referenzperiode von etwa 120 min muss dies als nicht akzeptables Ergebnis der Befragungsmethode eingestuft werden.

Ähnliche Vergleiche zwischen einer objektiven Erfassungsmethode und der zeitlich deutlich verzögerten Selbsteinschätzung von Probanden zu beruflichen Kniebelastungen sind aus der wissenschaftlichen Literatur nicht bekannt.

4.4.3 Wie unterscheiden sich die Ergebnisse beider Befragungen?

Im Vergleich der Ergebnisse aus beiden Befragungen unterscheiden sich die selbsteingeschätzten Kniebelastungen höchst signifikant voneinander (Abschnitt 3.9). Der mittlere Betrag der Abweichung lag bei $738,9 \pm 3\,953,9$ min (Median: 64,4 min, 0,0 bis 39 460,0 min). Über die Hälfte der befragten Probanden wich dabei um mehr als 100 % von ihrer ersten Einschätzung der Kniebelastung gesamt ab. Die Reliabilität der Selbsteinschätzung muss somit ebenso wie die zuvor beschriebene Validität als sehr gering eingestuft werden. Etwa zwei Drittel der Probanden schätzten ihre Kniebelastung in der zweiten Befragung höher ein als in der ersten, während etwa ein Drittel nach sechs Monaten einen geringeren Wert schätzte als direkt nach der Messung.

Belege für eine schlechte Reliabilität von Probandenbefragungen hinsichtlich der Dauer oder Häufigkeit beruflicher Belastungen finden sich auch in der Übersichtsarbeit von *Stock et al.* [133]. Die Autoren zitieren drei Studien, in denen auch berufliche Belastungen durch Knien oder Hocken abgefragt wurden, mit dem Ergebnis, dass das Vorkommen relativ gut wiedergegeben werden konnte, während die Quantifizierung – selbst anhand vorgegebener Häufigkeitsklassen – kaum möglich war.

Auch *d'Errico et al.* kamen zu ähnlichen Ergebnissen: Sie verglichen die Selbsteinschätzungen von Probanden aus der Automobilindustrie hinsichtlich verschiedener körperlicher Belastungsfaktoren zu drei Zeitpunkten (t_0 , $t_0 + 1$ Jahr, $t_0 + 6$ Jahre) [39]. Sie erhielten schlechte Reliabilitätswerte für fast alle abgefragten Belastungen, inklusive Knien und Hocken, wobei aus der Publikation nicht hervorgeht, in welcher Form diese abgefragt wurden.

4.4.4 Wie wirkt sich die Höhe der Exposition auf die Abschätzung der Kniebelastung aus?

Wie in den Abschnitten 3.7 und 3.8 dargestellt, scheint die Expositionshöhe einen bedeutenden Einfluss auf die Güte der Selbsteinschätzung zu haben. Die Ergebnisse beider Befragungen wichen jeweils nur geringfügig von den Messergebnissen ab, wenn die Kniebelastung fehlte oder nur von geringer Dauer war. Die in den Bland-Altman-Plots dargestellten Verteilungen zeigten jeweils geringe Abweichungen/Differenzen auf der y-Achse bei kleinen Expositionsdauern (Mittelwerte aus beiden Methoden). Dies lässt sich damit erklären, dass die Probanden sehr wohl angeben können, wenn sie nicht im Knien oder Hocken gearbeitet haben und dementsprechend ihre Abschätzung mit dem Messwert (Kniebelastung = 0) übereinstimmt. Auch bei geringer Expositionsdauer sind die Abweichungen gering, insbesondere dann, wenn man – wie in den dargestellten Bland-Altman-Plots – die absoluten Werte und nicht die relativen Abweichungen betrachtet. Mit ansteigendem Expositionsanteil an der Messdauer nimmt die Genauigkeit der Selbsteinschätzungen dagegen deutlich ab, was für die Schwierigkeit beim Abschätzen von Häufigkeit und Dauer der Exposition spricht.

Auch die Abfrageform der Exposition kann hier u. U. eine Rolle spielen (siehe Abschnitt 4.3.2). Analog zur guten Abschätzung für fehlende oder geringe Expositionsdauern müssten theoretisch auch gute Übereinstimmungen bei sehr hoher Expositionsdauer (nahe 100 % der Referenzperiode) zu beobachten sein, da man ein ebenso gutes Einschätzungsvermögen der Probanden annehmen kann für den Fall, dass sie während der gesamten Messdauer im Knien oder Hocken gearbeitet haben. Dies konnte in dieser Untersuchung nicht überprüft werden, da der Anteil der Exposition an der Messdauer durchschnittlich bei $34,1 \pm 24,7$ % (Qt_0) bzw. $34,5 \pm 23,5$ % (Qt_1) lag und somit weit entfernt von 100 %. Weiterhin handelte es sich bei der Abfrage um eine offene Fragestellung ohne Vorgabe von Antwortoptionen, sodass auch bei sehr hohen Expositionen keine guten Übereinstimmungen zu erwarten sind.

Ein besseres Abschätzverhalten gering Exponierter als hoch Exponierter wird z. B. in der Studie von *Heinrich et al.* zur Dauer von Computerarbeit beschrieben [137]. *Ijmker et al.* kamen in ihrer Studie zur Dauer der Computernutzung zu gegenteiligen

Ergebnissen [36]: Die Zahl der Übereinstimmungen zwischen Probandenangaben und Beobachtungswerten erhöhte sich mit steigender Expositionsdauer. Eine Erklärung hierfür mag die kategoriale Form der Abfrage darstellen. In den zuvor genannten Validierungsstudien mit Bezug zu beruflichen Kniebelastungen fanden sich keine Angaben hinsichtlich des Abschätzverhaltens gering und hoch exponierter Probanden. Einzig in der Studie von *Klußmann et al.* gibt es Hinweise darauf, dass hoch Exponierte die Dauer ihrer täglichen Arbeitszeit im Knien besser abschätzen können als gering Exponierte [92]. Die Abweichungen für die 25 Probanden sind aber in prozentualer Form dargestellt, was zu einer Überschätzung des Effekts führen kann: Geringe absolute Abweichungen bei Niedrigexponierten können hohe relative Werte annehmen (z. B. beobachteter Wert: eine Minute Knien; geschätzter Wert: zwei Minuten Knien; Abweichung: 100 %).

4.4.5 Gibt es Unterschiede in der Bewertung der Exposition zwischen Probanden mit und ohne Kniebeschwerden?

Die vorliegende Untersuchung ließ in beiden Befragungen keinen Einfluss von Kniebeschwerden auf das Abschätzverhalten von Probanden erkennen (siehe Abschnitt 3.10): Beide Gruppen zeigten vergleichbare Ergebnisse der Selbsteinschätzung ihrer Kniebelastung.

Aus der Literatur ist eine Reihe von Beispielen für den Einfluss von Beschwerden auf das Abschätzverhalten von Probanden zu unterschiedlichen Bereichen des Muskel-Skelett-Systems und verschiedenen Belastungsfaktoren bekannt, z. B. Rückenbeschwerden und manuelle Lastenhandhabungen [31], Beschwerden der oberen Extremitäten und Armbewegungen [33] oder Beschwerden der oberen Extremitäten und des Rückens bei der Abschätzung der physischen Aktivität [40]. *D'Errico et al.* fanden in ihrer Studie Unterschiede im Abschätzverhalten von Probanden mit muskuloskelettalen Beschwerden der oberen Extremitäten gegenüber beschwerdefreien Probanden, wenn sie diese ein Jahr nach der ersten Erhebung befragten [39]. In einer erneuten Befragung nach fünf Jahren war dagegen kein derartiger Unterschied mehr zu beobachten.

Speziell bei der Abfrage beruflicher Belastungen durch Knien und/oder Hocken finden sich dagegen nur wenige Studien, die den Einfluss körperlicher Beschwerden berücksichtigen. Falls dies doch der Fall sein sollte, handelt es sich in der Regel aber nicht um Kniebeschwerden. *Burdorf* und *Laan* fanden z. B. keinen Einfluss von Muskel-Skelett-Beschwerden der oberen Extremitäten und des Rückens auf das Abschätzverhalten der von ihnen untersuchten 35 Probanden hinsichtlich verschiedener Belastungsfaktoren, wozu auch Knien und Hocken gehörten [30].

Viikari-Juntura et al. beobachteten dagegen eine Überschätzung der körperlichen Belastung (u. a. auch Knien oder Hocken) durch Probanden mit Rückenschmerzen gegenüber einer schmerzfreien Vergleichsgruppe (OR: 1,6, 95%-CI: 1,2 bis 1,9) [32]. Beide Kollektive bestanden allerdings jeweils nur aus 18 Probanden, wobei das kleine Konfidenzintervall aber für einen deutlichen Zusammenhang spricht.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit dokumentieren speziell den Einfluss von Kniebeschwerden auf das Abschätzverhalten hinsichtlich einer Exposition durch kniebelastende Haltungen und sind demnach mit den o. g. Studienergebnissen nicht direkt vergleichbar. Es ist zu beachten, dass Probanden mit sehr starken Kniebeschwerden eventuell gar nicht an der Studie teil-

nehmen konnten, da sie an den Untersuchungstagen aufgrund ihrer Beschwerden nicht am Arbeitsplatz waren. Eventuell fand bei der Auswahl der Probanden durch die Betriebe auch eine Selektion von relativ beschwerdefreien Mitarbeitern statt. Diese Einschränkungen dürften aber für die meisten der zitierten Studien ebenfalls gelten.

5 Empfehlungen zur Prävention von Kniebelastungen

Eine Grundvoraussetzung zur Vermeidung oder Verringerung beruflicher Kniegelenksbelastungen ist die genaue Kenntnis über Tätigkeiten, bei denen derartige Belastungen in relevantem Maße auftreten können. Um die vorhandenen Ressourcen erfolgreich einzusetzen, müssen Belastungsschwerpunkte identifiziert werden, sodass Präventionsmaßnahmen 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 Daten auch ein konkretes Verbesserungspotenzial zur Reduzierung von Kniebelastungen an vielen Arbeitsplätzen erkennen. Im Folgenden sollen dazu einige Beispiele gegeben werden.

5.1 Verhältnisprävention

Arbeitshilfen

Technische Arbeitshilfen sind 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 (z. B. Rake statt Handspachtel beim Bodenleger, Abbildung 71 links), über Heißluft-Schweißautomaten (Abbildung 71 rechts),

Abbildung 71:

Prävention kniebelastender Haltungen durch spezielle Werkzeuge; links: Bodenleger mit Rake, rechts: Dachdecker mit Heißluft-Schweißautomat



Bewehrungsbindegeräte, Fliesenlegertische bis hin zu komplexeren Maschinen wie Flachdach-Setzgeräten (Abbildung 72 links), Fußboden-Ablösegeräten, Pflasterverfugungsgeräten oder hydraulischen Verlegezangen (Abbildung 72 rechts). Eine Übersicht über technische Hilfen und ihre Einsatzmöglichkeiten findet sich z. B. auf den Internetseiten der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft [141].

In der Praxis sind derartige Hilfsmittel zwar bereits im Einsatz, jedoch bei Weitem nicht flächendeckend. Neben den teilweise hohen Anschaffungskosten können auch unzureichende Information der Beschäftigten oder fehlende Einweisung in die Anwendung derartiger Hilfsmittel zum Scheitern von Präventionsmaßnahmen führen.

Beispiele aus Dänemark zeigen die Schwierigkeiten bei der Einführung neuer Methoden in den meist traditionellen Handwerksberufen [142; 143]. Bei dieser Querschnittsstudie mit anschließendem „Follow-up“ sollte eine Maßnahme zur Einführung neuer Werkzeuge wie Spachteln mit Teleskopstiel („Rake“) bei Bodenlegern evaluiert werden. Neben intensiver Schulung und Einweisung der beteiligten Bodenleger sowie 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.



Abbildung 72:

Prävention kniebelastender Haltungen durch komplexere Maschinen;
links: Dachdecker mit Flachdach-Setzgerät, rechts: Pflasterer mit hydraulischer Verlegezange



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 und durch entsprechende Maßnahmen zu überwinden.

Die Evaluierung solcher Präventionsmaßnahmen durch Vorher-Nachher-Messungen ist beispielsweise bei *Burdorf et al.* dargestellt [25]. Sie konnten durch den Vergleich verschiedener Methoden zeigen, dass sich etwa durch den Einsatz von Setzhilfen bei Pflasterern die Kniebelastung deutlich reduzieren ließ. Sie weisen aber auch darauf hin, 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 Misch-tätigkeit und Mithilfe beim Einbau des Estrichs die Kniebelastung anstieg. Derartige veränderte Bedingungen müssen bei der Arbeitsorganisation bedacht werden.

Arbeitsorganisation

Auch durch organisatorische Maßnahmen kann hohen Kniebelastungen am Arbeitsplatz vorgebeugt werden, z. B. individuell an Arbeitsplätzen, an denen die Beschäftigten ihren Arbeitsablauf selbstständig 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, sodass für alle Beteiligten ausreichend Erholungszeiten zur Verfügung stehen. Diese Option bietet sich z. B. bei den untersuchten Flugzeugabfertigung an: Durch planmäßigen Wechsel der Tätigkeiten

innerhalb und außerhalb des Frachtraums lassen sich die Kniebelastungen für den Einzelnen besser verteilen.

Knieschutz

Bei allen knienden oder hockenden Tätigkeiten ist es sinnvoll, adäquaten Knieschutz zu tragen, der 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 in [144 bis 146]. Aufgrund des im Merkblatt zur BK 2112 angeführten Pathomechanismus muss allerdings vermutet werden, dass Knieschützer keine protektive Wirkung gegen die Entstehung einer Gonarthrose bieten.

5.2 Verhaltensprävention

Um erfolgreiche Prävention betreiben zu können, ist es wichtig, das Bewusstsein der Beschäftigten für relevante Belastungen zu wecken. Ziel sollte eine Strategie sein, bei der Arbeiten im Knien, Hocken oder Fersensitzen 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 73). Eine Überbeanspruchung der Kniegelenke durch lang anhaltendes (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 Entlastungsphasen für die beanspruchten Kniegelenke vorgesehen werden.

Bei häufig vorkommenden gleichförmigen Belastungen kann es auch sinnvoll sein, verschiedene Formen des Kniens zu trainieren, um durch die wechselnde Belastung auch die Beanspruchung der Kniegelenke und ihrer Strukturen zu verändern. Darüber hinaus ist die regelmäßige Durchführung von Ausgleichsübungen zur Kräftigung, Dehnung und Mobilisation der Beine zu empfehlen. Beispiele hierfür finden sich in [144].

Abbildung 73:
Vermeiden knieender Haltung durch Anpassen der Arbeitshöhe
(Beispiel Rohrleitungsbauer) oben: ohne Hilfe, unten: mit Hilfe



6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, neue Erkenntnisse zu beruflichen Kniebelastungen zu gewinnen. Zu diesem Zweck sollten messtechnische Untersuchungen die in der Praxis vorkommenden Belastungen durch kniende und hockende Haltungen qualitativ und quantitativ beschreiben (Studienteil A). Darüber hinaus wurde in einem zweiten Studienteil B der Frage nachgegangen, wie valide Probanden ihre beruflichen Kniebelastungen selbst einschätzen können.

