

**"MR-tomographischer Befund bei Patienten mit  
Kniegelenkbeschwerden in Abhängigkeit von der  
beruflichen und außerberuflichen Gelenkbelastung"**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät  
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Mengxia Li, M. Sc.

geboren am 06. August 1976 in Hangzhou, V. R. China

## **Gutachter**

1. Prof. Dr. med. Rainer Schiele, Jena
2. PD Dr. med. Gunter Spahn, Eisenach
3. Prof. Dr. med. Dr. dent. Richard Kessel, Lübeck

**Tag der öffentlichen Verteidigung:** 04.01.2010

## Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	Varianzanalyse (analysis of variance)
BMI	body mass index, in $\text{kg/m}^2$
CSR	Kontrast-Rausch-Verhältnis (contrast-to-noise ratio)
JSN	Gelenkspaltverschmälerung (joint space narrowing)
JSW	Gelenkspaltbreite (joint space width)
KOOS	Knee and Osteoarthritis Outcome Score
KOSS	MR knee osteoarthritis scoring system
LF	lateraler Femurkondylus
LFTJ	laterales Femorotibialgelenk (lateral femorotibial joint)
LT	laterales Tibiaplateau
MEDIC	multiple-echo data image combination - Sequenz
MF	medialer Femurkondylus
MFTJ	mediales Femorotibialgelenk (medial femorotibial joint)
MRT	Magnetresonanztomographie
MT	mediales Tibiaplateau
OR	odds ratio
RPJ	Retropatellargelenk (retropatellar joint)
SE	Spin-Echo-Sequenz
SNR	Signal-Rausch-Verhältnis (signal-to-noise ratio)
TB	Tegner-Score für berufliche Tätigkeiten
TE	Echozeit
TF	Tegner-Score für Freizeitaktivitäten
TR	Repetitionszeit
WORMS	whole organ magnetic resonance imaging score

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Zusammenfassung.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Einleitung .....</b>	<b>5</b>
<u>2.1. Anatomie und Biomechanik des Kniegelenks .....</u>	<u>6</u>
<u>2.2. Gonarthrose .....</u>	<u>7</u>
<u>2.3. Röntgenologische Bildgebung .....</u>	<u>9</u>
<u>2.4. Magnetresonanztomographie des Kniegelenks .....</u>	<u>11</u>
<u>2.5. Gonarthrose aus arbeitsmedizinischer Sicht .....</u>	<u>15</u>
<b>3. Ziele der Arbeit .....</b>	<b>22</b>
<b>4. Methodik .....</b>	<b>23</b>
<u>4.1. Patientenkollektiv.....</u>	<u>23</u>
<u>4.2. Fragebogen .....</u>	<u>24</u>
<u>4.3. MRT-Untersuchung .....</u>	<u>25</u>
<u>4.4. Strukturiertes Interview .....</u>	<u>25</u>
<u>4.5. Bildverarbeitung und Auswertung .....</u>	<u>26</u>
<u>4.6. Statistische Auswertung .....</u>	<u>28</u>
<b>5. Ergebnisse .....</b>	<b>29</b>
<b>6. Diskussion .....</b>	<b>60</b>
<b>7. Schlussfolgerungen.....</b>	<b>67</b>
<b>8. Literatur- und Quellenverzeichnis .....</b>	<b>69</b>
<b>9. Anhang .....</b>	<b>80</b>
<u>9.1. Fragebogen zur Datenerhebung .....</u>	<u>80</u>
<u>9.2. Beispiel zur strukturierten Erhebung der Kniegelenkbelastung.....</u>	<u>87</u>
<u>9.3. Modifizierter Tegner-Score .....</u>	<u>89</u>
<u>9.4. Lebenslauf .....</u>	<u>92</u>
<u>9.5. Danksagung .....</u>	<u>93</u>
<u>9.6. Ehrenwörtliche Erklärung .....</u>	<u>94</u>

# **1. Zusammenfassung**

Die wissenschaftliche Forschung zur berufsbedingten Gonarthrose erhält durch die bereits erfolgte (Dänemark) oder die geplante Anerkennung der Gonarthrose als Berufskrankheit (z.B. Niederlande, Deutschland) neue Brisanz. Der Zusammenhang zwischen schwerer körperlicher Arbeit und Gonarthrose ist in zahlreichen epidemiologischen Studien dokumentiert. Insbesondere lang andauernde Tätigkeiten im Knien und Hocken werden mit einem erhöhten Gonarthroserisiko in Verbindung gebracht. Dabei sind die biomechanischen Besonderheiten der Gelenkbelastung im Knien und der Zusammenhang zwischen Belastungsdosis und resultierenden Gelenkschäden bisher nicht ausreichend untersucht. Ein belastungskonformes Schadensbildes konnte in den vorliegenden klinischen und röntgenologischen Studien nicht nachgewiesen werden. Die Abgrenzung der beruflich bedingten Gonarthrose von Gonarthrosen anderer Ätiologie ist bisher nicht sicher möglich. Nur wenige Studien haben den Grad und das bildmorphologische Muster der Gelenkschädigung in Beziehung zur individuellen Gelenkbelastung analysiert. Die in der muskuloskelettalen Diagnostik als ein Routineverfahren eingesetzte Magnetresonanztomographie hat bisher kaum Eingang in die arbeitsmedizinische Gonarthroseforschung gefunden.

Die vorgelegte Arbeit untersucht erstmalig im Rahmen einer MR-tomographischen Studie degenerative Kniegelenkveränderungen mittels WORMS (whole-organ magnetic resonance imaging score, Peterfy et al. 2004) und einer strukturierten individuellen Anamnese zur beruflichen und außerberuflichen Kniegelenkbelastung. Untersucht wurden 216 symptomatische Patienten vorwiegend mittleren Alters mit überwiegend geringgradiger Arthrose. Die MR-tomographische Graduierung gonarthrotischer Gelenkläsionen nach einer 5-stufigen kategorialen Einteilung in Anlehnung an die röntgenologische Klassifikation nach Kellgren und Lawrence korreliert gut mit den semiquantitativen WORMS-Punktwerten. Es bestätigen sich die bekannten Risikofaktoren Alter, weibliches Geschlecht, Übergewicht und Kniebelastung in Beruf und Freizeit. Dagegen korrelierten die Angaben zu den Ernährungsgewohnheiten, zum Familienstand, zum Bildungsniveau und zu Arthrosen an anderen Gelenken sowie in der Verwandtschaft zwar teilweise mit der Gonarthrose, waren jedoch keine unabhängigen Prädiktoren. Neben dem beruflichen Tegner-Score

ließ sich insbesondere eine Trias aus Hocken, Knien und Arbeiten auf Leitern als statistisch signifikanter Risikofaktor für die Ausbildung einer manifesten Gonarthrose identifizieren. Die erhobenen Daten erlauben eine Dosisabschätzung bezüglich des Alters, des Geschlechts, des Übergewichts und des Ausmaßes der Kniebelastung. Die vermehrte Degeneration bei beruflich bedingter Gelenkbelastung wie auch bei Übergewicht betrifft dabei alle drei Gelenkkompartimente. Erstmals ergeben sich Hinweise auf differenzierbare morphologische Schädigungsmuster bei unterschiedlichen Risikofaktoren. Eine berufsbedingte Gonarthrose durch kniende Tätigkeiten ist auf Grundlage unserer Daten bei symmetrischer oder lateral betonter Degeneration der retropatellaren Gelenkfläche eher unwahrscheinlich. Zusätzlich zeigen sich unterschiedliche Ausprägungen von Osteophyten am lateralen Tibiaplateau und ein tendenziell niedriger WOMS-Punktwert bei den Patienten mit beruflicher Kniebelastung bei gleichem Arthrosegrad, verglichen mit übergewichtigen Patienten. Eine enge Assoziation von gonarthrotischer und meniskaler Degeneration konnte nachgewiesen werden.

Die außerberufliche Gelenkbelastung war in unserem Patientenkollektiv kein eigenständiger Risikofaktor für eine Gonarthrose. Patienten mit beruflicher Kniebelastung gingen jedoch häufiger kniebelastenden Freizeitaktivitäten nach. Unsere Daten zu den subjektiven Kniegelenksbeschwerden auf der Grundlage des KOOS und zur allgemeinen körperlichen und psychischen Gesundheit, erfasst nach dem SF-12, belegen eine mäßige Korrelation zwischen dem bildmorphologischen Ausmaß der Gonarthrose und dem Grad der subjektiven Beeinträchtigung. Von Bedeutung ist der von uns dokumentierte hohe Anteil an Patienten mit regelmäßiger Schmerzmedikation infolge gonarthrotischer Beschwerden, insbesondere bei Frauen in der Altersgruppe über 55 Jahren. Der beobachtete überproportionale Gelenkverschleiß beim Zusammentreffen von beruflicher Kniegelenkbelastung und Adipositas sollte Anlass zu präventiv-medizinischen Überlegungen mit Blick auf eine zunehmend adipöse Bevölkerung geben.

Die vorgelegte MRT-Studie bildet eine wichtige Grundlage für weitere Forschungsarbeiten zur berufsbedingten Gonarthrose. Unsere Ergebnisse werden in einem Studienprotokoll mit besserer technischer Ausstattung und hochauflösenden MR-Knorpelsequenzen sowie einem Patientenkollektiv mit einer höheren mittleren Belastungsdosis durch kniende Tätigkeiten zu verifizieren sein.

## 2. Einleitung

Die Gonarthrose als multikausale chronische Erkrankung des Kniegelenks ist die weltweit häufigste Gelenkerkrankung (Felson 1990). Ursächlich liegt ein Missverhältnis von Belastbarkeit und mechanischer Beanspruchung des Gelenkknorpels zugrunde, das zur progredienten Schädigung der kartilaginären und ossären Gelenkstrukturen sowie des umgebenden Weichteilmantels führt. Die Osteoarthrose des Kniegelenks kann aufgrund von funktionellen Einschränkungen und Schmerzen die Lebensqualität der Betroffenen erheblich mindern (Dawson et al. 2005). Gesundheitspolitisch ist eine bedeutende volkswirtschaftliche Belastung durch degenerativ bedingte Kniegelenkerkrankungen zu verzeichnen (March et al. 1997).

Die Diagnose der Gonarthrose wird primär anhand des klinischen Beschwerdebildes gestellt. Die definierten Kriterien der röntgenologischen Bildgebung nach Kellgren and Lawrence (Kellgren und Lawrence 1957) korrelieren dabei nicht immer eng mit dem Ausmaß der subjektiven Beschwerden (Hannan et al. 2000, Theiler 2002). Die wichtigsten Risikofaktoren für das Entstehen einer Gonarthrose sind Alter, weibliches Geschlecht, Adipositas, Gelenkfehlstellungen und frühere Gelenkverletzungen (Yoshimura et al. 2004, Järvholm et al. 2005). Mögliche berufsbedingte Überbelastungen und Fehlbelastungen des Kniegelenks mit nachfolgender Ausbildung einer Gonarthrose sind bei einer Reihe von Berufsgruppen, z. B. Arbeitern in Kohlebergwerken, Fußbodenlegern und Farmarbeitern, seit langem bekannt und in arbeits- und sozialmedizinischen Studien dokumentiert (Atkins 1957, Jensen et al. 2000, Rossignol et al. 2000).

Durch die Europäische Kommission wurde 1990 und nochmals im Jahre 2003 (Commission of the European Communities 1990, 2003) die Aufnahme degenerativer Erkrankungen des Kniegelenks in den Katalog der Berufskrankheiten angeregt. Der Ärztliche Sachverständigenbeirat im Bundesgesundheitsministerium empfahl 2005 die Einführung einer neuen Berufskrankheit "Gonarthrose" und umriss in seiner wissenschaftlichen Begründung zur Einführung die Merkmale einer berufsbedingten Gonarthrose (Der Ärztliche Sachverständigenbeirat beim Bundesministerium für Gesundheit und soziale Sicherung, Sektion "Berufskrankheiten", 2005). Aus Sicht der

Berufsgenossenschaften und der Gutachter ist dabei die erforderliche Abgrenzung von Schädigung durch nicht beruflich bedingte Gelenkbelastung, zum Beispiel im Rahmen von freizeitsportlichen Aktivitäten, von der physiologischen Altersdegeneration und von weiteren konkurrierenden Risikofaktoren, insbesondere der Adipositas, problematisch (Hartmann et al. 2006).

Die MR-Tomographie hat sich in den letzten Jahren in der Diagnostik von Erkrankungen des Stütz- und Bewegungsapparates etabliert und einen hohen Stellenwert in der Routinediagnostik erlangt. Neben der Darstellung der kartilaginären und Weichteilstrukturen der Gelenke sowie von Ergüssen ermöglicht sie die Bildgebung eines gelenknahen (Pseudo-)Knochenmarködems als Ausdruck von trabekulären Mikrofrakturen, die eine wichtige Rolle in der Frühphase der Osteoarthritis spielen sollen (Felson et al. 2001, 2003). Aufgrund der fehlenden Strahlenexposition wird durch die MRT außerdem die Untersuchung von Personengruppen möglich, bei denen aus Strahlenschutzgründen eine röntgenologische Diagnostik nicht vertretbar wäre. Durch die hochsensitive Darstellung von intraartikulären und gelenknahen pathologischen Veränderungen verspricht die MRT neue Einblicke in die Frühstadien der Gonarthrose. Das MR-morphologische Bild korreliert vor allem bei höhergradigen Knorpelläsionen eng mit dem arthroskopischen Befund. Ein unauffälliger MR-Befund schließt höhergradige Knorpelläsionen weitgehend aus, während sich je nach verwendeter Technik und Befundungsstrategie insbesondere für initiale Knorpelläsionen Diskrepanzen zwischen klinischer Symptomatik, MRT-Befund und Arthroskopie-Befund ergeben können (Spahn et al. 2007b).

## 2.1. Anatomie und Biomechanik des Kniegelenks

Die Articulatio genus als größtes Gelenk des menschlichen Körpers besteht aus dem medialen und dem lateralen Femorotibialgelenk sowie dem Femoropatellargelenk, die zusammen eine funktionelle Einheit bilden. Eine frühe anatomisch-physiologische Analyse des Kniegelenks und seiner Biomechanik wurde 1836 von Wilhelm und Eduard Weber vorgestellt (Weber und Weber 1836). Darin wird erstmals die bei Flexion und Extension durch die Inkongruenz von Femurkondylen und Tibiaplateau und durch den nach dorsal abnehmenden Krümmungsradius der Kondylen



resultierende Roll-Gleitbewegung um eine wandernde Drehachse beschrieben. Der physiologische Bewegungsumfang reicht von der vollständigen Streckung bis zur aktiven Beugung um 130° und einer zusätzlichen passiven Flexion um weitere 30°. Während in der letzten Phase der Extensionsbewegung eine Schlussrotation von 5° für Stabilität des gestreckten Beines sorgt, ist bei 90° Beugung eine Innen- und Außenrotation von 10° bzw. 30° möglich. Der Knorpelüberzug der Femurkondylen und der tibialen Gelenkflächen bewirkt zusammen mit den Menisci eine gleichmäßige Verteilung der auftretenden Druckkräfte. Die Führung und Stabilisation der Bewegung erfolgt durch den kollateralen und intraartikulären Bandapparat. Die Patella überträgt als größtes Sesambein des menschlichen Körpers den Zug der Quadrizepssehne auf den Unterschenkel.

## 2.2. Gonarthrose

### **Ätiologie und Epidemiologie**

Die Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und orthopädische Chirurgie subsummieren unter dem Begriff „Gonarthrose“ alle degenerativen Erkrankungen der femorotibialen und femoropatellaren Gelenke, die durch eine progressive Zerstörung des Gelenkknorpels unter Mitbeteiligung der Gelenkstrukturen, d.h. von Knochen, Menisci, synovialer und fibröser Gelenkkapsel sowie der periartikulären Muskulatur gekennzeichnet sind (Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und orthopädische Chirurgie, 2002).

Die Gonarthrose ist weltweit die häufigste Gelenkerkrankung (Felson 1990) mit einer erheblichen gesundheitsökonomischen Bedeutung. Untersuchungen in den USA, Kanada, Frankreich, Großbritannien und Australien ergaben geschätzte Gesamtkosten von 1 – 2,5% des Bruttosozialprodukts als Folge von arthrotischen Gelenkerkrankungen (March et al. 1997). Die Gonarthrose ist zudem ein wichtiger Grund für Frühberentungen (Holte et al. 2000). Chronische Knieschmerzen im Rahmen der fortgeschrittenen Gonarthrose können zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Lebensqualität für die Betroffenen führen (Hopman-Rock et al. 1997). Je nach Studienkollektiv und Methodik sind arthrotische Veränderungen an Knie- und Retropatellargelenk in bis zu einem Drittel der älteren Bevölkerung nachzuweisen (Felson et al. 1987, Van Saase et al. 1989, Claessens et al. 1990,

McAlindon et al. 1992). Es wird geschätzt, dass unter 10000 Personen über 55 Jahren ca. 2500 Personen mindestens 4 Wochen pro Jahr an Knieschmerzen leiden. Davon werden 400 Fälle als gonarthrosebedingte Schmerzen diagnostiziert, wobei 150 Patienten (1,5% des Gesamtkollektivs) an schweren, die Lebensqualität einschränkenden Beschwerden leiden (Peat et al. 2001). Es ist davon auszugehen, dass bei bis zu 50% der Patienten mit manifesten röntgenologischen Arthrosezeichen keine klinischen Beschwerden bestehen, während bis zu 50% der älteren Patienten mit Knieschmerzen röntgenologisch keine definitive Gonarthrose aufweisen (McAlindon et al. 1992). Aktuelle Daten aus Deutschland, erhoben im Rahmen der Herner Arthrose-Studie an über 800 Patienten, unterstreichen die hohe Prävalenz von arthrotischen Beschwerden am Kniegelenk, in der vorliegenden Studie bei 36% der teilnehmenden Personen (Thiem et al. 2008).

Die Arthrose tritt im Verlauf des physiologischen Alterungsprozesses durch den allmählichen Verschleiß des hyalinen Gelenkknorpels auf. Gelenkknorpel benötigt eine regelmäßige mechanische Stimulation zur Aufrechterhaltung seiner physiologischen Morphologie und Funktion (Arokoski et al. 2000, Felson 2004a). Adäquate mechanische Belastung steigert den Proteoglykangehalt und das cartilaginäre Zellvolumen, während Überbelastung die Integrität des Knorpelgewebes zerstören und in chronische Umbauprozesse münden kann. Selbst bei Patienten mit manifester Arthrose fördert dosierte Belastung die Reparationsvorgänge im Knorpel und sollte damit Teil des Behandlungskonzeptes sein (American College of Rheumatology 2000).

Eine Reihe von Faktoren beschleunigen oder modifizieren die Entstehung einer Arthrose. Nicht zu beeinflussende Faktoren beinhalten das weibliche Geschlecht (Srikanth et al. 2005), möglicherweise als Folge geringerer Knorpeldicke und kleinerer artikulierender Gelenkflächen (Otterness et al. 2007), und eine vermutete genetische Prädisposition (Cicuttini et al. 1996b). Zu den beeinflussbaren Risikofaktoren werden Übergewicht, hormonelle Faktoren, Gelenkdeformitäten, Gelenktraumata und -überbelastungen sowie operative Eingriffe an Gelenkstrukturen gezählt. Übergewicht ist ein wichtiger prädisponierender Faktor (Manninen et al. 1996, Hart et al. 1999, Günther et al. 2002), wobei eine Gewichtsreduktion um 5,5 kg das Risiko für eine klinisch relevante Gonarthrose um 50% vermindern soll (Felson et al. 1992) und eine Erhöhung des BMI um  $5 \text{ kg/m}^2$  das Risiko für eine schwere Gonarthrose verdoppelt

(Järvholm et al. 2005). Extreme Belastungen der Kniegelenke im Beruf (Maetzel et al. 1997) oder bei sportlichen Freizeitaktivitäten (Sandmark et al. 1999), zum Beispiel bei professionellen Fußballspielern (Lequesne et al. 1997), fördern die Entwicklung einer Arthrose. Posttraumatische Läsionen, wie Meniskusschäden oder Kreuzbandverletzungen, und die sich daraus ergebenden operativen Eingriffe können in einen arthrotischen Gelenkumbau bei bis zu 70% der Patienten münden (Jorgensen et al. 1987, Roos et al. 1998, Gelber 2000). Experimentell konnten in MR-morphologischen Studien zur Knorpelverformung am Tiermodell unterschiedliche Belastungsprofile der Gelenkoberflächen vor und nach Meniskektomie nachgewiesen werden (Song et al. 2006). Es zeigten sich eine vermehrte Fibrillation des Knorpels in den Hauptbelastungszonen (Panula et al. 1997) sowie vermehrte Osteophytenbildung in entlasteten Randbereichen bei fehlender meniskaler Auflagefläche (Carter et al. 2004).

Mehrere Studien dokumentieren eine geringere Inzidenz der Gonarthrose bei Rauchern, verglichen mit Nichtrauchern und ehemaligen Rauchern, wobei die Frage nach der zugrundeliegenden Kausalität unbeantwortet bleibt (Felson et al. 1989, Cooper et al. 1998, Järvholm et al. 2005).

Die Kriterien des American College of Rheumatology für die Diagnose einer Gonarthrose beinhalten (Altman et al. 1986):

- arthrosetypische Kniegelenkbeschwerden,
- einen typischen klinischen Untersuchungsbefund,
- die Abwesenheit von Entzündungszeichen und Rheumafaktoren in der laborchemischen Analyse sowie
- typische Arthrosezeichen in der Standard-Röntgenuntersuchung des Kniegelenks.

### 2.3. Röntgenologische Bildgebung

Die Röntgenaufnahme des Kniegelenks in zwei Ebenen ist nach der klinischen Untersuchung die am häufigsten angewandte Methode zur Erhebung objektiver Befunde und derzeitiger Standard der bildgebenden Gonarthrosediagnostik (Felson et

al. 1995). Die Klassifikation von Kellgren und Lawrence dient der Einteilung des Schweregrades der arthrotischen Veränderungen auf der Grundlage des bildmorphologischen Befundes (Kellgren und Lawrence 1957). Weitere Klassifikationen wurden von Ahlbäck, von Brandt und von Jäger und Wirth eingeführt (Ahlbäck 1968, Brandt et al. 1989, Jäger und Wirth 1986).

Die röntgenmorphologischen Kriterien der Gonarthrose beinhalten: Gelenkspaltverschmälerung mit subchondraler Sklerosierung, subchondrale „Geröllzysten“, Osteophyten und degenerative Deformierung der gelenkbildenden Strukturen. Es resultiert nach Kellgren und Lawrence eine vierstufige radiologische Klassifikation: Grad 1 – keine oder fragliche Gelenkspaltverschmälerung und minimale osteophytäre Randausziehungen; Grad 2 – definitive Osteophyten und mögliche Gelenkspaltverschmälerung; Grad 3 – multiple größere Osteophyten, definitive Gelenkspaltverschmälerung, subchondrale Mehrsklerosierung und mögliche knöcherne Deformität; Grad 4 – schwere Osteophytose, deutliche Verschmälerung bis Aufhebung des Gelenkspalts, schwere Sklerose der Gelenkflächen und ossäre Deformitäten. Radiologische Atlanten mit Referenzabbildungen können zur Befundung herangezogen werden, zum Beispiel der „Atlas of individual radiographic features in osteoarthritis“ (Altmann und Gold 2007).

In klinischen Studien dient die Weite des femorotibialen Gelenkspalts bei Aufnahme unter Belastung als indirekter Parameter für die Quantifizierung der Knorpeldicke (joint space width - JSW), während eine Verschmälerung im zeitlichen Verlauf (joint space narrowing - JSN) auf eine Progression der Arthrose hinweist (Abadie et al. 2004, Bruvere et al. 2007). Verschiedene Aufnahmetechniken sollen die optimale Projektion des Gelenkspalts gewährleisten, so das „semiflexed AP/PA“ - Protokoll mit Positionierung des Gelenkspalts unter Durchleuchtung (Buckland-Wright et al. 1995), die Orientierung mittels anatomischer Marker beim „metatarsophalangealen“ (MTP-) Protokoll (Buckland-Wright et al. 1999) und beim „fixed flexion“ – Protokoll (Peterfy et al. 2003) oder die „Lyon-Schuss“ – Technik (Vignon et al. 2003) als Kombination dieser Verfahren. Studien zeigen teilweise erhebliche Variabilitäten der Messwerte in Abhängigkeit vom jeweiligen Projektionsverfahren und den Auswertemodalitäten (Ravaud et al. 1998). Eine reliable Quantifizierung der Gelenkspaltweite ist jedoch eine der Voraussetzungen, um den Einfluss von Risikofaktoren (Sharma et al. 2001) und den Therapieeffekt von DMOADs (disease-modifying osteoarthritis drugs)

röntgenologisch erfassen zu können (Altman et al. 1996). Durch die Bestimmung der Gelenkspaltweite sind auch Verlaufskontrollen nach gelenkerhaltender Therapie, wie nach Chondroplastik, Umstellungsosteotomie oder Menisketomie, möglich.

Die Beurteilung des Retropatellargelenks erfolgt anhand der klassischen Arthrosezeichen, jedoch erschwert die komplexe räumliche Struktur eine reproduzierbare Bildgebung. Neben lateralen Aufnahmen kommen axiale „skyline view“- Aufnahmen in Flexion, wie bei den „Patella-Defilee“- Projektionen, zur Anwendung (Cicuttini et al. 1996a).

Arthroskopisch zeigen sich bei röntgenologisch manifester Gonarthrose vermehrt Zeichen der kartilaginären Degeneration (Lysholm et al. 1996, Spahn et al. 2007b). Es besteht eine relativ enge Korrelation zwischen arthroskopisch sichtbaren Knorpelschäden und röntgenologisch sichtbaren Osteophyten. Insgesamt jedoch korrelieren die radiologischen Gonarthrosezeichen nur mäßig mit dem Ausmaß der femorotibialen Knorpelschädigung, die arthroskopisch in einem hohen Anteil (bis zu 55% nach Kijowski et al. 2006) röntgenologisch unauffälliger Kniegelenke nachweisbar ist. Eine mäßige Assoziation besteht zwischen der klinischen Symptomatik und der Ausprägung der röntgenologischen Veränderungen (Lethbridge-Cejku et al. 1995, Petersson et al. 1997). Dabei beträgt der Anteil der Patienten mit klinisch asymptomatischer Gonarthrose bis zu 75% (Hart et al. 1993).

## 2.4. Magnetresonanztomographie des Kniegelenks

Die Magnetresonanztomographie des Stütz- und Bewegungsapparates hat sich seit Anfang der 90er Jahre zunehmend in der Forschung wie in der klinischen Praxis etabliert. Sie ist in der Lage, jenseits der bekannten Limitationen von konventionell-röntgenologischer Diagnostik, insbesondere hinsichtlich einer Beurteilung früher Arthrostadien und des Fortschreitens der degenerativen Gelenkdestruktion, neue Einblicke in die Pathogenese der Kniegelenkarthrose zu eröffnen und weit umfassender die anatomischen Strukturen und pathologischen Veränderungen abzubilden (Peterfy et al. 2004).