Die in Studienteil A erhobenen Daten zur quantitativen Kniebelastung bildeten die Basis für die Entwicklung des Katasters GonKatast. Dieses umfasst Expositionsdaten zu 81 typischen Tätigkeiten (60 Tätigkeitsmodule und 21 Sonderfälle) aus 16 verschiedenen Berufen auf der Grundlage von 242 Arbeitsschicht-Dokumentationen. Für die arbeitstägliche Dauer der Belastungen hat sich gezeigt, dass Zeitanteile von über 50 % einer Arbeitsschicht im Untersuchungskollektiv durchaus keine Seltenheit darstellten. Die Zeitanteile reichten insgesamt von 0 bis 88,9 % einer Tagesschicht. Eine ähnlich große Variation der Expositionszeiten konnte selbst innerhalb der einzelnen Berufsgruppen beobachtet werden und ist somit ein deutlicher Hinweis dafür, dass Kniebelastungen nicht berufsspezifisch, sondern tätigkeitsspezifisch zu erfassen sind. Demzufolge ist es z. B. nicht möglich, die durchschnittliche Kniebelastung eines typischen Fliesenlegers anzugeben, aber durchaus eine mittlere Expositionsdauer für die Tätigkeit Verlegen von Bodenfliesen. Insofern weist die Arbeit auf Limitationen bei der Interpretation berufsspezifischer Expositionen in der Literatur hin.

Die bei der täglichen Expositionsdauer beobachtete Inhomogenität innerhalb der untersuchten Berufe war auch für die Anzahl der Kniebelastungsphasen pro Arbeitsschicht und ihre jeweilige Dauer festzustellen. Im Untersuchungskollektiv reichte die Anzahl der täglichen Kniebelastungsphasen von 20 bis 384 Vorgängen, die durchschnittliche Dauer eines einzelnen Vorgangs von 0,2 bis 13,5 min. Auf diese Weise ließen sich sowohl relativ statische Belastungen als auch sehr dynamische Vorgänge unterscheiden. Erkenntnisse aus Biomechanik und Physiologie deuten darauf hin, dass die in dieser Hinsicht unterschiedlichen Belastungen auch zu unterschiedlichen Beanspruchungen der einzelnen Kniegelenksstrukturen führen. Somit stellen die in dieser Arbeit ermittelten Werte einen wichtigen Baustein für die weitere Forschung nach den Schädigungsmechanismen in kniender und hockender Körperhaltung dar.

In dieser Studie konnten erstmals die in der beruflichen Praxis vorkommenden Kniewinkelbereiche valide untersucht werden. Die Messungen ergaben für die Kniegelenksflexion während kniebelastender Haltungen hohe prozentuale Anteile in Flexionswinkeln von 120° und mehr: Die Kniegelenke sind während der verschiedenen Formen des Kniens, Hockens und Kriechens zu 75 % als mindestens stark gebeugt einzustufen, etwa 25 % der Zeit sogar als extrem gebeugt ($\geq 150^\circ$). Die Kniegelenksflexion scheint somit stärker ausgeprägt als bisher angenommen. Auch diese Erkenntnisse können eine wichtige Rolle bei der Erforschung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen auf dem Gebiet

der Kniegelenkserkrankungen spielen, da sich mit steigendem Flexionsgrad auch Geometrie und Binnenverhältnisse im Gelenk selbst verändern.

Die messtechnische Analyse der kniebelastenden Haltungen hat darüber hinaus gezeigt, dass die Belastungen in der Regel nicht beide Kniegelenke gleichmäßig betreffen, sondern dass – z. B. durch einbeiniges Knien – die Belastungen unsymmetrisch auftreten und somit ein Kniegelenk stärker beeinträchtigen. Dieser Aspekt sollte in zukünftigen Studien zu Kniegelenkserkrankungen stärker als bisher berücksichtigt werden.

Hinsichtlich der Güte von Selbsteinschätzungen (Studienteil B) konnte die Studie belegen, dass Probanden weder unmittelbar im Anschluss an die entsprechende Tätigkeit noch sechs Monate später in der Lage waren, die Dauer ihrer Kniebelastung ausreichend valide einzuschätzen. Mit der gewählten Frageform waren im Probandenkollektiv in überwiegender Maße Überschätzungen der Expositionsdauer zu erkennen, aber auch – und das insbesondere bei der ersten Befragung – Unterschätzungen in nicht zu vernachlässigender Größenordnung. Die Abweichungen zur objektiv gemessenen Dauer der Kniebelastungen waren z. T. enorm und lagen bei einem Großteil der Probanden über 100 %, teilweise sogar über 1 000 %. Ein Unterschied in der Selbsteinschätzung von Probanden mit Kniebeschwerden gegenüber beschwerdefreien Probanden, wie er z. T. in der Literatur beschrieben ist, war in der vorliegenden Studie nicht nachzuweisen.

Die Auswertung des Vergleichs zwischen Messung und Befragung mithilfe sog. Bland-Altman-Plots konnte belegen, dass die Ungenauigkeit der Selbsteinschätzungen mit steigender Expositionsdauer zunahm. Hatten Probanden nur kurze Zeit im Knien oder Hocken gearbeitet, konnten sie dies relativ genau wiedergeben, während längere Kniebelastungszeiten weniger gut abzuschätzen waren. Somit scheinen gerade Hochbelastete ihre Exposition falsch einzuschätzen.

Im Gegensatz zur Quantifizierung der Belastungen war es den Probanden in beiden Befragungen sehr wohl möglich, das Vorkommen oder Fehlen entsprechender Haltungen korrekt anzugeben. Diese Ergebnisse sprechen dafür, die Art der Befragung in wissenschaftlichen Studien wohl zu überlegen und in adäquater Art und Weise zu wählen. Ein zunehmender Differenzierungsgrad der abzufragenden Informationen scheint mit einer Minderung der Validität einherzugehen (sog. Pseudogenauigkeit). Der Einsatz von Fragebögen bietet unbestreitbar eine Reihe von Vorteilen wie breitflächiger Einsatz, geringe Kosten, Vielfalt an zu erfassenden Expositionen und Erfassung retrospektiver Belastungen. Dennoch sind die Befragungsergebnisse immer kritisch zu prüfen, da sich viele Faktoren wie Erinnerungsvermögen, Motivation oder Detailkenntnis der Probanden auf die Validität der Angaben negativ auswirken können. In diesem Sinne stehen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit in Einklang mit dem Artikel von *Burdorf* und *van der Beek*, die sich (und den Lesern) die Frage stellten: „*In musculoskeletal epidemiology*

are we asking the unanswerable in questionnaires on physical load?“ [147]. Um dies zu vermeiden, sollten Fragebögen sinnvoll eingesetzt werden, z. B. zur Identifizierung von Belastungen und Belastungsschwerpunkten, zur Evaluation von Präventionsmaßnahmen oder zur Erfassung des persönlichen Belastungsempfindens. Der vorliegende methodische Ansatz könnte zur Validierung anderer Befragungsformen (z. B. abweichende Formulierungen oder Abfragezeiträume) für zukünftige Studien genutzt werden.

Unter der Prämisse, dass die Limitationen von Fragebögen ins Bewusstsein der Forscher rücken, bieten Katasterdaten eine Möglichkeit, Fragebögen adäquat einzusetzen, Probandenangaben auf Plausibilität zu prüfen und zu ergänzen. In dieser Hinsicht könnte beispielsweise das Format von GonKatast in einer zukünftigen Studie als Vorlage eines Erhebungsbogens dienen. Probanden würden dann gebeten, in von ihnen als kniebelastend identifizierten Beschäftigungsabschnitten die Anzahl der Schichten mit spezifischen Tätigkeiten anzugeben. Mit dem Abgleich anhand der Katasterdaten wäre der kombinierte Einsatz von Befragung und Messung abgeschlossen.

Die mangelhafte Validität der Probandenangaben ist auch in BK-Feststellungsverfahren zu berücksichtigen (z. B. BK-Nummern 2102, 2105 und 2112). Analog zu dem oben vorgeschlagenen Vorgehen in wissenschaftlichen Studien könnten die Katasterdaten auch bei der arbeitstechnischen Anamnese unterstützend eingesetzt werden, insbesondere zur Plausibilitätskontrolle von Schätzwerten.

Die teilweise recht hohen Belastungen durch Knien oder Hocken haben gezeigt, dass bei vielen der untersuchten Tätigkeiten ein erhöhter Präventionsbedarf besteht. Die Ergebnisse der Messungen können hier helfen, Belastungsschwerpunkte zu identifizieren. Darüber hinaus lassen sich aus den Felduntersuchungen verschiedene Möglichkeiten ableiten, kniebelastende Tätigkeiten zu vermeiden, z. B. durch den Einsatz spezieller Werkzeuge oder Anpassen der Arbeitshöhe. Da dies nicht immer möglich ist – Bodenfliesen sind leider nach wie vor am Boden zu verlegen – können die messtechnischen Analysen zur arbeitstäglichen Anzahl der Kniebelastungsphasen oder der eingenommenen Kniewinkelbereiche als Mosaiksteine bei der Erforschung der Pathomechanismen von Kniegelenkerkrankungen angesehen werden. Im Zusammenspiel mit Erkenntnissen aus der Biomechanik und Physiologie wird es vielleicht in Zukunft möglich sein, konkrete Präventionsempfehlungen zum Ausführen knien- und hockender Tätigkeiten abzugeben.

Literatur

- [1] Bericht zum Stand von Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2008 – Unfallverhütungsbericht Arbeit (SUGA 2008). Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund 2010.
- [2] OSH in figures: Work-related musculoskeletal disorders in the EU – Facts and figures. European Risk Observatory Report. Hrsg.: European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). Publications Office of the European Union, Luxemburg 2010
- [3] Merkblatt für die ärztliche Untersuchung zu Nr. 2102 der Anlage zur Berufskrankheiten-Verordnung. Meniskus-schäden nach mehrjährigen andauernden oder häufig wiederkehrenden, die Kniegelenke überdurchschnittlich belastenden Tätigkeiten. Bek. des BMA. BArbBl. (1999) Nr. 2, S. 135. (Ersatz für Bek. des BMA v. 11.Oktober 1989, BArbBl. (1990) Nr. 2
- [4] Merkblatt für die ärztliche Untersuchung zu Nr. 2105 der Anlage zur Berufskrankheiten-Verordnung (Nr. 22 der Anlage zur 6. Berufskrankheiten-Verordnung). Chronische Erkrankungen der Schleimbeutel durch ständigen Druck. Bek. des BMA v. 18.2.1963, BArbBl. Fachteil Arbeitsschutz (1963) Nr. 21
- [5] 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 - IVa 4-45222-2122. GMBL. 61 (2010) Nr. 5-6, S. 98-103
- [6] *Liebers, F.; Caffier, G.*: Berufsspezifische Arbeitsunfähigkeit durch Muskel-Skelett-Erkrankungen in Deutschland. Forschungsbericht Projekt F 1996. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund 2009
- [7] *Engelhardt, M.*: Epidemiologie der Arthrose in Westeuropa. Dt. Z. Sportmed. 54 (2003) Nr. 6, S. 171-175
- [8] *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
- [9] *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
- [10] *McMillan, G.; Nichols, L.*: Osteoarthritis and meniscus disorders of the knee as occupational diseases of miners. Occup. Environ. Med. 61 (2003), S. 567-575
- [11] *Jensen, L. K.*: Knee osteoarthritis: Influence of work involving heavy lifting, kneeling, climbing stairs or ladders, or kneeling/squatting combined with heavy lifting. Occup. Environ. Med. 65 (2008) Nr. 2, S 72-89
- [12] *Reid, C. R.; McCauley Bush, P.; Cummings; N. H.; McMullin, D. L.; Durrani, S. K.*: A review of occupational knee disorders. J. Occup. Rehabil. 20 (2010) Nr. 4, S. 489-501
- [13] *Weber, M.*: Die Beanspruchung des Kniegelenks durch Kniebeugung als Präarthrose. Z. Orthop. 145 (2007), S. 17-30
- [14] *Thomann, K. D.; Schröter, F.; Grosser, V.* (Hrsg.): Orthopädisch-unfallchirurgische Begutachtung. Praxis der klinischen Begutachtung. Elsevier, Urban & Fischer, München 2008
- [15] Bekanntmachung des BMGS vom 1. Oktober 2005, Ärztlicher Sachverständigenbeirat, Sektion "Berufskrankheiten"; Wissenschaftliche Begründung für die Berufskrankheit Gonarthrose. BArbBl. (2005) Nr. 10, S. 46-54
- [16] *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
- [17] *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
- [18] *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
- [19] *Coggon, D.; Croft, P.; Kellingray, S.; Barrett, D.; McLaren, M.; Cooper, C.*: Occupational physical activities and osteoarthritis of the knee. Arthritis Rheum. 43 (2000) Nr. 7, S. 1443-1449
- [20] *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 Environ. Health 26 (2000) Nr. 1, S. 20-25

- [21] *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. Tox.* 3 (2008) Nr. 1, S. 14
- [22] *Muraki, S.; Akune, T.; Oka, H.; Mabuchi, A.; En-Yo, Y.; Yoshida, M.; Saika, A.; Nakamura, K.; Kawaguchi, H.; Yoshimura, N.*: Association of occupational activity with radiographic knee osteoarthritis and lumbar spondylosis in elderly patients of population-based controls: A large-scale population-based study. *Arthritis Rheum.* 61 (2009) Nr. 6, S. 779-786
- [23] *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. *Arthritis Res. Ther.* 12 (2010) R88
- [24] *Kivimäki, J.; Riihimäki, H.; Hänninen, K.*: Knee disorders in carpet and floor layers and painters. *Scand. J. Work Environ. Health* 18 (1992), S. 310-316
- [25] *Burdorf, A.; Windhorst, J.; van der Beek, A. J.; van der Molen, 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. Ind. Ergonom.* 37 (2007), S. 133-143
- [26] *Bolm-Audorff, U.; Kronen, A.; Hoffmann, M.; Riedel, W.*: Dauer der Kniegelenksbelastung in ausgewählten Berufsgruppen. *Symposium Medical. Arbeits- und Umweltmedizin* 4 (2007), S. 8-10
- [27] *Klußmann, A.*: Ermittlung und Bewertung von Ansatzpunkten zur Prävention von Kniegelenksarthrosen im Arbeitsleben. 20. ASER-Forschungsbericht. Hrsg.: Institut ASER e. V., Wuppertal 2009
- [28] *Jensen, L. K.; Rytter, S.; Bonde, J. P.*: Exposure assessment of kneeling work activities among floor layers. *Appl. Ergon.* 41 (2010), S. 319-325
- [29] Interdisziplinäres Fachgespräch „Gonarthrose“. Kongressband; 29./30. März 2007, Bonn. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin 2009
- [30] *Burdorf, A.; Laan, J.*: Comparison of methods for the assessment of postural load on the back. *Scand. J. Work Environ. Health* 17 (1991), S. 425-429
- [31] *Wiktorin, C.; Karlqvist, L.; Winkel, J.*; Stockholm MUSIC I study group.: Validity of self-reported exposures to work postures and manual materials handling. *Scand. J. Work Environ. Health* 19 (1993), S. 208-214
- [32] *Viikari-Juntura, E.; Rauas, S.; Martikainen, R.; Kuosma, E.; Riihimäki, H.; Takala, E-P.; Saarenmaa, K.*: Validity of self-reported physical work load in epidemiologic studies on musculoskeletal disorders. *Scand. J. Work Environ. Health* 22 (1996), S. 251-259
- [33] *Hansson, G.-A.; Balogh, I.; Unge Byström, J.; Ohlsson, K.; Nordander, C.; Asterland, P.; Sjölander, S.; Rylander, L.; Winkel, J.; Skerfving, S.*; Malmö Shoulder-Neck Study Group: Questionnaire versus direct technical measurements in assessing postures and movements of the head, upper back, arms and hands. *Scand. J. Work Environ. Health* 27 (2001) Nr. 1, S. 30-40
- [34] *Douwes, M.; de Kraker, H.; Blatter, B. M.*: Validity of two methods to assess computer use: Self report by questionnaire and computer use software. *Int. J. Ind. Ergonomics.* 37 (2007), S. 425-431
- [35] *Ijmker, S.; Mikkers, J.; Blatter, B. M.; van der Beek, A. J.; van Mechelen, W.; Bongers, P. M.*: Test-retest reliability and concurrent validity of a web-based questionnaire measuring workstation and individual correlates of work postures during computer work. *Appl. Ergon.* 39 (2008), S. 685-696
- [36] *Ijmker, S.; Leijssen, J. N. M.; Blatter, B. M.; van der Beek, A. J.; van Mechelen, W.; Bongers, P. M.*: Test-retest reliability and validity of self-reported duration of computer use at work. *Scand. J. Work Environ. Health* 34 (2008) Nr. 2, S. 113-119
- [37] *Descatha, A.; Roquelaure, Y.; Caroly, S.; Evanoff, B.; Cyr, D.; Mariel, J.; Leclerc, A.*: Self-administered questionnaire and direct observation by checklist: Comparing two methods for physical exposure surveillance in a highly repetitive tasks plant. *Appl. Ergon.* 40 (2009) Nr. 2, S. 194-198
- [38] *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
- [39] *d'Errico, A.; Gore, R.; Gold, J. E.; Park, J. S.; Punnett, L.*: Medium- and long-term reproducibility of self-reported exposure to physical ergonomics factors at work. *Appl. Ergon.* 38 (2007), S. 167-175
- [40] *Balogh, I.; Ørbæk, P.; Ohlsson, K.; Nordander, C.; Unge, J.; Winkel, J.; Hansson, G.-A.*; the Malmö Shoulder/Neck Study Group: Self-assessed and directly measured occupational physical activities – influence of musculoskeletal complaints, age and gender. *Appl. Ergon.* 35 (2004), S. 49-56
- [41] *Tillmann, B.* (Hrsg.): *Anatomie des Menschen* (Rauber/Kopsch). Lehrbuch und Atlas. Band I: Bewegungsapparat. 3. Aufl. Thieme, Stuttgart 2003
- [42] *Platzer, W.*: *Taschenatlas der Anatomie: Bewegungsapparat*. Bd. 1, 7. Aufl. Thieme, Stuttgart 1999