Während Muskel- und Bandstrukturen auch auf routinemäßig durchgeführten MR-Untersuchungen (T<sub>1</sub>-, T<sub>2</sub>- und protonengewichtete SE- oder GE- Sequenzen, 3 bis 4

mm Schichtdicke) relativ unproblematisch darzustellen und zu beurteilen sind, erfordert die diagnostische Abbildung des Gelenkknorpel bei einer physiologischen Dicke von höchstens 1,3 – 2,5 mm (Hudelmaier et al. 2001, Eckstein et al. 2001) hochauflösende „Knorpelsequenzen“ mit speziellen Untersuchungsparametern. Notwendig sind ein hohes Signal-Rausch-Verhältnis (signal-to-noise ratio, SNR) und Kontrast-Rausch-Verhältnis (contrast-to-noise ratio, CNR). Eine ausreichend feine Raumauflösung, sowohl innerhalb der Bildebene als auch in der z- Ebene, ist die Voraussetzung für eine Visualisierung des Knorpels auch in Gelenkabschnitten mit geringerer Knorpeldichte, dabei sind 0,3 mm Auflösung in der Bildebene und eine Schichtdicke von 1,5 mm häufig verwendete Parameter bei einer Magnetfeldstärke von 1,5 Tesla. Eine Verdopplung der Auflösung in allen Raumebenen bedeutete eine 64-fache Verlängerung der Scanzeiten bei gleichem SNR, daher sind der praktisch erreichbaren MR-tomographischen Auflösung in Routineuntersuchungen wie auch in der klinischen Forschung mit ca. 1 Stunde maximaler Untersuchungszeit Grenzen gesetzt.

In der Knorpelbildgebung werden standardmäßig schnelle  $T_1$  3D-Gradientenechosequenzen, z.B. als FLASH = fast low angle shot (Frahm et al. 1986) oder SPRG = spoiled gradient recalled acquisition at steady state, eingesetzt, zum Teil durch Techniken zur Fettsättigung ergänzt (Cicuttini et al. 2000, Glaser et al. 2001). Diese Sequenzen stellen Knorpel signalreich und die umgebende Synovialflüssigkeit signalarm dar („dark fluid“ – Sequenzen). Neuere Sequenzen sind die true FISP = true fast imaging with steady state precession (Duerk et al. 1998), die DEFT = driven equilibrium Fourier transformation (Gold et al. 2005) und die MEDIC = multiple-echo data image combination, „bright fluid“ – Sequenzen, in denen sich die Synovialflüssigkeit signalreicher als der Gelenkknorpel darstellt. Die 2D  $T_2^*$  MEDIC-Sequenz eignet sich gut für die muskuloskelettale MRT mit einem hohen SNR, guter Beurteilbarkeit der Knorpelmorphologie und vergleichsweise kurzen Messzeiten (Schmid et al. 2005). Fakultativ ist eine ergänzende direkte oder indirekte MR-Arthrographie möglich (Gagliardi et al. 1994).

Die gewonnenen Aufnahmen erlauben die Abgrenzung von initialer „Knorpelerweichung“, fokalen Defekten und flächenhafter Knorpeldestruktion, die Analyse von subchondralen Signalveränderungen und die Korrelation von bildmorphologischem Befund und klinischer Symptomatik (Hayes et al. 2005, Kornaat et al. 2006). Die MRT ermöglicht die exakte Volumenrekonstruktion des

Kniegelenkknorpel aus den aufgenommenen hochaufgelösten 3D-Datensätzen durch manuelle oder automatische Segmentationalgorithmen (Eckstein et al. 2006). Longitudinale Studien mittels quantitativer MRT zeigen den Knorpelvolumen- und Knorpeldickenverlust mit Fortschreiten der Gonarthrose (Bryere et al. 2007, Ding et al. 2007, Pelletier et al. 2007). So ermittelten Cicuttini et al. (2003) für jeden zusätzlichen röntgenologischen Arthrosegrad nach Kellgren und Lawrence einen mittleren Knorpelvolumenverlust von 257 mm<sup>3</sup> am medialen und von 397 mm<sup>3</sup> am lateralen Tibiaplateau. Dieser Knorpelverlust korreliert mit dem Umbau der subchondralen Knochenmatrix (Bobinac et al. 2003), mit dem arthroseassoziierten subchondralen Knochenmark-Pseudoödem und mit der meniskalen Degeneration (Raynauld et al. 2006, Torres et al. 2006) sowie mit dem klinischen Beschwerdebild, gemessen nach dem WOMAC-Fragebogen (Cicuttini et al. 2002, Wluka et al. 2004).

Verschiedene mehrdimensionale Evaluierungssysteme für die MR-morphologische Beurteilung des Kniegelenks wurden vorgestellt, z. B. der WORMS (whole organ magnetic resonance imaging scoring system) von Peterfy et al. (2004) und der KOSS (MR knee osteoarthritis scoring system) von Kornaat et al. (2005). Diese haben die umfassende reproduzierbare Beurteilung der intra- und periartikulären Kniegelenkstrukturen mit hoher Reliabilität zum Ziel.

Der WORMS (Peterfy et al. 2004, Conaghan et al. 2006) unterteilt das Kniegelenk in das mediale (MFTJ) und das laterale femorotibiale (LFTJ) sowie in das retropatellare Kompartiment (RPJ), zusätzlich werden innerhalb der Kompartimente 15 Gelenkregionen unterteilt und getrennt beurteilt (Abbildung 1). Bewertet werden Korpelmorphologie (Skala 0 – 6), subchondrales Knochenmarködem (0 – 3), subchondrale Zysten (0 – 3), Knochenarrosion (0 – 3), Osteophyten (0 – 7), Meniskusmorphologie (0 – 6), Integrität von Kreuz- und Kollateralbändern (0 – 3), Gelenkerguss (0 – 3) sowie qualitativ das Vorhandensein von freien Gelenkkörpern, Bakerzysten oder meniskalen Zysten, Frakturen, Tumoren und anderer gelenkbezogener Pathologien (Tabelle 1). Damit wird eine sowohl umfassende wie auch differenzierte semiquantitative Beurteilung der pathologischen Veränderungen der intra- und periartikulären Strukturen des Kniegelenks möglich. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Erfassung der kartilaginären und osteophytären Läsionen.

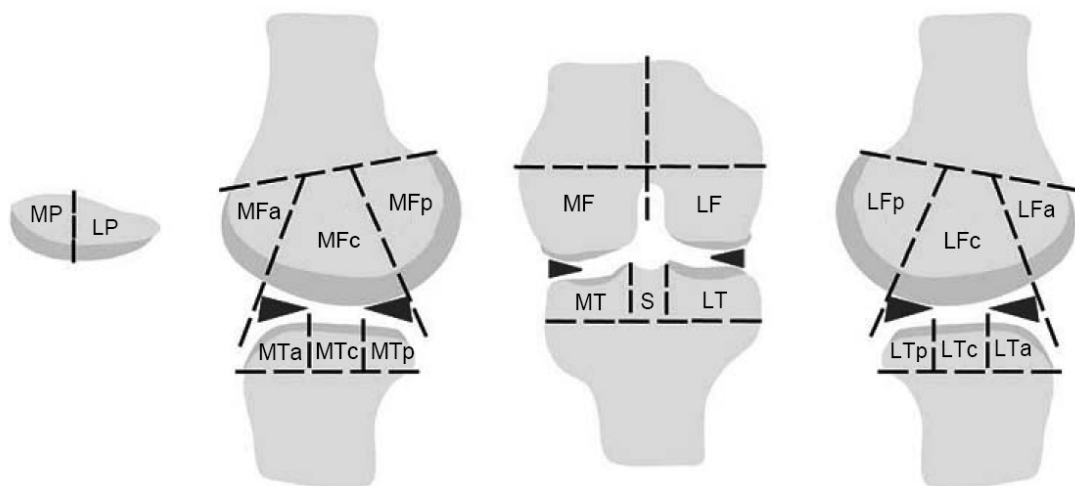


Abbildung 1. Einteilung der 15 Gelenkregionen innerhalb der Kniegelenkkompartimente nach WORMS (adaptiert nach Peterfy et al. 2004)

Tabelle 1. Maximal erreichbare Punktzahlen der Gelenkregionen und Kompartimente nach WORMS (Peterfy et al. 2004)

	MFTJ	LFTJ	RPJ	S	Gesamt
<b>Knorpel</b>	30	30	24		84
<b>Knochenmarködem</b>	15	15	12	3	45
<b>Subchondrale Zysten</b>	15	15	12	3	45
<b>Knochenarrosion</b>	15	15	12		42
<b>Osteophyten</b>	35	35	28		98
<b>Σ Kompartiment</b>	110	110	88	6	314
<b>Menisci</b>	6	6			12
<b>Ligamente</b>					3
<b>Gelenkerguss</b>					3
<b>Gesamt</b>					332



Neue Forschungsansätze in der MRT des Kniegelenks umfassen dynamische Untersuchungen in vitro und in vivo und dokumentieren so die reversible Verformung des Gelenkknorpels unter Belastung (Gold et al. 2004). Die Messung der T<sub>2</sub>-Relaxationszeiten ermöglicht die Analyse chemischer Veränderungen im Knorpel in Abhängigkeit von Geschlecht, Alter und körperlicher Aktivität (Mosher et al. 2004). Natrium-MRT und T<sub>1</sub>-rho-MRT erlauben Messungen zum Proteoglykangehalt des Gelenkknorpels und machen somit einen weiteren interessanten Aspekt für die Arthroseforschung zugänglich (Wheaton et al. 2004).

## 2.5. Gonarthrose aus arbeitsmedizinischer Sicht

### **Berufskrankheiten in Deutschland**

Die in den 80er Jahren des 19. Jahrhunderts von Bismarck in Deutschland eingeführte Sozialgesetzgebung umfasste neben der Krankenversicherung und der Rentenversicherung auch eine Unfallversicherung. Letztere beinhaltete zunächst nur eine Entschädigung von Arbeitsunfällen, wurde aber 1925 um Berufskrankheiten erweitert, die in einer Berufskrankheiten- (BK-) Liste aufgeführt wurden (aktuelle Liste nach der Berufskrankheitenverordnung vom 05.09.2002, online unter <http://www.hvbg.de/d/pages/statist/bk/bklist/bklist.html>). Die BK-Liste wird in dem Maße erweitert, wie neue wissenschaftliche Erkenntnisse über den Zusammenhang von Arbeitsbelastung und bestimmten resultierenden Krankheiten vorliegen. So wurde in den 1950er Jahren der Meniskusschaden als Folge mehrjähriger überdurchschnittlicher Kniegelenkbelastung in die BK-Liste aufgenommen (BK 2102). Nach § 9 Abs. 1 SGB VII werden solche Krankheiten als Berufskrankheiten bezeichnet, die „nach den Erkenntnissen der medizinischen Wissenschaft durch besondere Einwirkungen verursacht sind, denen bestimmte Personengruppen durch ihre versicherte Tätigkeit in erheblich höherem Grade als die übrige Bevölkerung ausgesetzt sind ...“.

Bei Verdacht auf das Vorliegen einer Berufskrankheit hat eine Anzeige beim Unfallversicherungsträger durch den behandelnden Arzt, den Arbeitgeber oder den Versicherten selbst zu erfolgen. Bestätigt sich der Verdacht auf eine Berufskrankheit,

so werden in einem Verwaltungsverfahren die Voraussetzungen zur Anerkennung als Berufskrankheit geprüft, dazu gehört insbesondere:

- Es muss sich um eine versicherte Tätigkeit handeln.
- Die Einwirkung eines BK-spezifischen Stoffes/Arbeitsverfahrens muss vorliegen (sogenannte „haftungsbegründende Kausalität“).
- Das medizinische Bild muss einer in der BK-Liste aufgeführten Krankheit entsprechen (sogenannte „haftungsausfüllende Kausalität“).

Wird eine Krankheit als Berufserkrankung anerkannt, so ist zwischen dem Versicherungsfall und dem Leistungsfall zu unterscheiden. Dabei kann es mit Blick auf die zukünftige Entwicklung seiner Erkrankung für den Versicherten unter Umständen wichtig sein, dass sein Fall bereits als Versicherungsfall anerkannt wird, auch wenn aufgrund der geringen Ausprägung der Gesundheitsstörung noch keine Leistungen von Seiten des Unfallversicherungsträgers gewährt werden.

Im Jahr 2005 wurden in Deutschland über 60.000 Verdachtsfälle einer Berufskrankheit angezeigt und im gleichen Zeitraum gut 15.000 Fälle als BK anerkannt (Bundesregierung 2005). Führend waren Hauterkrankungen und Lärmschwerhörigkeit. Daneben kam es zu ca. 2600 Todesfällen aufgrund einer BK, überwiegend als Folge einer beruflichen Asbestexposition. Bei den Versicherungsträgern entstanden Kosten für Behandlung, Rehabilitation und Entschädigungen in Höhe von 1,3 Milliarden Euro (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung 2005). Weitere knapp 200 Millionen Euro wurden in die Prävention von Berufskrankheiten investiert.

### **Bisherige wissenschaftliche Erkenntnisse zur beruflich bedingten Gonarthrose**

Die ersten Erkenntnisse über die potentiell knieschädigende Wirkung bestimmter Tätigkeiten stammen wohl aus empirischen Erfahrungen der direkt Betroffenen. Häufiges Knien kann zu akuten Schmerzen im Rahmen einer Überlastungsreaktion und zur Bursitis prä-/infrapatellaris führen. Im Mittelalter war die Arbeit im Bergbau mit Zwangshaltungen im Knien und Liegen als Folge der niedrigen Stollen verbreitet. Ein Relief am Kanzelaufgang der St. Annenkirche in Annaberg-Buchholz (Sachsen) aus dem Jahr 1516 zeigt einen Bergmann, der seine Kniegelenke mit „Knieschützern“ vor Verletzung und Druckbelastung zu schützen sucht (Abbildung 2).



*Abbildung 2. „Bergmann vor Ort“, Relief am Kanzelaufgang der St. Annenkirche in Annaberg-Buchholz (Sachsen), mit freundlicher Genehmigung der Pfarrgemeinde St. Annen*



*Abbildung 3. Knieschützer als kommerziell erhältliche Arbeitsschutzbekleidung*

Ähnliche „knee pads“ wurden im englischen Kohlebergbau seit 1928/29 verwendet (Liddell 1973). Heute sind Knieschützer im Handel als Arbeitsschutzbekleidung in zahlreichen verschiedenen Modellen erhältlich (Abbildung 3).

Die bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Gonarthrose als Folge beruflicher Über- oder Fehlbelastung stammen fast ausschließlich aus epidemiologischen und Kohortenstudien. So analysierten Kellgren, Lawrence und Aitken-Swan Anfang der 1950er Jahre die Beschwerden am Stütz- und Bewegungsapparat von Männern und Frauen aus einer Industriestadt in South Lancashire, UK, und fanden eine Häufung von Arthrose und Erkrankungen der Bandscheiben bei männlichen Arbeitern im Kohlebergbau (Kellgren et al. 1953). Lindberg et al. zeigten eine höhere Prävalenz der Gonarthrose von 3,9%, diagnostiziert nach den Kriterien von Ahlbäck, in einer Gruppe von 332 Männern mit einem Durchschnittsalter von 66 Jahren nach 30 Jahren schwerer körperlicher Arbeit, verglichen mit nur 1,4 – 1,6% bei Kontrollpersonen (Lindberg et al. 1987). In einer Übersichtsarbeit aus dem Jahr 2005 werteten McMillan et al. 19

Studien bezüglich des Gonarthroserisikos als Folge von Arbeiten in Knien und Hocken aus, darunter mehrere Studien speziell an englischen Kohlebergarbeitern, und fanden eine Verdopplung des Risikos, verglichen mit der Normalbevölkerung (McMillan et al. 2005). Zusätzlich wurde eine weitere Risikoerhöhung durch die Kombination von knienden und hockenden Tätigkeiten mit dem Heben von Lasten aufgezeigt.

Viele der vorliegenden neueren Studien stammen aus dem skandinavischen Raum. Jensen et al. (2000) fanden in einer Studiengruppe mit 133 Parkettlegern und 506 Tischlern eine symptomatische Gonarthrose in 29% der untersuchten Parkettleger und 9% der Tischler über 55 Jahre und postulierten, dass schwer kniebelastende berufliche Tätigkeiten über einen längeren Zeitraum hinweg einen Risikofaktor für die Gonarthroseentwicklung darstellen. In einer späteren Veröffentlichung demonstriert Jensen eine Dosis-Wirkungs-Beziehung für die Kniegelenkarthrose in seiner Studiengruppe (Jensen 2005). Manninen et al. beziffern das Gonarthroserisiko mit einem odds ratio (OR) von 1,5 für Männer und von 2 für Frauen mit schwerer körperlicher Arbeit, die zu einem alloplastischen Kniegelenkersatz führte (Manninen et al. 2002). Wie in vielen epidemiologischen Studien wird auch in dieser Arbeit die Kategorisierung grob nach „trades“, also Berufszweigen, vorgenommen, z.B. nach Landwirtschaft, Forst, Transport und Fischerei.

Eine Querschnittstudie zur Osteoarthrose mit über 10.000 Personen mit einem Durchschnittsalter von 66 Jahren in Frankreich zeigt eine Gonarthroseprävalenz von einem Drittel und eine signifikant erhöhte Prävalenz bei „mixed collar“- und „blue collar“- Beschäftigten, verglichen mit „white collar workers“ ohne körperliche Belastung (Rossignol et al. 2003). Eine besonders hohe Arthroserate fand sich bei Frauen für Haushälterinnen und bei Männern für ungelernte Hilfsarbeiter und LKW-Fahrer. Die Arbeitsbelastung korrelierte mit der Rate an arthrosebedingter vollständiger und teilweiser Arbeitsunfähigkeit. In einer weiteren Studie wurde ein besonderes Arthroserisiko für weibliches Reinigungspersonal und Frauen in der Textilindustrie sowie für Männer im Maurerhandwerk und anderen Bauberufen beschrieben (Rossignol et al. 2005). Etwa 40% der Patienten mit symptomatischer Arthrose bei körperlich schwerer Arbeit berichteten von ersten Beschwerden vor dem 50. Lebensjahr („early onset“ der Arthrose).

Inzwischen wird versucht, in Studien die beruflichen und außerberuflichen Belastungsfaktoren gezielter und differenzierter zu erfassen, um die jeweilige Belastungsdosis besser abschätzen zu können. Seidler et al. (2008) befragten 295 männliche Patienten mit fortgeschrittener Gonarthrose und 328 Kontrollpatienten nach ihrer lebenslangen Belastung der Kniegelenke. Für gut ein Fünftel der Arthrosepatienten ergab sich eine akkumulierte Belastung von mehr als 10.000 Stunden im Knien, Hocken oder Fersensitz, verbunden mit einer Verdopplung des Gonarthrosrisikos. Eine vergleichbare zeitliche Gesamtdosis an kniebelastenden Positionen wiesen nur 5% der Kontrollpatienten auf. Andere Studien erfassten die Belastungsarten kategorisiert nach Heben, Knien, Hocken, Laufen, Leitern steigen und Sitzen (Coggon et al. 2000, Felson 2004b).

Um eine exakte Dosisabschätzung im Einzelfall, zum Beispiel in der Gutachtensituation, zu erlauben, wird in arbeitsmedizinischen Studien versucht, die Kniegelenkpositionen in typischen Arbeitsstellungen zu dokumentieren, z.B. durch Videoaufzeichnungen der Arbeitsabläufe. Auch wird versucht, die Biomechanik der verschiedenen Gelenkpositionen zu analysieren. Erste biomechanische Studien in den 1960er Jahren zeigten hohe Belastungsspitzen für die Kniegelenke von Bergarbeitern (Sharrard 1965). Differenziertere Ansätze untersuchen die Kniegelenke in unterschiedlichen Flexionsstellungen und Bewegungsabläufen (Sahlstrom et al. 1995). Inzwischen stehen computergestützte Messsysteme zur Beurteilung von Arbeitsbelastungen zur Verfügung, wie das CUELA HTR (Computer-unterstützte Erfassung und Langzeit-Analyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems, Ellegast 1998), die eine Verifizierung von geschilderten Arbeitspositionen nach Art, Ablauf und Zeit erlauben.

### **BK „Gonarthrose“ in Deutschland**

Vorschläge zur Aufnahme einer neuen Berufskrankheit in die BK-Liste werden vom Ärztlichen Sachverständigenbeirat beim Bundesministerium für Gesundheit und soziale Sicherung, Sektion „Berufskrankheiten“, zusammen mit einer wissenschaftlichen Begründung dem Verordnungsgeber, der Bundesregierung, unterbreitet. Im Bundesarbeitsblatt Nr. 10/2005 empfahl der Ärztliche Sachverständigenbeirat, die Gonarthrose als neue Berufskrankheit in die Anlage zur

Berufskrankheitenverordnung aufzunehmen. Der Sachverständigenbeirat definierte dabei die folgenden Mindestanforderungen:

- berufliche Tätigkeit im Knien oder vergleichbare Kniebelastung (Abbildung 4)
- kumulative Einwirkungsdauer während des Arbeitslebens von mindestens 13.000 Stunden
- Mindesteinwirkungsdauer von mindestens einer Stunde pro Schicht

Es werden 17 Berufsgruppen und Berufe genannt, in denen entsprechende Belastungen besonders häufig vorkommen sollen, darunter bei Fliesen-, Boden-, Teppich-, Parkett-, und Estrichlegern, Dachdeckern, Pflasterern, Installateuren und Bergleuten unter Tage. Diese Kriterien und die Datengrundlage, auf der die wissenschaftliche Begründung des Ärztlichen Sachverständigenbeirates basiert, werden kontrovers diskutiert (Hartmann et al. 2006). Es wird betont, dass die Gonarthrose eine multikausale Erkrankung ist, an deren Genese (u. a. auch berufsbedingte) Fehl- und Überbelastung nur als einer von vielen möglichen schädigenden Faktoren beteiligt ist. Zudem ist die postulierte Überbelastung des Kniegelenkknorpels durch Tätigkeiten im Knien und Hocken wissenschaftlich nur unzureichend definiert (Hartmann et al. 2006).

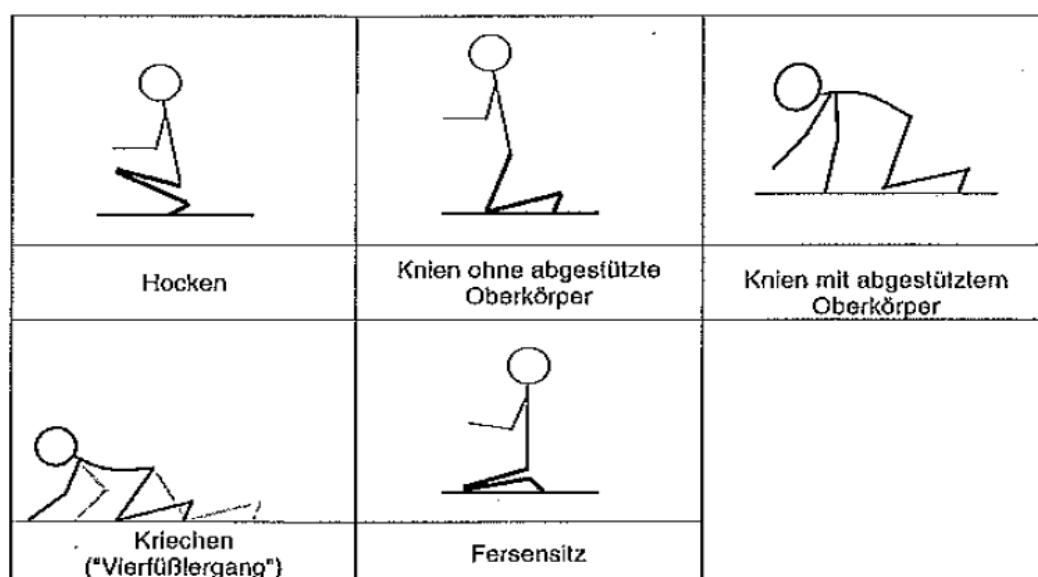


Abbildung 4. Tätigkeit im Knien oder eine dem Knien vergleichbare Tätigkeit (aus: Ärztlicher Sachverständigenbeirat beim Bundesministerium für Gesundheit und Soziale Sicherung, 2005)

So bleibt vorerst unklar, ob – und wenn ja, in welchen Kompartimenten oder Gelenkflächenanteilen – Belastungsspitzen durch die verschiedenen Varianten kniender Tätigkeit auftreten. Das durch den Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften geförderte Projekt „GonKatast“ (Projekt-Nummer BGIA4138 beim BG Institut für Arbeitsschutz) untersucht vor diesem Hintergrund seit August 2006 berufsspezifische Belastungsprofile des Kniegelenks mit dem CUELA-Messsystem. Ein belastungstypisches Schadensbild bei berufsbedingten Gonarthrosen in der bildgebenden Diagnostik ist konventionell-röntgenologisch nicht zu erwarten und in der MRT bisher nicht beschrieben.

Hartmann et al. fordern eine differenzierte Betrachtung der in den einzelnen Berufen auftretenden Kniegelenkbelastungen und insbesondere eine genauere Abschätzung der Belastungsdosen, die einerseits zur Gesunderhaltung der Gelenkstrukturen notwendig sind und andererseits zur Schädigung eines ursprünglich gesunden Kniegelenks führen können. Eine Abgrenzung von bekannten konkurrierenden Faktoren, wie traumatischer Gelenkschädigung und morphologisch bedingter biomechanischer Fehlbelastung bei Achsenfehlstellungen, erscheint notwendig. Frank (2007) stellt die Kausalität zwischen mechanischer Belastung und Arthrose, und damit die vorherrschende biomechani(sti)sche Betrachtungsweise, in Frage und diskutiert degenerative Gelenkschäden im Kontext des metabolischen Syndroms in einer von Adipositas und Immobilität geprägten westlichen Lebensweise. Entsprechend dieses Ansatzes wäre die höhere Arthroseprävalenz in der körperlich arbeitenden Bevölkerung in erster Linie eine Manifestation des „Unterschicht-Syndroms“ (Frank 2007, Seite 267), einer Multimorbidität als Folge eines gesundheitsschädigenden risikoreichen Lebensstils.

### 3. Ziele der Arbeit

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass

- ein Zusammenhang zwischen kniegelenkbelastenden Tätigkeiten und schwerer, frühzeitig auftretender Gonarthrose durch epidemiologische Daten mit Blick auf Populationen angenommen werden kann,
- der Grad der Kniegelenkbelastung in verschiedenen Arbeitssituationen, die notwendige Dosis für die Entstehung einer berufsbedingten Gonarthrose sowie der Einfluss konkurrierender Risikofaktoren Gegenstand aktueller Forschung und Kontroversen sind,
- die bildgebende Diagnostik eine wichtige Rolle bei der Erhebung objektiver Befunde als Grundlage für Diagnose und Behandlung der Gonarthrose wie auch für den gutachterlichen Entscheidungsprozess spielt,
- bisher weder klinisch noch radiologisch ein berufs- oder belastungsspezifisches Schädigungsmuster am Kniegelenk belegt ist,

sodass aufgrund der aktuellen Datenlage in der Gutachtensituation die Entscheidung für oder gegen eine berufsbedingte Gonarthrose mit erheblichen Unsicherheiten und subjektivem Ermessensspielraum behaftet wäre.

Ziele unserer Studie sind

- die Analyse von arthrotischen Veränderungen bei Personen mit nichttraumatischen Kniegelenkbeschwerden in der MR-Tomographie,
- die detaillierte anamnestiche Erfassung von beruflicher und außerberuflicher Kniegelenkbelastung sowie der Ausprägung der klinischen Beschwerdesymptomatik für jeden Einzelpatienten,
- die Korrelation des klinischen Beschwerdebildes mit den MR-morphologischen Befunden und der Belastungsdosis des Kniegelenks unter Einbeziehung der wichtigsten bekannten konkurrierenden Risikofaktoren,
- die Beschreibung eines typischen Schädigungsbildes in Abhängigkeit von der beruflichen Gelenkbelastung und die Abschätzung des Einflusses konkurrierender Risikofaktoren auf das Schadensbild.



## 4. Methodik

### 4.1. Patientenkollektiv

Die Datenerhebung erfolgte zwischen Januar und November 2007 in der Abteilung für bildgebende Diagnostik am Klinikum Bad Salzungen gGmbH. Haupteinzugsgebiet der Patienten, die sich ganz überwiegend ambulant mit Kniegelenkbeschwerden zur MRT-Untersuchung eines Kniegelenks auf Überweisung des Hausarztes oder eines niedergelassenen Orthopäden vorstellten, waren der Wartburgkreis, die Stadt Eisenach sowie die Kreisgebiete Schmalkalden-Meiningen und Bad Hersfeld. Typische Fragestellungen auf der Überweisung waren „Kniegelenkbeschwerden“, „Verdacht auf Kniebinnenschaden“, „Verdacht auf Meniskusläsion“ und „Gonarthrose“.

Als Studienteilnehmer kamen primär alle zur routinemäßigen Kniegelenk-MRT angemeldeten Patienten in Frage, die älter als 15 Jahre waren und nicht unter eines der definierten Ausschlusskriterien fielen (Tabelle 2). Während der ärztlichen Aufklärung zur Untersuchung erfolgte die Information über die laufende Studie. Das erklärte Einverständnis, und gegebenenfalls das Einverständnis der Erziehungsberechtigten, zur Teilnahme und zur anonymen Erfassung und Speicherung der Studiendaten wurden schriftlich dokumentiert. Von ursprünglich 389 für die Studie gewonnenen Patienten kamen nach Sichtung der gewonnenen Daten, insbesondere der anamnestischen Angaben zu früheren Kniegelenktraumata und arthroskopisch versorgten Meniskusläsionen, letztendlich 216 Patienten ohne eruierbare traumatische Vorschädigung des Kniegelenks zur Auswertung.

*Tabelle 2. Ausschlusskriterien der Studie*

- 
- eruierbares Kniegelenktrauma mit Fraktur, Luxation und/oder Distorsion, Patellaluxation, akut oder zurückliegend
  - postoperativer Zustand, offen chirurgisch oder arthroskopisch
  - klinisch sichtbare deutliche Achsenfehlstellung im Kniegelenk
  - Erkrankung des rheumatischen Formenkreises oder Tumorerkrankung der unteren Extremität
  - Kniegelenkendoprothese
-

## 4.2. Fragebogen

Die Patienten wurden gebeten, vor der MRT-Untersuchung zusätzlich zum MRT-Aufklärungsbogen einen 7-seitigen Fragebogen selbständig auszufüllen (siehe Anhang 9.1.), wenn nötig mit Hilfestellung oder nach zusätzlichen Erklärungen. Der Fragebogen erhebt Angaben zu Alter, Geschlecht, Größe, Körpergewicht (aktuell und geschätzt im 20., 40. und 60. Lebensjahr), Familienstand, Schulbildung, Rauch- und Trinkgewohnheiten, Radfahren, Knieendoprothesen und Gonarthrose in der Familie, früheren Verletzungen an den Knien, früheren Arthroskopien/Operationen, klinischer und röntgenologischer Vordiagnostik der letzten 2 Monate sowie zu Beschwerden an weiteren Gelenken.

Außerdem waren zur Erfassung der allgemeinen körperlichen und psychischen Gesundheit der SF-12 Fragebogen und zur subjektiven Bewertung der Kniegelenkbeschwerden der KOOS in der deutschen Version LK1.01 enthalten.

Der SF-12 ist eine Kurzform des weitverbreiteten SF-36 mit nur 12 Items und erfasst die körperliche und psychische Dimension der subjektiven Gesundheit als Teilaspekte der gesundheitsbezogenen Lebensqualität. Er enthält sowohl dichotome als auch skalierte Antwortkategorien. Der SF-12 ist relativ anfällig gegenüber fehlenden Daten (Morfeld et al. 2003), deshalb wurde der ausgefüllte Fragebogen zusammen mit den Patienten nach der Untersuchung noch einmal durchgegangen und vergessene oder übersprungene Items ergänzt. Zur Auswertung wurden die Skalenwerte des SF-12 entsprechend der von Lang et al. verwendeten Methode transformiert (aus Maurischat et al. 2004, Seite 52 ff.) und die Teilsummen der körperlichen Summenskala KSK (Subskalen: Funktionsfähigkeit, körperliche Rollenfunktion, Schmerz und allgemeine Gesundheitswahrnehmung) und der psychischen Summenskala PSK (Subskalen: Vitalität, soziale Funktionsfähigkeit, emotionale Rollenfunktion und psychisches Wohlbefinden) errechnet.

Der KOOS (Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score) wurde speziell für Patienten mit Verletzungen des vorderen Kreuzbandes, Meniskus- und Knorpelschäden oder Osteoarthrose entwickelt (Gauffin et al. 1990). Schmerz, Symptome, Sport und Freizeit, kniegelenkassoziierte Lebensqualität und Aktivitäten des täglichen Lebens bilden die Subskalen des Fragebogens (Roos EM et al. 1998). Zur Auswertung wurden die Summen der Subskalen unter Beachtung der negativ skalierten Items errechnet und auf Prozentwerte transformiert.

### 4.3. MRT-Untersuchung

Alle MRT-Untersuchungen wurden am gleichen MR-Gerät, einem 1-Tesla-Scanner Siemens Harmony (Siemens Medical, Erlangen, Deutschland), und nach dem gleichen Untersuchungsprotokoll durchgeführt. Zur Untersuchung kam das in der klinischen Beschwerdesymptomatik führende Kniegelenk. Nach Aufklärung über die Untersuchung und nach Ausschluss möglicher Kontraindikationen für die MRT wurden die Patienten in Rückenlage mit den Füßen voran und mit gestreckten Beinen im Scanner gelagert und eine handelsübliche flexible Extremitätenspule platziert. Während der Vorbereitung zur MRT erfolgte auch eine Inspektion der unbedeckten unteren Extremitäten im Stehen zum Ausschluss einer relevanten Varus- oder Valgusfehlstellung.

Das MRT-Protokoll beinhaltete eine koronare und eine sagittale Spinecho (SE) T<sub>1</sub> Sequenz (TR/TE/flash angle 564/17/90°), aufgenommen mit einer Matrix aus 512 x 512 Pixeln, einem field of view (FOV) von 220 mm und einer Pixelgröße in der Bildebene von 0,9 x 0,4 mm. Es folgten eine sagittale und eine transversale 2D T<sub>2</sub>\* multiple-echo data image combination - Sequenz MEDIC (TR/TE/flash angle 914/26/30°) aus 6 kombinierten Echos, aufgenommen mit einer Matrix aus 256 x 256 Pixeln und einem FOV von 200 mm sowie einer Pixelgröße in der Bildebene von 1,1 x 0,9 mm sagittal und 0,8 x 0,8 mm transversal. Für alle Aquisitionen wurde eine Schichtdicke von 4 mm und ein „distance factor“ von 10% verwendet. Die Messzeit für die gesamte Untersuchung betrug 16 Minuten und 45 Sekunden. Alle MR-Untersuchungen wurden im PACS des Klinikums gespeichert.

### 4.4. Strukturiertes Interview

Nach der MRT-Untersuchung wurden die Patienten im Rahmen eines strukturierten Interviews von ca. 10 bis 15 Minuten Dauer befragt. Zunächst wurden noch einmal anamnestische Angaben bezüglich früherer Kniegelenktraumata und diagnostischer bzw. therapeutischer Arthroskopien und Operationen am Kniegelenk mit den Angaben im Fragebogen abgeglichen. Anschließend erfolgte tabellarisch (Anhang 9.2.) die Erfassung der Kniegelenkbelastung getrennt nach beruflichen und außerberuflichen Tätigkeiten von mindestens 6-monatiger Dauer seit dem 15. Lebensjahr und die Kodierung nach dem modifizierten Tegner-Activity-Score (Anhang 9.3., Tegner und

Lysholm 1985, modifiziert nach Spahn et al. 2007b). Entsprechend der Untersuchung von Coggon et al. wurden für den jeweils erfassten Zeitraum beruflicher Aktivität auch die Belastungskategorien „Heben von Lasten“ (> 25 kg, > 2x täglich, > 10x wöchentlich), „Knien“ und „Hocken“ (jeweils > 1 h täglich), „Laufen“ (> 3 km täglich), „Steigen auf Leitern“ (> 30x täglich) und „sitzende Tätigkeit“ (> 2 h täglich) erhoben (nach Coggon et al. 2000). Zusätzlich wurde nach aktivem Sport im Rahmen eines Trainingszentrums (mindestens 4x pro Woche Training) oder als Leistungssport vor dem 15. Lebensjahr gefragt.

Zur statistischen Auswertung wurden die folgenden Variablen vorbereitet: Tegner-Score des ursprünglich erlernten Berufes (TB\_orig), zeitlich am längsten ausgeübte berufliche Belastungskategorie (TB\_meist), minimal erreichte berufliche Belastungskategorie (TB\_min), maximal erreichte berufliche Belastungskategorie (TB\_max), mittlere berufliche Belastung (TB\_average), akkumulierte berufliche Belastung (TB\_sum) als jährliche Summe der Belastungskategorien, Summen der Kategorien „Heben“, „Knien“, „Hocken“, „Laufen“, „Leitern“ und „Sitzen“, zeitlich am längsten bestehende Kategorie der Freizeitbelastung (TF\_meist), minimal erreichte Freizeitbelastung (TF\_min), maximal erreichte Freizeitbelastung (TF\_max), mittlere Freizeitbelastung (TF\_average), akkumulierte Freizeitbelastung (TF\_sum) als jährliche Summe der Belastungskategorien (vgl. Beispiel im Anhang 9.2.).

#### 4.5. Bildverarbeitung und Auswertung

Auf der Grundlage des Patienteninterviews und der Befundung der MRT-Untersuchung im Routinebetrieb der Abteilung wurden alle Patienten mit Traumaanamnese (außer Bagatelltraumata) und/oder Zustand nach therapeutischer Arthroskopie/Operation (z. B. Kreuzbandplastik, Meniskus(teil)resektion, Versorgung osteochondraler Läsionen, kniegelenknahe Osteosynthese) am untersuchten Kniegelenk von der Studie ausgeschlossen, sodass schließlich die Daten von 216 Patienten zur Auswertung kamen. Die mit Fragebogen und Interview erfassten Daten wurden zeitnah in Excel-Tabellen übertragen.

Bei der Auswertung der MRT-Untersuchungen unter Studienbedingungen erfolgte anonymisiert zunächst eine Bewertung des Arthrosegrades auf einer 5-Stufen-Skala (0 – keine Arthrosezeichen, 1 – initiale Degeneration, 2 – manifeste gering bis mäßige

Arthrose, 3 – deutliche Arthrose, 4 – schwerste arthrotische Gelenkdestruktion) in Anlehnung an die röntgenologischen Kriterien nach Kellgren und Lawrence (1957), jeweils getrennt im medialen, lateralen und im retropatellaren Kompartiment.

Im Abstand von ca. 2 Wochen folgte die anonymisierte semiquantitative Auswertung nach den WORMS-Kriterien (whole-organ magnetic resonance imaging score, Peterfy et al. 2004). Im Rahmen unserer Studie kamen modifizierte WORMS-Kategorien zur Anwendung (Tabelle 3). Eine Knorpelbeurteilung nach den 8-stufigen Morphologiekriterien war im Bereich der femorotibialen Gelenkflächen nicht möglich, die entsprechenden WORMS-Kategorien entfielen. Der retropatellare Knorpel war in Morphologie und Signalgebung transversal gut beurteilbar. Zusätzlich wurde eine Kategorie „subchondrale Sklerosierung“ analog zum Röntgenbefund mit subchondraler Signalabsenkung in T<sub>1</sub> und T<sub>2</sub>\* MEDIC eingeführt. Die Kategorie „bone attrition“, definiert als Abflachung oder konkave, degenerativ bedingte Impression der Gelenkflächen, erwies sich nicht als hilfreich. So zeigte das mediale

*Tabelle 3. Maximal erreichbare Punktzahlen nach dem modifizierten WORMS*

	<b>Knorpel</b> (0 - 6)	<b>Knochen- marködem</b> (0 - 3)	<b>subchondrale Zysten</b> (0 - 3)	<b>subchondrale Sklerose</b> (0 - 3)	<b>Osteophyten</b> (0 - 7)	<b>Σ</b>
<b>RPJ</b>	12	12	12	12	28	76
<b>MFTJ</b>	-	15	15	15	35	80
<b>LFTJ</b>	-	15	15	15	35	80
<b>S</b>	-	3	3	-	7	13
<b>Σ</b>	12	45	45	42	105	249

	<b>Bänder</b>		<b>Menisci</b>		<b>übrige</b>
<b>MCL</b>	0,5	<b>MM</b>	6	<b>Erguss</b>	3
<b>LCL</b>	0,5	<b>LM</b>	6	<b>Freie Gelenkkörper</b>	3
<b>ACL</b>	1			<b>Synoviale Zysten</b>	3
<b>PCL</b>	1				
<b>Σ</b>	3		12		9

Tibiaplateau bei der Mehrzahl der Patienten aller Altersgruppen eine mehr oder weniger angedeutet konkave knöcherne Formgebung. Zudem wurde diese Kategorie in der Originalpublikation von Peterfy et al. (2004) als „extrem selten anzutreffend“ und mit einer relativ schlechten Reproduzierbarkeit behaftet beschrieben, sodass diese Kategorie in der Auswertung nicht berücksichtigt wurde. Die maximal erreichbare Punktzahl betrug für die femorotibialen Kompartimente (MFTJ und LFTJ) je 80 Punkte und retropatellar (RPJ) 76 Punkte. Zuzüglich der Bewertung der Eminentia intercondylaris (Region S) sowie von Bandstrukturen, Gelenkerguss, freien Gelenkkörpern und Synovialzysten ergab sich eine maximale Gesamtpunktzahl von 273 Punkten.

#### 4.6. Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS für Windows Version 13.0 (SPSS Inc. Chicago IL, USA).

Die Daten wurden zunächst deskriptiv nach dem arithmetischen Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung, prozentualen Verteilungen und graphisch in Histogrammen ausgewertet. Der Test auf Normalverteilung erfolgte nach Kolmogorov-Smirnov. Die Verteilung kategorialer Variablen in mehreren Gruppen wurde mit dem Chi-Quadrat-Test, die Korrelation zwischen kategorialen Variablen mit der Rankkorrelation nach Spearman untersucht. Der statistische Vergleich von Mittelwerten zwischen Gruppen erfolgte für normalverteilte Variablen mit dem t-Test für unabhängige Stichproben (2 Gruppen) oder ANOVA ( $> 2$  Gruppen). Für den Gruppenvergleich der WORMS-Punktwerte wurden hypothesen-basierte a priori-Kontraste für die Varianzanalyse definiert. Entsprechende schließende Vergleiche für die Mittelwerte nicht normalverteilter Variablen verwendeten den Mann-Whitney Test (2 Gruppen) oder den Kruskal-Wallis Test ( $> 2$  Gruppen). Modelle mit Prädiktoren für eine Gonarthrose wurden mit der binären logistischen Regressionsanalyse aufgestellt und mit der ordinalen Regressionsanalyse (PLUM Prozedur) überprüft.

Ein  $p < 0,05$  wurde als statistisch signifikant angesehen. Alle Analysen wurden, soweit nicht anders angegeben, als zweiseitige Tests durchgeführt.

## 5. Ergebnisse

### *Patienten*

Ausgewertet wurden die Daten von 216 Patienten (105 Frauen, 111 Männer) im Alter von 15 bis 80 Jahren (Mittelwert  $46 \pm 16$  Jahre, kein signifikanter Geschlechtsunterschied). Untersucht wurden 114 rechte und 102 linke Kniegelenke. Die männlichen Patienten waren signifikant größer und schwerer (Tabelle 4). Aus den Angaben zum Körpergewicht aktuell sowie im 20., 40. und 60. Lebensjahr wurde je nach Lebensalter ein mittleres Körpergewicht aus bis zu 4 Werten mit einer resultierenden Gewichtung zugunsten der aktuellen Werte errechnet. Unter Annahme einer konstanten Körpergröße seit dem 15. Lebensjahr wurden ein mittlerer BMI (Körpergewicht in kg / (Körpergröße in m)<sup>2</sup>) und ein akkumulierter BMI (mittlerer BMI x (Lebensalter – 15)) ermittelt. Das Gesamtkollektiv war ohne Nachweis eines Geschlechtsunterschiedes mit einem mittleren BMI von  $25,6 \pm 3,9$  kg/m<sup>2</sup> grenzwertig übergewichtig bei großen interindividuellen Unterschieden (BMI min 16,2 ... max 39,6). Es zeigt sich eine statistisch signifikante schwache Korrelation zwischen Alter und BMI (Pearson's  $r = 0,26$ ;  $p < 0,001$ ).

Für die weitere Auswertung wurden die Patienten nach dem Lebensalter in 3 Gruppen eingeteilt: Altersgruppe 1 von 15 – 40 Jahren (AG 15-40,  $n = 66$ ), Altersgruppe 2 von 41 – 55 Jahren (AG 41-55,  $n = 85$ ) und Altersgruppe 3 von 56 – 80 Jahren (AG 56-80,  $n = 65$ ).

*Tabelle 4. Charakterisierung des Patientenkollektivs, Mittelwert  $\pm$  SD, [min ... max]*

	<b>Patientenkollektiv n = 216</b>	
<b>Alter in Jahren</b>	$46 \pm 16$	[15 ... 80]
<b>Größe in cm</b>	$173 \pm 9$	[150 ... 198] <sup>#</sup>
<b>Aktuelles Gewicht in kg</b>	$81 \pm 16$	[44 ... 130] <sup>##</sup>
<b>Mittleres Körpergewicht in kg</b>	$76 \pm 14$	[44 ... 130] <sup>###</sup>
<b>Mittlerer BMI in kg/m<sup>2</sup></b>	$26 \pm 4$	[16 ... 40]
<b>Akkumulierter BMI</b>	$842 \pm 442$	[18 ... 2016]

<sup>#</sup> Frauen  $166 \pm 6$  cm, Männer  $179 \pm 8$  cm,  $p < 0.001$ ; <sup>##</sup> Frauen  $75 \pm 15$  kg, Männer  $87 \pm 15$  kg,  $p < 0.001$ ; <sup>###</sup> Frauen  $69 \pm 11$  kg, Männer  $83 \pm 13$  kg,  $p < 0.001$

### ***Fehlende Daten – missing data***

Das Lebensalter war bei allen Patienten bekannt. Zwei Patienten (1%) machten keine Angaben zu Größe und Körpergewicht. Von 18 Patienten (8%) konnten die Angaben zu Bildung, Lebensweise, Schmerzmedikation und Voruntersuchungen nicht ausgewertet werden. In diesen Fällen wurde der Fragebogen aus zeitlichen Gründen oder bei fehlender Motivation ganz oder teilweise nicht ausgefüllt. Es ergaben sich keine Hinweise auf einen systematischen Fehler. Für den SF-12 und KOOS lagen bei 19 Patienten (9%) keine Daten vor, während die Angaben der übrigen Patienten vollständig waren.

### ***Familienstatus und Bildung***

Rund 26% (n=51) der ausgewerteten 198 Patienten waren ledig, 60% (n=119) verheiratet, 5% (n=10) verwitwet und 9% (n=18) geschieden. Dabei waren von den Patienten in der AG 15-40 69% ledig und 26% verheiratet, in der AG 41-55 von 5% ledig und 74% verheiratet und in der AG 56-80 7% ledig und 78% verheiratet.

Als höchsten Bildungsabschluss gaben 27% die 10. Klasse, 4% das Abitur, 48% eine abgeschlossene Lehre, 12% einen Fachschul- und 8% einen Hochschulabschluss an. Dabei fanden sich in der jüngsten Altersgruppe bis 40 Jahre durch den höheren Schüler- und Lehrlingsanteil erwartungsgemäß mehr niedrigere Bildungsabschlüsse. Die Verteilung der Abschlüsse war in der AG 41-55 und der AG 56-80 faktisch identisch. Es bestand kein geschlechtsspezifischer Unterschied im Bildungsniveau (Chi-Quadrat-Test,  $p = 0,256$ ).

### ***Ernährung und Lebensweise***

Die Gruppe der Nichtraucher (n=109) im auswertbaren Patientenkollektiv (n=198) umfasste 55% bei einem gering höheren Männeranteil (Frauen 53%, Männer 56%). Unter den Rauchern und ehemaligen Rauchern ergab sich für Männer ein nicht signifikant höherer Konsum mit einem Median von 9 „pack years“, verglichen mit 5 „pack years“ bei Frauen (Mann-Whitney Test,  $p = 0,141$ ). Auffällig viele Frauen im jungen und mittleren Alter rauchten (63% in der AG 15-40, 51 % in der AG 41-55, nur 4% in der AG 56-80). Bei Männern waren 49% Raucher in der AG 15-40, 37% in der AG 41-55 und 32% in der AG 56-80.

Rund 88% (n=174) der Patienten gaben an, täglich Obst und Gemüse zu essen, und 72% (n=143) berichteten über täglichen Kaffeekonsum. Mehr Frauen als Männer aßen



täglich Obst und Gemüse (93% vs. 85%) und tranken täglich Kaffee (78% vs. 67%) ohne Nachweis eines statistisch signifikanten Unterschiedes (Chi-Quadrat-Test,  $p > 0,05$ ). Immerhin 23% der Patienten in der AG 15-40 aßen nicht täglich Obst und Gemüse, während dies nur 10% in der AG 41-55 und lediglich 2% der AG 56-80 betraf ( $p = 0,002$ ). Signifikant mehr Ältere, bis zu 86% in der AG 41-55, tranken täglich Kaffee ( $p < 0,001$ ).

Männer gaben einen statistisch signifikant häufigeren Alkoholkonsum an (Chi-Quadrat-Test,  $p < 0,001$ ). Von einem abstinenter Lebenswandel berichteten 15% der Frauen und 5% der Männer, von seltenem Alkoholgenuß 81% bzw. 60%, von Alkoholkonsum mehrmals pro Woche 4% und 29% der Frauen und Männer und von täglichem Alkoholkonsum 6% der Männer. Alkoholabstinenz fand sich häufiger im niedrigen und höheren Lebensalter und der höchste Anteil täglichen Alkoholkonsums in der Altersgruppe  $> 55$  Jahre, jedoch ohne Nachweis eines signifikanten Unterschieds.

### ***Radfahren***

Nach Fahrradfahrten von mindestens 30-minütiger Dauer befragt, verneinten 28% ( $n=55$ ) der Patienten diese Frage generell, 46% ( $n=91$ ) gaben weniger als eine Fahrt pro Woche, 19% ( $n=38$ ) mehrere Fahrten pro Woche und 7% ( $n=14$ ) tägliche Fahrten an. Männer fuhren statistisch signifikant häufiger Rad (Chi-Quadrat-Test,  $p = 0,011$ ), dabei 9% täglich (vs. 5% der Frauen) und nur 18% nie (vs. 39% der Frauen). Dabei fuhren jüngere Patienten signifikant häufiger Fahrrad (Chi-Quadrat-Test,  $p = 0,042$ ), während nur 2% der über 55-Jährigen von täglichem Radfahren berichteten.

### ***Schmerzmedikation***

Die Frage nach eingenommenen Schmerzmedikamenten aufgrund der Gonarthrosebeschwerden wurde von 46% ( $n=91$ ) der Patienten verneint, 36% ( $n=71$ ) berichteten von seltener, 6% ( $n=12$ ) von häufiger und 12% ( $n=24$ ) von täglicher Schmerzmitteleinnahme.

Fast 2/3 der Patienten in AG 15-40 benötigten keine Medikation, und nur 1 Patient in dieser Gruppe (2%) nahm täglich Schmerzmittel, dagegen gaben 12% in der AG 41-55 und 22% in der AG 56-80 eine tägliche Einnahme an. Der höhere Anteil von Patienten mit Schmerzmedikation im höheren Alter war nur für Frauen statistisch signifikant ( $p = 0,006$ ). Frauen nahmen häufiger Schmerzmittel ein als Männer ( $p = 0,019$ ), nur 36%

nie, 40% selten, 7% häufig und 17% täglich (Männer 56%, 33%, 5% und 7%). Der höchste Anteil von täglicher Schmerzmedikation fand sich bei Frauen > 55 Jahren mit fast 30% der weiblichen Patienten in der AG 56-80.

### ***Arthrose an weiteren Gelenken und in der Blutsverwandtschaft***

16% (n=32) der 198 Patienten gaben an, einen Blutsverwandten mit Knieendoprothese oder einer schweren Arthrose des Kniegelenks zu haben. Es fand sich kein signifikanter Geschlechts- oder Altersunterschied.

Befragt nach Gelenkbeschwerden in weiteren Lokalisationen, die Schulter-, die Hand/Finger- und Hüftgelenke sowie die Wirbelsäule betreffend, verneinten 40% (n=79) der Patienten solche Beschwerden. Rund ein Drittel gaben eine Symptomatik in einer, 13% in zwei und 6% in drei oder mehr weiteren Gelenken an. Dabei nahm der Anteil der bis auf die Gonarthrose beschwerdefreien Patienten von 63% in der AG 15-40 auf 38% und 31% in den Altersgruppen 2 und 3 ab (Chi-Quadrat-Test,  $p = 0,003$ ). Der Anteil an gleichzeitig bestehenden Beschwerden lag bei 43% (n=85) für die Wirbelsäule, 17% (n=34) für die Schultergelenke, 13% (n=26) für die Hüftgelenke und 12% (n=24) für die Hand- und Fingergelenke. Für die Schulter ergab sich eine signifikante Zunahme im Alter mit nur 3% in der AG 15-40, 18% in der AG 41-55 und 29% in der AG 56-80 (Chi-Quadrat-Test,  $p = 0,001$ ). Wirbelsäulenbeschwerden traten jenseits des 40. Lebensjahres häufiger auf und wurden in der AG 15-40 von 27%, in der AG 41-55 von 51% und in der AG 56-80 von 49% der Patienten angegeben (Chi-Quadrat-Test,  $p = 0,010$ ). Bei einem tendenziell höheren Frauenanteil ergab sich kein statistisch signifikanter Geschlechterunterschied.

### ***Fachärztlicher Überweiser, klinische und röntgenologische Voruntersuchungen***

Die Wartezeit für einen Termin zur ambulanten MRT-Untersuchung in der Abteilung betrug ca. 4 – 6 Wochen. Daher wurde für die Fragen nach den Voruntersuchungen ein Zeitraum von 2 Monaten gewählt. Lediglich 43% (n=85) der 198 Patienten wurden innerhalb dieses Zeitraums durch einen Orthopäden bezüglich ihrer Kniegelenke fachärztlich untersucht. Immerhin gaben knapp 80% (n=158) der Patienten an, dass eine Untersuchung der Kniegelenke durch den zur MRT überweisenden Arzt stattgefunden habe. In 59% (n=117) der Fälle wurde vor der MRT zunächst eine Röntgenuntersuchung des betroffenen Kniegelenks veranlasst. Hinsichtlich der fachärztlichen oder sonstigen klinischen Voruntersuchungen und der

Röntgenuntersuchungen ergaben sich keinerlei signifikante Geschlechts- oder Altersgruppenunterschiede. Insbesondere die Rate an röntgenologischer Vordiagnostik war innerhalb aller drei Altersgruppen mit 60% (AG 15-40), 56% (AG 41-55) und 62% (AG 56-80) nahezu identisch (Chi-Quadrat-Test,  $p = 0,789$ ).

## ***Magnetresonanztomographie***

### Arthrose-Grading nach Kellgren und Lawrence

Alle MRT-Untersuchungen waren auswertbar ( $n = 216$ ). Bei 9 Patienten (4%) war die Bildbeurteilung durch Bewegungsartefakte erschwert.