- [43] *Brinckmann, P.; Frobin, W.; Leivseth, G.*: Orthopädische Biomechanik. Thieme, Stuttgart 2000
- [44] *Grifka, J.*: Die Knieschule – Selbsthilfe bei Kniebeschwerden. 3. Aufl. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg 2003
- [45] *Pschyrembel, W.*: Klinisches Wörterbuch. 261. Aufl. Walter de Gruyter, Berlin 2007
- [46] *Heipertz, W.* (Hrsg.): Physiotherapie. Bd. 9: Traumatologie und Querschnittlähmungen. Bearb. von *Brauer-Slach, S.; Krum, G.; Paeslack, V.; Pape, A.; Wittmann, C.; Zichner, L.* Thieme, Stuttgart 1997
- [47] *Wirth, C.J.*: Kniegelenk. In: *Jäger, M.; Wirth, C.J.* (Hrsg.): Praxis der Orthopädie. S. 943-987. Thieme, Stuttgart 1986
- [48] *Hackenbroch, M. H.*: Arthrosen, Basiswissen zu Klinik, Diagnostik und Therapie. Thieme, Stuttgart 2002
- [49] *Mutschler, W.; Wirbel, R.*: Frakturen des distalen Femurs. In: *Wirth, C.J.; Mutschler, W.E.* (Hrsg.): Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie. Thieme, Stuttgart 2007
- [50] *March, L. M.; Bachmeier, C.J.M.*: Economics of osteoarthritis: a global perspective. *Bailliere Clin. Rheum.* 11 (1997) Nr. 4, S. 817-833
- [51] *Gesundheit in Deutschland (2006).* Hrsg.: Robert Koch-Institut, Berlin 2006
- [52] *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
- [53] *Outerbridge, R. E.*: The etiology of chondromalacia patellae. *J. Bone Joint Surg.* 43 (1961) S. 752-767
- [54] *Zacher, J.; Carl, H. D.; Swoboda, B.; Backhaus, M.*: Bildgebung bei der Arthrose peripherer Gelenke. In: Bildgebende Verfahren in der Rheumatologie. Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Rheumatologie – Kommission Bildgebende Verfahren. S. 203-208. Springer, Berlin 2007
- [55] *Leitlinien der Orthopädie. 2. Aufl.* Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und orthopädische Chirurgie und Bundesvereinigung der Ärzte für Orthopädie (DGOOC). Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 2002
- [56] *Berufskrankheiten-Verordnung vom 31. Oktober 1997.* BGBl. I S. 2623; zul. geänd. Verordnung vom 11. Juni 2009. BGBl. I S. 1273
- [57] *Merkblatt zu der Berufskrankheit Nr. 2106 der Anlage zur Berufskrankheitenverordnung (BKV).* Druckschädigung der Nerven Bekanntmachung des BMA vom 1. Oktober 2002 - IVa 4-45222-2106. *BARbBl.* (2002) Nr. 11, S. 62-64
- [58] *Gonschorek, O.; Bühren, V.*: Mögliche neue Berufskrankheit Gonarthrose – wissenschaftliche Bewertung und gutachterliche Problematik. *Orthopäd. Prax.* 42 (2006) Nr. 7, S. 406-410
- [59] *Greinemann, H.*: Ist die Kniegelenksarthrose nach Berufsbelastung eine Berufskrankheit? *Kompaß 5* (1989), S. 262-268
- [60] *Hackenbroch, M. H.*: Gedanken zur geplanten Aufnahme ausgewählter Gonarthrosen und Coxarthrosen in die Liste der Berufskrankheiten. *Z. Orthop.* 141 (2003) S. 617-620
- [61] *Hartmann, B.; Seidel, D.; Rehme, G.*: Fragen zur wissenschaftlichen Begründung einer Berufskrankheit Gonarthrose. *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 41 (2006) Nr. 4, S. 218-226
- [62] *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
- [63] *Kentner, M.*: Anspruch und Wirklichkeit der Berufskrankheitenmerkblätter – aus ärztlicher Sicht. *Med. Sach.* 105 (2009) Nr. 4, S. 122-129
- [64] *Weber, M.*: Die Gonarthrose - eine Berufskrankheit? *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 41 (2006) Nr. 11, S. 518-532
- [65] *Zelle, J.; Barink, M.; De Waal Maleffijt, M.; Verdonschot, N.*: Thigh-calf contact: Does it affect the loading of the knee in the high-flexion rang? *J. Biomech.* 42 (2009), S. 587-593
- [66] *Ditchen, D.; Ellegast, R.; Rehme, G.*: GonKatast – ein Messwertkataster zu beruflichen Kniebelastungen. IFA-Report 1/2010. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Sankt Augustin 2010. www.dguv.de/ifa, Webcode d107547
- [67] *Hartmann, B.; Seidel, D.*: Erkrankungen der Kniegelenke bei Beschäftigten der Bauwirtschaft. 43. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin (Tagungsband). Dresden 2003. S. 179-183
- [68] *Backhaus, C.*: Gonarthrosrisiko bei Vorfelddladern. *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 43 (2008) Nr. 3, S. 177
- [69] *Bolm-Audorff, U.; Bergmann, A.; Ditchen, 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, Sankt Augustin 2007. www.dguv.de, Webcode: d1341

- [70] *Ellegast, R.; Ditchen, 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.* 57 (2007), S. 251-263
- [71] *Pressel, G.*: Der chronische Meniskusschaden als Berufskrankheit. Bau-Berufsgenossenschaft Frankfurt (gekürzte Fassung einer 1982 vom Fachbereich Human-Medizin der Universität angenommenen Habilitationsschrift: „Die Bedeutung der beruflichen Exposition für die Ätiologie des chronischen Meniskusschadens – eine arbeitsmedizinische Studie“); 1985 (zitiert in *Greinemann, 1989*)
- [72] *Kuorinka, I.; Jonsson, B.; Kilbom, A.; Vinterberg, H.; Biering-Sorensen, F.; Andersson, G.; Jorgensen, K.*: Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Appl. Ergon.* 18 (1987) Nr. 3, S. 233-237
- [73] *Grifka, J.; Linhardt, O.; Liebers, F.*: Mehrstufendiagnostik von Muskel-Skelett-Erkrankungen in der arbeitsmedizinischen Praxis. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.). Sonderschrift S 62; 2. Aufl. Dortmund 2005
- [74] WHO Consultation on Obesity. Obesity – preventing and managing the global epidemic: report of a WHO consultation. WHO technical report series 894. Hrsg.: Weltgesundheitsorganisation, Genf, Schweiz 1999
- [75] *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. www.dguv.de/ifa, Webcode d6633
- [76] *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
- [77] *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*. Stuttgart; Ergon; 2000. S 47-54
- [78] *Ellegast, R.; Hermanns, I.; Schiefer, C.*: Feldmesssystem CUELA zur Langzeiterfassung und -analyse von Bewegungen an Arbeitsplätzen. *Z. Arb. Wiss.* 64 (2010), S. 101-110
- [79] *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*. Taylor & Francis, London 2005. S. 22-26
- [80] *Ellegast, R. P.; Hermanns, I.*: Whole shift workload assessment in field using the ambulatory CUELA system. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.): *Produkt- und Produktions-Ergonomie – Aufgabe für Entwickler und Planer*. 54. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 9.-11. April 2008, München. S. 899-902. GfA-Press, Dortmund 2008.
- [81] *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 2009, July 19-24; San Diego/USA*. S. 221-226. Springer, Berlin 2009.
- [82] *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
- [83] *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. Ind. Ergonom.* 37 (2007), S. 845-854
- [84] *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. www.dguv.de/ifa, Webcode d4617
- [85] *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. www.dguv.de/ifa, Webcode d 6256
- [86] *Ditchen, D.; Ellegast, R.*: Development of a database for analysis of and research into occupational strains on the spinal column. In: *Contemporary Ergonomics*. S. 202-206. Taylor & Francis, Atkins, UK 2004
- [87] *Ditchen, D.; Hermanns, I.; Kleinespel, T.; Ellegast, R. P.*: Aufbau einer Datenbank zur Prävention von arbeitsbedingten Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems. In: *Grieshaber, R.; Stadel, 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*. 8.-9. Dezember 2006; Erfurt. S. 335-340. Bussert & Stadel, Jena 2007.
- [88] Lin LIK. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* 45 (1989), S. 255-268
- [89] Lin LIK. A note on the concordance correlation coefficient. *Biometrics* 56 (2000), S. 324-325

- [90] MedCalc Software bvba [homepage on the Internet]. Mariakerke, Belgium. [cited 2010 Sep 7]. <http://www.medcalc.be>.
- [91] Descatha, A.; Roquelaure, Y.; Chastang, J. F.; Evanoff, B.; Melchior, M.; Mariot, C.; Ha, C.; Imbernon, E.; Goldberg, M.; Leclerc, A.: Validity of Nordic-style questionnaires in the surveillance of upper-limb work-related musculoskeletal disorders. *Scand. J. Work Environ. Health* 33 (2007) Nr. 1, S. 58-65
- [92] Klußmann, A.; Gebhardt, H. J.; Nübling, M.; von Engelhardt, L. V.; Quirós Perea, E.; Liebers, F.; Bouillon, B.; Rieger, M. A.: Fall-Kontroll-Studie zur Bewertung von beruflichen Faktoren im Zusammenhang mit Gonarthrosen – die ArGon-Studie. Forschung Projekt F 2096. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund 2010
- [93] Bühl, A.; Zöfel, P.: SPSS Version 10: Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows. 7. Aufl. Addison-Wesley, München 2000
- [94] Bland, J. M.; Altman, D. G.: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 327 (1986) Nr. 8476, S.307-310
- [95] Bland, J. M.; Altman, D. G.: Comparing methods of measurement: why plotting difference against standard method is misleading. *Lancet* 346 (1995) Nr. 8982, S. 1085-1087
- [96] Grouven, U.; Bender, R.; Ziegler, A.; Lange, S.: Vergleich von Messmethoden. *Dtsch. Med. Wochenschr.* 132 (2007), S. e69-e73
- [97] SPSS Inc., an IBM Company Headquarters, 233 S. Wacker Drive, Chicago, Illinois 60606; 2010 [cited 2010 Sep 9]; Current Version: IBM SPSS Statistics 19. <http://www.spss.com>
- [98] Elsner, G.; Nienhaus, A.; Beck, W.: Kniegelenksarthrose und arbeitsbedingte Faktoren. *Soz. Präventivmed.* 41 (1996), S. 98-106
- [99] 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. Environ. Health.* 77 (2004), S. 345-350
- [100] Holmström, E.; Engholm, G.: Musculoskeletal disorders in relation to age and occupation in Swedish construction workers. *Am. J. Ind. Med.* 44 (2003) Nr. 4, S. 377-384
- [101] Hotz, P.; Soderstrom, 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
- [102] 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. Environ. Med.* 65 (2008), S. 275-278
- [103] Jensen, L. K.; Mikkelsen, S.; Loft, I. P.; Eenberg, W.; Bergmann, I.; Logager, V.: Radiographic knee osteoarthritis in floorlayers and carpenters. *Scand. J. Work Environ. Health* 26 (2000) Nr. 3, S. 257-262
- [104] Kasch, J.; Enderlein, G.: Kniegelenksschäden im Schiffsbau. *Beitr. Orthop. Traumatol.* 33 (1986), S. 487-491
- [105] Kellgren, J. H.; Lawrence, J. S.: Rheumatism in miners. Part II: X-ray study. *Brit. J. Ind. Med.* (1952);9, S. 197-207
- [106] Lindberg, H.; Montgomery, F.: Heavy labor and the occurrence of gonarthrosis. *Clin. Orthop. Rel. Res.* 214 (1987), S. 235-236
- [107] Nauwald, G.: Untersuchungen zur Häufigkeit professioneller Kniegelenkserkrankungen bei älteren Rohrschlossern im Hochseeschiffbau. *Beitr. Orthop. Traumatol.* 33 (1986), S. 124-128
- [108] Rytter, S.; Jensen, L. K.; Bonde, J. P.: Clinical knee findings in floor layers with focus on meniscal status. *BMC Musculoskel. Dis.* (2008) Nr. 9, S. 144
- [109] Seidler, A.; Hornung, J.; Heiskel, H.; Börner, M.; Elsner, G.: Gonarthrose als Berufskrankheit? *Zbl. Arbeitsmed.* 51 (2001) S. 106-117
- [110] 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. *Brit. J. Ind. Med.* 44 (1987) Nr. 9, S. 611-620
- [111] 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
- [112] 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
- [113] 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. Ind. Med.* 51 (2008), S. 37-46
- [114] Amin, S.; Goggins, J.; Niu, J.; Guermazi, A.; Grigoryan, M.; Hunter, D. J.; Genant, H. K.; Felson, D. T.: Occupation-related squatting, kneeling, and heavy lifting and the knee joint: a magnetic resonance imaging-based study in men. *J. Rheumatol.* 35 (2008) Nr. 8, S. 1645-1649