Die initiale Auswertung der MRT-Untersuchungen in Anlehnung an das konventionell-röntgenologische Grading nach Kellgren und Lawrence ergab eine manifeste Arthrose ( $\geq$  Grad 2) im medialen femorotibialen Kompartiment (MFTJ) bei 61 (28%), im lateralen femorotibialen Kompartiment (LFTJ) bei 22 (10%) und im retropatellaren Kompartiment (RPJ) bei 39 (18%) der 216 Patienten (Tabelle 5). Mit steigendem Lebensalter nahm dieser Anteil zu bis auf medial 54%, lateral 30% und retropatellar 44% in AG 56-80 (Tabelle 6). Ein Unterschied im Grad der Arthrose bestand für weibliche und männliche Patienten weder in den einzelnen Kompartimenten noch für die Summe der Kompartimente (Mann-Whitney Test, alle  $p > 0,05$ ). Zwischen den Kompartimenten zeigte sich eine signifikante positive Korrelation des Arthrosegrades. Für die Korrelation von MTFJ und LTFJ lag Spearman's rho bei 0,79, für das MFTJ und das RPJ bei 0,80 sowie für das LFTJ und das RPJ bei 0,81 (alle  $p < 0,001$ ).

*Tabelle 5. Verteilung der Gonarthrose rate nach Kompartimenten und Geschlecht,  $n \text{ ♀} / n \text{ ♂}$  (Prozent ♀ / Prozent ♂)*

	<b>MFTJ</b>	<b>LFTJ</b>	<b>RPJ</b>
Grad 0	34 / 33 (32% / 30%)	46 / 47 (44% / 42%)	42 / 45 (40% / 41%)
Grad 1	41 / 47 (39% / 42%)	45 / 56 (43% / 51%)	41 / 49 (39% / 44%)
Grad 2	20 / 25 (19% / 23%)	10 / 7 (10% / 6%)	18 / 16 (17% / 14%)
Grad 3	8 / 5 ( 8% / 5%)	4 / 1 ( 4% / 1%)	4 / 1 ( 4% / 1%)
Grad 4	2 / 1 ( 2% / 1%)	-	-

Tabelle 6. Verteilung des Gonarthrosegrads in den Altersgruppen (Grad 0/1/2/3/4, in %)

	<b>MFTJ</b>	<b>LFTJ</b>	<b>RPJ</b>
15 – 40 Jahre	88%/6%/5%/2%/0%	89%/9%/2%/0%/0%	91%/9%/0%/0%/0%
41 – 55 Jahre	11%/64%/24%/2%/0%	33%/65%/2%/0%/0%	27%/60%/11%/2%/0%
56 – 80 Jahre	0%/46%/34%/15%/5%	9%/62%/22%/8%/0%	6%/51%/39%/5%/0%

### WORMS

Die Auswertung nach dem modifizierten WORMS zeigt die im Mittel geringe Ausprägung der Gonarthrose und Retropatellararthrose bei den untersuchten Patienten, von denen 98,6% bei einer möglichen Gesamtpunktzahl von 273 Punkten einen Wert von unter 100 erzielten. Der maximal erreichte Punktwert lag bei 130 (Abbildung 5). Die Analyse der einzelnen WORMS-Kategorien ergab eine relativ gute Verteilung über den möglichen Wertebereich für den retropatellaren Knorpel, die subchondrale Sklerose und die Menisci mit einem deutlichen Überwiegen der geringen Ausprägungsgrade. Das degenerative Knochenmarködem und subchondrale Zysten wurden nur in einem kleinen Prozentsatz der Patienten gefunden (Abbildung 6).

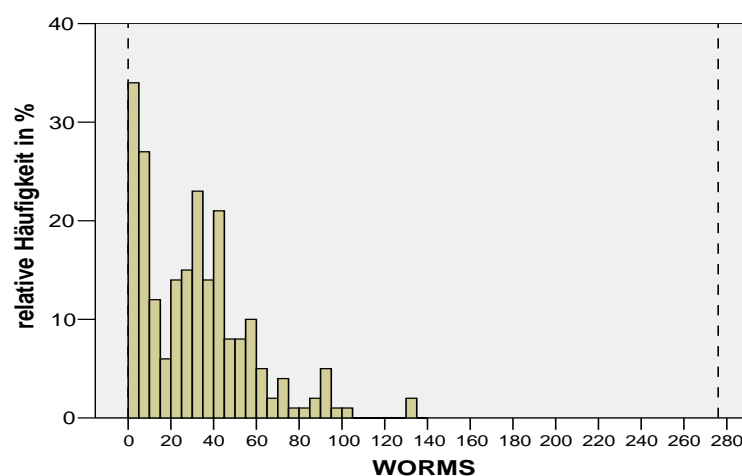


Abbildung 5. Häufigkeitsverteilung des WORMS im Patientenkollektiv (n=216). Die gestrichelten Linien markieren die minimal und maximal mögliche Gesamtpunktzahl (0 - 273).

Die Abbildungen 7a bis 7c zeigen 3 Fälle mit Bildbeispielen, jeweils als Ausschnittsvergrößerungen der originalen MR-Aufnahmen, exemplarisch je 1 Schnittbild T<sub>1</sub> SE coronar zentral durch die Femorotibialgelenke (oben links), T<sub>1</sub> SE sagittal durch das laterale Femorotibialgelenk (oben rechts), T<sub>2</sub>\* MEDIC transversal auf Patellamitte (unten links) und T<sub>2</sub>\* MEDIC sagittal durch das mediale Femorotibialgelenk (unten rechts).

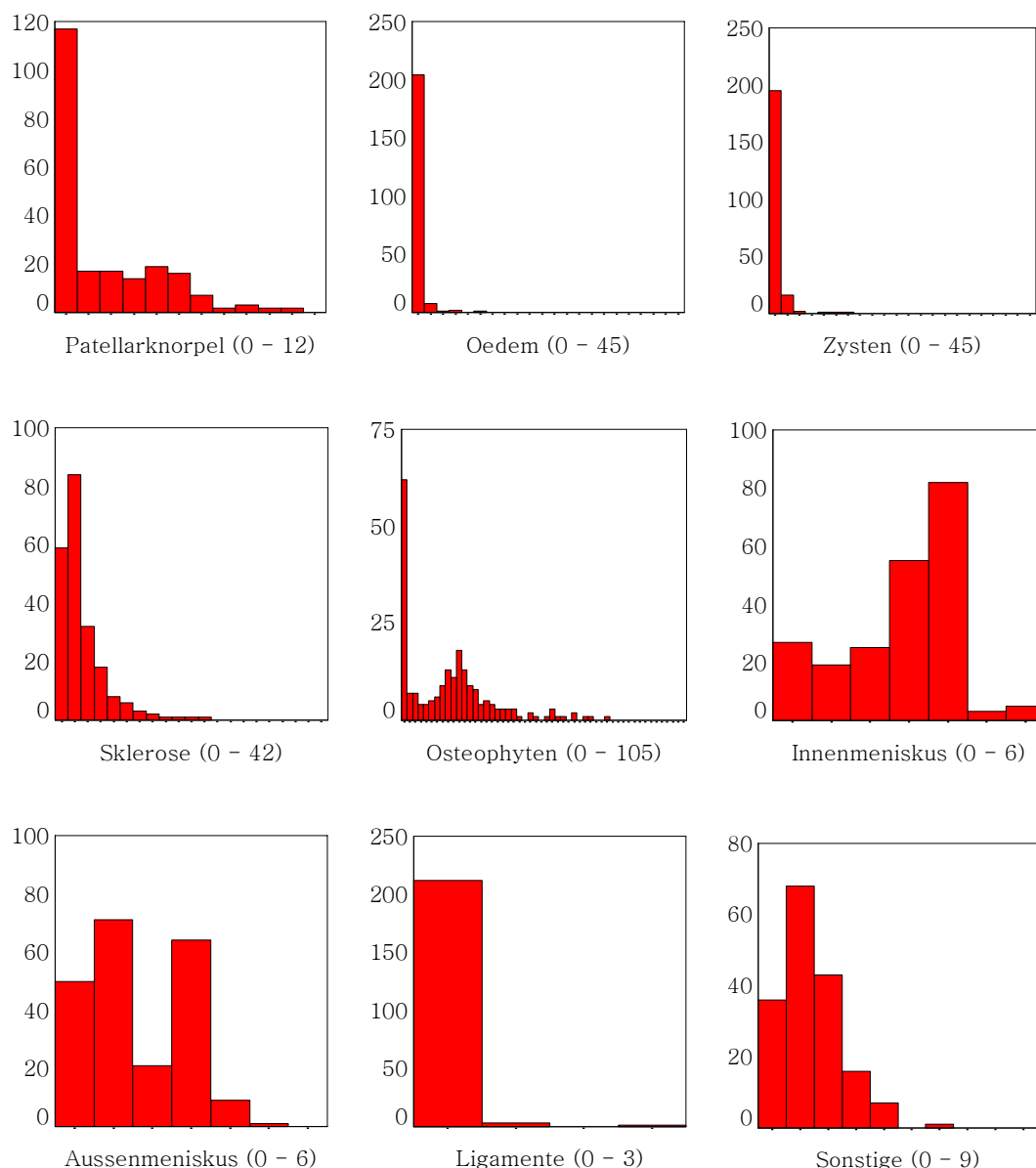
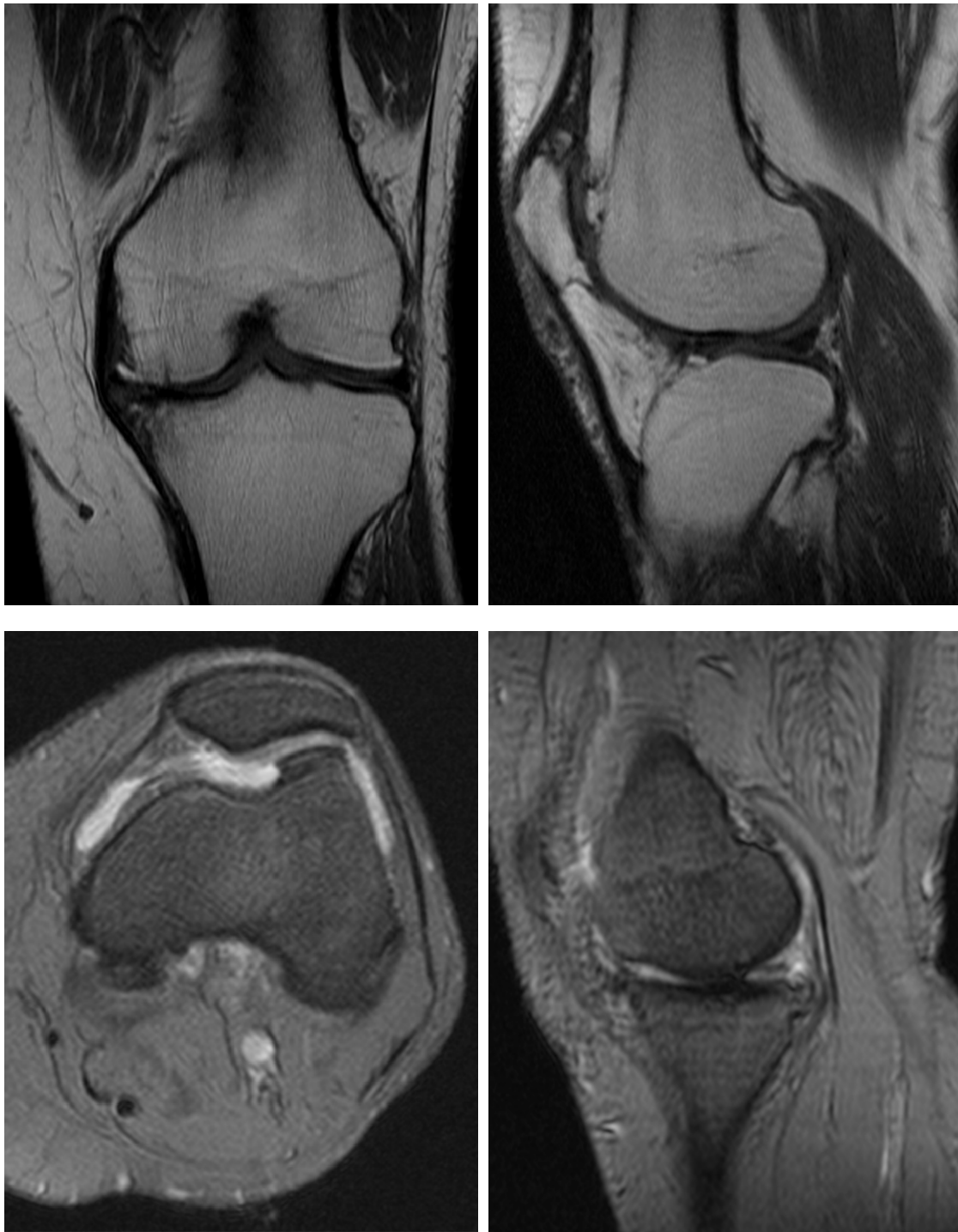


Abbildung 6. Häufigkeitsverteilung in den Subkategorien des WOMBS (retro-patellarer Knorpelscore, degeneratives Knochenmarködem, subchondrale Zysten, subchondrale Sklerose, Osteophyten, Innen- und Außenmeniskusscore, Kreuz- und Kollateralbänder und Sonstige = Erguss, freie Gelenkkörper und synoviale Zysten) im Patientenkollektiv (n=216). Auf der Ordinate ist die Anzahl der Patientin (n) aufgetragen. In Klammern die jeweilige Minimal- und Maximalpunktzahl der Kategorie.



*Abbildung 7a. Patient 47 Jahre, Größe 1,79 m, Gewicht 80 kg, rechtes Kniegelenk. Weitgehend unauffällige knöcherne Strukturen mit regelrechtem Knochenmarksignal und nur minimalen osteophytären Randkantenausziehungen im medialen und retropatellaren Kompartiment. Homogener kräftiger Retropatellarknorpel. Intakte Kreuz- und Kollateralbänder. Lineare Signalanhebung im Vorder- und Hinterhorn des Innenmeniskus ohne Rissbildung (Grad 2 – Läsion). Initiale zentrale Signalanhebung im Hinterhorn des Außenmeniskus (Grad 1 – Läsion). Kein Gelenkerguss. WORMS-Gesamtpunktwert 20.*



*Abbildung 7b. Patientin 66 Jahre, Größe 1,67 m, Gewicht 79 kg, linkes Kniegelenk. Ausgeprägte medialbetonte Gonarthrose und Retropatellararthrose (medial Grad 3, lateral Grad 2, retropatellar Grad 2). Der mediale femorotibiale Gelenkspalt ist abschnittsweise aufgehoben, es zeigen sich große Osteophyten am medialen Femurkondylus sowie am Ober- und Unterpole der Patella (Grad 5 – 6 nach WORMS). Am retropatellaren Knorpel ist eine flächenhafte Ausdünnung an der medialen und lateralen Facette sowie ein fissuraler Defekt medial erkennbar. Der Innenmeniskus ist fragmentiert und in der Pars intermedia und im Hinterhornabschnitt weitgehend aufgebraucht (Grad 6 nach WORMS). Es besteht ein geringer Gelenkerguss sowie eine kleine Bakerzyste in loco typico (nicht abgebildet). WORMS-Gesamtpunktwert 94.*



*Abbildung 7c. Patient 44 Jahre, Größe 1,88 m, Gewicht 92 kg, rechtes Knie. Ausgeprägte medialbetonte Gonarthrose und Retropatellararthrose (medial Grad 3, lateral Grad 2, retropatellar Grad 2). Der mediale femorotibiale Gelenkspalt ist verschmälert und weist tibiaseitig eine deutliche subchondrale Sklerosierung auf. Osteophytäre Randzacken sind in allen Kompartimenten erkennbar. Der retropatellare Knorpelüberzug ist im Vergleich zur lateralen Facette medial flächenhaft verschmälert. Im medianen Patellaranteil („patellar ridge“), nach WORMS der medialen Facette zuzurechnen, zeigen sich tiefe fissurale Defekte. Komplexe Rissbildung am Innenmeniskushinterhorn mit Kontakt zur Ober- und Unterfläche. Degenerative Signalstörungen in allen Abschnitten des Außenmeniskus. Kein wesentliche Ergussbildung. WORMS-Gesamtpunktwert 76.*



In den drei getrennt analysierten Altergruppen (AG 15-40, AG 41-55, AG 56-80) zeigt sich kein signifikanter Geschlechterunterschied bezüglich des WOMS-Gesamtpunktwerts sowie der Ausprägung der Arthrose des Gesamtgelenks und der Teilkompartimente, obwohl die weiblichen Patienten tendenziell höhere Punktzahlen erreichten.

In der AG 15-40 erreichten die männlichen Patienten einen grenzwertig signifikant höheren Score für Osteophyten und subchondrale Sklerose (Mann-Whitney-Test, exakter Test,  $p = 0,049$  und  $p = 0,048$ ).

In der AG 41-55 fand sich bei Männern signifikant häufiger ein Gelenkerguss (Chi-Quadrat-Test,  $p = 0,005$ ), gleichzeitig wiesen Männer dieser Altersgruppe einen signifikant höheren Teilscore für Innen- und Außenmeniskus auf, verglichen mit gleichaltrigen Frauen (jeweils  $p < 0,001$ ).

Bei den Frauen in der AG 56-80 wurden signifikant häufiger ein degenerativ bedingtes Knochenmarködem ( $p = 0,034$ ) und tendenziell ein höherer Osteophyten-Score gesehen ( $p = 0,081$ ), verglichen mit gleichaltrigen Männern. Hinsichtlich der subchondralen Zystenbildungen und des Vorkommens von Baker-Zysten ergab sich in keiner Altergruppe ein Geschlechterunterschied.

Für die Korrelation der Gelenkkompartimente nach dem WOMS lagen alle  $r > 0,77$  (alle  $p < 0,001$ ). In der Gegenüberstellung des Arthrosegradings nach Kellgren und Lawrence ergab sich eine gute Übereinstimmung für die Kompartimente und die Gesamtsumme (Abbildung 8). Dabei waren bei gleicher Struktur der Bewertungskategorien für das MFTJ und das LFTJ nicht nur die Mittelwerte des WOMS für das jeweilige Kompartiment, sondern auch die Extremwerte des jeweiligen Arthrosegrades vergleichbar (Tabelle 7). Es existieren zwar Punktwertüberschneidungen zwischen benachbarten Kategorien, jedoch nicht zur übernächsten Kategorie, z.B. Grad 1 zu Grad 3, bis auf den „outlier“ einer zweitgradigen Arthrose im lateralen Kompartiment mit einem Kompartiment-WOMS von nur 7 Punkten.

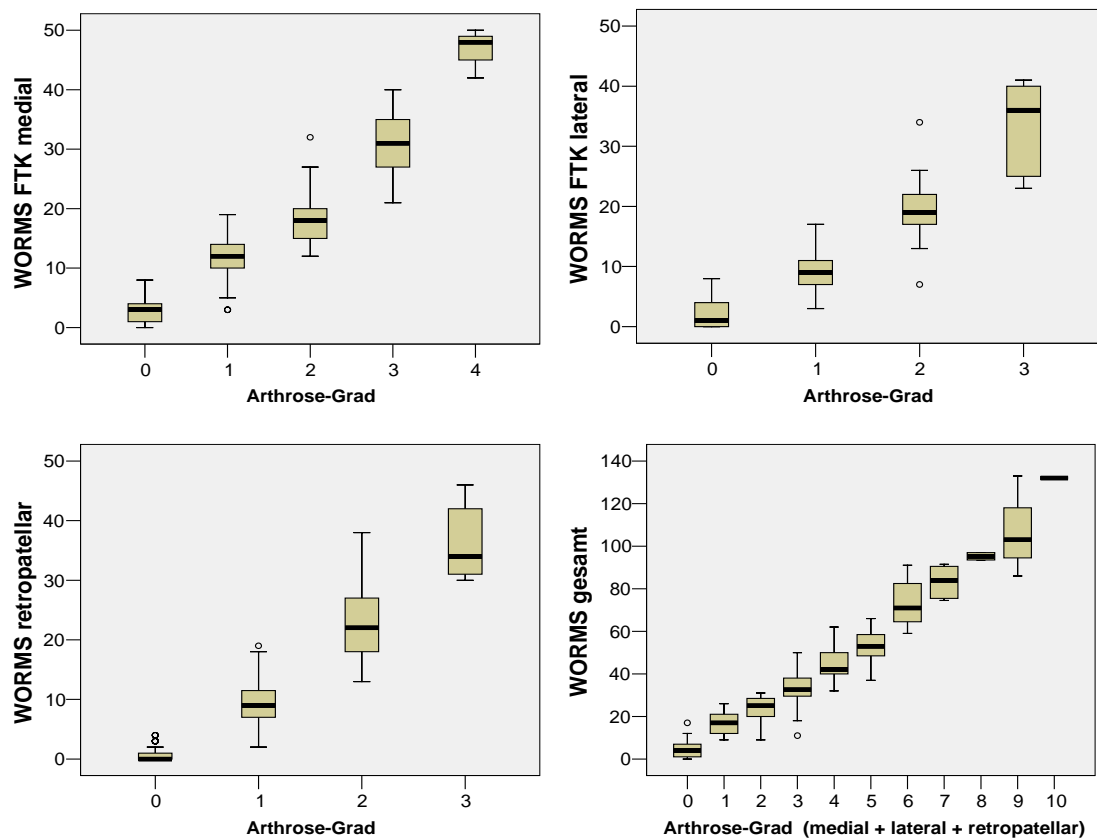


Abbildung 8. Boxplot zur Darstellung des WORMS in Abhängigkeit vom Arthrosegrad nach Kellgren und Lawrence, getrennt nach Kompartimenten (FTK – femorotibiales Kompartiment) und als Gesamt-Score

Tabelle 7. Durchschnittlicher WORMS in Abhängigkeit vom Grad der Arthrose, getrennt nach Kompartimenten (arithmetisches Mittel  $\pm$  SD, [min ... max], n)

	MFTJ	LFTJ	RPJ
Grad 0	2,8 $\pm$ 2,0 [0 ... 8] n = 67	2,2 $\pm$ 2,3 [0 ... 8] n = 93	0,8 $\pm$ 1,3 [0 ... 6] n = 87
Grad 1	11,7 $\pm$ 3,1 [3 ... 19] n = 88	9,2 $\pm$ 3,1 [3 ... 17] n = 101	9,3 $\pm$ 3,5 [2 ... 19] n = 90
Grad 2	18,6 $\pm$ 4,0 [12 ... 32] n = 45	19,4 $\pm$ 5,9 [7 ... 34] n = 17	23,0 $\pm$ 6,5 [13 ... 38] n = 34
Grad 3	30,1 $\pm$ 5,1 [21 ... 40] n = 13	33,0 $\pm$ 8,5 [23 ... 41] n = 5	36,6 $\pm$ 7,1 [30 ... 46] n = 5
Grad 4	46,7 $\pm$ 4,2 [42 ... 50] n = 3	-	-

## Kniegelenkbelastung in Arbeit und Freizeit

Auf der Grundlage der Kategorien nach Tegner wurden die berufliche Tätigkeit und die Freizeitaktivitäten getrennt bewertet (siehe Anhang 10.2.). Ausgewertet wurden für jeden Patienten die maximal und die minimal erreichte Kategorie, die durchschnittliche Belastung und die akkumulierte Belastung als zeitliches Integral. Es wurde versucht, während des strukturierten Interviews und bei der Einteilung der Tegner-Kategorien die tatsächliche Belastung möglichst differenziert zu erfassen. So zeigte sich, dass sich zum Beispiel hinter dem Beruf „Bauarbeiter“ ein breites Spektrum vom „Gehwegpflasterer“ mit täglich 5 – 6 h Arbeit im Knien und zusätzlicher Belastung durch das Entladen der Pflastersteinpaletten über Wochen und Monate bis hin zum „Gerätebediener“ mit überwiegender Arbeit im Sitzen verbarg. Unter den LKW-Fahrern gab es Patienten, die lediglich das Fahrzeug zu führen hatten, andere waren zusätzlich für das komplette Be- und Entladen und die Fahrzeugwartung verantwortlich.

Daten zum Tegner-Score waren für alle 216 Patienten vollständig vorhanden. Die Häufigkeitsverteilung zeigt eine überwiegend geringe bis moderate Kniegelenkbelastung in Beruf und Freizeit (Abbildung 4). 44% der Patienten gingen einer im Mittel überwiegend (TB 1 in 25%, n = 54) oder vorwiegend (TB 2 in 19%, n = 41) sitzenden Tätigkeit nach, dagegen übten lediglich 25% der Patienten einen im Mittel schwer oder sehr schwer kniebelastenden Beruf aus (TB 4 in 16%, n = 35; TB 5 in 7%, n = 15; TB 6 in 2%, n = 4). Während 55% der Patienten von einer überwiegend inaktiven (TF 1 in 5%, n = 11) oder einer nur gelegentlichen sportlichen Freizeitgestaltung (TF 2 in 50%, n = 113) berichteten, trieben 26% der Patienten mäßig bis sehr schwer kniebelastenden Sport (TF 4 in 8%, n = 17; TF 5 in 7%, n = 15; TF 6 in 11%, n = 24). Bezüglich des Belastungsprofils besteht ein deutlicher Geschlechterunterschied (Tabelle 5). Männer erreichten in allen Kategorien signifikant höhere Kniegelenkbelastungen als Frauen. Auch der Anteil von Arbeiten im Knien und Hocken und mit Heben von Lasten war bei Männern deutlich höher. Bei Frauen fand sich dagegen ein signifikant höherer Anteil von sitzenden Tätigkeiten.

Ein Vergleich des Belastungsniveaus in Beruf und Freizeit ergab nach dem modifizierten Tegner-Score für 54% der Patienten eine höhere außerberufliche Belastung im Vergleich der akkumulierten Tegner-Kategorien (TB vs. TF). Diese Verteilung war vor dem 40. Lebensjahr besonders deutlich. Hier zeigte sich eine

höhere Freizeitbelastung bei 74% der Patienten, verglichen mit nur 41% in der AG 41-55 und 51% in der AG 56-80 (Chi-Quadrat-Test  $p < 0,001$ ). Für junge Frauen bestand die größte Diskrepanz für die berufliche und außerberufliche Kniebelastung, bei 80% dieser Patientinnen war der mittlere Tegner-Score in der Freizeit höher als im Beruf. Die Analyse der potentiell kniebelastenden Tätigkeitskategorien „Heben“, „Knien“, „Hocken“, „Laufen“ und „Leitern steigen“ und knieschonender sitzender Tätigkeit zeigte eine signifikante positive Korrelation zwischen dem Heben von Lasten und Arbeiten in kniender und hockender Körperstellung (Tabelle 9). Arbeit im Sitzen war dagegen signifikant negativ korreliert, insbesondere mit dem Heben. Eine Laufstrecke

*Tabelle 8. Geschlechterspezifische Kniebelastung in Beruf und Freizeit*

	Weibliche Patienten n = 105	Männliche Patienten n = 111
Ursprünglich erlernter Beruf (TB_orig)	2,1 ± 1,0	3,7 ± 1,5
Am längsten ausgeübte berufliche Belastungskategorie (TB_meist)	2,0 ± 1,0	3,4 ± 1,5
Minimale berufliche Belastung (TB_min)	1,1 ± 0,5	1,6 ± 1,0 <sup>###</sup>
Maximale berufliche (TB_max)	2,5 ± 1,1	4,1 ± 1,5 <sup>###</sup>
Mittlere berufliche Belastung (TB_average)	2,0 ± 0,8	3,2 ± 1,3 <sup>###</sup>
Akkumulierte berufliche Belastung (TB_sum)	68 ± 46	102 ± 65 <sup>###</sup>
„Heben“	9,3 ± 13,9	17,2 ± 15,4 <sup>###</sup>
„Knien“	1,9 ± 7,2	8,2 ± 12,8 <sup>###</sup>
„Hocken“	0,5 ± 3,1	5,7 ± 11,0 <sup>###</sup>
„Laufen“	1,5 ± 5,0	2,1 ± 6,9
„Leitern“	0,2 ± 1,2	3,9 ± 9,6 <sup>###</sup>
„Sitzen“	15,5 ± 17,2	7,4 ± 12,1 <sup>###</sup>
Zeitlich am längsten ausgeübte Kategorie der Freizeitbelastung (TF_meist)	2,1 ± 0,9	3,5 ± 1,8 <sup>###</sup>
Minimale Freizeitbelastung (TF_min)	2,0 ± 0,9	2,7 ± 1,5 <sup>###</sup>
Maximale Freizeitbelastung (TF_max)	2,9 ± 1,4	4,8 ± 1,4 <sup>###</sup>
Mittlere Freizeitbelastung (TF_average)	2,2 ± 0,9	3,6 ± 1,5 <sup>###</sup>
Akkumulierte Freizeitbelastung (TF_sum)	69 ± 41	102 ± 61 <sup>###</sup>

Mann-Whitney-Test, exakter Test, <sup>#</sup>  $p < 0,05$ ; <sup>##</sup>  $p < 0,01$ ; <sup>###</sup>  $p < 0,001$

von > 3 km zeigte dagegen, außer einer schwachen Korrelation mit Leitern steigen, weder mit körperlicher, noch mit sitzender Tätigkeit eine signifikante Assoziation. Wie erwartet, korrelieren die kniebelastenden Tätigkeiten hochpositiv und die sitzende Tätigkeit negativ mit dem beruflichen Tegner-Score. Zwischen kniebelastenden beruflichen Tätigkeiten (TB) und dem Freizeit-Score (TF) bestand eine deutliche positive Korrelation.