- [115] 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
- [116] Baker, P.; Reading, I.; Cooper, C.; Coggon, D.: Knee disorders in the general population and their relation to occupation. *Occup. Environ. Med.* 60 (2003) Nr. 10, S. 794-797
- [117] Wickström, G.; Hänninen, K.; Mattison, T.; Niskanen, T.; Riihimäki, H.; Waris, P.; Zitting, A.: Knee degeneration in concrete reinforcement workers. *Brit. J. Ind. Med.* 40 (1983), S. 216-219
- [118] Baty, D.; Buckle, P. W.; Stubbs, D. A.: Posture recording by direct observation questionnaire assessment and instrumentation: a comparison based on a recent field study. In: Corlett, N.; Wilson, J.; Manenica, I. (Hrsg.): *The Ergonomics of Working Postures: Proceedings of the First International Occupational Ergonomics Symposium*. S. 283-291. Taylor & Francis, London 1986
- [119] Hartmann, B.; Fleischer, A. G.: Physical load exposure at construction sites. *Scand. J. Work Environ. Health* 31 (2005) Nr. 2, S. 88-95
- [120] Gallagher, S.; Moore, S.; Dempsey, P. G.: *An analysis of injury claims from low-seam coal mines*. *J. Saf. Res.* 40 (2009) Nr. 3, S. 233-237
- [121] 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
- [122] Pollard, J. P.: Thigh-calf and heel-gluteus contact forces in high flexion (experimental results). Proceedings of the 32nd Annual Meeting of the American Society of Biomechanics, August 26-29, 2009, State College, Pennsylvania. Newark, DE: The American Society of Biomechanics. 2009; S. 1-2
- [123] 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; V85. 12. bis 14.09.2009, Aachen
- [124] Chung, M. K.; Lee, I.; Kee, D.: Assessment of postural load for lower limb postures based on perceived discomfort. *Int. J. Ind. Ergonom.* 31 (2003), S. 17-32
- [125] Chung, M. K.; Lee, I.; Kee, D.: Quantitative postural load assessment for whole body manual tasks based on perceived discomfort. *Ergonomics* 48 (2005) Nr. 5, S. 492-505
- [126] Lee, I.; Chung, M. K.: Workload evaluation of squatting work postures. Proceedings of the Second International Cyberspace Conference on Ergonomics. 1999, Perth, Australia. S. 597-607
- [127] Andersen, J. H.; Haahr, J. P.; Frost, P.: Risk factors for more severe regional musculoskeletal symptoms. A two-year prospective study of general working population. *Arthritis Rheum.* 56 (2007) Nr. 4, S. 1355-1364
- [128] Reid, C. R.; McCauley Bush, P.; Karwowski, W.; Durrani, S. K.: Occupational postural activity and lower extremity discomfort: A review. *Int. J. Ind. Ergonom.* 40 (2010), S. 247-256
- [129] Jin, S.; McCulloch, R.; Mirka, G. A.: Biomechanical evaluation of postures assumed when harvesting from bush crops. *Int. J. Ind. Ergonom.* 39 (2009) Nr. 2, S. 347-352
- [130] Chung, M. K.; Lee, I.; Kee, D.: Effect of stool height and holding time on postural load of squatting postures. *Int. J. Ind. Ergonom.* 32 (2003) Nr. 5, S. 309-317
- [131] Tak, S.; Paquet, V.; Woskie, S.; Buchholz, B.; Punnett, L.: Variability in risk factors for knee injury in construction. *J. Occup. Environ. Hyg.* 6 (2009) Nr. 2, S. 113-120
- [132] Barrero, L., H.; Katz, J. N.; Dennerlein, J. T.: Validity of self-reported mechanical demands for occupational epidemiologic research of musculoskeletal disorders. *Scand. J. Work Environ. Health* 35 (2009) Nr. 4, S. 245-260
- [133] Stock, S. R.; Fernandes, R.; Delisle, A.; Vézina, N.: Reproducibility and validity of workers' self-reports of physical work demands. *Scand. J. Work Environ. Health* 31 (2005) Nr. 6, S. 409-437
- [134] Barriera-Viruet, H.; Sobeih, T. M.; Daraiseha, N.; Salem, S.: Questionnaires vs. observational and direct measurements: a systematic review. *Theoret. Issues Ergonom. Sci.* 7 (2006) Nr. 3, S. 261-284
- [135] Latza, U.; Stang, A.; Bergmann, M.; Kroke, A.; Sauer, S.; Holle, R.; Kamtsiuris, P.; Terschüren, C.; Hoffmann, W.: Zum Problem der Response in epidemiologischen Studien in Deutschland (Teil I). *Gesundheitswesen* 66 (2004), S. 326-336
- [136] Hoffmann, W.; Terschüren, C.; Holle, R.; Kamtsiuris, P.; Bergmann, M.; Kroke, A.; Sauer, S.; Stang, A.; Latza, U.: Zum Problem der Response in epidemiologischen Studien in Deutschland (Teil II). *Gesundheitswesen* 66 (2004), S. 482-491
- [137] Heinrich, J.; Blatter, B. M.; Bongers, P. M.: A comparison of methods for the assessment of postural load and duration of computer use. *Occup. Environ. Med.* 61 (2004), S. 1027-1031

- [138] *Unge, J.; Hansson, G.-A.; Ohlsson, K.; Nordander, C.; Axmon, A.; Winkel, J.; Skerfving, S.*: Validity of self-assessed reports of occurrence and duration of occupational tasks. *Ergonomics* 48 (2005) Nr. 1, S. 12-24
- [139] *Pope, D. P.; Silman, A. J.; Cherry, N. M.; Pritchard, C.; Macfarlane, G. J.*: Validity of self-completed questionnaire measuring the physical demands of work. *Scand. J. Work Environ. Health* 24 (1998) Nr. 5, S. 376-385
- [140] *Prince, S. A.; Adamo, K. B.; Hamel, M. E.; Hardt, J.; Gorber, S. C.; Tremblay, M.*: A comparison of direct versus self-report measures for assessing physical activity in adults: a systematic review. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.* 5 (2008), S. 56
- [141] BG BAU (Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft) [Internet-Homepage]. München: AG Ergonomie, Zentralreferat für Arbeitsmedizin, Arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren der BG BAU.
<http://www.bgbau.de/d/ergonomie/index.html>
- [142] *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. Environ. Med.* 65 (2008), S. 20-27
- [143] *Jensen, L.; Friche, C.*: Implementation of new working methods in the floor-laying trade: Long-term effects on knee load and knee complaints. *Am. J. Ind. Med.* 53 (2010), S. 615-627 *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.
www.dguv.de/ifa, Webcode d7458
- [144] *Mewes, D.; Walther, C.; Rehn, B.*: Knieschutz im Raumausstatterhandwerk. *TÜ* 51 (2010) Nr. 3, S. 42-45
- [145] *Porter, W. L.; Mayton, A. G.; Moore, S. M.*: Pressure distribution on the anatomic landmarks of the knee and the effects of kneepads. *Appl. Ergon.* 42 (2010) Nr. 1, S. 106-113. www.cdc.gov/niosh/mining/pubs/pdfs/pdota.pdf
- [146] *Burdorf, A.; van der Beek, A. J.*: In musculoskeletal epidemiology are we asking the unanswerable in questionnaires on physical load? *Scand. J. Work Environ. Health* 25 (1999) Nr. 2, S. 81-83

Abkürzungsverzeichnis

€	Euro
AEB	Arbeitswissenschaftliches Erhebungsverfahren für Bauarbeiten
AOK	Allgemeine Ortskrankenkasse
AP	Aufsichtsperson
AU-Tage	Arbeitsunfähigkeitstage
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BG BAU	Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft
BG ETEM	Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse
BG RCI	Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie
BG Verkehr	Berufsgenossenschaft für Transport und Verkehrswirtschaft
BGIA	Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz (heute: IFA)
BGM	Berufsgenossenschaft Metall Nord Süd
BK	Berufskrankheit
BKK	Betriebskrankenkasse
BMA	Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung
BMAS	Bundesministerium für Arbeit und Soziales
BMGS	Bundesministerium für Gesundheit und Soziale Sicherung
BMI	Body-Mass-Index
BMJ	Bundesministerium der Justiz
BWS	Brustwirbelsäule
ca.	circa
CI	Confidence Interval (Konfidenzintervall)
CUELA	Computerunterstützte Erfassung und Langzeitanalyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems
d	Verzerrung
d. h.	das heißt
dat	Mess-Dateityp („Rohdaten“)
DGOOC	Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und orthopädische Chirurgie
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
dt.	deutsch
DVD	Digital Versatile Disc
DWS	Deutsche Wirbelsäulenstudie
ESWC	European Survey on Working Conditions
EU-OSHA	European Agency for Safety and Health at Work (Europäische Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz)
Ext.	Extension
Flex.	Flexion
GonKatast	Kunstwort aus „Gonarthrose“ und „Kataster“
h	Stunde
HBG	Holz-Berufsgenossenschaft
ID	Identifikationsnummer
IFA	Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
inkl.	inklusive
jap.	japanisch
kg	Kilogramm
Latflex.	Lateralflexion
LED	Leuchtdiode (Light Emitting Diode)
lfd. Nr.	laufende Nummer
Lig.	Ligamentum

Abkürzungsverzeichnis

LWS	Lendenwirbelsäule
M	Messung
M.	Musculus
m ²	Quadratmeter
Max	Maximum
Mess-Ing.	Messingenieur
min	Minuten
Min	Minimum
mind.	mindestens
Mio.	Millionen
MMBG	Maschinenbau- und Metall-Berufsgenossenschaft
Mrd.	Milliarden
MRT	Magnetresonanztomographie
MSB	Muskel-Skelett-Belastungen
Mw	Mittelwert
n	Gesamtzahl
N.	Nervus
o. Ä.	oder Ähnliches
OA	Osteoarthritis (engl.; dt.: Arthrose)
OMEGA	Organisationssystem für Messwerte zu Gefährdungen am Arbeitsplatz
OWAS	Ovako Working posture Assessment System
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
P5, P25, P50 ...	5. Perzentil, 25. Perzentil, 50. Perzentil ...
PC	Personal Computer
PDA	Personal Digital Assistant
PE	Polyethylen
Plz	Postleitzahl
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
PVC	Polyvinylchlorid
Qt ₀	Fragebogen zum Zeitpunkt t ₀ (Questionnaire)
Qt ₁	Fragebogen zum Zeitpunkt t ₁ (Questionnaire)
R ²	Bestimmtheitsmaß
rho (ρ)	Korrelationskoeffizient (nach <i>Spearman</i>)
s. o.	siehe oben
SD	Standard Deviation (dt.: Standardabweichung)
SGB	Sozialgesetzbuch
sog.	sogenannte(r/s)
Stabw.	Standardabweichung
u. a.	unter anderem
VBG	Verwaltungs-Berufsgenossenschaft
vgl.	vergleiche
vs.	versus (lateinisch für: gegen, gegenüber gestellt)
wdc	Mess-Dateityp („modifizierte Daten“)
WHO	World Health Organization
WIDAAN	Winkel-Daten-Analyse
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil

Anhang

Anhang 1: Untersuchte Berufe und jeweils verantwortliche Projektpartner

Nr.	Beruf	Im Merkblatt zur BK 2112	Verantwortliche Projektpartner
1	Betonbauer	+	BG BAU
2	Bodenleger (Raumausstatter, Teppichleger)	+	BG RCI, BG BAU, MMBG, BGM
3	Dachdecker	+	BG BAU
4	Estrichleger	+	BG BAU
5	Fahrzeugsattler (Planensattler, Technischer Konfektionär)	-	BG RCI
6	Fliesenleger	+	BG BAU
7	Flugzeugabfertiger	-	BG Verkehr
8	Formenbauer	-	BGM
9	Installateur	+	BG BAU, BG ETEM
10	Maler/Lackierer	+	BG BAU
11	Natur-/Kunststeinleger	+	BG BAU
12	Parkettleger	+	HBG
13	Pflasterer	+	BG BAU
14	Rohrleitungsbauer	-	BG BAU
15	Schweißer (im Behälterbau)	+	BGM
16	Werftarbeiter (Schiffbauer und Werftschlosser)	+	BGM

Anhang 2: Beschreibung der untersuchten Berufe; nach [66]

Beton- und Stahlbetonbauer

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

Bodenleger/Raumausstatter

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 Lino- leumböden inklusive der dazu notwendigen Vor- und Nachbereitungsarbeiten. Das Verlegen anderer Bodenbeläge wie Parkett, Dielenboden, Laminat, Estrich oder Fliesen ist bei den Berufsbildern „Parkettleger“, „Estrichleger“ und „Fliesenleger“ bzw. „Natur- und Kunststeinleger“ dargestellt. Einen Sonderfall stellt das Tätigkeitsmodul „Bodenlegen im Fahrzeugbau“ dar: Hierunter sind Tätigkeiten im Bereich des Bus-Innenausbaus und Waggonbaus zu verstehen, die in großen Produktionsstätten anzutreffen sind (Serienproduktion).

Dachdecker

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, das Abdichten von Dach-, Wand- und Bodenflächen an Bauwerken sowie Fassadenbekleidungen. Dachdeckertypische Bauklempnerarbeiten sind unter dem Berufsbild „Installateur“ beschrieben (Dachanschlussarbeiten, Dachrinnenmontage, Fotovoltaikmontage). Die Montage von Wärmedämmplatten an Fassaden, wie sie auch von Dachdeckern durchgeführt wird, ist innerhalb des Berufsbilds „Maler/Lackierer“ dargestellt.

Estrichleger

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. Bei der Herstellung von Fließestrichböden wird ein relativ flüssiger Estrichmörtel mit einer Förderpumpe über einen Schlauch auf den zuvor präparierten Untergrund aufgebracht. Im Gegensatz dazu wird beim Herstellen von Zementestrichböden 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. Das hier beschriebene

Berufsbild umfasst nicht das Herstellen bitumengebundener Estriche.

Fahrzeugsattler

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 kann. 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 eingestanz oder Riemen- bzw. Schnallgarnituren eingearbeitet.

Fliesenleger

Fliesenleger 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. Größere Fassadenplatten, Gehwegplatten, Treppenstufen o. Ä. werden üblicherweise – v. a. in Außenbereichen – von Natur- und Kunststeinlegern verlegt. Die entsprechenden Tätigkeiten sind unter jenem Berufsbild aufgeführt.

Flugzeugabfertiger

Die Aufgaben der Flugzeugabfertiger 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.

Formenbauer

Da kniegefährdende Tätigkeiten im industriellen Formenbau kaum noch eine Rolle spielen, wurde hier lediglich die Herstellung von Gussformen aus Formsand untersucht. Hierbei 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 Gussform lösen lässt, wird diese zuvor mit einer Flüssigkeit

(„Schlichte“) eingepinselt. Nach dem Auftragen der Schlichte wird diese durch Abbrennen getrocknet.

Installateur

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 untersucht wurden, unterstrichen. Zum Heizungsanlagenbau gehören alle Arbeiten, die mit der Konzeption und Installation von Heizungsanlagen unterschiedlichster Art in Verbindung stehen (Fußbodenheizung, Rohrleitungs-, Heizkessel- und Heizkörpermontage). Zu den Sanitärarbeiten zählen alle Tätigkeiten, die zur Montage und zum Anschluss von Sanitärprojekten notwendig sind (Montage von Abwasserleitungen, Spülkästen, Waschbecken usw.). 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.

Maler und Lackierer

Maler und Lackierer gestalten, behandeln, beschichten und bekleiden Innenwände, Decken, Böden und Fassaden von Gebäuden. Zu diesen Tätigkeiten zählen z. B. die Oberflächenbehandlung von Bauten und Bauteilen mit Beschichtungsstoffen, Tapezier- und Klebearbeiten und Korrosionsschutzarbeiten. Die untersuchten Tätigkeiten lassen sich grob in Außen- und Innenarbeiten unterteilen.

Natur- und Kunststeinleger

Der Natur- und Kunststeinleger hat ähnliche Aufgaben wie der Fliesenleger und ist gewöhnlich in Steinmetzbetrieben beschäftigt. Zu seinem Arbeitsgebiet gehören das Verlegen von Platten aus Natur- und Kunststeinen als Boden-, Treppen- oder Wandbeläge (z. B. an Gebäudefassaden). Die Platten werden meist in einem Mörtelbett verlegt, in seltenen Fällen im Dünnbettverfahren 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.