Von allen 216 Patienten ließ sich für 41% (n = 88) keine zurückliegende Tätigkeit eruieren, die das Heben von Lasten beinhaltete. In dieser Gruppe bestanden gleichfalls für 92% keine knienden, für 94% keine hockenden und für 96% keine Tätigkeiten auf Leitern, dagegen fand sich für 94% eine zurückliegende sitzende Tätigkeit. Bei 27% (n=58) der 216 Patienten fand sich eine zurückliegende Arbeit im Knien und/oder Hocken, gleichzeitig in 88% das Heben von Lasten und in 33% Arbeiten auf Leitern. Von den Patienten ohne kniende oder hockende Tätigkeit gab lediglich knapp die Hälfte (49%) eine Tätigkeit mit Heben von Lasten an, nur 4% hatten auf Leitern gearbeitet. Unter den 26 Patienten mit einer zurückliegenden Tätigkeit auf Leitern gaben 85% auch eine hebende und 73% eine kniende/hockende Tätigkeit an.

*Tabelle 9. Korrelationsmatrix von kniebelastenden und knieschonenden Tätigkeiten sowie dem akkumulierten Tegner-Score in Beruf und Freizeit (Spearman's Rangkorrelation, n=216)*

	Heben	Knien	Hocken	Laufen	Leitern	Sitzen	TB	TF
Heben	-							
Knien	0,44**	-						
Hocken	0,33**	0,77**	-					
Laufen	0,09	-0,04	-0,08	-				
Leitern	0,22**	0,38**	0,33**	0,16*	-			
Sitzen	-0,49**	-0,29**	-0,24**	-0,04	-0,09	-		
TB	0,72**	0,54**	0,40**	0,12	0,28**	-0,28**	-	
TF	0,37**	0,29**	0,20**	-0,12	0,11	0,13	0,68**	-

Spearman's rho, \* p< 0,05; \*\* p < 0,01

## SF-12 und KOOS

Es waren die Daten für 197 Patienten (weiblich 95, männlich 102) vollständig verfügbar. Die Auswertung der Subskalen des SF-12 zeigten höhere Skalenwerte (entsprechend einer höheren Beeinträchtigung) für die physische Gesundheit (KSK  $12 \pm 5$ , min 0 ... max 20) als für die psychische Gesundheit (PSK  $7 \pm 4$ , min 0 ... max 21). Beide Subskalen sind signifikant korreliert (Spearman's rho  $r = 0,49$ ,  $p < 0,001$ ). Beim KSK zeigte sich kein Geschlechtsunterschied (Mann-Whitney-Test,  $p = 0,420$ ), dagegen ergaben sich für Frauen signifikant höhere Werte beim PSK ( $p = 0,001$ ).

In der Analyse der Altersgruppen AG 15-40, AG 41-55 und AG 56-80 wurden mit steigendem Lebensalter für den KSK deutlich höhere Werte erreicht (Kruskal-Wallis-Test,  $p < 0,001$ ; Spearman's rho Alter korreliert mit KSK  $r = 0,35$ ,  $p < 0,001$ ), während beim PSK kein Altersunterschied bestand (Kruskal-Wallis-Test,  $p = 0,604$ ; Spearman's rho Alter korreliert mit PSK  $r = 0,12$ ,  $p = 0,106$ ).

Für den KOOS sind die Subskalen „Symptome“, „Schmerz“, „Aktivitäten des täglichen Lebens“, „Sport“ und „Lebensqualität“ signifikant korreliert mit Koeffizienten von 0,56 (Symptome und Lebensqualität) bis 0,84 (Schmerz und Aktivitäten des täglichen Lebens), alle  $p < 0,001$ . Für keine der Subskalen bestand ein signifikanter Geschlechtsunterschied, tendenziell fanden sich höhere Werte für Frauen in der Subskala „Schmerz“ (Mann-Whitney-Test,  $p = 0,08$ ). Im Vergleich der Altersgruppen zeigte sich für alle Subskalen und den Gesamt-Score signifikant höhere Werte mit steigendem Alter (Kruskal-Wallis-Test, alle  $p < 0,025$ ).

Der KOOS-Gesamtscore korreliert eng mit dem KSK-Teilscore des SF-12 ( $r = 0,76$ ;  $p < 0,001$ ) und geringer mit dem PSK-Teilscore ( $r = 0,42$ ;  $p < 0,001$ ). Der WORMS Gesamtscore korreliert signifikant mit KOOS ( $r = 0,35$ ;  $p < 0,001$ ), dem KSK ( $r = 0,36$ ;  $p < 0,001$ ) und schwach mit dem PSK ( $r = 0,15$ ;  $p = 0,039$ ).

Der WORMS Meniskus-Teilscore korreliert mit KOOS ( $r = 0,22$ ;  $p = 0,002$ ) und mit dem KSK ( $r = 0,29$ ;  $p < 0,001$ ), aber nicht mit dem PSK ( $p = 0,973$ ).

### Prädiktoren für eine manifeste Arthrose

Mit der schrittweisen logistischen Regressionsanalyse (stepwise binary logistic regression, Signifikanzschwelle für unabhängige Variablen zur Aufnahme 0,05 und zum Ausschluss 0,10) wurde nach Prädiktoren für eine manifeste Gonarthrose ( $\geq$  Grad 2) gesucht. Als abhängige Variablen wurden das Vorhandensein einer mindestens zweitgradigen Gonarthrose im medialen, lateralen und im retropatellaren Kompartiment sowie global im Kniegelenk binär codiert und untersucht.

Im ersten Schritt wurden die bekannten Risikofaktoren Alter, Geschlecht und BMI manuell in das Regressionsmodell aufgenommen. Dabei waren Alter und BMI signifikant ( $p < 0,001$ ), das Geschlecht jedoch nicht ( $p = 0,655$ ). Im zweiten Schritt wurden sowohl die kategoriellen Faktoren zur Lebensweise, Bildung, Familienstand und Arthrose an anderen Gelenken, der Tegner-Score in Beruf und Freizeit und schließlich die Kategorien der kniebelastenden Tätigkeiten der schrittweisen Auswahl (forward likelihood ratio - Prozedur) angeboten.

Für das MFTJ zeigten die Faktoren TB\_max ( $p = 0,031$ ), akkumulierter TB ( $p = 0,045$ ), „Knien“ ( $p = 0,002$ ), „Hocken“ ( $p = 0,005$ ) und „Leitern“ ( $p = 0,020$ ) einen potentiell signifikanten Beitrag zum Modell. Die Kategorie „Knien“ wurde in das Modell aufgenommen, danach erreichte keiner der übrigen Faktoren mehr die für die Aufnahme notwendige Signifikanzschwelle von 0,05. Das Regressionmodell erreicht einen guten Wert im goodness-of-fit-Test nach Hosmer-Lemeshow von 0,412 ( $> 0,05$ , d.h. es handelt sich um ein adäquates Modell) und ein Nagelkerke  $R^2$  von 0,422. Nach dem Modell können 78% der Fälle korrekt klassifiziert werden.

Im lateralen Kompartiment gelangte nach Alter ( $p < 0,001$ ), BMI ( $p = 0,033$ ) und Geschlecht ( $p = 0,372$ ) zusätzlich die Kategorie „Hocken“ in das Modell. Der Hosmer-Lemeshow-Test zeigt einen Wert von 0,133, das Nagelkerke  $R^2$  beträgt 0,400, es können 91,6% der Fälle korrekt klassifiziert werden.

Als Prädiktor für die Retropatellararthrose zeigt nach der Auswahl von Alter ( $p < 0,001$ ), BMI ( $p = 0,042$ ) und Geschlecht ( $p = 0,193$ ) die Kategorie „Knien“ einen signifikanten Beitrag zum Modell. Das Modell erreicht einen Signifikanzwert im Hosmer-Lemeshow-Test von 0,377, ein Nagelkerke  $R^2$  von 0,357 und zeigt in 81,8% der Fälle eine korrekte Klassifikation.

Danach wurde als abhängige Variable das Auftreten einer manifesten Arthrose in mindestens einem der Kompartimente gewählt. Dabei waren wiederum Alter ( $p < 0,001$ ) und BMI ( $p = 0,001$ ) signifikant, das Geschlecht wurde mit in das Modell aufgenommen ( $p = 0,654$ ). Für die stepwise-Prozedur verblieben daraufhin nur „Knien“ ( $p = 0,007$ ), „Hocken“ ( $p = 0,003$ ) und „Leitern“ ( $p = 0,048$ ) als signifikante Faktoren. Das Modell zeigt einen Wert von 0,156 im Test nach Hosmer – Lemeshow, einen guten Nagelkerke  $R^2$  von 0,471 und klassifiziert 78% der Fälle richtig.

Schließlich fassten wir die drei aus den bisherigen Modellen als signifikante Faktoren bekannte Kategorien „Knien“, „Hocken“ und „Leitern“ summatorisch zu einer Kategorie „Knien-Hocken-Leitern“ (KHL) zusammen. Eine zweite Kategorie umfasste zusätzlich zu diesen drei Faktoren noch das „Heben“ (HKHL). Nach dem Einfügen der Variablen Alter ( $p < 0,001$ ), BMI ( $p = 0,001$ ) und Geschlecht ( $p = 0,654$ ) standen die beiden signifikanten Faktoren HKHL ( $p = 0,019$ ) und KHL ( $p = 0,001$ ) für die schrittweise Regression zur Verfügung, nach Einschluss von KHL zeigte keiner der verbleibenden Faktoren das notwendige Signifikanzniveau für eine Aufnahme in das Modell. Das Regressionsmodell ist signifikant (Chi-square 90.296, df 4,  $p < 0,001$ ), zeigt einen Wert von 0,955 im goodness-of-fit-Test nach Hosmer-Lemeshow und ein Nagelkerke  $R^2$  von 0,481, d.h. das Modell erklärt knapp die Hälfte der Variation der Zielvariablen, und es können 79% der Fälle den korrekten Kategorien zugeordnet werden (Tabelle 10).

Das Modell wurde an einer zufälligen Stichprobe von 70% des Patientenkollektivs aufgestellt und an den verbleibenden 30% validiert, dabei zeigte sich lediglich ein Abfall von drei Prozentpunkten für die korrekte Klassifikation der Fälle. Zusätzlich wurde eine ordinale Regressionsanalyse (PLUM-Prozedur, negative log-log Link-Funktion, keine Location, keine Scale) durchgeführt, die - anders als die auf binäre Zielvariablen festgelegte logistische Regression - die Information der ordinalen Arthrosekategorien 0 bis 4 einbeziehen kann. Das dabei etablierte Modell entspricht dem logistischen Regressionmodell mit den signifikanten Faktoren Alter (kodiert als weiblich=0 und männlich=1), BMI und KHL.



*Tabelle 10. Binäres logistisches Regressionsmodell für das Auftreten einer mindestens zweitgradigen Gonarthrose in mindestens einem der drei Kniegelenkkompartimente*

Faktor	B	S. E.	Wald	df	p- Wert	Odds ratio	95% Konfidenzintervall des OR
Alter	0,098	0,018	30,788	1	0,000	1,103	1,065 ... 1,142
Geschlecht	-0,765	0,416	3,389	1	0,066	0,465	0,206 ... 1,051
BMI	0,182	0,054	11,265	1	0,001	1,199	1,079 ... 1,333
KHL	0,032	0,010	9,615	1	0,002	1,033	1,012 ... 1,054
Konstante	-9,686	1,878	26,590	1	0,000	0,000	

#### Dosisabschätzung für eine Gonarthrose

Untersucht wurden die Risikofaktoren Lebensalter, akkumulierter BMI, akkumulierte Arbeits- und Freizeitbelastung sowie das Geschlecht.

Eine manifeste Gonarthrose Grad 2 in höchstens einem Kompartiment wurde ab einem WORMS Gesamtscore > 30 beobachtet. Eine Gonarthrose Grad 2 in zwei Kompartimenten war mit einem WORMS von 37 bis 62, in allen drei Kompartimenten mit einem WORMS von 59 bis 91 assoziiert. Mediale Gonarthrosen Grad 3 traten oberhalb eines WORMS von 57 auf, mediale Gonarthrosen Grad 4 oberhalb von 94.

Ein WORMS Score > 30 zeigt sich im Patientenkollektiv ab einem Alter von 35 – 38, ab einem aus Beruf und Freizeit akkumulierten Tegner Score von 80 – 90 und ab einem akkumulierten BMI von 500 – 700 (Abbildung 9).

Die nach Risikofaktoren aufgeschlüsselten Diagramme (Abbildung 10a – 10d) zeigen den WORMS des Gesamtgelenks in Abhängigkeit von den Faktoren Alter, BMI und Kniebelastung. Die horizontalen Trennlinien entsprechen einem WORMS von 30, 57 und 94 als minimale beobachtete Werte für eine Arthrose Grad 2, 3 und 4. Die Diagramme sind aufgrund der geringen Patientenzahl in jeder Gruppe nur eingeschränkt aussagekräftig, bilden jedoch eine Tendenz ab. Bei normgewichtigen Patienten ohne besondere Kniebelastung traten Gonarthrosen Grad 2 bei Frauen ab einem Alter von ca. 50 Jahren auf, bei Männern erst 10 Jahre später. Übergewicht verschiebt diese Grenze bei Frauen für zweit- und drittgradige Arthrosen noch einmal um 10 Jahre nach vorn, für Männer um 10 bis 15 Jahre.

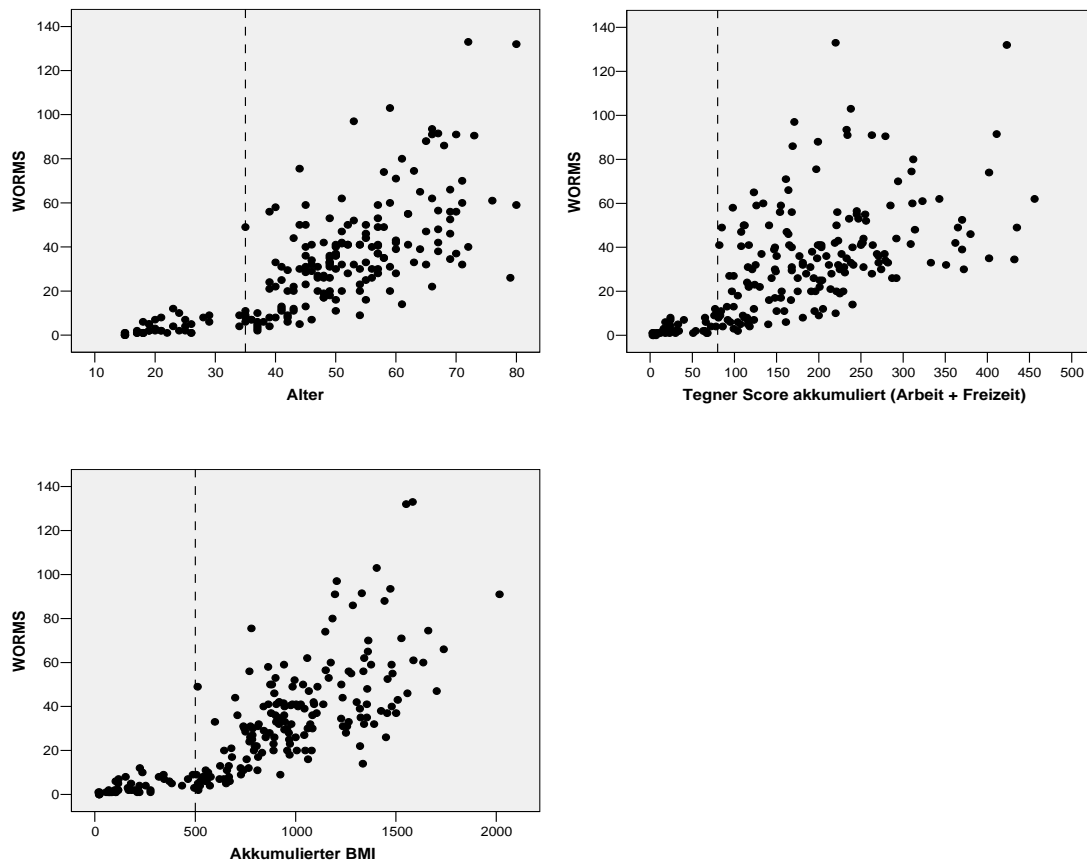


Abbildung 9. WORMS in Abhängigkeit vom Alter, vom akkumulierten Tegner-Score und vom akkumulierten BMI. Die senkrecht verlaufenden Linien markieren das Alter von 35 Jahren, den akkumulierten Tegner-Score von 80 und den akkumulierten BMI von 500.

Besondere Kniebelastung bei normalgewichtigen Männern spiegelte sich in zweitgradigen Arthrosen ab dem 40. Lebensjahr wider. Die Anzahl der weiblichen normgewichtigen Patienten mit besonderer Kniebelastung in der Vergleichsgruppe war zu gering und damit nicht aussagekräftig.

Die Kombination von Übergewicht und besonderer Kniebelastung resultiert bei Männern im Auftreten von zweit- und drittgradigen Arthrosen ab ca. 40 Jahren, während bei Frauen aufgrund der kleinen Patientenzahl in dieser Untergruppe ein solcher Effekt nicht nachweisbar ist.

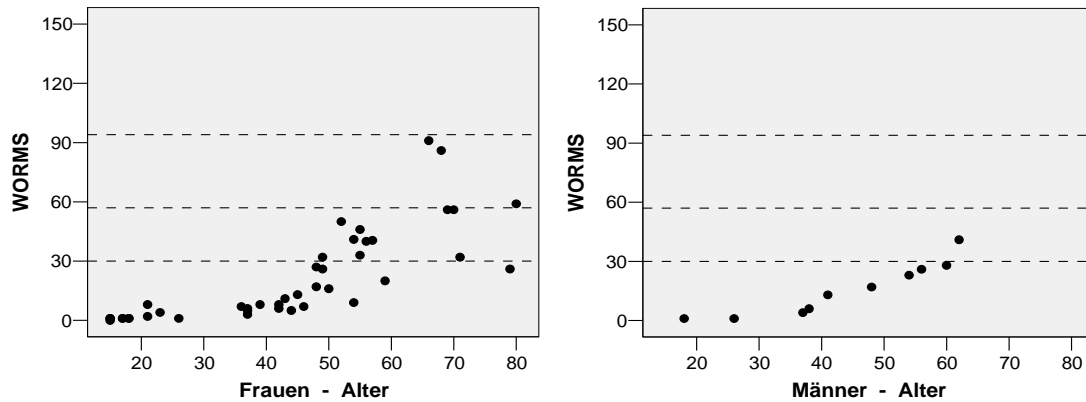


Abbildung 10a. Normalgewichtige Patienten ohne besondere Kniebelastung

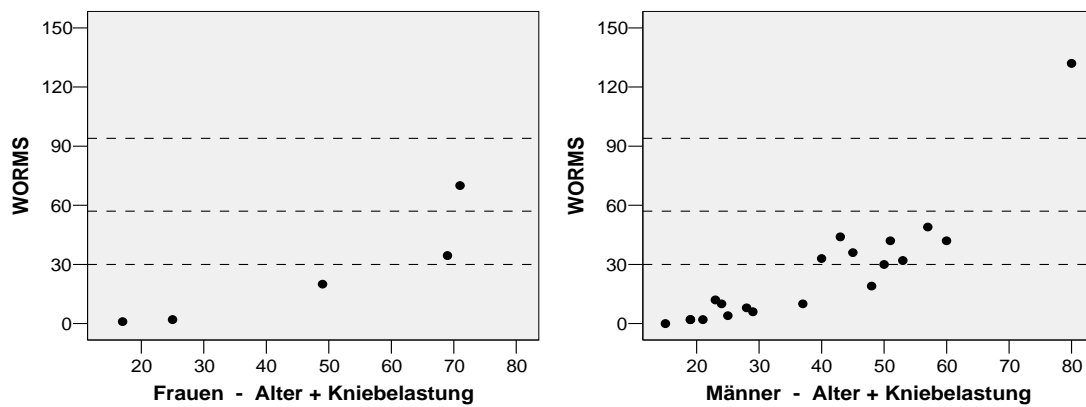


Abbildung 10b. Normalgewichtige Patienten mit beruflicher oder außerberuflicher Kniebelastung

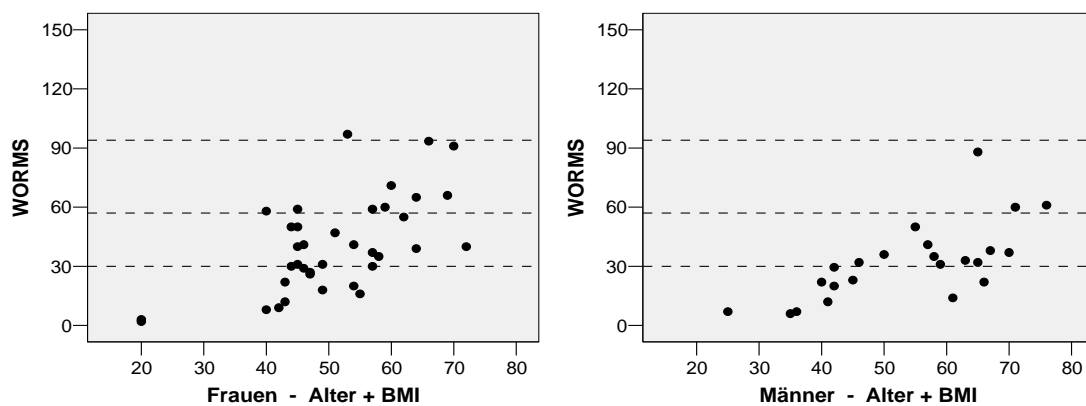


Abbildung 10c. Übergewichtige Patienten ohne besondere Kniebelastung

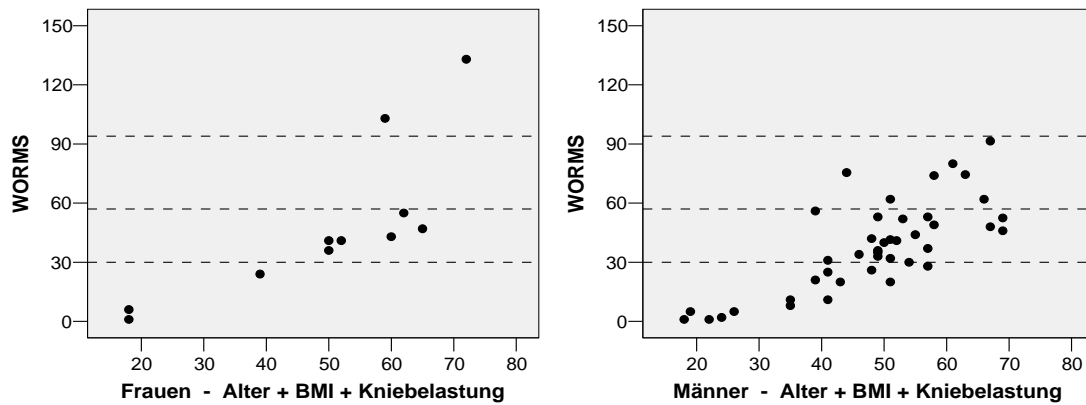


Abbildung 10d. Übergewichtige Patienten mit besonderer beruflicher oder außerberuflicher Kniebelastung

#### Korrelation von Meniskusschäden mit Risikofaktoren

Zwischen den drei ausgewerteten Altersgruppen zeigten sich Unterschiede bezüglich der Korrelation von degenerativen Meniskusläsionen (WORMS Meniskus-Teilscore) und möglichen Risikofaktoren (Tabelle 11).

In der AG 15-40 besteht eine signifikante Korrelation des Meniskus-Scores zur Arbeitsbelastung, gemessen als maximal erreichter, zeitlich am längsten erreichter und mittlerer Tegner Score TB. Die Kategorien „Heben“ ( $r = 0,46$ ;  $p < 0,001$ ), „Knien“ ( $r = 0,24$ ;  $p = 0,057$ ) und „Hocken“ ( $r = 0,26$ ;  $p = 0,038$ ) sind gleichfalls signifikant oder grenzwertig signifikant mit einem hohen Meniskus-Score assoziiert. Unter den Variablen der Freizeitbelastung zeigt lediglich der akkumulierte Freizeit-Tegner-Score als kovariante Variable zum Lebensalter eine positive Korrelation ( $0,76$ ;  $p < 0,001$ ). Zu Alter ( $r = 0,76$ ;  $p < 0,001$ ) und BMI ( $r = 0,45$ ;  $p < 0,001$ ) besteht eine signifikante enge positive Assoziation. Sitzende Tätigkeit, aktiver Sport vor dem 15. Lebensjahr und das Geschlecht zeigen keine Korrelation zum Meniskus-Score.

In der AG 41-55 zeigen der maximal erreichte, der zeitlich am längsten erreichte, der mittlere, der minimal erreichte und der akkumulierte berufliche Tegner-Score eine signifikante positive Korrelation, wie auch die Kategorien „Heben“, „Knien“ und „Hocken“. Arbeit im Sitzen korreliert negativ mit dem Meniskusscore. Der maximal erreichte, der am längsten erreichte, der durchschnittliche und der akkumulierte Freizeit-Tegner-Score weisen im Unterschied zur AG 15-40 alle eine positive

Korrelation auf, wie auch aktiver Sport vor dem 15. Lebensjahr. Innerhalb der AG 56-80 korrelieren lediglich das Alter, der maximale berufliche Tegner Score, der akkumulierte berufliche Tegner Score und die Kategorie „Heben“ signifikant mit dem Meniskusscore.

Degenerative Meniskusrisse (Grad-3-Läsionen) waren signifikant häufiger bei Patienten mit einem kniebelastenden Beruf oder Hobby (Chi-Quadrat Test,  $p < 0,001$ ). Unterhalb eines akkumulierten Tegner Scores von 100 fanden wir bei lediglich einem Patienten einen Grad-3-Innenmeniskusriss.