Parkettleger

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 wie die Vorbereitung des Untergrundes (z. B. Nivellieren, Verlegen von Trittschalldämmung), das eigentliche Verlegen des Parketts (z. B. Stab- oder Mosaikparkett) oder Dielenbodens, inklusive Kleberauftrag und Zugschnitt, mehrfaches Schleifen der Parkettfläche und Verkitten,

Oberflächenbehandlung mit Lacken, Ölen u. Ä. oder das Anbringen von Sockelleisten.

Pflasterer

Pflasterer verlegen Klein-, Mosaik- und Verbundsteinpflaster aus Natur- und Betonsteinen und 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 Steinfugen mit Sand oder Mörtel oder das Abrütteln von Pflasterflächen. Solche Arbeiten treten v. a. im Straßen- und Tiefbau, aber auch im Garten- und Landschaftsbau auf.

Rohrleitungsbauer

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 (Gas-, Lichtbogen- und Polyethylen-(PE)-Schweißen) sowie das Prüfen der Leitungen auf Dichtigkeit.

Schweißer (im Behälterbau)

Das Berufsbild „Schweißer“ ist sehr heterogen, da Schweißarbeiten in vielen Branchen durchzuführen sind und die Fülle der unterschiedlichen Schweißverfahren zu einer Vielfalt verschiedener Tätigkeiten führt. 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 Inneren 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.

Werftarbeiter

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 in 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.

Anhang 3: Informationsbroschüre für Unternehmen und Probanden

Untersuchung von Kniebelastungen

Ausgangslage

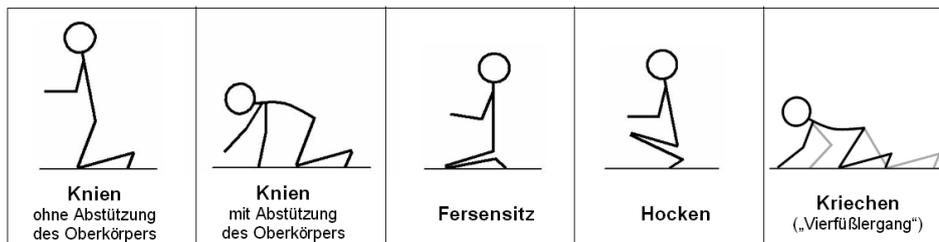
Berufsbedingte Erkrankungen der Kniegelenke gelten in verschiedenen Gewerbebranchen als Auslöser für eine Vielzahl von Arbeitsunfähigkeitstagen. Der wissenschaftliche Kenntnisstand über die Ursachen der Entstehung solcher Erkrankungen ist bis heute allerdings als unzureichend einzustufen.

Die Vermeidung von arbeitsbedingten Erkrankungen und die Erforschung der Ursachen dieser Erkrankungen zählen zu den Aufgaben der gesetzlichen Unfallversicherung. Aus diesem Grund wurde von Seiten der Berufsgenossenschaften ein wissenschaftliches Forschungsprojekt initiiert, in welchem kniebelastende Tätigkeiten näher untersucht werden sollen. Die von der Bundesregierung geplante Einführung einer neuen Berufskrankheit „Gonarthrose“ (= Kniegelenksarthrose) unterstreicht die hohe Bedeutung solcher Untersuchungen.

Projekt

Im Rahmen des Projekts sollen kniebelastende Tätigkeiten in verschiedenen Berufen jeweils hinsichtlich ihres Vorkommens, ihrer jeweiligen Dauer und ihrer Häufigkeit während einer typischen Arbeitsschicht untersucht werden.

Als „kniebelastend“ im engeren Sinne gelten Tätigkeiten im Knien, Fersensitz, Hocken und Kriechen.



In früheren wissenschaftlichen Studien wurden solche Tätigkeiten u. a. für die folgenden Berufen angegeben: Bodenleger, Estrichleger, Pflasterer, Dachdecker, Betonbauer, Bergleute, Schweißer, Gärtner, Bauschreiner und Berufe im Fahrzeugbau.

Methodik

Zur messtechnischen Erfassung der relevanten Tätigkeiten wird das im Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz (BGIA) entwickelte Messsystem CUELA eingesetzt. Hierbei handelt es sich um ein personengebundenes Messsystem zur Aufzeichnungen von Körperhaltungen und Bewegungen, welches mittels Gurten über der Arbeitskleidung befestigt werden kann. Die Messperson kann nach Anbringen des Systems ihrer Arbeit in der gewohnten Art und Weise nachgehen.



CUELA-Messsystem: Datenfluss, Anbringung über der Arbeitskleidung, Datenanalyse

Die Messdaten werden auf einer Speicherkarte aufgezeichnet und können nach Abschluss der Messung am Computer analysiert werden. Zur späteren Identifizierung der einzelnen Arbeitssituationen werden die Messungen mit der Videokamera begleitet.

Parallel zu den Messungen werden Fragebögen eingesetzt, die bei der Rekonstruktion der verschiedenen Arbeitsschichten helfen sollen. Die gesammelten Daten werden später in anonymer Form ausgewertet.

Ziel des Projekts ist der Aufbau eines Katasters mit wissenschaftlich fundierten Informationen zu kniebelastenden Tätigkeiten in den untersuchten Berufen. Diese Informationen sollen als Grundlage für die Entwicklung geeigneter Präventionsmaßnahmen genutzt werden können.

Kooperation

Für die Durchführung dieses Projekts sind die Berufsgenossenschaften auf die Mitarbeit der Unternehmen angewiesen. Bitte helfen Sie mit, den wissenschaftlichen Kenntnisstand zur Entstehung von Kniegelenkerkrankungen zu verbessern und dadurch zukünftige Neuerkrankungen zu vermeiden!

Ansprechpartner

Dipl.-Biol. Dirk Ditchen
BGIA – Institut für Arbeitsschutz
der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Referat 4.3: Arbeitswissenschaft/Ergonomie
Alte Heerstraße 111
53757 Sankt Augustin

E-Mail: Dirk.Ditchen@dguv.de

Tel.: 02241 231-2722
Fax: 02241 231-2234

**Anhang 4:
Einverständniserklärung für Unternehmer**

Einverständniserklärung zur Studie „Kniebelastungen“

Unternehmen: _____

Adresse: _____

Die _____ Berufsgenossenschaft als Träger der gesetzlichen Unfallversicherung hat mit allen geeigneten Mitteln für die Verhütung von Arbeitsunfällen, Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren zu sorgen und soll auch den Ursachen nachgehen (§ 14 SGB VII). Berufsbedingte Erkrankungen der Kniegelenke treten in bestimmten Gewerbebezügen als Auslöser für eine Vielzahl von Arbeitsunfähigkeitstagen in Deutschland auf. Der wissenschaftliche Kenntnisstand über die Ursachen der Entstehung solcher Erkrankungen ist bis heute als unzureichend einzustufen.

Auch im Hinblick auf die von der Bundesregierung geplante Einführung einer neuen Berufskrankheit „Gonarthrose“ (= Kniegelenksarthrose) wurde von Seiten der Berufsgenossenschaften ein wissenschaftliches Forschungsprojekt initiiert, das belastbare wissenschaftliche Erkenntnisse über kniebelastende Tätigkeiten ermitteln soll.

Wir stimmen einer Beteiligung unseres Unternehmens an dieser Studie zu. Insbesondere stimmen wir zu, dass Bewegungs- und Körperhaltungsmessungen bei Mitarbeitern/innen sowie Foto- und Videoaufnahmen im Rahmen der Studie angefertigt werden. Die wissenschaftlichen Mitarbeiter der Berufsgenossenschaft, die die Untersuchung durchführen, sind nach § 35 SGB I auf das Sozialgeheimnis verpflichtet. Damit wird einer missbräuchlichen Verwendung von personen- oder unternehmensbezogenen Daten entgegengewirkt. Alle Arbeitsunterlagen und Dokumentationen werden so aufbewahrt und gesichert, dass nur die mit der Untersuchung Beauftragten Zugang zu den Daten haben. Es ist sichergestellt, dass die Auswertungen und Ergebnisse so aufbereitet und anonymisiert werden, dass keine Rückschlüsse auf bestimmte Personen oder das Unternehmen möglich sind.

Wir sind damit einverstanden, dass Foto- und Videoaufnahmen nach Ihrer Zustimmung sowie die anonymisierten Ergebnisse dieser Untersuchung im Rahmen wissenschaftlicher Publikationen und Veranstaltungen genutzt werden können.

Ort: _____	Datum: _____	Unterschrift: _____
---------------	-----------------	------------------------

Anhang 5: Fragebogen „Gesundheit und Freizeitverhalten“

Probanden-Nr.: _____ / _____ / _____ - _____ - _____ / P _____

Interviewer: _____ Messort: _____

1. Geschlecht	<input type="checkbox"/> männlich <input type="checkbox"/> weiblich	2. Nationalität	_____
3. Alter	_____ Jahre	4. Händigkeit	<input type="checkbox"/> Rechtshänder <input type="checkbox"/> Linkshänder
5. Körpergröße	_____ m	6. Körpergewicht	_____ kg
7. derzeitige berufliche Tätigkeit		_____	

8. Wie lange wurde diese Tätigkeit insgesamt, also auch bei anderen Arbeitgebern ausgeübt?

ca. _____ Jahre und _____ Monate

9. durchschnittliche Arbeitszeit (inkl. Überstunden): am Tag _____ h, in der Woche _____ h

10. Welche anderen beruflichen Tätigkeiten (**Ausbildung, Wehrdienst, Berufstätigkeiten** usw.) hat der Proband bisher ausgeübt? (Bitte Tabelle ausfüllen)

Zeitraum		Bezeichnung der Tätigkeit (nicht die einzelnen Arbeitgeber !)
von	bis	

11. Gab es bisher einen Arbeitsplatzwechsel aus gesundheitlichen Gründen?

nein ja

12. Ist/War der Proband **Raucher**? (mind. 1 Zigarette am Tag für mindestens ein halbes Jahr)

Raucher _____ Zigaretten pro Tag, seit _____ Jahren

ehemaliger Raucher _____ Zigaretten pro Tag, über _____ Jahre

Nicht-Raucher

13. Treibt/Trieb der Proband in der Freizeit regelmäßig Sport?

nein ja (bitte Tabelle ausfüllen)

Sportart	von (Jahr)	bis (Jahr)	Monate pro Jahr	Stunden pro Woche

14. Übt/Übte der Proband in der Freizeit regelmäßig körperlich anstrengende Tätigkeiten aus (z. B. Gartenarbeit, Hausbau, landwirtschaftliche Tätigkeiten)?

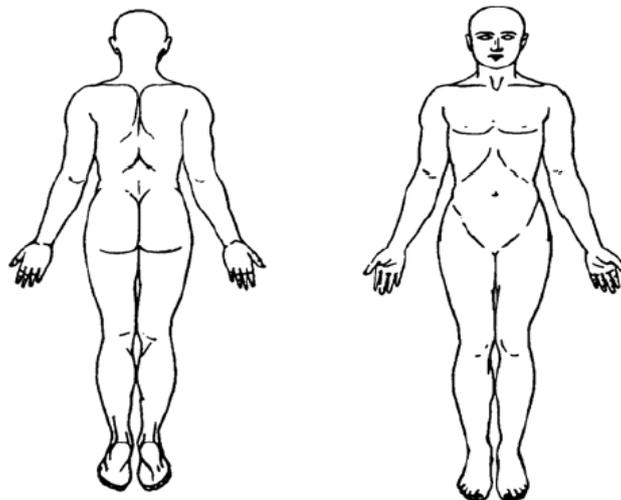
nein ja (bitte Tabelle ausfüllen)

Tätigkeit	von (Jahr)	bis (Jahr)	Monate pro Jahr	Stunden pro Woche

15. Hatte der Proband in den letzten 12 Monaten bei der Arbeit Beschwerden im Bereich der Wirbelsäule, der Arme oder Beine? (Schmerzen, Ziehen, Brennen, Kraftlosigkeit, Taubheitsgefühl, Kältegefühl, Hautveränderungen u. ä.)

nein ja

16. Falls ja: bitte lassen Sie den Probanden in die beiden Figuren genau da Kreuze (X) einzeichnen, wo Beschwerden aufgetreten sind.



Bitte aus der folgenden Tabelle nur Fragen zu den zuvor angekreuzten Körperregionen stellen!

	17. Traten die Beschwerden / Schmerzen während der letzten 12 Monate zu irgendeiner Zeit auf?	18. Traten die Beschwerden / Schmerzen während der letzten 7 Tage auf?	19. Führten die Beschwerden/ Schmerzen zu Problemen während der täglichen Arbeit?
A. Nacken	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja
B. Schultern	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja, rechts <input type="checkbox"/> ja, links <input type="checkbox"/> ja, beidseits	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja, rechts <input type="checkbox"/> ja, links <input type="checkbox"/> ja, beidseits	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja
C. Oberer Rücken	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja
D. Ellbogen	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja, rechts <input type="checkbox"/> ja, links <input type="checkbox"/> ja, beidseits	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja, rechts <input type="checkbox"/> ja, links <input type="checkbox"/> ja, beidseits	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja
E. Unterer Rücken (Kreuz)	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja
F. Handgelenke/ Hände	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja, rechts <input type="checkbox"/> ja, links <input type="checkbox"/> ja, beidseits	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja, rechts <input type="checkbox"/> ja, links <input type="checkbox"/> ja, beidseits	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja
G. Hüften/Ober-schenkel	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja, rechts <input type="checkbox"/> ja, links <input type="checkbox"/> ja, beidseits	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja, rechts <input type="checkbox"/> ja, links <input type="checkbox"/> ja, beidseits	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja
H. Knie	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja, rechts <input type="checkbox"/> ja, links <input type="checkbox"/> ja, beidseits	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja, rechts <input type="checkbox"/> ja, links <input type="checkbox"/> ja, beidseits	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja
I. Knöchel/Füße	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja, rechts <input type="checkbox"/> ja, links <input type="checkbox"/> ja, beidseits	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja, rechts <input type="checkbox"/> ja, links <input type="checkbox"/> ja, beidseits	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja

20. Falls der Proband in den letzten 12 Monaten Kniebeschwerden hatte: Wie lange hat er diese insgesamt verspürt? (Bei mehreren Krankheitsphasen bitte die einzelnen Zeitabschnitte addieren)

- niemals (0 Tage)
- an 1 – 7 Tagen
- an 8 – 30 Tagen
- an mehr als 30 Tagen, jedoch nicht täglich
- jeden Tag

21. Haben die Kniebeschwerden den Probanden veranlasst, seine Aktivitäten (Arbeit und Freizeit) während der letzten 12 Monate einzuschränken?

A: Arbeitsaktivitäten (Berufstätigkeit oder Hausarbeit)

B: Freizeitaktivitäten (z. B. Sport)

nein ja

nein ja

22. Hatte der Proband jemals in seinem Leben Beschwerden in den Knien? (z. B. Stechen, Schmerzen, Kraftverlust, Bewegungsverlust und Missempfindungen wie Taubheit, Kribbeln o. Ä.)

- nein ja, rechts
 ja, links
 ja, beidseitig

23. War der Proband jemals wegen dieser Kniebeschwerden im Krankenhaus?

- nein ja

24. War der Proband jemals wegen dieser Kniebeschwerden bei einem Arzt, Chiropraktiker, Physiotherapeuten o. ä.?

- nein ja

25. Hatte der Proband jemals Knieverletzungen aufgrund eines Unfalls?

- nein ja, rechts
 ja, links
 ja, beidseitig

26. Musste der Proband jemals seine Arbeitsstelle oder seine berufliche Tätigkeit aufgrund von Kniebeschwerden wechseln?

- nein ja

27. Wurde beim Probanden jemals eine der folgenden Erkrankungen bei festgestellt? Falls ja, in welchem Jahr zum ersten Mal? Bestehen heute noch Beschwerden?