*Tabelle 11. Spearman-Korrelationskoeffizienten des WORMS Meniskus-Score mit Risikofaktoren für eine degenerative Meniskopathie, getrennt nach Altersgruppen*

	<b>Altersgruppe 1</b>	<b>Altersgruppe 2</b>	<b>Altersgruppe 3</b>
	<b>15 – 40 Jahre</b>	<b>41 – 55 Jahre</b>	<b>56 – 80 Jahre</b>
<b>Alter</b>	0,76 <sup>###</sup>	n.s.	0,28 <sup>#</sup>
<b>BMI</b>	0,45 <sup>###</sup>	n.s.	n.s.
<b>Geschlecht</b> ♂	n.s.	0,47 <sup>###</sup>	n.s.
<b>Arbeit TB</b>			
TB meist	0,42 <sup>###</sup>	0,42 <sup>###</sup>	n.s.
TB min	n.s.	0,23 <sup>#</sup>	n.s.
TB max	0,40 <sup>###</sup>	0,50 <sup>###</sup>	0,26 <sup>#</sup>
TB Durchschnitt	0,46 <sup>###</sup>	0,44 <sup>###</sup>	n.s.
TB akkumuliert	0,76 <sup>###</sup>	0,43 <sup>###</sup>	0,26 <sup>#</sup>
Heben	0,46 <sup>###</sup>	0,26 <sup>#</sup>	0,28 <sup>#</sup>
Knien	0,24 <sup>*</sup>	0,50 <sup>###</sup>	n.s.
Hocken	0,26 <sup>#</sup>	0,44 <sup>###</sup>	n.s.
Sitzen	n.s.	-0,32 <sup>###</sup>	n.s.
<b>Freizeit TF</b>			
TF meist	n.s.	0,31 <sup>###</sup>	n.s.
TF min	n.s.	n.s.	n.s.
TF max	n.s.	0,39 <sup>###</sup>	n.s.
TF Durchschnitt	n.s.	0,35 <sup>###</sup>	n.s.
TF akkumuliert	0,70 <sup>###</sup>	0,39 <sup>###</sup>	n.s.
Leistungssport < 15. LJ	n.s.	0,34 <sup>###</sup>	n.s.

n.s. statistisch nicht signifikant  $p \geq 0,05$ ; \*  $p = 0,057$ ; #  $p < 0,05$ ; ##  $p < 0,01$ ; ###  $p < 0,001$

In der logistischen Regression mit einem Meniskus-WORMS  $\geq 3$  als cut-off für die abhängige Variable lassen sich neben dem Alter und dem BMI der maximale berufliche Tegner-Score, der durchschnittlich erreichte berufliche Tegner-Score und die Summenvariable der knienden oder dem Knien äquivalenten Tätigkeiten als signifikante positiv assoziierte Einflussfaktoren für eine degenerative Meniskusschädigung medial und lateral in das Regressionsmodell aufnehmen (alle  $p < 0,003$ ). Die Freizeitbelastung erwies sich nicht als signifikanter Faktor im Modell.

### Lebensweise und Gonarthrose

Die Variablen Familienstand und Bildung sowie die Ernährungsgewohnheiten mit Blick auf Gemüse-, Alkohol- und Kaffeekonsum waren nicht signifikant mit degenerativen Kniegelenkveränderungen assoziiert (partial correlation, Kontrollvariablen Alter und Geschlecht, alle  $p > 0,05$ ). Rauchen war für das Gesamtkollektiv signifikant negativ mit dem WORMS korreliert (partial correlation, Kontrollvariablen Alter und Geschlecht,  $r = -0,17$ ,  $p = 0,022$ ).

Hier ergab die weitere Analyse jedoch ein differenzierteres Bild. So fanden sich in der mittleren Altersgruppe von 41 bis 55 Jahren bei gleichem Geschlechteranteil unter Rauchern und Nichtrauchern ein signifikant niedrigerer WORMS (independent sample T test,  $p = 0,024$ ) und ein signifikant niedrigerer Kellgren-Score (Mann-Whitney test, exakter Test,  $p = 0,033$ ) bei Patienten mit 6 oder mehr „pack years“ ( $n=24$ ), verglichen mit Nichtrauchern und (Ex-) Rauchern mit weniger als 6 „pack years“ ( $n=57$ ). Der Vergleich von Rauchern ( $n=36$ ) und Nichtrauchern ( $n=45$ ) ergab einen grenzwertig niedrigeren WORMS (independent sample T test,  $p = 0,077$ ) und einen signifikant niedrigeren Kellgren-Score bei (Ex-) Rauchern (Mann-Whitney test, exakter Test,  $p = 0,033$ ). Der Unterschied war jeweils im lateralen und retropatellaren Kompartiment besonders deutlich. Eine Analyse der WORMS- Kategorien zeigt insbesondere einen signifikant niedrigeren Osteophyten-Score im lateralen Kompartiment ( $p = 0,004$ ) bei entsprechend niedrigerem Osteophyten-Score für das gesamte Gelenk bei Rauchern mit mehr als 6 „pack years“ ( $p = 0,023$ ). Diese wiesen auch eine tendenziell geringere Ausprägung von intraartikulären Ergussbildungen auf ( $p = 0,076$ ). Kein Unterschied bestand bei den degenerativen Meniskusläsionen. Gruppenunterschiede zwischen Rauchern und Nichtrauchern hinsichtlich der beruflichen und außerberuflichen Kniebelastung, der hockenden und knienden Tätigkeiten sowie der anderen

untersuchten Faktoren (BMI, Familienstand, Bildung, Ernährungsweise, Alkoholkonsum, Schmerzmedikation, Radfahren, KOOS, SF-12) waren statistisch nicht signifikant.

Ein völlig anderes Bild fand sich bei den Patienten bis 40 Jahre. Hier waren die Raucher mit mindestens 6 „pack years“ (n=10) im Vergleich zu den anderen Patienten dieser Altersgruppe (n=52) signifikant älter (p = 0,001) und häufiger verheiratet oder geschieden (p = 0,041), tranken tendenziell mehr Alkohol (p = 0,091) und erreichten tendenziell höhere Punktwerte im KOOS (p = 0,068) und im SF-12 (KSK p = 0,049, PSK p = 0,065). Außerdem verrichteten sie mehr kniende oder dem Knien äquivalente Tätigkeiten (p = 0,002) und erreichten einen höheren beruflichen Tegner-Score (p = 0,001) bei vergleichbarer Freizeitbelastung. Dabei waren als Zeichen vermehrter arthrotischer Veränderungen bei Rauchern der WOMBS für das Gesamtgelenk (p = 0,002) wie auch für das mediale (p = 0,002) und das laterale (p = 0,003) Kompartiment und insbesondere die Punktwerte für den medialen (p= 0,001) und den lateralen (p < 0,001) Meniskus signifikant erhöht. Der Osteophyten-Score war bei Rauchern im lateralen Kompartiment (p = 0,011) und für das Kniegelenk insgesamt (p = 0,028) erhöht.

Für die Patienten über 55 Jahre ergaben sich für das Rauchen und die anderen untersuchten Variablen keine signifikanten Assoziationen zur Gonarthrose. Lediglich Bakerzysten waren bei Rauchern mit mehr als 6 „pack years“ (n = 7) häufiger als bei den übrigen Patienten (n = 48) (p=0,048).

#### Kompartimentbezogene Analyse arthrotischer Läsionen bei kniender Tätigkeit und bei Übergewicht

Verglichen wurden hierfür die Daten von 14 normalgewichtigen Patienten mit beruflicher Tätigkeit im Knien, Hocken und/oder auf Leitern (Gruppe 1, BMI min 20,7 ... max 24,8) und 25 übergewichtigen Patienten ohne besondere berufliche oder außerberufliche Kniebelastung (Gruppe 2, BMI min 27,0 ... max 39,6) mit einer Arthrose von mindestens Grad 2 in einem Kompartiment oder mindestens Grad 1 in allen drei Kompartimenten. Es bestanden keine Gruppenunterschiede bezüglich des durchschnittlichen Alters (53,8 Jahre vs. 53,1 Jahre, p = 0,835) und des mittleren Arthrosegrades nach Kellgren, sowohl in den einzelnen Kompartimenten als auch für den Summenscore des Gesamtgelenks (Summenscore 3,92 vs. 4,04, Mann-Whitney

Test alle  $p > 0,522$ ). In der Gruppe der Übergewichtigen ergab sich nur für einen Patienten ein Summen-Score der Kategorien „Knien“, „Hocken“ und „Leitern“ von 2, bei allen anderen bestand keine derartige Kniebelastung. Dagegen ergab sich in der Gruppe der Normalgewichtigen für den Summen-Score ein Median von 19, in dieser Gruppe waren gleichzeitig der Tegner-Score für Beruf und Freizeit signifikant höher (Mann-Whitney Test, TB\_avg  $3,6 \pm 1,2$  vs.  $2,3 \pm 0,90$ ,  $p = 0,001$ ; TF\_avg  $3,2 \pm 1,4$  vs.  $2,0 \pm 0,4$ ,  $p = 0,005$ ).

Der Vergleich zwischen den Subkategorien des WOMBS für die einzelnen Teilkompartimente ergab keinen signifikanten Gruppenunterschied für den retropatellaren Knorpel-Score, das subchondrale Ödem, die subchondrale Sklerose und die Geröllzysten, bezogen auf die Teilkompartimente wie auch für den WOMBS-Gesamtscore. Ein signifikant niedrigerer mittlerer Osteophytenscore war in Gruppe 1 am lateralen Tibiaplateau ventral ( $0,86$  vs.  $1,28$ , Mann-Whitney Test  $p = 0,016$ ), im mittleren ( $1,21$  vs.  $1,64$ ,  $p = 0,047$ ) und im dorsalen Abschnitt ( $1,07$  vs.  $1,60$   $p = 0,013$ ). Der Osteophyten-Score für das laterale Kompartiment war in Gruppe 1 tendenziell niedriger ( $6,71$  vs.  $8,36$ ,  $p = 0,078$ ), obwohl sich femurseitig keine signifikanten Unterschiede in der Ausprägung der Osteophyten aufzeigen ließen (alle  $p > 0,178$ ). Degenerative Veränderungen im Außenmeniskusvorderhorn waren in Gruppe 1 tendenziell weniger ausgeprägt ( $p = 0,064$ ). Insgesamt war bei gleichem Gonarthrosegrad nach Kellgren der WOMBS bei schlanken Patienten mit Kniebelastung im Durchschnitt in allen Kompartimenten um 10 – 15% und als Gesamtscore um 20% niedriger als in der übergewichtigen Vergleichsgruppe, ohne dass dieser Unterschied statistisch signifikant war (Mann-Whitney Test  $p = 0,260$ ).

#### Detailanalyse der Gelenkoberflächen in norm- und übergewichtigen Patienten mit und ohne berufliche Kniegelenkbelastung

Analysiert wurden die Daten von 114 Patienten im Alter von 21 bis 54 Jahren, unterteilt in folgende 4 Gruppen: Gruppe 1, 47 Patienten mit einem BMI  $< 26$  und ohne kniende oder äquivalente berufliche Tätigkeit (KHL = 0); Gruppe 2, 19 Patienten mit einem BMI  $< 26$  und beruflicher Kniegelenkbelastung (KHL  $> 9$ ); Gruppe 3, 37 Patienten mit einem BMI  $\geq 26$  ohne berufliche Tätigkeit im Knien (KHL = 0); Gruppe 4, 13 Patienten mit einem BMI  $\geq 26$  mit kniender Tätigkeit (KHL  $> 9$ ).



Für den Altersdurchschnitt bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen (ANOVA,  $p = 0,160$ ) (Tabelle 12). Aufgrund der Selektionskriterien waren der BMI in den Gruppen 3 und 4 und die Variablen der Kniebelastung in den Gruppen 2 und 4 signifikant höher als in den Kontrollgruppen (Kruskal-Wallis-Test,  $p < 0,001$ ). Das Ausmaß der degenerativen Gelenkveränderungen, sowohl nach den Kellgren-Kriterien als auch nach dem WORMS bestimmt, und die degenerativen Meniskusläsionen zeigen eine stetige Zunahme in den Teilkompartimenten und im Gesamtgelenk in den Gruppen 1 bis 4, es besteht ein signifikanter Unterschied

*Tabelle 12. Analyse der degenerativen Gelenk- und Meniskusläsionen von 114 Patienten nach Teilkompartimenten unter Berücksichtigung von beruflicher Kniebelastung und Körpergewicht*

	<b>Gruppe 1</b> normgewichtig ohne Kniebelastung n = 47	<b>Gruppe 2</b> normgewichtig mit Kniebelastung n = 19	<b>Gruppe 3</b> übergewichtig ohne Kniebelastung n = 35	<b>Gruppe 4</b> übergewichtig mit Kniebelastung n = 13
Alter (Jahre)	40 ± 10	44 ± 8	44 ± 7	43 ± 9
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	22,8 ± 2,2	24,1 ± 1,4	29,0 ± 2,5	28,7 ± 2,5
TB_max	2,6 ± 1,1	5,2 ± 1,0	3,1 ± 1,0	5,0 ± 0,8
TB_avg	2,1 ± 0,9	4,2 ± 1,1	2,6 ± 1,0	4,2 ± 0,7
KHL	0	31 ± 21	0	35 ± 15
Arthrose ≥ Grad 2				
MFTJ, n (%)	3 (6%)	4 (21%)	10 (29%)	7 (54%)
LFTJ, n (%)	1 (2%)	0 (0%)	1 (3%)	1 (8%)
RPJ, n (%)	0 (0%)	2 (11%)	5 (14%)	1 (8%)
WORMS				
MFTJ	7,3 ± 5,2	10,5 ± 6,1	11,4 ± 5,9	15,0 ± 9,4
LFTJ	4,0 ± 4,4	5,9 ± 3,9	7,0 ± 4,4	8,9 ± 5,2
RPJ	3,0 ± 4,3	5,6 ± 5,9	8,7 ± 9,1	8,2 ± 6,7
Innenmeniskus	2,3 ± 1,3	3,0 ± 1,3	2,9 ± 1,0	3,6 ± 1,4
Außenmeniskus	1,0 ± 1,1	1,6 ± 1,2	1,6 ± 1,1	2,5 ± 1,1
Gesamt	15,9 ± 14,1	25,0 ± 15,5	29,7 ± 18,3	35,0 ± 21,8

zwischen den Gruppen (Kruskal-Wallis-Test, alle  $p < 0,002$ ). Durch die Analyse der Gelenkkompartimente ergeben sich bis zu diesem Schritt außer einem additiven Effekt von kniebelastender Tätigkeit und Übergewicht keine Hinweise auf ein typisches Degenerationsmuster.

Im Vergleich der 14 einzelnen Gelenkoberflächen waren bis auf das dorsale laterale Tibiaplateau in allen Lokalisationen mit dem Kruskal-Wallis-Test signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen mit höheren Punktwerten in den Gruppen 3 und 4 nachweisbar (Tabelle 13). Die Differenz der Punktwerte an den korrespondierenden medialen und lateralen Gelenkflächen ergibt für die retropatellare Gelenkfläche (MP minus LP) einen signifikant höheren Punktwert im Sinne einer medial betonten Degeneration in den Gruppen mit beruflicher Kniegelenkbelastung ( $p = 0,004$ ). Tendenziell war im retropatellaren Gleitlager (MFa – LFa) der gleiche Unterschied nachweisbar ( $p = 0,066$ ). Für einen Index des gesamten Retropatellargelenks ((MP + MFa) – (LP + LFa)) war der Unterschied wiederum signifikant ( $p = 0,002$ ). An der mittleren Tibiakonsole zeigte sich bei signifikant steigendem absolutem WORMS eine relative überproportionale Zunahme der Punktwerte in den Gruppen 1 bis 4. Damit war die Differenz von medialen und lateralem Punktwert retropatellar der einzige Parameter, der einen signifikanten Unterschied zwischen den Patienten mit und ohne Kniegelenkbelastung unabhängig vom BMI erlaubte (Abbildungen 11, 12). Diese signifikanten Unterschiede wurden noch einmal mittels ANOVA mit einem vordefinierten Gruppenkontrast überprüft. Für die retropatellare Differenz waren nur die Kontraste -3/1/1/1 und -1/1/-1/1 signifikant und bestätigten damit die gegenüber den anderen Gruppen signifikant erniedrigte Differenz MP – LP in Gruppe 1 ( $p = 0,014$ ) sowie der Gruppen 1 und 3 im Vergleich zu den Gruppen 2 und 4 ( $p = 0,001$ ). ANOVA zeigte ein gleiches signifikantes Kontrastmuster auch für das femorale Gleitlager MFa – LFa ( $p = 0,023$  für Kontrast -3/1/1/1 und  $p = 0,038$  für Kontrast -1/1/-1/1). Die Differenz MP – LP erreicht bei geringer Sensitivität für die analysierten 114 Patienten eine Spezifität von 85,4% für das Vorliegen einer beruflichen Kniegelenkbelastung bei MP – LP > 0 und einen negativen Vorhersagewert von 79,5%. Für das Gesamtkollektiv von  $n = 216$  Patienten lag die Spezifität bei 77,5% und der negative Vorhersagewert (entsprechend dem Ausschluss einer beruflichen Kniebelastung von KHL > 9) von 80,0%. Insgesamt 69% der Patienten konnten auf der Grundlage dieses Kriteriums korrekt klassifiziert werden (Tabelle 14).

*Tabelle 13. Analyse des WOMBS nach Gelenkflächenabschnitten sowie der Punktwertdifferenzen der korrespondierenden medialen und lateralen Gelenkflächen*

	<b>Gruppe 1</b>	<b>Gruppe 2</b>	<b>Gruppe 3</b>	<b>Gruppe 4</b>	<b>ANOVA</b>	<b>ANOVA</b>
	normgewichtig ohne Kniebelastung n = 47	normgewichtig mit Kniebelastung n = 19	übergewichtig ohne Kniebelastung n = 35	übergewichtig mit Kniebelastung n = 13	a priori -1/-1/1/1 p	a priori -1/1/-1/1 p
MP	0,9 ± 1,3	2,4 ± 2,9	2,7 ± 2,7	3,1 ± 2,4	0,009	0,052
LP	0,9 ± 1,2	1,3 ± 1,2	2,7 ± 3,4	2,2 ± 1,9	0,004	0,872
MFa	0,8 ± 1,4	1,4 ± 1,7	1,9 ± 1,8	2,0 ± 1,9	0,014	0,292
MFc	0,9 ± 1,2	1,7 ± 1,5	1,7 ± 1,3	1,9 ± 1,5	0,095	0,099
MFp	1,1 ± 1,3	1,5 ± 1,1	1,6 ± 1,2	1,9 ± 1,7	0,106	0,145
LFa	0,4 ± 0,7	0,5 ± 0,6	1,3 ± 1,9	0,9 ± 1,1	0,013	0,576
LFc	0,6 ± 1,0	1,2 ± 0,8	1,2 ± 1,2	1,7 ± 1,0	0,017	0,015
LFp	0,7 ± 1,0	1,2 ± 1,0	1,4 ± 1,2	1,8 ± 1,2	0,010	0,073
MTa	1,0 ± 1,0	1,4 ± 1,3	1,8 ± 1,6	2,9 ± 2,2	<0,001	0,023
MTc	1,5 ± 0,9	2,2 ± 1,6	2,3 ± 1,2	3,2 ± 2,0	0,001	0,004
MTp	0,6 ± 0,8	0,7 ± 0,9	1,1 ± 1,1	1,6 ± 1,5	0,001	0,100
LTa	0,3 ± 0,5	0,3 ± 0,5	0,6 ± 0,6	0,9 ± 1,1	0,002	0,391
LTc	0,5 ± 0,7	0,5 ± 0,6	0,9 ± 0,8	0,9 ± 1,0	0,005	0,911
LTp	0,9 ± 1,0	1,1 ± 0,9	1,3 ± 1,0	1,1 ± 0,9	0,340	0,950
MP-LP	-0,04 ± 0,7	1,1 ± 2,0	-0,04 ± 1,6	0,9 ± 1,4	0,772	0,001
MFa-LFa	0,4 ± 0,8	0,9 ± 1,4	0,6 ± 1,4	1,1 ± 1,0	0,447	0,038
MFc-LFc	0,3 ± 0,8	0,5 ± 1,3	0,5 ± 0,8	0,2 ± 0,9	0,736	0,671
MFp-LFp	0,3 ± 0,8	0,3 ± 0,7	0,2 ± 0,7	0,2 ± 1,1	0,327	0,900
MTa-LTa	0,7 ± 0,7	1,1 ± 1,2	1,2 ± 1,3	2,0 ± 1,5	0,002	0,013
MTc-LTc	1,0 ± 0,7	1,7 ± 1,2	1,4 ± 1,1	2,2 ± 1,3	0,033	< 0,001
MTp-LTp	-0,3 ± 0,8	-0,4 ± 1,1	-0,2 ± 0,9	0,5 ± 1,1	0,014	0,075

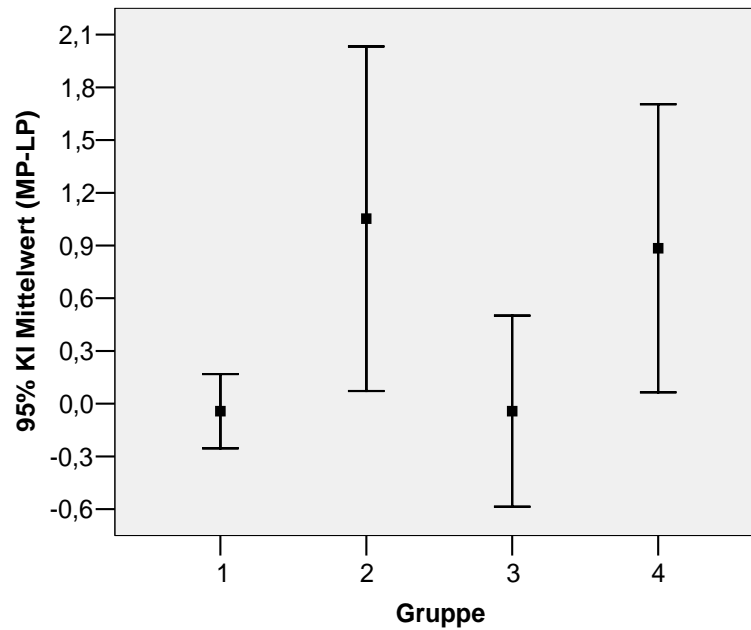


Abbildung 11. Mittlere Differenz der WORMS-Punktwerte an der medialen und der lateralen Patellafacette (MP – LP) in den Gruppen 1 bis 4, dargestellt als Mittelwert mit 95%-Konfidenzintervall des arithmetischen Mittels

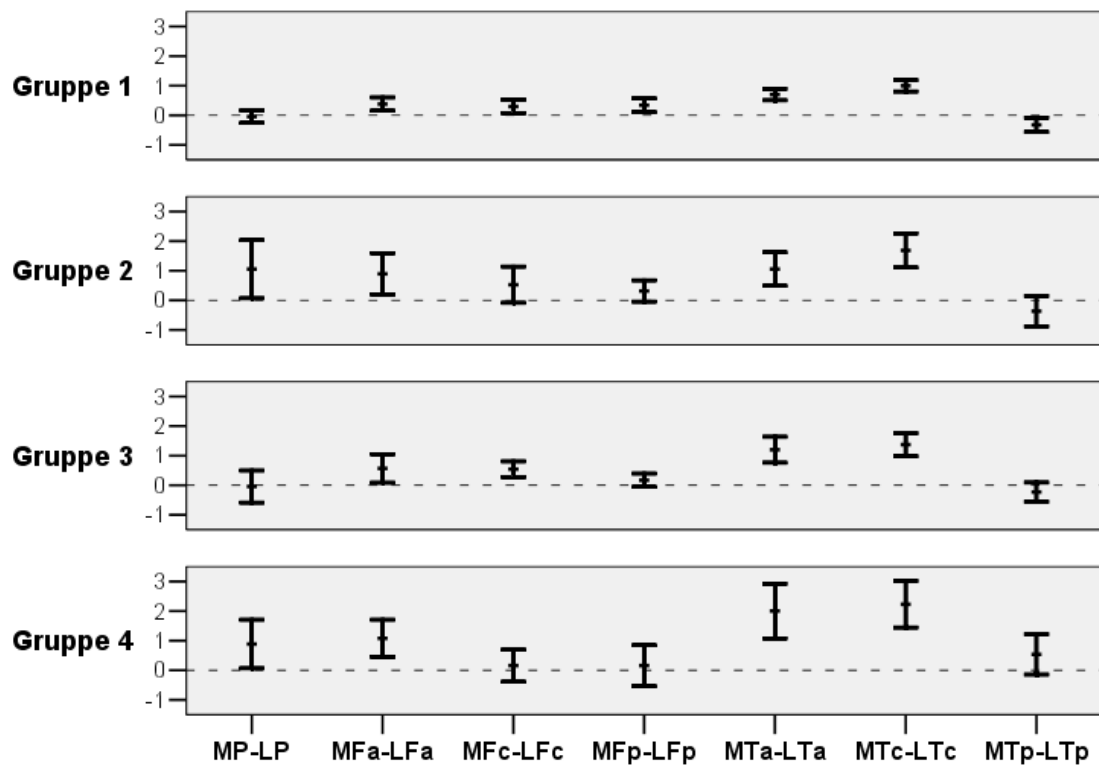


Abbildung 12. Mittlere WORMS-Punktwertdifferenzen der korrespondierenden medialen und lateralen Gelenkflächen in den Gruppen 1 bis 4, dargestellt als Mittelwert mit 95%-Konfidenzintervall des arithmetischen Mittels

*Tabelle 14. Sensitivität, Spezifität, Vorhersagewerte (positiv predictive value PPV, negative predictive value NPV) und korrekte Fallklassifikation auf der Grundlage des retropatellaren WORMS bei Patienten mit und ohne Kniegelenkbelastung  $KHL > 9$  im analysierten Datensatz ( $n = 114$ ) und übertragen auf das Gesamtstudienkollektiv ( $n = 216$ )*

	KHL = 0	KHL > 9	n		KHL ≤ 9	KHL > 9	n
MP – LP ≤ 0	70	18	88		124	31	155
MP – LP > 0	12	14	26		36	25	61
n	82	32	114		160	56	216
Sensitivität	43,8%				44,6%		
Spezifität	85,4%				77,5%		
PPV	53,8%				41,0%		
NPV	79,5%				80,0%		
Klassifikation	73,7%				69,0%		

## 6. Diskussion

Degenerative Kniegelenkschäden können als Folge beruflicher Fehl- und Überlastungen auftreten, ein Zusammenhang, der seit einem halben Jahrhundert wissenschaftlich untersucht wird. Dabei unterscheiden sich die pathophysiologischen Mechanismen nicht grundlegend von Gonarthrosen anderer Ätiologie. Neben einem generell erhöhten Gonarthroserisiko für Personen in Berufen mit schwerer körperlicher Arbeit (Lindberg et al. 1987) stehen Tätigkeiten mit länger andauernder starker Flexion im Knien und Hocken im Mittelpunkt der Untersuchungen zur berufsbedingten Gonarthrose. Aufgrund der besonderen biomechanischen Belastungssituation im Knien und Hocken (Brinkmann et al. 2000) soll es zu einer besonderen Druckeinwirkung auf die posterioren Abschnitte der Femurkondylen durch die in dieser Gelenkstellung minimale Auflagefläche und eine kombinierte Roll-Gleitbewegung der Kondylen über das Tibiaplateau kommen. Zudem erfährt das Retropatellargelenk beim Stellungswechsel vom Stehen zum Hocken oder Knien durch den auftretenden Muskelzug besondere Belastungen. Ein typisches, belastungskonformes Schadensbild, theoretisch plausibel durch die besondere biomechanische Belastungssituation, ist für berufsbedingte Gonarthrosen in der wissenschaftlichen Literatur bisher jedoch nicht dokumentiert (Hartmann et al. 2007). Eine auf epidemiologischen Daten basierende Assoziation von Beruf und Gonarthrose erscheint gesichert, führt jedoch im Zuge der Diskussion um die Aufnahme der Gonarthrose in den Katalog der Berufskrankheiten zu erheblichen Schwierigkeiten. Während Arthrosen als Folge traumatischer Gelenkläsionen, anlagebedingter Fehlstellungen oder entzündlicher Systemerkrankungen noch relativ einfach anamnestisch oder röntgenmorphologisch abzugrenzen sind, bleibt das Zusammenspiel genetischer, metabolischer und belastungsabhängiger Faktoren im Einzelfall unübersichtlich. Angesichts dieser Konstellation erscheint es fragwürdig, ob eine Entscheidung für oder gegen eine berufsbedingte Gonarthrose in der Gutachtensituation mit ihren weitreichenden rechtlichen, finanziellen und menschlichen Konsequenzen ohne belastungskonformes Schadensbild überhaupt wissenschaftlich begründet getroffen werden kann.