- nein ja

Erkrankung			erstmal festgestellt im Jahr...	aktuelle Beschwerden
	links	rechts		
Meniskusschaden (Risse, Kalkeinlagerungen)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Kniegelenksarthrose (Gonarthrose)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Schleimbeutelentzündung (Knie)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Verletzungen der Kniebänder (z. B. Kreuzband)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Kniegelenksentzündung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Sonstige Verletzungen des Kniegelenks	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit !

Anhang 6:
Einverständniserklärung für Probanden

Einverständniserklärung

Probanden-Nr.: _____ / _____ / _____ - _____ - _____ / P _____

Name/Vorname: _____ Betrieb: _____
 _«Vorname»«Betrieb»

Im Rahmen einer Arbeitsplatzuntersuchung im Auftrag der _____ BG nahm ich heute als Messperson an Bewegungs- und Körperhaltungsmessungen teil. Dazu wurden auch personenbezogene Daten (z. B. Alter, Geschlecht, Körpergröße) erhoben sowie Foto- und Videoaufnahmen angefertigt.

Ich willige hiermit ein, dass diese Daten in *anonymisierter* Form von den Berufsgenossenschaften weiter verarbeitet und in dieser Form auch an die am Projekt beteiligten Institutionen weitergegeben werden dürfen.

Ich bin damit einverstanden, dass die Foto- und Videoaufnahmen sowie die Ergebnisse dieser Untersuchung im Rahmen wissenschaftlicher Publikationen und Veranstaltungen genutzt werden können.

Ich erkläre hiermit meine Teilnahme an einer zweiten Befragung zu wissenschaftlichen Zwecken. Hierzu wird mir **einmalig** von der Berufsgenossenschaft ein Fragebogen per Post zugesandt. Meine Daten werden in anonymisierter Form ausgewertet, meine persönlichen Daten werden lediglich für den Postversand benötigt und nach Zustellung des Fragebogens gelöscht. Für meine Teilnahme an dieser Befragung erhalte ich nach Rücksendung des ausgefüllten Fragebogens eine Aufwandsentschädigung von **20 Euro**.

Straße/Nr.: _____

Plz/Ort: _____

Tel.: _____

Ort:

Datum:

Unterschrift:

Anhang 7: Untersuchte Berufe, Tätigkeitsmodule und Sonderfälle

Beruf	Tätigkeitsmodule	n	Sonderfälle	n	
Beton- und Stahlbetonbauer	Bewehren	3			
	Schalungsarbeiten	3			
Bodenleger/Raumausstatter	Bodenbelag verlegen	6	Bodenleger im Fahrzeugbau	3	
	Altbelag manuell entfernen	3			
	Untergrund vorbereiten	4			
Dachdecker	Steildach einlatten	4	Steildach: Ziegeltransport auf Dach	1	
	Steildach dämmen	2	Steildach: Reetdach abdecken	1	
	Steildach eindecken (Dachpfannen)	3	Holzrahmenbau (Zimmermann)	1	
	Steildach eindecken (Biberschwanz)	4			
	Steildach verschiefern	2			
	Steildach: Mansarden-Verschieferung	3			
	Steildach: Wellplattenmontage	3			
	Steildach: Reetdach eindecken	3			
	Flachdach: Schweißbahnen verlegen	4			
	Flachdach: Anschluss mit Flüssigfolie	2			
	Flachdach: Kunststoffbahnen verlegen	3			
	Estrichleger	Fließestrich: Dämmen	4	Zementestrich einbauen (2-Mann)	1
		Fließestrich einbauen	5	Zementestrich anmischen (2-Mann)	2
Zementestrich einbauen (3-Mann)		3			
Zementestrich glätten (3-Mann)		3			
Zementestrich anmischen (3-Mann)		2			
Fahrzeugsattler	Lkw-Planen anfertigen	5			
Fliesenleger	Bodenfliesen verlegen (Dünnbett)	5	Vorbereitungsarbeiten	2	
	Wandfliesen verlegen (Dünnbett)	3	Bodenfliesen verlegen (Dickbett)	1	
	Bodenfliesen verfugen	2	Silikon-Verfugungsarbeiten	1	
	Wandfliesen verfugen	5	Wand- und Bodenfliesen verlegen (Dünnbett)	1	
Flugzeugabfertiger	Großraum- und Standardrumpfflugzeuge abfertigen	3			
	Standardrumpfflugzeuge abfertigen	5			
Formenbauer	Formenbau	4			
Installateur	Fußbodenheizungsvorbereitung	3			
	Fußbodenheizungsmontage	5			
	Heizungsanlagenmontage	3			
	Heizkörpermontage	3			
	Rohrleitungsmontage	6			
	Abwasserleitungsmontage	2			
	Unterputzkastenmontage	2			
	Sanitär-Feinmontage	4			
	Dach-Anschlussarbeiten	4			
	Dachrinnenmontage	3			
	Fotovoltaikmontage, Flachdach	3			
	Fotovoltaikmontage, Steildach	2			

Beruf	Tätigkeitsmodule	n	Sonderfälle	n
Maler und Lackierer	Fassadenvorbereitung	3	Innenanstrich	1
	Fassadenanstrich	3	Treppenhausanstrich	2
	Vollwärmeschutzmontage	5		
	Tapezieren	3		
	Lackierarbeiten (innen)	2		
Natur- und Kunststeinleger	Treppenstufen verlegen	5	Vakuumheber: Bediener	1
	Fassadenplattenmontage	5	Vakuumheber: Platten verlegen	1
	Bodenplatten verlegen	3		
Parkettleger	Stabparkett verlegen	3	Vorbereiten	2
	Mosaikparkett verlegen	8	Dielenboden verlegen	1
	Schleifen und verkitten	10	Stabparkettfedern	3
			Trittschalldämmung verlegen	1
Pflasterer	Verbundpflaster verlegen	3	Kleinpflaster verlegen (Schemel)	1
	Kleinpflaster verlegen	3		
Rohrleitungsbauer	Kanalbau	3	Ausschachten	1
	Rohrleitungsbau (Schweißen)	3		
	Rohrleitungsbau (PE-Schweißen)	2		
Schweißer (im Behälterbau)	Wände einschweißen	3		
Werftarbeiter	Schweißen	3	Schleifen	1
	Schlossertätigkeiten	2		

Anhang 8: Beispiel eines „Messstundenplans“

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 von	bis	Beschreibung der Tätigkeit	Bemerkung	Messung	Datei
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
09:35	11:05	Tapezieren		X	M1
11:05	11:45	Tapezieren		X	M2a
11:45	12:00	Aufräumen		X	M2b
12:00	12:30	Pause			---
12:30	14:30	Tapezieren			Kopie M1
14:30	16:20	Tapezieren			Kopie M2a
16:20	16:30	Aufräumen			Kopie M2b
16:30	16:45	Rückfahrt			---

Anhang 9: Checkliste „Vorbereitung der CUELA-Messung“

Checkliste – Vorbereitung

Vorbereitung CUELA-System

- Aufladen der Akkus
- System auf Vollständigkeit prüfen

Vorbereitung Video-Kamera

- Aufladen der Akkus
- Prüfen auf Vollständigkeit (Kabel, Kassetten, Akkus)

Vorbereitung Unterlagen

- Einverständniserklärung Proband
- Fragebogen B (Qt₀)
- Fragebogen C (Gesundheit/Freizeitverhalten)
- Mess-Stundenplan
- Berufsspezifische Checkliste(n)
- Info-Schreiben Betrieb
- Einverständniserklärung Betrieb

PSA

Absprache mit AP

Absprache bzgl. Arbeitsteilung, evtl. Vorstellung der Unterlagen

Anhang 10: Checkliste „Durchführung der CUELA-Messung“

Checkliste – Messung

- Festlegung der Probanden-Nummer**
Beruf (7)_Initialen Mess-Ing. (2)_Datum (tt-mm-jjjj)_P_lfd.Nr
(Beispiel: Estrich_DD_25-01-2007_P1)
- Einverständnis-Erklärung Proband**
Kopf ausfüllen, von Proband unterschreiben lassen, auf *Zweitbefragung* und *Probandengelder* hinweisen, *Adresse* aufnehmen.
Bei Nichtteilnahme des Probanden bitte angeben:
.....
(Geschlecht, Alter, Beruf, deutsche Sprache ja/nein)
- Videokamera vorbereiten**
Aufgeladenen *Akku* verwenden, evtl. *Kassette/DVD* beschriften.
- Messsystem anlegen**
inkl. *Messsohlen*; auf eventuell einzusetzende *Knieschoner* achten.
- Messsystem prüfen**
Sitz der Sensoren auf *Verrutschen* prüfen, Sitz des *Akkus* prüfen, *Kabelverbindungen* prüfen, eventuell störende Kabel mit *Kabelbinder* befestigen;
Online-Verbindung zwischen Logger und Laptop, *Betriebsmodus* Logger auf „1“ (= *Online-Modus*, *LED* dauergelb) einstellen, Logger einschalten, Online-Prüfung, Logger ausschalten, Online-Kabel lösen.
- Messung**
Betriebsmodus des Loggers auf „0“ einstellen (= *Logger-Modus*, *LED blinkt gelb*), *Flashkarte* einlegen und evtl. *formatieren*, Messung und Videoaufzeichnung *starten*, zusammen mit dem Probanden *Prüfbewegungen* (Sohlen, Kniebeuge) durchführen, wenn möglich 1-2 Referenzlastgewichte messen/erfragen, Proband mit Videokamera begleiten.
- Ende der Messung**
Prüfbewegung des Probanden (Kniebeuge), *Messung stoppen* (Start/Stopp-Taster), Videokamera und Logger *ausschalten*, *Flashkarte* herausnehmen und Daten am Laptop kurz *prüfen* und *sichern* (Datei *kopieren* und *umbenennen*).
- Fragebogen B (Qt₀)**
Kopf ausfüllen, Fragebogen von Probanden *sofort im Anschluss an Messung* ausfüllen lassen (Zeitanteile und Häufigkeiten beziehen sich nur auf den Zeitraum der gerade abgeschlossenen Messung), Verständnisfragen des Probanden beantworten.
Für jede Messung auszufüllen! (evtl. auch mehrmals durch einen Probanden)
- Fragebogen C (Gesundheit/Freizeitverhalten)**
Kopf ausfüllen, Fragen *in der angegebenen Reihenfolge* dem Probanden *vorlesen* und *ausfüllen*, z. B. in der Pause zwischen zwei Messungen, auch im Vorfeld der Messung möglich.
Für jeden Probanden einmal ausfüllen! (unabhängig von der Anzahl der Messungen).

Anhang 11: Checkliste „Nachbereitung der CUELA-Messung“

Checkliste – Nachbearbeitung

- DAT-Datei auf PC kopieren, umbenennen und in wdc-Datei umwandeln**
- Messdaten auf Vollständigkeit prüfen**
- Digitalisierung des Messvideos bzw. Video-Datei auf PC kopieren und entsprechend umbenennen**
Je nach Typ der eingesetzten Videokamera. Erstellte Video-Datei ins Verzeichnis der wdc-Datei kopieren.
- Videosynchronisation**
- Körperwinkel auf Plausibilität prüfen**
Messdaten auf Ausreißer kontrollieren, v. a. Kniewinkel (Messwerte $< 10^\circ / > 190^\circ$?) und Torsionswinkel (Messwerte $> 30^\circ$?) prüfen.
- Korrektur von Messdaten („Sensor korrigieren“)**
Falls notwendig, z. B. Torsionswinkel auf 0° setzen, wenn Torsionswelle rausgesprungen war.
- Markieren: „Messdaten Netto“**
Intervall(e) setzen, Prüfbewegungen oder Korrekturarbeiten während der Messung „herausschneiden“.
- Berechnung - „OWAS-Haltungscode“ I**
- Berechnung - „Sohlenkalibration & Lastgewicht“**
Bearbeitung mit Hilfe des *Wizards*.
- Überprüfung der Lastgewichte**
- Berechnung - „OWAS-Haltungscode“ II**
- Einzeltätigkeiten (grob) festlegen**
Tätigkeiten festlegen und Intervalle setzen.
- Daten sichern (CD-ROM, DVD, externe Festplatte o. Ä.)**
- Postversand an BGIA**
Für jeden Probanden eine Mappe mit: Einverständniserklärung, Mess-Stundenplan, alle Fragebögen B (Qt₀), Fragebogen C (Gesundheit/Freizeitverhalten), berufsspezifische Checklisten, Messdaten (Video, Dat-Dateien, wdc-Dateien) auf CD/DVD.

Anhang 12: Validitätsprüfung der Messdaten anhand der Videoaufnahmen

Datengrundlage: Rohdaten und modifizierte Daten
zu 16 Messungen

a) t-Test für gepaarte Stichproben

Rohdaten	Modifizierte Daten
33,0	34,5
24,1	27,8
84,3	84,3
0,3	0,3
26	28,2
61,8	63,5
73,5	77,5
54,4	55,4
5,6	47,9
1,1	0,9
0,0	0,0
68,0	68,0
84,3	84,1
2,4	3,0
62,4	62,4
32,5	35,7

Sample 1	
Variable	modifizierte_Daten modifizierte Daten
Sample 2	
Variable	Rohdaten

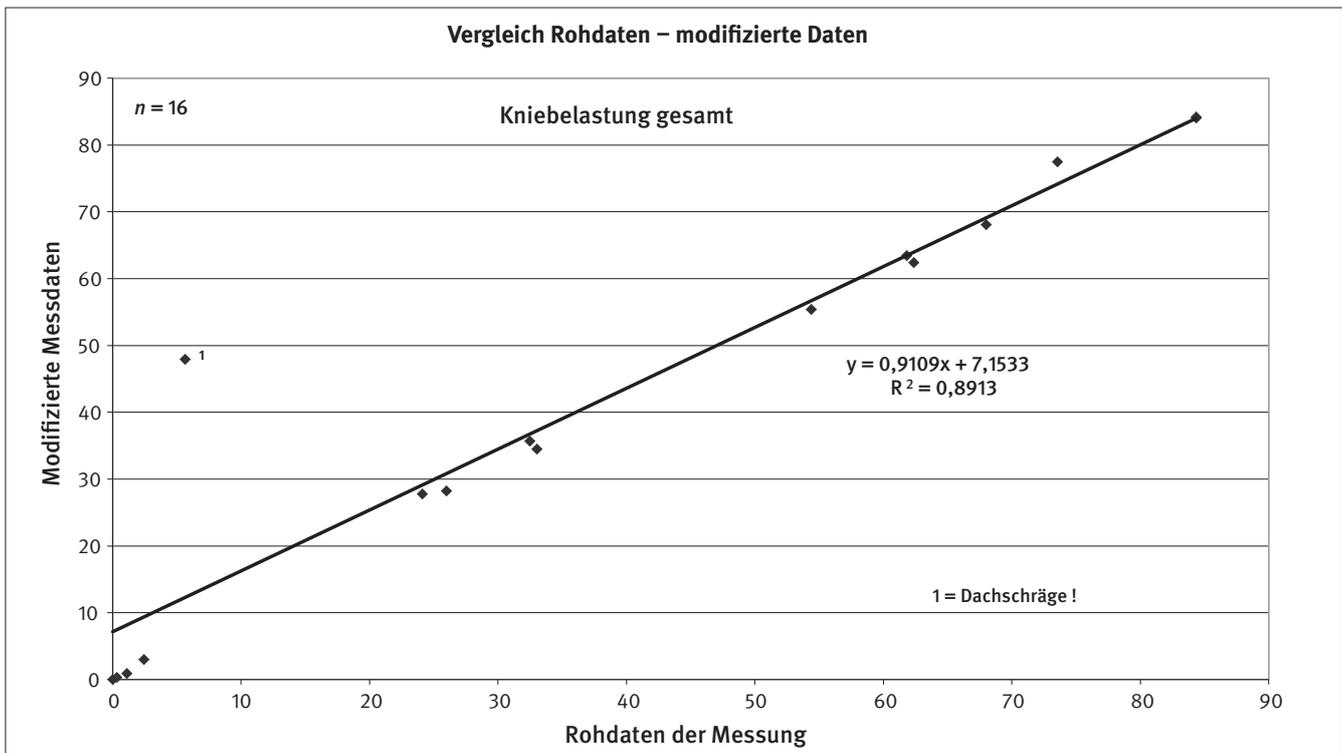
„Auszug aus Software [90]“

	Sample 1	Sample 2
Sample size	16	16
Arithmetic mean	42.0938	38.3562
95%CI for the mean	25.9361 to 58.2514	21.6111 to 55.1014
Variance	919.4473	987.5226
Standard deviation	30.3224	31.4249
Standard error for the mean	7.5806	7.8562

Paired samples t-test

- Mean difference: -3.7375
- Standard deviation: 10.3831
- 95% CI_: -9.2703 to 1.7953
- Test statistic t: -1.440
- Degrees of Freedom (DF): 15
- Two-tailed probability: P = 0.1705

b) Regressionsgerade und Bestimmtheitsmaß R^2



Anhang 13: Ergebnisse der Reliabilitätsprüfung (Inter-Rater-Reliabilität)

Berechnung des Konkordanz-Korrelations-Koeffizienten [88; 89] für den Vergleich der Auswerteergebnisse durch drei Rater auf Grundlage von vier CUELA-Messungen.