Die vorgelegte Studie untersucht die angesprochenen Zusammenhänge erstmalig in dieser Form mittels MR-tomographischer Bildgebung und einer detaillierten

beruflichen Anamnese in einem relativ großen Patientenkollektiv. Die einzige Vorselektion der untersuchten Personen ergab sich durch die notwendige klinische Beschwerdesymptomatik als Überweisungsgrund zur MR-Untersuchung. Die rigiden Ausschlusskriterien im Rahmen der Studie eliminieren weitgehend den Einfluss posttraumatischer, durch Fehlstellung oder durch systemische Erkrankungen bedingter Gelenkschäden.

Durch die Anwendung eines auf die Gelenkpathologie als Ganzes abzielenden Evaluierungssystems, des WORMS (Peterfy et al. 2004), wurde eine weit differenziertere Erfassung des Gelenkstatus möglich als in konventionell-röntgenologischen Untersuchungen. Das verwendete MR-Untersuchungsprotokoll unseres 1 Tesla MR-Scanners ist für die Routineuntersuchung von orthopädisch-unfallchirurgischen Fragestellungen optimiert und bildet die ossären, kartilaginären und ligamentären Strukturen des Kniegelenks innerhalb einer vertretbaren Messzeit in guter Bildqualität ab. Die im MRT-Untersuchungsprotokoll verwendete T<sub>2</sub> MEDIC - Sequenz ist für die muskuloskeletale Bildgebung optimiert und eignet sich gut zur Knorpelbildgebung (Schmid et al. 2005). Aufgrund der eingeschränkten räumlichen Auflösung und der 4 mm Schichtdicke des 1-Tesla MR-Scanners innerhalb der beschränkten möglichen Untersuchungszeit (< 20 min) war ein subtiles 8-stufiges „Knorpelgrading“, wie im ursprünglichen WORMS vorgesehen (bei einer Untersuchungszeit von 60 Minuten, vgl. Peterfy et al. 2004), nicht möglich. Dies erfordert Knorpelsequenzen in Dünnschichttechnik, wie sie mit den verfügbaren technischen Möglichkeiten im Routinebetrieb nicht zu erbringen sind. Auch in anderen MR-Studien ergab sich diesbezüglich die Notwendigkeit zu Anpassungen (Amin et al. 2008). Daher modifizierten wir den WORMS entsprechend der Erfordernisse unserer Untersuchung. Auf eine routinemäßige i.v. Kontrastmittelgabe wurde verzichtet. Zusätzlich zur relativ zeitaufwendigen semiquantitativen Auswertung nach WORMS beurteilten wir die MR-Untersuchungen in Anlehnung an die aus der konventionellen Diagnostik bekannten Kriterien nach Kellgren und Lawrence. Beide Verfahren zeigten eine gute Übereinstimmung, wobei in der weiteren Auswertung je nach Fragestellung die Kellgren-Stadien als klare abgegrenzte übersichtliche Kategorien oder aber die differenzierteren Subkategorien des WORMS, z. B. zur Suche nach typischen Belastungsfolgen, zur Anwendung kamen.

Für die Quantifizierung der Kniegelenkbelastung in unterschiedlichen Körperhaltungen existieren bisher keine objektiven Messdaten. Dabei erscheint es

jedoch plausibel, dass eine retrospektiv-anamnestische Erhebung der Gelenkbelastung sowohl kummulativ die Gesamtdosis (in Anlehnung an die „pack years“ der Raucher) als auch Belastungsspitzen und die zeitliche Verteilung der Belastung erfassen sollte. Mit unserer Modifikation des Tegner-Scores für Beruf und Freizeit (nach Spahn et al. 2007b) sowie der Berechnung der verschiedenen Parameter, wie der minimalen, maximalen, durchschnittlichen und der akkumulierten Belastung sowie der Erfassung der kritischen Tätigkeiten „Knien“, „Hocken“ und „Leitern steigen“ (Variable KHL) als kniende oder dem Knien äquivalente Bewegungspositionen, war es unser Anliegen, im Rahmen der Möglichkeiten unserer Studie die Belastungssituation retrospektiv möglichst individuell und umfassend abzubilden. Dabei fanden wir uns in einer ähnlichen Situation wieder, in der auch ein Gutachter lediglich retrospektiv Informationen über das bisherige Berufsleben eines Patienten erhalten kann. Es ist nicht verwunderlich und leicht nachvollziehbar, dass es für viele, vor allem für die älteren Patienten in unserer Studie, nicht leicht war, sich an Tätigkeiten zu erinnern, die teilweise 40 oder mehr Jahre zurücklagen. Das war ein Grund für uns, die Erfassung der kniegelenkbelastenden Tätigkeiten auf die Frage nach „ $\geq$  1 Stunde pro Tag“, d.h. regelmäßigen täglichen Arbeiten zum Beispiel im Knien, über den jeweiligen Tätigkeitszeitraum zu beschränken. Eine Fragestellung nach der Zahl der Stunden pro Tag zur Errechnung einer absoluten Gesamtstundenzahl im Sinne der 13.000 Stunden in der Wissenschaftlichen Begründung für eine BK Gonarthrose des Ärztlichen Sachverständigenbeirats hätte nach unserer Ansicht und Erfahrung im Rahmen unserer Studie zu einer Pseudogenauigkeit geführt.

Ein wichtiges Ergebnis für uns ist, dass die Erfassung der kniebelastenden Tätigkeiten individuell und detailliert erfolgen sollte, da wir häufig auf Berufe trafen, die sowohl eine geringe als auch eine sehr hohe Kniegelenkbelastung beinhalteten. Als Beispiel sei an dieser Stelle die Gebäudereinigung genannt, wo Mitarbeiter zum Teil ausschließlich als Gerätebediener sitzend auf Reinigungsmaschinen über die Krankenhausflure fahren, als Putzfrauen kniend und hockend stundenlang unter Tischen und hinter Möbelstücken von Hand reinigen oder im Sinne einer gemischten Tätigkeit vorwiegend im Stehen ohne besondere Kniebelastung arbeiten. Eine Erfassung der Arbeitsbelastung lediglich nach Berufen oder „trades“ hat wohl nur in großen epidemiologischen Studien eine Berechtigung. Es gibt für uns keinen Grund, daran zu zweifeln, dass unsere Patienten ihre Angaben zur Arbeitsbelastung „nach



bestem Wissen und Gewissen“ gemacht haben, da in unserer Befragung - anders als in einer Gutachtensituation - für sie kein Anlass zur Über- oder Unterschätzung bestand. Die Auswertung der MR-Untersuchungen ergab überwiegend keine oder nur gering ausgeprägte Gonarthrosezeichen bei unseren Patienten, das Studienkollektiv war daher für die Untersuchung von initialen degenerativen Schädigungsmustern am Kniegelenk geeignet. Es bestätigen sich zunächst die bekannten Assoziationen mit den Risikofaktoren Alter, weiblichem Geschlecht und Adipositas. Das beobachtete Auftreten von manifesten Gonarthrosen in Abwesenheit von weiteren Risiko- und Belastungsfaktoren bei Frauen frühestens ab dem 50. und bei Männern ab dem 60. Lebensjahr deckt sich mit Erfahrungen aus dem klinischen Alltag. Unsere Ergebnisse zeigen einen Summationseffekt der Belastungsfaktoren mit früherer Arthroseausbildung bei übergewichtigen Patienten und mit zweit- und drittgradigen Arthrosen bei übergewichtigen Patienten mit beruflicher Kniebelastung schon ab dem 40. Lebensjahr. Körperliche Schwerstarbeit mit zusätzlicher Kniebelastung kam fast ausschließlich bei Männern vor. Nur 11% und 3% der Frauen in unserer Studie erreichten einen maximalen Tegner-Score von 4 bzw. 5, fast 90% der Frauen gab keine Arbeit im Hocken oder Knien von mehr als 1 Stunde pro Tag an. Die Kniebelastung bei den verbleibenden 10% ergab sich ganz überwiegend aus Tätigkeiten in der Gebäudereinigung. Die Kniebelastung für ganztägige Arbeiten im Haushalt, z.B. als Hausfrau oder in Verbindung mit dem Erziehungsurlaub zur Kinderbetreuung, wurden als Tegner-Kategorie 3 kodiert, entsprechend einem Schweregrad der Kniebelastung wie in der Altenpflege, als Montagearbeiter im Stehen oder einer Verkäuferin im Einzelhandel.

Unsere Ergebnisse liefern einige interessante neue Aspekte bezüglich der Frage nach einem belastungskonformen Schadensbild für die berufsbedingte Gonarthrose. Hervorzuheben ist die Rolle der Arbeit im Knien und oder dem Knien vergleichbarer Tätigkeiten (die Kategorien „Knien“, „Hocken“ und Arbeit auf Leitern, Variable KHL in unserer Studie) als signifikante Prädiktorvariable im Regressionsmodell. Dies unterstreicht die Bedeutung dieser Belastungsmuster im Rahmen der Pathogenese. Der Tegner-Score als eher allgemeiner Gradmesser der Schwere der Kniebelastung war zwar gleichfalls prädiktiv in der Regression, jedoch weniger stark als die speziell erfassten Kategorien der Kniebelastung. Gleiches gilt für die außerberuflichen Belastungsformen. Der Fokus der Wissenschaftlichen Begründung des Ärztlichen

Sachverständigenbeirats auf die knienden oder dem Knien äquivalenten Tätigkeiten ist damit durchaus begründet. Der detaillierten Erfassung, Verifizierung und Quantifizierung dieser Tätigkeitsmuster wird im Rahmen eines zukünftigen Berufskrankheitenverfahrens zur Gonarthrose besondere Bedeutung zukommen.

Die meniskale Degeneration war in unserer Studie eng mit dem Tegner-Score und der Adipositas korreliert. Mukoide Meniskusdegeneration ohne Rissbildung im Sinne einer Grad 2 – Läsion war ein häufiger Befund bereits bei den 30- bis 40- Jährigen. Dabei ist zu bedenken, dass ein großer Anteil des ursprünglichen Patientenkollektivs aufgrund einer früheren traumatischen oder degenerativen Meniskusläsion mit arthroskopischer oder operativer Teilresektion unter die Ausschlusskriterien dieser Studie fiel. Innerhalb dieser Gruppe war der Anteil an Patienten mit beruflicher Kniebelastung und kniebelastenden Freizeitaktivitäten, insbesondere an Vereinsfußballern, besonders hoch. Unsere Ergebnisse zur meniskalen Degeneration sind hier annehmbar durch die Ausschlusskriterien der Studie beeinflusst.

Erstmalig ergeben sich durch die Analyse von Patientenuntergruppen in unserer Studie Hinweise auf mögliche unterschiedliche morphologische Schadensbilder der Gonarthrose aufgrund von unterschiedlichen Schädigungsfaktoren. In der Gegenüberstellung von normgewichtigen Patienten mit knienden Tätigkeiten und übergewichtigen, z.T. schwer adipösen Patienten zeigt sich bei gleichem Alter, gleichem Geschlechteranteil und gleichem Arthrosegrad eine signifikant höhergradige Ausprägung der osteophytären Randkantenausziehungen am lateralen Tibiaplateau bei Patienten mit Übergewicht und eine tendenziell höhere Ausprägung der degenerativen Läsionen im Außenmeniskusvorderhorn. Als wichtiges Einzelkriterium von relativ hoher Spezifität bei geringer Sensitivität konnte der erhöhte WORMS an der medialen im Vergleich zur lateralen Patellafacetten identifiziert werden. Der verwendete Grenzwert zur Gruppeneinteilung mit einem KHL von  $> 9$  entspricht 3 Jahren intensiver Kniegelenkbelastung mit Knien, Hocken und Arbeiten auf Leitern oder aber einer vergleichbaren, auf einen längeren Zeitraum verteilten Dosis.

Aufgrund der komplexen Belastungssituation der Kniegelenke in Beruf und Freizeit sowie der multifaktoriellen Genese und der hohen Prävalenz der Gonarthrose in der älteren Normalbevölkerung erscheint es unwahrscheinlich, im Einzelfall die beobachteten degenerativen Veränderungen sicher anhand eines belastungsspezifischen Schadensbildes auf der Grundlage weniger Einzelkriterien den

berufsbedingten Gonarthrosen oder einer Gelenkschädigung anderer Ätiologie zuordnen zu können. Insbesondere eine zweite „Volkskrankheit“, die Adipositas, fördert den Gelenkverschleiß und überlagert ein mögliches typisches Schädigungsmuster. Trotzdem wird es vielleicht in Zukunft möglich sein, bei Patienten mit entsprechender beruflicher Exposition und einer frühzeitig auftretenden Gelenkschädigung mithilfe der MRT Befunde zu erheben, die der gutachterlichen Entscheidung für oder gegen das Vorliegen einer berufsbedingten Gonarthrose anhand eines Schädigungsmusters eine objektive Grundlage bieten.

Von besonderer Bedeutung erscheinen - unabhängig von der Existenz eines typischen Schadensbildes - präventive Überlegungen, die betroffenen Patienten mittels knieschonender Hilfsmittel oder durch den Einsatz in verschiedenen Tätigkeitsbereichen und Arbeitspositionen zu entlasten. Mögliche präventive Ansätze ergeben sich auch bei der Beratung zur Berufswahl oder gegebenenfalls zur Umschulung bei Personen mit besonderer Kniegelenkbelastung im Beruf bei gleichzeitig bestehenden zusätzlichen Risikofaktoren. Anderenfalls drohen die in der vorliegenden Studie dokumentierten und zumindest teilweise vermeidbaren Folgen der Gonarthrose in Form einer Minderung der subjektiven Lebensqualität, von Schmerzen und chronischer Schmerzmedikation.

Einschränkungen bezüglich der Aussagekraft der Studie ergeben sich aus dem relativ geringen Anteil von Patienten mit schwerer beruflicher Kniegelenkbelastung, die kaum in den Bereich von 13.000 h im Knien oder äquivalenten Positionen reicht. Zudem wurden die eingeschränkten Möglichkeiten zur hochauflösenden Knorpelbildgebung im Routinebetrieb bereits erwähnt. Die Detektion und Zuordnung von initialen Knorpelläsionen zum individuellen Belastungsprofil ist sicher ein lohnender Ansatzpunkt für die weitere Forschung. Schwierigkeiten in der statistischen Auswertung ergaben sich aus dem Verteilungsmuster der Variablen, die deutlich „linkslastig“, d.h. hin zu niedrigen Arthrosegraden, verteilt waren, sodass überwiegend auf verteilungsunabhängige, non-parametrische statistische Verfahren zurückgegriffen werden musste. Die von den Regressionsmodellen geforderte Linearität zwischen der abhängigen Variable und den Prädiktorvariablen kann nicht ohne Weiteres als gegeben angenommen werden.

Die Fragebögen wurden aus Zeitmangel nicht von allen Patienten ausgefüllt. Daher waren die Daten zum ersten Teil des Fragebogens nur bei 198 und die Angaben zum

KOOS und SF-12 nur bei 197 Patienten verfügbar. Es ergaben sich keine Hinweis für einen systematischen Fehler. Da in unserer Studie der Fokus auf den Zusammenhang zwischen Gelenkbelastung und bildmorphologischem Befund gerichtet war, und nicht auf die Korrelation mit klinischen oder psychometrischen Variablen, entschieden wir uns dafür, auch die Patienten mit unvollständigen Fragebögen im Rahmen der Studie auszuwerten.

Unklar bleibt die signifikante negative Assoziation von Rauchen und arthrotischer Degeneration im mittleren Lebensalter, die auch in früheren Studien ohne Annahme einer Kausalität dokumentiert wurde (Felson et al. 1989, Cooper et al. 1998, Järvholm et al. 2005). Ein ähnlicher „protektiver Effekt“ konnte in der jüngeren Altersgruppe dieser Studie nicht nachgewiesen werden, hier war das Rauchen vor allem bei jungen Männern eher im Sinne einer „Hochrisikokonstellation“ mit schwerer körperlicher Arbeit, häufigem Alkoholkonsum und vermehrter Gelenkdegeneration assoziiert. Auffällig und aus medizinischer Sicht bedenklich ist der überproportional hohe Anteil an Raucherinnen bei den unter 40-jährigen Frauen.

Abschließend ist noch darauf zu verweisen, dass auch das andere Extrem der beruflichen Kniegelenkbelastung, nämlich die ausschließlich sitzende Tätigkeit, Beachtung und weitere wissenschaftliche Untersuchung verdient. Auf der Grundlage unserer Daten lässt sich zwar ein geringeres Gonarthrosrisiko von Büroarbeitern im Vergleich zu Patienten in schwer kniebelastenden Berufen nachweisen, eine Risikoreduktion im Vergleich zu Personen mit gemischten Tätigkeiten war jedoch nicht zu erkennen. Es wäre interessant zu untersuchen, wie sich die in der modernen Gesellschaft verbreitete zunehmende Entlastung der Kniegelenke durch vorwiegend oder ausschließlich sitzende Tätigkeiten verbunden mit Adipositas, dem metabolischen Syndrom und körperlicher Inaktivität auch nach Feierabend auf die Gonarthroseinzidenz und -prävalenz auswirkt. Anzunehmen ist, dass im Sinne von Paracelsus und im Einklang mit Erkenntnissen aus der rehabilitativen Medizin Belastung nicht nur Gift, sondern auch Heilmittel für den Gelenkknorpel ist und nicht nur Schäden verursacht, sondern in der richtigen Dosis Schäden vorbeugt und dem Erhalt und der Regeneration dient.

## 7. Schlussfolgerungen

Die MRT kann als Schnittbildverfahren ohne Anwendung ionisierender Strahlung am Patienten einen wichtigen Beitrag zur arbeitsmedizinischen Gonarthrosenforschung leisten. Die vorhandenen MR-Bewertungssysteme, wie WORMS und KOSS, erlauben die semiquantitative Beurteilung artikulärer und periartikulärer Strukturen. Der modifizierte WORMS korreliert in unserer Studie gut mit den klassischen Arthrosezeichen nach Kellgren und Lawrence, erlaubt aber über das kategorielle Arthrose-Grading hinaus eine weit differenziertere Analyse einzelner Gelenkflächenanteile.

Durch die MRT werden vor allem auch initiale Gonarthrostadien der arbeitsmedizinischen Analyse und gegebenenfalls der Verlaufskontrolle zugänglich. So ließen sich in unserem Untersuchungskollektiv mit einer geringen mittleren Gelenkbelastung überwiegend frühe arthrotische Läsionen mit der anamnestisch eruierten Belastungsdosis korrelieren. Dabei ergeben sich auf der Grundlage unserer Daten folgende Erkenntnisse:

1. MR-morphologisch definierte Gonarthrosen treten in Übereinstimmung mit der konventionellen Röntgendiagnostik im Mittel häufiger, zeitiger und in vermehrtem Ausmaß bei Frauen, bei vermehrter beruflicher Gelenkbelastung und bei übergewichtigen Personen auf.
2. Die Koinzidenz mehrerer Risikofaktoren kann zu einer deutlich additiv vermehrten und früher einsetzenden Gelenkdegeneration führen.
3. Die Gelenkschädigung bei berufsbedingter Kniegelenkbelastung und bei Übergewicht betrifft alle drei Kniegelenkkompartimente mit Betonung des retropatellaren und des medialen femorotibialen Kompartiments.
4. Mit Kniebelastung in Flexionsstellung verbundene Tätigkeiten (Knien, Hocken und Arbeiten auf Leitern) waren enger mit dem Auftreten einer manifesten Gonarthrose assoziiert als die allgemeinen Belastungskategorien nach dem modifizierten Tegner-Score und sollten daher in zukünftigen Studien auch besonders berücksichtigt werden.
5. Für die überwiegende Mehrzahl unserer Patienten bestand keine Kniegelenkbelastung in der Größenordnung der vorgeschlagenen 13.000 Stunden

kniender Tätigkeit. Mit der MRT lassen sich somit berufsassoziierte Gelenkläsionen bereits weit unterhalb dieses Schwellenwertes nachweisen.

6. Die medial betonte Retropatellararthrose ist statistisch vermehrt mit knienden Tätigkeiten assoziiert. Eine gleichmäßige und lateral betonte Verteilung der degenerativen Läsionen im Retropatellargelenk hat einen relativ hohen negativen Vorhersagewert für den Ausschluss einer relevanten beruflichen Gelenkbelastung im Sinne der Wissenschaftlichen Begründung zur BK Gonarthrose. Der beobachtete statistisch signifikante Unterschied der mittleren WORMS-Punktwerte an der medialen und lateralen Patellafacette ist gering (mit Mittel ca. 1 Punktwert) und kann damit zunächst nicht als (blick)diagnostisches Kriterium dienen. Die beobachtete Differenz kann jedoch als Hinweis auf ein mögliches belastungskonformes Schadensbild der berufsbedingten Gonarthrose gewertet werden. Alle übrigen Gelenkflächenanteile zeigten weitgehende Überschneidungen zwischen berufs- und adipositas-assoziiierter Degeneration.
7. Obgleich nur bei wenigen weiblichen Patienten eine Tätigkeit im Knien eruierbar war und die überwiegende Mehrzahl der Frauen einer wenig kniebelastenden beruflichen Tätigkeit nachging, erreichten die weiblichen Patienten bei gleichem mittleren Alter und gleichem BMI mit nur 2/3 des akkumulierten Tegner-Scores einen vergleichbaren Grad an degenerativer Kniegelenkschädigung wie die männlichen Patienten. Frauen sind daher in kniebelastenden Berufen als besonders gefährdet für eine berufsassoziierte Gonarthrose anzusehen. In praxi betrifft dies wohl besonders Tätigkeiten in der Gebäudereinigung.
8. Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen Gonarthrose und degenerativen Meniskusschäden.
9. Die im Mittel geringe Ausprägung der Gonarthrose in unserem Patientenkollektiv ist mit signifikant vermehrten klinischen Beschwerden (gemessen mit dem KOOS) assoziiert. Gleichfalls besteht ein Zusammenhang zu einer Beeinträchtigung der subjektiven körperlichen und, in geringerem Ausmaß, der psychischen Gesundheit (gemessen mit dem SF-12).
10. Dedizierte Knorpelbildgebung als Bestandteil der aktuellen MRT-Scores stellt hohe Ansprüche an das MR-Untersuchungsprotokoll, wie sie im Routinebetrieb nicht ohne weiteres zu erbringen sind. Für aktuelle, und wohl auch zukünftige, Studien sind diesbezüglich Modifikationen der Scores notwendig und sinnvoll.

## 8. Literatur- und Quellenverzeichnis

Abadie E, Ethgen D, Avouac B, Bouvenot G, Branco J, Bruyere O, Calvo G, Devogelaer JP, Dreiser RL, Herrero-Beaumont G, Kahan A, Kreutz G, Laslop A, Lemmel EM, Nuki G, Van De Putte L, Vanhaelst L, Reginster JY; Group for the Respect of Excellence and Ethics in Science. Recommendations for the use of new methods to assess the efficacy of disease-modifying drugs in the treatment of osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2004; 12: 263 – 268.

Ahlbäck S. Osteoarthrosis of the knee: a radiographic investigation. *Acta Radiol Diagn (Stockh)*. 1968; (suppl 227): 7 – 72.

Altman R, Asch E, Bloch D, Bole G, Borenstein D, Brandt K, Christy W, Cooke TD, Greenwald R, Hochberg M. The American College of Rheumatology criteria for the classification and reporting of osteoarthritis of the knee. *Arthritis Rheum*. 1986; 29: 1039 – 1049.

Altman R, Brandt K, Hochberg M, Moskowitz R. Design and conduct of clinical trials of patients with osteoarthritis: recommendations from a task force of the Osteoarthritis Research Society. *Osteoarthritis Cartilage*. 1996; 4: 217 – 243.

Altmann RD, Gold GE. Atlas of individual radiographic features in osteoarthritis, revised. *Osteoarthritis Cartilage*. 2007; 15: A1 – A56.

American College of Rheumatology Subcommittee on Osteoarthritis Guidelines. Recommendations for the medical management of osteoarthritis of the hip and knee: 2000 update. *Arthritis Rheum*. 2000; 43: 1905 – 1915.

Amin S, Goggins J, Niu JB, Guermazi A, Grigoryan M, Hunter DJ, Genant HK, Felson DT. Occupation-Related Squatting, Kneeling, and Heavy Lifting and the Knee Joint: A Magnetic Resonance Imaging-Based Study in Men. *J Rheumatol*. 2008; 35: 1645 – 1649.

Arokoski JPA, Jurvelin JS, Väättäinen U, Helminen HJ. Normal and pathological adaptations of articular cartilage to joint loading. *Scand J Med Sci Sport*. 2000; 10: 186 – 198.

Atkins JB. Internal derangement of the knee joint in miners. *Br J Ind Med*. 1957; 14: 121 – 126.

Bobinac D, Spanjol J, Zoricic S, Maric I. Changes in articular cartilage and subchondral bone histomorphometry in osteoarthritic knee joints in humans. *Bone*. 2003; 32: 284 – 290.

Brandt K, Fife R, Braunstein E, Katz B. Radiographic grading of the severity of knee osteoarthritis: relation of the Kellgren and Lawrence grade to a grade based on joint space narrowing and correlation with arthroscopic evidence of articular cartilage degeneration. *Arthritis Rheum.* 1989; 32: 1584 – 1591.

Brinkmann P, Frobin W, Leivseth G. *Orthopädische Biomechanik.* Thieme, Stuttgart, 2000

Bruyere O, Genant H, Kothari M, Zaim S, White D, Peterfy C, Burlet N, Richy F, Ethgen D, Montague T, Dabrowski C, Reginster JY. Longitudinal study of magnetic resonance imaging and standard X-rays to assess disease progression in osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2007; 15: 98 – 103.

Buckland-Wright JC, Macfarlane DG, Williams SA, Ward RJ. Accuracy and precision of joint space width measurements in standard and macroradiographs of osteoarthritic knees. *Ann Rheum Dis.* 1995; 54: 872 – 880.

Buckland-Wright JC, Wolfe F, Ward RJ, Flowers N, Hayne C. Substantial superiority of semiflexed (MTP) views in knee osteoarthritis: a comparative radiographic study, without fluoroscopy, of standing extended, semiflexed (MTP), and schuss views. *J Rheumatol.* 1999; 26: 2664 – 2674.

Bundesregierung. Bericht der Bundesregierung über den Stand von Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit und über das Unfall- und Berufskrankheitengeschehen in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 2005, S. 177. (online unter [http://de.osha.europa.eu/statistics/statistiken/suga/suga2005/suga\\_2005.pdf](http://de.osha.europa.eu/statistics/statistiken/suga/suga2005/suga_2005.pdf))

Carter DR, Beaupre GS, Wong M, Smith RL, Andriacchi TP, Schurman DJ. The mechanobiology of articular cartilage development and degeneration. *Clin Orthop Relat Res.* 2004; 427 (Suppl): S69 – S77.

Cicuttini FM, Baker J, Hart DJ, Spector TD. Choosing the best method for radiological assessment of patellofemoral osteoarthritis. *Annals of the Rheumatic Diseases.* 1996a; 55: 134 – 136.

Cicuttini FM, Spector TD. Genetics of osteoarthritis. *Ann Rheum Dis.* 1996b; 55: 665 – 676.