Verglichen wurden jeweils die ausgewerteten Zeitanteile für die „Kniebelastung gesamt“.

Die drei Vergleiche ergaben folgende Koeffizienten:

- Rater 1 vs. Rater 2: 0,9976

- Rater 1 vs. Rater 2: 0,9977
- Rater 2 vs. Rater 3: 0,9998

A	B	C
Rater_1	Rater_2	Rater_3
68,5	67,4	68,3
73,4	70,3	70,2
31	30,4	30,4
15,1	15,1	15,1

„Auszug aus Software [90]“

	Concordance correlation coefficient		
	Rater 1 vs. Rater 2	Rater 1 vs. Rater 3	Rater 2 vs. Rater 3
Sample size	4	4	4
Concordance correlation coefficient	0.9976	0.9977	0.9998
95% Confidence Interval	0.9844 to 0.9996	0.9796 to 0.9998	0.9979 to 1.0000
Pearson p (precision)	0.9996	0.9991	0.9999
Bias correction factor Cb (accuracy)	0.9980	0.9986	0.9999

Anhang 14:
Fragebogen Qt₀

Probanden-Nr.:	_ _ _ _ _ / _ _ / _ _ - _ _ - _ _ _ _ / P _
Tätigkeit(en):	Messzeit: von Uhr bis Uhr

Die Eintragungen beziehen sich nur auf die Zeit der Messung!

1. Haben Sie während der heutigen Messung **Lastgewichte** über 5 kg gehandhabt (z. B. Heben, Tragen, Ziehen, Schieben, Schaufelarbeiten o. ä.)

nein ja

Falls ja, tragen Sie diese bitte in die folgende Tabelle ein. Geben Sie auch an, wie oft und ggf. wie weit Sie diese bewegt haben.

Last (Bezeichnung)	Masse [kg]	Anheben/ Absetzen (Häufigkeit)	Tragen (Häufigkeit, durchschnittl. Entfernung [in Meter])	Ziehen/Schieben (Häufigkeit, durchschnittl. Entfernung [in Meter])	Sonstiges (z. B. Schaufeln) Bezeichnung u. Häufigkeit
<u>Beispiel:</u> Fliesenkleber (Sack)	25	<input checked="" type="checkbox"/> ... 10 ... mal	<input checked="" type="checkbox"/> 10.....mal je 20 m weit	<input type="checkbox"/>mal je..... m weit	<input type="checkbox"/>mal
		<input type="checkbox"/> mal	<input type="checkbox"/>mal je m weit	<input type="checkbox"/>mal je..... m weit	<input type="checkbox"/>mal
		<input type="checkbox"/> mal	<input type="checkbox"/>mal je m weit	<input type="checkbox"/>mal je..... m weit	<input type="checkbox"/>mal
		<input type="checkbox"/> mal	<input type="checkbox"/>mal je m weit	<input type="checkbox"/>mal je..... m weit	<input type="checkbox"/>mal
		<input type="checkbox"/> mal	<input type="checkbox"/>mal je m weit	<input type="checkbox"/>mal je..... m weit	<input type="checkbox"/>mal
		<input type="checkbox"/> mal	<input type="checkbox"/>mal je m weit	<input type="checkbox"/>mal je..... m weit	<input type="checkbox"/>mal

2. Mussten Sie während der heutigen Messung **Treppen/Leitern** (> 5 Stufen/Sprossen) steigen?

nein ja

Falls ja, wie oft mussten Sie diese auf- bzw. absteigen?

	Treppe (> 5 Stufen)	Leiter (> 5 Sprossen)
Aufsteigen	<input type="checkbox"/>mal	<input type="checkbox"/>mal
Absteigen	<input type="checkbox"/>mal	<input type="checkbox"/>mal

3. Mussten Sie während der heutigen Messung irgendwo (herunter)springen (z. B. von Lkw)?

nein ja

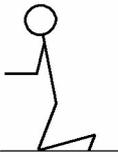
Falls ja, ergänzen Sie bitte die Angaben in der Tabelle.

Tätigkeit (Bezeichnung)	Anzahl der Sprünge	Sprunghöhe [Meter]
	..... mal	ca. m
	..... mal	ca. m

4. Traten während der heutigen Messung eine oder mehrere der folgenden Tätigkeiten auf: **Knien, Hocken, Fersensitz** oder **Kriechen**?

nein ja

Falls ja, ergänzen Sie bitte die Angaben in der Tabelle.

Tätigkeit		trifft zu?	Häufigkeit der Vorgänge	durchschnittliche Dauer eines Vorgangs [Minuten]
	Knien (ohne Abstützung des Oberkörpers)	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja	..... mal	je .....min
	Knien (mit Abstützung des Oberkörpers)	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja	..... mal	je .....min
	Hocken	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja	..... mal	je .....min
	Fersensitz	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja	..... mal	je .....min
	Kriechen	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja	..... mal	je .....min

Anhang 15: Probanden-Anschreiben zur Teilnahme an Zweitbefragung (Qt₁)

Körperhaltungsmessungen mit dem CUELA-Messsystem im Auftrag Ihrer Berufsgenossenschaft - hier: Teilnahme an einer Fragebogen-Aktion

Sehr geehrter Herr,

am haben Sie freundlicherweise an Messungen Ihrer Berufsgenossenschaft zur Ermittlung von Körperhaltungen teilgenommen. Im Rahmen dieser Messungen hatten Sie sich bereit erklärt, einen Fragebogen zu den von Ihnen durchgeführten Tätigkeiten auszufüllen. Anbei erhalten Sie nun diesen Fragebogen wie besprochen ein zweites Mal. Bitte versuchen Sie, sich an den Tag der Messung zu erinnern und beantworten Sie die Fragen für die angegebene Messzeit noch einmal.

Bitte beachten Sie:

Die Fragen beziehen sich nur auf die im Formularkopf angegebene Zeitdauer!

Für die Rücksendung des ausgefüllten Fragebogens (s. frankierter Umschlag) erhalten Sie eine Aufwandsentschädigung von **20 EUR**. Bitte geben Sie dazu auch Ihre Bankverbindung auf dem entsprechenden Vordruck an und legen Sie diesen Ihrer Rückantwort bei.

Alle Daten gehen selbstverständlich anonym in die Auswertung ein. Ihre persönlichen Daten werden nach Eingang des Fragebogens gelöscht.

Für Ihre Teilnahme an der Studie danke ich Ihnen.

Mit freundlichen Grüßen

Dipl.-Biol. D. Ditchen

Anlage

- Fragebogen
- frankierter Rückumschlag



Bitte ausfüllen, ausschneiden und der Rückantwort beilegen.

PROBANDEN-NUMMER

Bankverbindung:

Kontoinhaber: Kontonr.

Bankleitzahl: Kreditinstitut:

**Anhang 16:
Fragebogen Qt₁**

Tätigkeiten: XXXXXX
Mess-Datum: xx.xx.200x Messzeit (netto): von xx:xx Uhr bis xx:xx Uhr (= xxx min)

Die Eintragungen beziehen sich nur auf die beschriebene Messzeit!

Durchgeführte Arbeiten:

XXXXX Beschreibung der durchgeführten Tätigkeiten am Messtag, z. B. Arbeitsleistung pro Fläche
XXXX

1. Haben Sie während der beschriebenen Messzeit Lastgewichte über 5 kg gehandhabt (z. B. Heben, Tragen, Ziehen, Schieben, Schaufelarbeiten o. ä.)

nein ja

Falls ja, tragen Sie diese bitte in die folgende Tabelle ein. Geben Sie auch an, wie oft und ggf. wie weit Sie diese bewegt haben.

Last (Bezeichnung)	Masse [kg]	Anheben/ Absetzen (Häufigkeit)	Tragen (Häufigkeit, durchschnittl. Entfernung [in Meter])	Ziehen/Schieben (Häufigkeit, durchschnittl. Entfernung [in Meter])	Sonstiges (z. B. Schaufeln) Bezeichnung u. Häufigkeit
<u>Beispiel:</u> Fliesenkleber (Sack)	25	<input checked="" type="checkbox"/> 10 ... mal	<input checked="" type="checkbox"/> 10 ...mal je 20 m weit	<input type="checkbox"/>mal je..... m weit	<input type="checkbox"/> mal
		<input type="checkbox"/> mal	<input type="checkbox"/>mal je m weit	<input type="checkbox"/>mal je..... m weit	<input type="checkbox"/> mal
		<input type="checkbox"/> mal	<input type="checkbox"/>mal je m weit	<input type="checkbox"/>mal je..... m weit	<input type="checkbox"/> mal
		<input type="checkbox"/> mal	<input type="checkbox"/>mal je m weit	<input type="checkbox"/>mal je..... m weit	<input type="checkbox"/> mal
		<input type="checkbox"/> mal	<input type="checkbox"/>mal je m weit	<input type="checkbox"/>mal je..... m weit	<input type="checkbox"/> mal
		<input type="checkbox"/> mal	<input type="checkbox"/>mal je m weit	<input type="checkbox"/>mal je..... m weit	<input type="checkbox"/> mal
		<input type="checkbox"/> mal	<input type="checkbox"/>mal je m weit	<input type="checkbox"/>mal je..... m weit	<input type="checkbox"/> mal

PROBANDENNR: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

2. Mussten Sie während der beschriebenen Messzeit auf **Treppen** oder **Leitern** (mit mehr als 5 Stufen/Sprossen) steigen?

nein ja Falls ja, wie oft mussten Sie auf- bzw. absteigen?

	Treppe (> 5 Stufen)	Leiter (> 5 Sprossen)
Aufsteigen	<input type="checkbox"/>mal	<input type="checkbox"/>mal
Absteigen	<input type="checkbox"/>mal	<input type="checkbox"/>mal

3. Mussten Sie während der beschriebenen Messzeit irgendwo (herunter)**springen** (z. B. vom Lkw)?

nein ja Falls ja, ergänzen Sie bitte die Angaben in der Tabelle.

Tätigkeit (Bezeichnung)	Anzahl der Sprünge	Sprunghöhe [Meter]
	..... mal	ca. m
	..... mal	ca. m

4. Traten während der beschriebenen Messzeit eine oder mehrere der folgenden Tätigkeiten auf: **Knien, Hocken, Fersensitz** oder **Kriechen**?

nein ja Falls ja, ergänzen Sie bitte die Angaben in der Tabelle.

Tätigkeit		trifft zu?	Häufigkeit der Vorgänge	durchschnittliche Dauer eines Vorgangs [Minuten]
	Knien (ohne Abstützung des Oberkörpers)	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja	..... mal	je .....min
	Knien (mit Abstützung des Oberkörpers)	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja	..... mal	je .....min
	Hocken	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja	..... mal	je .....min
	Fersensitz	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja	..... mal	je .....min
	Kriechen	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja	..... mal	je .....min

Anhang 17: Durchschnittliche arbeitstägliche Dauer der Kniebelastung

Prozentuale Zeitanteile pro Arbeitsschicht in 16 Berufen (Mediane)

Berufe	n	Knien ohne Abstützung	Knien mit Abstützung	in %			Kniebelastung gesamt
				Fersensitz	Hocken	Kriechen	
Betonbauer	6	1,7	0,9	0,1	6,1	0,0	10,7
Bodenleger	16	19,5	12,5	4,1	0,4	1,5	44,2
Dachdecker	36	6,9	1,5	0,4	0,3	0,0	11,6
Estrichleger	20	11,4	5,3	0,9	0,5	0,0	26,1
Fahrzeugsattler	5	14,6	1,1	0,2	0,3	1,2	23,1
Fliesenleger	20	12,1	3,0	1,1	0,7	0,0	26,9
Flugzeugabfertiger	8	7,2	2,2	2,0	0,1	0,4	14,1
Formenbauer	4	2,4	2,5	0,3	0,1	0,0	5,7
Installateur	40	17,9	2,4	1,4	1,2	0,0	36,2
Maler/Lackierer	19	5,6	0,1	1,5	1,1	0,0	16,9
Natur- und Kunststeinleger	15	11,0	0,8	0,7	5,2	0,0	26,9
Parkettleger	28	24,5	9,3	2,1	0,5	0,0	48,3
Pflasterer	7	4,4	0,0	0,0	9,7	0,0	20,2
Rohrleitungsbauer	9	1,9	0,6	0,0	0,9	0,0	7,2
Schweißer	3	5,9	24,7	0,8	0,2	0,0	36,6
Werftarbeiter	6	20,1	5,1	2,1	5,1	0,1	36,2

Anhang 18: Prozentuale Schichtanteile mit „endgradiger“ Kniebelastung

„Endgradige Kniebelastung“: Kniewinkel (hier: rechtes Knie) $\geq 140^\circ$ während einer Kniebelastungsphase;
Prozentzahlen in 5er-Schritten aufgerundet, für alle untersuchten Tätigkeitsmodule und Sonderfälle

Beruf	Tätigkeitsmodul/Sonderfall	Endgradige Kniebelastung pro Schicht in %
Betonbauer	Bewehren	5
	Schalungsarbeiten	5
Bodenleger	Bodenbelag verlegen	30
	Altbelag entfernen	25
	Untergrund vorbereiten	10
	Boden legen (Fahrzeugbau)	20
Dachdecker	Steildach einlatten	5
	Steildach dämmen	10
	Steildach eindecken (Dachpfannen)	5
	Steildach eindecken (Biberschwanz)	5
	Steildach verschiefern	15
	Steildach: Mansarden-Verschieferung	15
	Steildach: Wellplattenmontage	5
	Steildach: Reetdach eindecken	0
	Flachdach: Schweißbahnen verlegen	10
	Flachdach: Anschluss mit Flüssigfolie	40
	Flachdach: Kunststoffbahnen verlegen	15
	Steildach: Ziegeltransport auf Dachfläche	5
	Steildach: Reetdach abdecken	5
	Holzrahmenbau (Zimmermann)	5
Estrichleger	Fließestrich, Dämmen	25
	Fließestrich einbauen	5
	Zementestrich einbauen (3-Mann)	10
	Zementestrich glätten (3-Mann)	15
	Zementestrich anmischen (3-Mann)	0
	Zementestrich einbauen (2-Mann)	25
	Zementestrich anmischen (2-Mann)	5
Fahrzeugsattler	Lkw-Planen anfertigen	10
Fliesenleger	Bodenfliesen verlegen (Dünnbett)	35
	Wandfliesen verlegen (Dünnbett)	20
	Bodenfliesen verfugen	30
	Wandfliesen verfugen	25
	Vorbereitungsarbeiten	10
	Bodenfliesen verlegen (Dickbett)	30
	Silikon-Verfugungsarbeiten	25
	Wand- und Bodenfliesen verlegen (Dünnbett)	20
Flugzeugabfertiger	Abfertigen von Großraum- und Standardrumpfflugzeugen	5
	Abfertigung von Standardrumpfflugzeugen	10
Formenbauer	Formenbau	5
Installateur	Fußbodenheizung-Vorbereitung	40
	Fußbodenheizungsmontage	20
	Heizungsanlagenmontage	5
	Heizkörpermontage	35
	Rohrleitungsmontage	25

Anhang 18:
Fortsetzung

Beruf	Tätigkeitsmodul/Sonderfall	Endgradige Kniebelastung pro Schicht in %
Installateur (Fortsetzung)	Abwasserleitungsmontage	15
	Unterputzkastenmontage	25
	Sanitär-Feinmontage	25
	Dachanschlussarbeiten	10
	Dachrinnenmontage	0
	Fotovoltaikmontage, Flachdach	5
	Fotovoltaikmontage, Steildach	20
	Maler	Fassadenvorbereitung	35
Fassadenanstrich		5
Vollwärmeschutzmontage		10
Tapezieren		25
Lackierarbeiten (innen)		30
Innenanstrich		5
Treppenhausanstrich		10
Natur- und Kunststeinleger	Treppenstufen verlegen	15
	Fassadenplattenmontage	5
	Bodenplatten verlegen	10
	Vakuumheber: Bediener	0
	Vakuumheber: Platten verlegen	40
Parkettleger	Stabparkett verlegen	20
	Mosaikparkett verlegen	25
	Schleifen und verkitten	15
	Vorbereiten	5
	Dielenboden verlegen	25
	Stabparkett federn	0
	Trittschalldämmung verlegen	35
Pflasterer	Verbundpflaster verlegen	10
	Kleinpflaster verlegen	65
	Kleinpflaster verlegen (Schemel)	0
Rohleitungsbauer	Kanalbau	5
	Rohrleitungsbau (Schweißen)	5
	Rohrleitungsbau (PE-Schweißen)	5
	Ausschachten	0
Schweißer	Wände einschweißen (Behälterbau)	15
Werftarbeiter	Schweißen	30
	Schlossertätigkeiten	30
	Schleifen	15

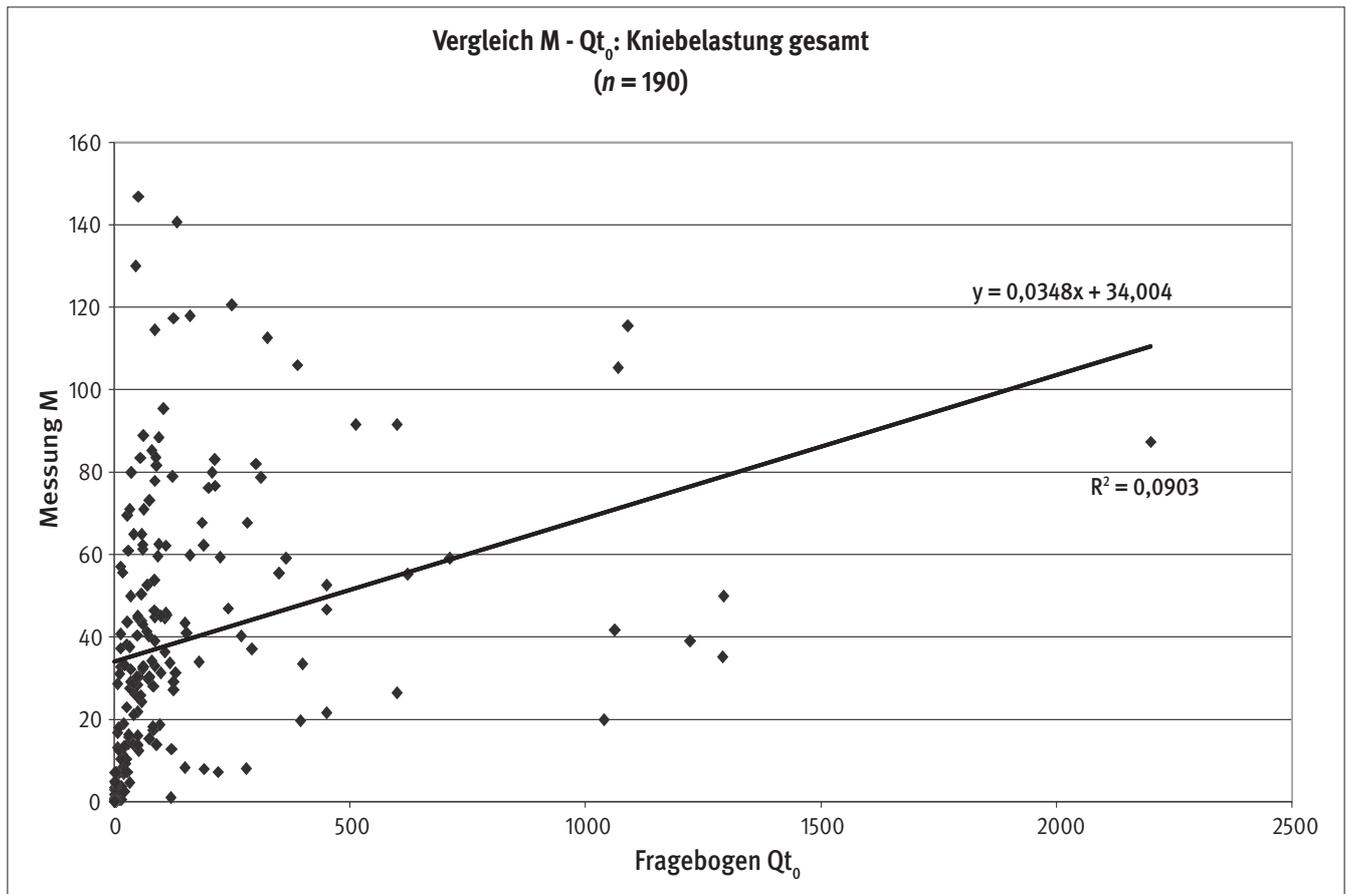
Anhang 19: Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Test für die Datenreihen Messung M, Befragung Qt₀ und Befragung Qt₁

Art der Kniebelastung	M (n = 190)	Qt ₀ (n = 190)	Qt ₁ (n = 125)
Knien ohne Abstützung	p = 0,0003	p < 0,0001	p < 0,0001
Knien mit Abstützung	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001
Fersensitz	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001
Hocken	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001
Kriechen	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001
Kniebelastung gesamt	p = 0,0146	p < 0,0001	p < 0,0001

Die Annahme einer Normalverteilung wird für alle Variablen abgelehnt

Anhang 20: Vergleich Messung – Befragung Qt₀: Regression und Bestimmtheitsmaß R²

Dauer der Kniebelastung gesamt in Minuten



Anhang 21: Vergleich: Extremüberschätzer* und übrige Probanden

(* geschätzte Dauer der Kniebelastung lag in Befragung Q_{t0} über der Dauer des Messzeitraums)

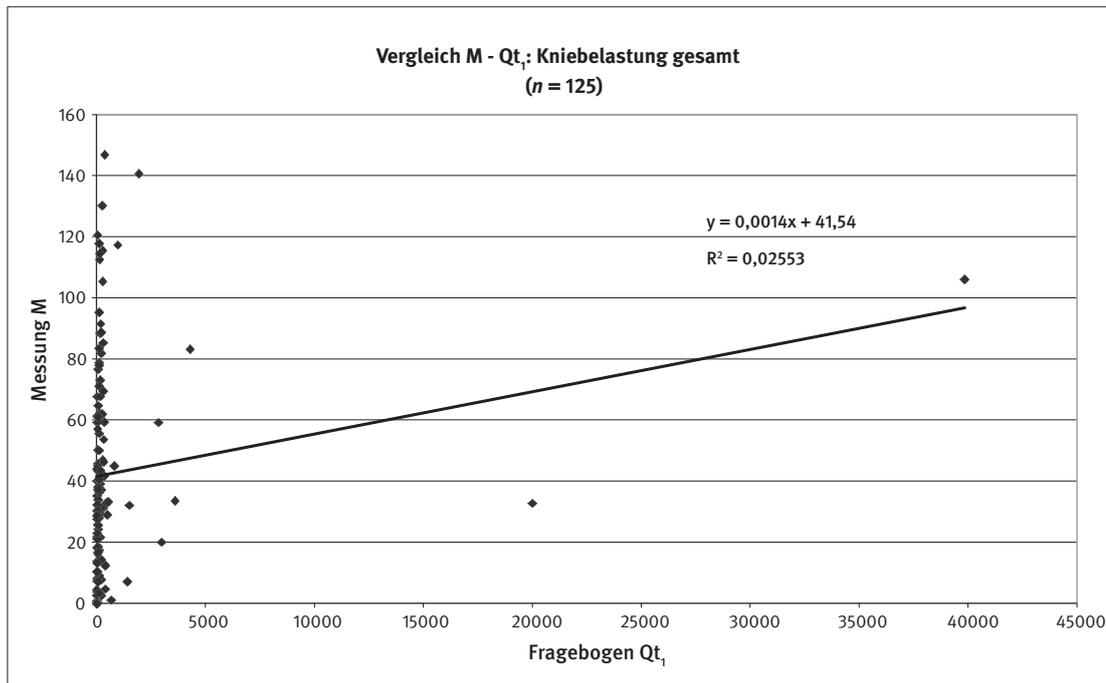
Kriterien	Geschätzte Kniebelastungs- dauer > Messzeitraum	Geschätzte Kniebelastungs- dauer < Messzeitraum	Insgesamt
Anzahl der Probanden	64 (33,7 %)	126 (66,3 %)	190 (100,0 %)
Alter der Probanden in Jahren	36 ± 12	34 ± 11	35 ± 11,5
Berufsjahre der Probanden in Jahren	15,8 ± 11,5	14,0 ± 10,9	14,6 ± 11,1
Probanden mit Kniebeschwerden in %	59,4	44,4	49,5
Anzahl der Berufe	14**	15***	19
Anzahl der eingesetzten Messtechniker	7/9	8/9	9/9

** nicht enthalten: Fahrzeugsattler (4), Lkw-Mechaniker (2), Steinleger (4), Rohrleitungsbauer (3), Stahlbauer (1)

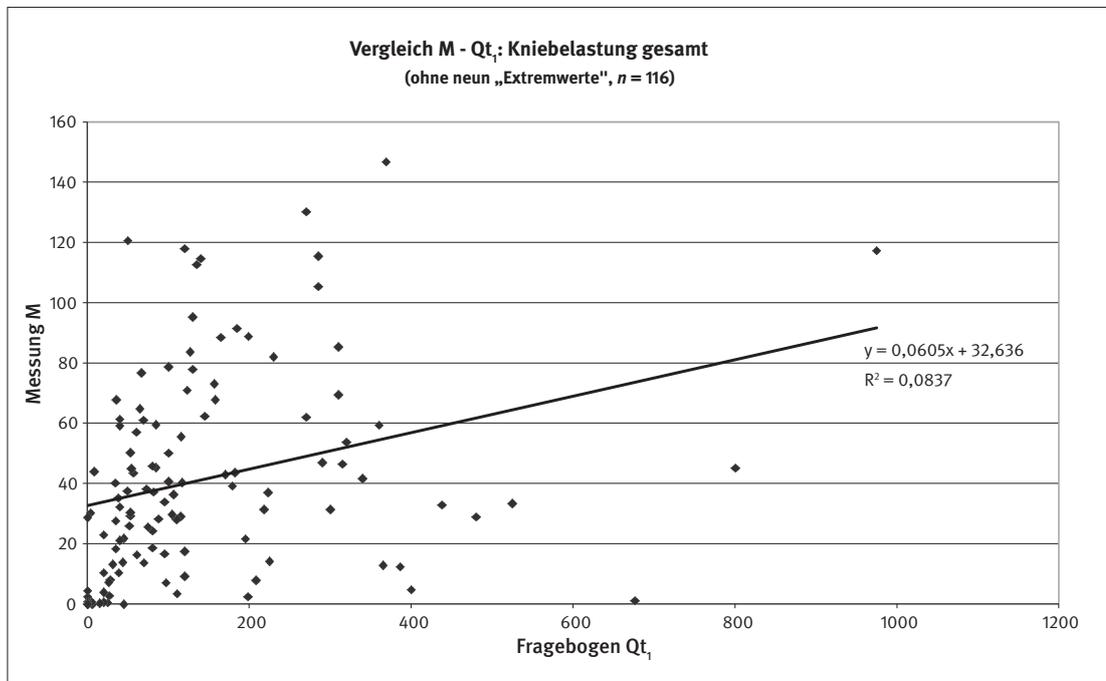
*** nicht enthalten: Elektroinstallateur (1), Formenbauer (4), Rüster (1), Schweißer (3)

Anhang 22: Vergleich Messung – Befragung Qt₁: Regression und Bestimmtheitsmaß R²

Dauer der Kniebelastung gesamt in Minuten



Zur Veranschaulichung: nach Ausschluss von neun „Extremwerten“



Anhang 23: Abschätzung durch Probanden mit und ohne Kniebeschwerden

Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests

- a) Zeitpunkt t_0 : Vergleich zwischen Probanden ohne Kniebeschwerden („kniegesund“) und Probanden mit Kniebeschwerden („kniekrank“) in den letzten 12 Monaten

„Auszug aus Software [90]“

	Sample 1 (kniegesund)	Sample 2 (kniekrank)
Sample size	127	55
Lowest value	-95.9000	-85.1000
Highest value	573.6000	653.3000
Median	14.6000	31.3000
95% CI for the median	7.6884 to 27.2023	10.5673 to 65.8836
Interquartile range	0.0075000 to 53.4000	0.02500 to 122.6000

Mann-Whitney test (independent samples)	
Average rank of first group	87.8307
Average rank of second group	99.9727
Mann-Whitney U	3026.50
Test statistic Z (corrected for ties)	1.428
Two-tailed probability	P = 0.1533

- b) Zeitpunkt t_1 : Vergleich zwischen Probanden ohne Kniebeschwerden („kniegesund“) und Probanden mit Kniebeschwerden („kniekrank“) in den letzten 12 Monaten

„Auszug aus Software [90]“

	Sample 1 (kniegesund)	Sample 2 (kniekrank)
Sample size	81	38
Lowest value	-19967.3000	-39744.1000
Highest value	70.6000	35.3000
Median	-49.5000	-68.3000
95% CI for the median	-74.1258 to -25.4206	-139.1548 to -30.1239
Interquartile range	-157.4750 to -13.0000	-243.1000 to -18.7000

Mann-Whitney test (independent samples)	
Average rank of first group	62.2716
Average rank of second group	55.1579
Mann-Whitney U	1355.00
Test statistic Z (corrected for ties)	1.049
Two-tailed probability	P = 0.2943

**Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)**

Mittelstraße 51
10117 Berlin
Telefon: 030 288763800
Fax: 030 288763808
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de