Cicuttini FM, Forbes A, Asbeutah A, Morris K, Stuckey S. Comparison and reproducibility of fast and conventional spoiled gradient-echo magnetic resonance sequences in the determination of knee cartilage volume. *J Orthop Res.* 2000; 18: 580 – 584.

Cicuttini FM, Wluka A, Wang Y, Stuckey S. The determinants of change in patella



cartilage volume in osteoarthritic knees. *J Rheumatol*. 2002; 29: 2615 – 2619.

Cicuttini FM, Wluka AE, Forbes A, Wolfe R. Comparison of Tibial Cartilage Volume and Radiologic Grade of the Tibiofemoral Joint. *Arthritis Rheum*. 2003; 48: 682 – 688.

Claessens AAMC, Schouten JSAG, van den Ouweland FA, Valkenburg HA. Do clinical findings associate with radiographic osteoarthritis of the knee? *Ann Rheum Dis*. 1990; 49: 771 – 774.

Coggon D, Croft P, Kellingray S, Barrett D, McLaren M, Cooper C. Occupational physical activities and osteoarthritis of the knee. *Arthritis Rheum*. 2000; 43: 1443 – 1449.

Commission of the European Communities. Recommendation 90/326/ECC of 22 May 1990 concerning the European schedule of occupational diseases. 1990.

Commission of the European Communities. C (2003) 3297 final. Commission Recommendation of 19/09/2003 concerning the European schedule of occupational diseases. 2003.

Conaghan PG, Tennant A, Peterfy CG, Woodworth , Stevens R, Guermazi A, Genant H, Felson DT, Hunter D Examining a whole-organ magnetic resonance imaging scoring system for osteoarthritis of the knee using Rasch analysis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2006; 14: A116 – A121.

Cooper C, Inskip H, Croft P. Individual risk factors for hip osteoarthritis: Obesity, hip injury, and physical activity. *Am J Epidemiol*. 1998; 147: 516 – 522.

Dawson J, Linsell L, Zondervan K, Rose P, Carr A, Randall T, Fitzpatrick R. Impact of Persistent Hip or Knee Pain on Overall Health Status in Elderly People: A Longitudinal Population Study. *Arthritis Rheum (Arthritis Care & Research)*. 2005; 53: 368 – 374.

Der Ärztliche Sachverständigenbeirat beim Bundesministerium für Gesundheit und soziale Sicherung, Sektion "Berufskrankheit". Wissenschaftliche Begründung einer Berufskrankheit "Gonarthrose". *Bundesarbeitsblatt* Nr. 10/2005.

Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und orthopädische Chirurgie, BV der Ärzte für Orthopädie (Hrsg.) Leitlinien der Orthopädie. Deutscher Ärzte-Verlag, 2. Auflage, Köln, 2002.

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (Hrsg). Dokumentation des Berufskrankheiten-Geschehens in Deutschland - BK-DOK 2005. Plump OHG, Rheinbreitbach, 2005 (online unter <http://www.hvbg.de/d/pages/service/publik/>)

pdf\_bild/bk\_dok\_2005.pdf).

Ding CH, Cicuttini FM, Blizzard L, Scott F, Jones G. A longitudinal study of the effect of sex and age on rate of change in knee cartilage volume in adults. *Rheumatology*. 2007; 46: 273 – 279.

Duerk JL, Lewin JS, Wendt M, Petersilge C. Remember true FISP? A high SNR, near 1-second imaging method for T2-like contrast in interventional MRI at 2 T. *J Magn Reson Imaging*. 1998; 8: 203 – 208.

Eckstein F, Reiser M, Englmeier KH, Putz R. In vivo morphometry and functional analysis of human articular cartilage with quantitative magnetic resonance imaging - from image to data, from data to theory. *Anat Embryol*. 2001; 203: 147 – 173.

Eckstein F, Burstein D, Link TM. Quantitative MRI of cartilage and bone: degenerative changes in osteoarthritis. *NMR Biomed*. 2006; 19: 822 – 854.

Ellegast R. Personengebundenes Meßsystem zur automatisierten Erfassung von Wirbelsäulenbelastungen bei beruflichen Tätigkeiten. BIA- Report 5/1998. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Sankt Augustin; 1998.

Felson DT, Naimark A, Anderson J, Kazis L, Castelli W, Meenan RF. The prevalence of knee osteoarthritis in the elderly. The Framingham Osteoarthritis Study. *Arthritis Rheum*. 1987; 30: 914 – 918.

Felson DT, Anderson JJ, Naimark A, Hannan MT, Kannel WB, Meenan RF. Does smoking protect against osteoarthritis? *Arthritis Rheum*. 1989; 32: 166 – 172.

Felson DT. Osteoarthritis. *Rheum Dis Clin North Am*. 1990; 16: 499 – 512.

Felson DT, Ahange Y, Anthony JM, Naimark A, Anderson JJ. Weight loss reduces the risk for symptomatic knee osteoarthritis in women. *Ann Intern Med*. 1992; 116: 535 – 539.

Felson DT, Zhang Y, Hannan MT, Naimark A, Weissman BN, Aliabadi P, Levy D. The incidence and natural history of knee osteoarthritis in the elderly. The Framingham Osteoarthritis Study. *Arthritis Rheum*. 1995; 38: 1500 – 1505.

Felson DT, Chaisson CE, Hill CL, Totterman SM, Gale ME, Skinner KM, Kazis L, Gale DR. The association of bone marrow lesions with pain in knee osteoarthritis. *Ann Intern Med*. 2001; 134: 541 – 549.

Felson DT, McLaughlin S, Goggins J, LaValley MP, Gale ME, Totterman SM, Li W, Hill CL, Gale DR. Bone Marrow Edema and Its Relation to Progression of Knee

- Osteoarthritis. *Ann Intern Med.* 2003; 139: 330 – 337.
- Felson DT. An update on the pathogenesis and epidemiology of osteoarthritis. *Radiol Clin North Am.* 2004a; 42: 1 – 9.
- Felson DT. Obesity and vocational and avocational overload of the joint as risk factors for osteoarthritis. *J Rheumatol Suppl.* 2004b; 70: 2 – 5.
- Frahm J, Haase A, Matthaei D. Rapid three-dimensional MR imaging using the FLASH technique. *J Comput Assist Tomogr.* 1986; 10: 363 – 368.
- Frank K. Degenerative Erkrankungen des Bewegungsapparates: Biomechanische Theorie, soziale Schicht und metabolisches Syndrom. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed.* 2007; 42: 262 – 273.
- Gagliardi JA, Chung EM, Chandnani VP. Detection and staging of chondromalacia patellae: relative efficacies of conventional MR imaging, MR arthrography, and CT arthrography. *AJR.* 1994; 163: 629 – 636.
- Gauffin H, Petterson G, Tegner Y, Tropp H. Function testing in patients with older rupture of the anterior cruciate ligament. *Int J Sports Med.* 1990; 11: 73 – 77.
- Gelber AC, Hochberg MC, Mead LA, Wang NY, Wigley FM, Klag MJ: Joint injury in young adults and risk for subsequent knee and hip osteoarthritis. *Ann Intern Med.* 2000; 133: 321 – 328.
- Glaser C, Faber S, Eckstein F. Optimization and validation of a rapid high-resolution T1-w 3D FLASH water excitation MRI sequence for the quantitative assessment of articular cartilage volume and thickness. *Magn Reson Imaging.* 2001; 19: 177 – 185.
- Gold GE, Besier TF, Draper CE, Asakawa DS, Delp SL, Beaupre GS. Weight-bearing MRI of patellofemoral joint cartilage contact area. *J Magn Reson Imaging.* 2004; 20: 526 – 530.
- Gold GE, Fuller SE, Hargreaves BA, Stevens KJ, Beaulieu CF. Driven equilibrium magnetic resonance imaging of articular cartilage: initial clinical experience. *J Magn Reson Imaging.* 2005; 21: 476 – 481.
- Günther KP, Puhl W, Brenner H, Stürmer T: Klinische Epidemiologie von Hüft- und Kniegelenkarthrosen: Eine Übersicht über Ergebnisse der "Ulm Osteoarthrose-Studie". *Z Rheumatol.* 2002; 61: 244 – 249.
- Hannan MT, Felson DT, Pincus T. Analysis of the discordance between radiographic changes and knee pain in osteoarthritis of the knee. *J Rheumatol.* 2000; 27: 1513 –

1517.

Hart DJ, Spector TD. Cigarette smoking and risk of osteoarthritis in women in the general population: the Chingford study. *Ann Rheum Dis.* 1993; 52: 93 – 96.

Hart DJ, Doyle DV, Spector TD: Incidence and risk for radiographic knee osteoarthritis in middle-aged women: the Chingford Study. *Arthritis Rheum.* 1999; 42: 17 – 24.

Hartmann B, Seidel D, Rehme G. Fragen zur wissenschaftlichen Begründung einer Berufskrankheit Gonarthrose. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed.* 2006; 41: 218 – 226.

Hartmann B, Glitsch U, Görgens HW, Grosser V, Weber M, Schürmann J, Seidel D. Ein belastungskonformes Schadensbild der Gonarthrose durch Knien oder vergleichbare Kniebelastung? *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed.* 2007; 42: 64 – 67.

Hayes CW, Jamadar DA, Welch GW, Jannausch ML, Lachance LL, Capul DC, Sowers MR. Osteoarthritis of the Knee: Comparison of MR Imaging Findings with Radiographic Severity Measurements and Pain in Middle-aged Women. *Radiology.* 2005; 237: 998 – 1007.

Holte HH, Tambs K, Bjerkedal T. Manual work as a predictor for disability pensioning with osteoarthritis among the employed in Norway 1971 – 1990. *International Journal of Epidemiology.* 2000; 29: 487 – 497.

Hopman-Rock M, Kraaijmaat FW, Bijlsma JWW. Quality of life in elderly subjects with pain in the hip or knee. *Quality of Life Research.* 1997; 6: 67 – 76.

Hudelmaier M, Glaser C, Hohe J, Englmeier KH, Reiser M, Putz R. Age-related changes in the morphology and deformational behavior of knee joint cartilage. *Arthritis Rheum.* 2001; 44: 2556 – 2561.

Jäger M, Wirth CJ. *Praxis der Orthopädie.* Thieme, New York, Stuttgart. 1986, 1. Auflage: S. 980.

Järvholm B, Lewold S, Malchau H, Vingard E. Age, bodyweight, smoking habits and the risk of severe osteoarthritis in the hip and knee in men. *Eur J Epidemiol.* 2005; 20: 537 – 542.

Jensen LK, Mikkelsen S, Loft IP, Eenberg W, Bergmann I, Logager V. Radiographic knee osteoarthritis in floorlayers and carpenters. *Scand J Work Environ Health.* 2000; 26: 257 – 262.

Jensen LK. Knee-straining work activities, self-reported knee disorders and radiographically determined knee osteoarthritis. *Scand J Work Environ Health*. 2005; 31 (Suppl 2): 68 – 74.

Jorgensen U, Sonne-Holm S, Lauridsen F, Rosenklint A. Long-term follow-up of meniscectomy in athletes. A prospective longitudinal study. *J Bone Joint Surg Br*. 1987; 69: 80 – 83.

Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteo-arthritis. *Ann Rheum Dis*. 1957; 16, 494 – 502.

Kijowski R, Blankenbaker D, Stanton P, Fine J, De Smet A. Arthroscopic Validation of Radiographic Grading Scales of Osteoarthritis of the Tibiofemoral Joint. *AJR*. 2006; 187: 794 – 799.

Kornaat PR, Ceulemans RYT, Kroon HM, Riyazi N, Kloppenburg M, Carter WO, Woodworth TG, Bloem JL. MRI assessment of knee osteoarthritis: Knee Osteoarthritis Scoring System (KOSS) - inter-observer and intra-observer reproducibility of a compartment-based scoring system. *Skeletal Radiol*. 2005; 34: 95 – 102.

Kornaat PR, Bloem JL, Ceulemans RYT, Riyazi N, Rosendaal FR, Nelissen RG, Carter WO, Hellio Le Graverand MP, Kloppenburg M. Osteoarthritis of the Knee: Association between Clinical Features and MR Imaging Findings. *Radiology*. 2006; 239: 811 – 817.

Lequesne M, Dang N, Lane NE. Sport practice and osteoarthritis of the limbs. *Osteoarthritis Cartilage*. 1997; 5: 75 – 86.

Lethbridge-Cejku M, Scott WW Jr, Reichle R, Ettinger WH, Zonderman A, Costa P, Plato CC, Tobin JD, Hochberg MC. Association of radiographic features of osteoarthritis of the knee with knee pain: data from the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Arthritis Care Res*. 1995; 8: 182 – 188.

Liddell FDK. Morbidity of British coal miners in 1961 – 62. *Brit J Ind Med*. 1973; 30: 1 – 14.

Lindberg H, Montgomery F. Heavy labor and the occurrence of gonarthrosis. *Clin Orthop Relat Res*. 1987; 214: 235 – 236.

Lysholm J, Hamberg P, Gillquist J. The correlation between osteoarthrosis as seen on radiographs and on arthroscopy. *Arthroscopy*. 1987; 3: 161 – 165.

Maetzel A, Makela M, Hawker G, Bombardier C: Osteoarthritis of the hip and knee

and mechanical occupational exposure - a systematic overview of the evidence. *J Rheumatol*. 1997; 24: 1599 – 1607.

Manninen P, Riihimäki H, Heliovaara M: Overweight, gender, and knee osteoarthritis. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 1996; 109: 595 – 597.

Manninen P, Heliovaara M, Riihimäki H, Suoma-Iainen O. Physical workload and the risk of severe knee osteoarthritis. *Scand J Work Environ Health*. 2002; 28: 25 – 32.

March LM, Bachmeier CMJ: Economics of osteoarthritis: a global perspective. *Baillieres Clin Rheumatol*. 1997; 11: 817 – 834.

Maurischat C, Morfeld M, Kohlmann T, Bullinger M, Hrsg. Lebensqualität. Nützlichkeit und Psychometrie des Health Survey SF- 36/ SF- 12 in der medizinischen Rehabilitation. Lengerich: Pabst Science Publishers, 2004.

McAlindon TE, Snow S, Cooper C, Dieppe PA. Radiographic patterns of osteoarthritis of the knee joint in the community: the importance of the patellofemoral joint. *Ann Rheum Dis*. 1992; 51: 844 – 849.

McMillan G, Nicols L. Osteoarthritis and meniscus disorders of the knee as occupational diseases of miners. *Occup Environ Med*. 2005; 62: 567 – 575.

Morfeld M, Dietsche S, Bürger W, Koch U. Der SF-12 – Das Problem der Missing Data. *Diagnostica*. 2003; 49: 129 – 135.

Mosher TJ, Collins CM, Smith HE, Moser LE, Sivarajah RT, Dardzinski BJ. Effect of gender on in vivo cartilage magnetic resonance imaging T2 mapping. *J Magn Reson Imaging*. 2004; 19: 323 – 328.

Otterness IG, Eckstein F. Women have thinner cartilage and smaller joint surfaces than men after adjustment for body height and weight. *Osteoarthritis and Cartilage*. 2007; 15: 666 – 672.

Panula HE, Helminen HJ, Kiviranta I. Slowly progressive osteoarthritis after tibial valgus osteotomy in young beagle dogs. *Clin Orthop Relat Res*. 1997; 343: 192 – 202.

Peat G, McCarney R, Croft P. Knee pain and osteoarthritis in older adults: a review of community burden and current use of primary health care. *Ann Rheum Dis*. 2001; 60: 91 – 97.

Pelletier JP, Raynauld JP, Berthiaume MJ, Abram F, Choquette D, Haraoui B, Beary JF, Cline GA, Meyer JM, Martel-Pelletier J. Risk factors associated with the loss of cartilage volume on weight-bearing areas in knee osteoarthritis patients assessed by

quantitative magnetic resonance imaging: a longitudinal study. *Arthritis Res Ther.* 2007; 9: R74.

Peterfy CG, Li J, Zaim S, Duryea J, Lynch J, Miaux Y, Yu W, Genant HK. Comparison of Fixed-Flexion positioning with fluoroscopic semi-flexed positioning for quantifying radiographic joint-space width in the knee: test – retest reproducibility. *Skeletal Radiol.* 2003; 32: 128 – 132.

Peterfy CG, Guermazi A, Zaim S, Tirman PF, Miaux Y, White D, Kothari M, Lu Y, Fye K, Zhao S, Genant HK. Whole-Organ Magnetic Resonance Imaging Score (WORMS) of the knee in osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2004; 12: 177 – 190.

Petersson IF, Boegard T, Saxne T, Silman AJ, Svensson B. Radiographic osteoarthritis of the knee classified by the Ahlback and Kellgren & Lawrence systems for the tibiofemoral joint in people aged 35-54 years with chronic knee pain. *Ann Rheum Dis.* 1997; 56: 493 – 496.

Ravaud P, Giraudeau B, Auleley GR, Drape JL, Rousselin B, Paolozzi L, Chastang C, Dougados M. Variability in knee radiographing: implication for definition of radiological progression in medial knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis.* 1998; 57: 624 – 629.

Raynauld JP, Martel-Pelletier J, Berthiaume MJ, Beaudoin G, Choquette D, Haraoui B, Tannenbaum H, Meyer JM, Beary JF, Cline GA, Pelletier JP. Long term evaluation of disease progression through the quantitative magnetic resonance imaging of symptomatic knee osteoarthritis patients: correlation with clinical symptoms and radiographic changes. *Arthritis Res Ther.* 2006; 8: R21.

Roos EM, Roos PH, Lohmander LS, Eckdahl C. Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) - validation of a swedish version. *Scand J Med Sci Sports.* 1998; 8: 439 – 448.

Roos H, Lauren M, Adalberth T, Roos EM, Jonsson K, Lohmander LS: Knee osteoarthritis after meniscectomy: prevalence of radiographic changes after twenty-one years, compared with matched controls. *Arthritis Rheum.* 1998; 41: 687 – 693.

Rosignol M, Leclerc A, Hilliquin P, Allaert FA, Rozenberg S, Valat JP, Avouac B, Coste P, Savarieau B, Fautrel B. Primary osteoarthritis and occupations: a national cross sectional survey of 10 412 symptomatic patients. *Occup Environ Med.* 2003; 60: 882 – 886.

Rosignol M, Leclerc A, Allaert FA, Rozenberg S, Valat JP, Avouac B, Coste P, Litvak E, Hilliquin P. Primary osteoarthritis of hip, knee, and hand in relation to

- occupational exposure. *Occup Environ Med.* 2005; 62: 772 – 777.
- Sandmark H, Vingard E. Sports and risk for severe osteoarthritis of the knee. *Scand J Med Sci Sports.* 1999; 9: 279 – 284.
- Sahlstrom A, Lanshammar H, Adalberth G. Knee joint moments in work-related situations. *Ergonomics.* 1995; 38: 1352 – 1359.
- Schmid MR, Pfirrmann CWA, Koch P, Zanetti M, Kuehn B, Hodler J. Imaging of Patellar Cartilage with a 2D Multiple-Echo Data Image Combination Sequence. *AJR* 2005; 184: 1744 – 1748.
- Seidler A, Bolm-Audorff U, Abolmaali N, Elsner G. The role of cumulative physical work load in symptomatic knee osteoarthritis – a case-control study in Germany. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology.* 2008; 3: 14.
- Sharma L, Song J, Felson DT, Cahue S, Shamiyeh E, Dunlop DD. The role of knee alignment in disease progression and functional decline in knee osteoarthritis. *JAMA.* 2001; 286: 188 – 195.
- Sharrard WJW. Pressure effects on the knee in kneeling miners. *Ann R Coll Surg Engl.* 1965; 36: 309 – 324.
- Song Y, Greve JM, Carter DR, Koo S, Giori NJ. Articular cartilage MR imaging and thickness mapping of a loaded knee joint before and after meniscectomy. *Osteoarthritis and Cartilage.* 2006; 14: 728 – 737.
- Spahn G, Schwark B, Bartsch R, Mückley T, Hofmann G, Schiele R. Untersuchung zur Bestimmung von krankheitsassoziierten Faktoren der Gonarthrose. *Phys Med Rehab Kuror.* 2007a; 17: 1 – 7.
- Spahn G, Wittig R, Kahl E, Klinger HM, Mückley T, Hofmann GO. Diagnostik von Knorpelschäden des Kniegelenks. Validität der klinischen, radiologischen und kernspintomographischen Diagnostik im Vergleich zur Arthroskopie. *Unfallchirurg.* 2007b; 110: 414 – 424.
- Srikanth VK, Fryer JL, Zhai G, Winzenberg TM, Hosmer D, Jones G. A meta-analysis of sex differences prevalence, incidence and severity of osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2005; 13: 769 – 781.
- Tegner Y, Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res.* 1985; 198: 43 – 49.
- Theiler R. Arthrose. Epidemiologie, Diagnose und Differentialdiagnose, Abklärung



und Dokumentation. Schweiz Med Forum. 2002; 23: 255 – 261.

Thiem U, Schumacher J, Zacher J, Burmester GR, Pientka L. Prävalenz von muskuloskelettalen Beschwerden und selbstberichteter Gelenkarthrose in der Herner Bevölkerung. Z Rheumatol. 2008; 67: 432 – 439.

Torres L, Dunlop DD, Peterfy C, Guermazi A, Prasad P, Hayes KW, Song J, Cahue S, Chang A, Marshall M, Sharma L. The relationship between specific tissue lesions and pain severity in persons with knee osteoarthritis. Osteoarthritis Cartilage. 2006; 14: 1033 – 1040.

Van Saase JLCM, van Romunde LKJ, Cats A, Vandenbroucke JP, Valkenburg HA. Epidemiology of osteoarthritis: Zoetermeer survey. Comparison of radiological osteoarthritis in a Dutch population with that in 10 other populations. Ann Rheum Dis. 1989; 48: 271 – 280.

Vignon E, Piperno M, Le Graverand MP, Mazzuca SA, Brandt KD, Mathieu P, Favret H, Vignon M, Merle-Vincent F, Conrozier T. Measurement of radiographic joint space width in the tibiofemoral compartment of the osteoarthritic knee: comparison of standing anteroposterior and Lyon schuss views. Arthritis Rheum. 2003; 48: 378 – 384.

Weber W, Weber E. Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge. Dietrich Verlag, Göttingen, 1836.

Wheaton AJ, Borthakur A, Dodge GR, Kneeland JB, Schumacher HR, Reddy R. Sodium magnetic resonance imaging of proteoglycan depletion in an in vivo model of osteoarthritis. Acad Radiol 2004; 11: 21 – 28.

Wluka AE, Wolfe R, Stuckey S, Cicuttini FM: How does tibial cartilage volume relate to symptoms in subjects with knee osteoarthritis? Ann Rheum Dis. 2006; 63: 264 – 268.

Yoshimura N, Nishioka S, Kinoshita H, Hori N, Nishioka T, Ryujin M, Mantani Y, Miyake M, Coggon D, Cooper C. Risk factors for knee osteoarthritis in Japanese women: heavy weight, previous joint injuries, and occupational activities. J Rheumatol. 2004; 31: 157 – 162.

## 9. Anhang

### 9.1. Fragebogen zur Datenerhebung

<b>Name:</b> <input type="text"/>		<b>Datum:</b> <input type="text"/>	
<b>Geburtsjahr:</b> 19 <input type="text"/>		<b>Größe:</b> <input type="text"/> cm	
<b>Körpergewicht</b>			
zur Zeit <input type="text"/> kg; mit 20 Jahren <input type="text"/> kg; mit 40 Jahren <input type="text"/> kg; mit 60 Jahren <input type="text"/> kg			
<b>Familienstand</b>			
ledig <input type="checkbox"/> verheiratet <input type="checkbox"/> verwitwet <input type="checkbox"/> geschieden <input type="checkbox"/>			
<b>Schulbildung</b>			
bis 10. Klasse <input type="checkbox"/> Abitur <input type="checkbox"/> abgeschlossene Lehre <input type="checkbox"/> Fachschulabschluss <input type="checkbox"/>			
Hochschulabschluss <input type="checkbox"/>			
<b>Rauchen Sie?</b>			
Nichtraucher <input type="checkbox"/> Raucher <input type="checkbox"/> ehemaliger Raucher <input type="checkbox"/>			
Falls Sie rauchen oder geraucht haben:			
- seit wie vielen Jahren bzw. wie viele Jahre? <input type="text"/>			
- wie viele Zigaretten pro Tag? <input type="text"/>			
<b>Trinken Sie Alkohol?</b>			
nie <input type="checkbox"/> selten <input type="checkbox"/> mehrmals pro Woche <input type="checkbox"/> täglich <input type="checkbox"/>			
<b>Essen Sie <i>täglich</i> Obst/Gemüse?</b>		<b>Trinken Sie <i>täglich</i> Kaffee?</b>	
ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>		ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	
<b>Fahren Sie Fahrrad (mindestens 30 min)?</b>			
nie <input type="checkbox"/> weniger als einmal pro Woche <input type="checkbox"/> mehrmals pro Woche <input type="checkbox"/> täglich <input type="checkbox"/>			
<b>Haben Sie Blutsverwandte mit einem künstlichen Kniegelenk oder einer schweren Degeneration des Kniegelenks?</b>			
nein <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> , und zwar mein(e) .....			
<b>Leiden Sie an einer der folgenden Krankheiten?</b>			
Diabetes (Zuckerkrankheit)	<input type="checkbox"/>	Rheumatoidarthritis	<input type="checkbox"/>
Bluthochdruck	<input type="checkbox"/>	Lupus erythematodes	<input type="checkbox"/>
Gicht	<input type="checkbox"/>	Bechterewsche Krankheit	<input type="checkbox"/>
Unterfunktion der Schilddrüse	<input type="checkbox"/>		

**Haben Sie sich in der Vergangenheit an den Knien verletzt?**

noch nie ☐

ja, und zwar im Jahr  
ja, innerhalb der letzten 2 Monate  
Knochenbruch am Gelenk  
Meniskusverletzung  
Kreuzband und/oder Seitenband

**rechtes Knie**

**linkes Knie**

☐  
☐  
☐  
☐  
☐☐  
☐  
☐  
☐  
☐

**Ist in der Vergangenheit bei Ihnen schon einmal eine Kniespiegelung (Arthroskopie) durchgeführt worden?**

noch nie ☐

ja, und zwar im Jahr

**rechtes Knie**

**linkes Knie**

☐☐

**Wie sind Ihre Knie innerhalb der letzten 2 Monate untersucht worden?**

Hat ein Orthopäde Ihre Knie untersucht?  
Hat der Arzt, der Sie zur MRT-Untersuchung  
überweist, Ihre Knie untersucht?  
Sind Röntgenaufnahmen Ihrer Knie angefertigt worden?

ja ☐ nein ☐  
ja ☐ nein ☐  
ja ☐ nein ☐

**Nehmen Sie wegen Ihrer Kniebeschwerden Schmerzmedikamente ein?**

nie ☐ gelegentlich ☐ mehrmals pro Woche ☐ täglich ☐

**Welches Knie bereitet Ihnen die meisten Beschwerden?**

das rechte Knie ☐ das linke Knie ☐ beide Knie gleich ☐

**Haben Sie noch Beschwerden an weiteren Gelenken?**

nein ☐

ja, am Hüftgelenk  
ja, an der Schulter  
ja, am Handgelenk / an den Fingern  
ja, am Rücken / an der Wirbelsäule

**rechts**

**links**

☐  
☐  
☐☐  
☐  
☐☐

**(SF12)**

**Wie würden Sie Ihren Gesundheitszustand im Allgemeinen beschreiben?**

ausgezeichnet ☐ sehr gut ☐ gut ☐ weniger gut ☐ schlecht ☐

**Sind Sie durch Ihren derzeitigen Gesundheitszustand dabei eingeschränkt, die folgenden Tätigkeiten zu verrichten?**

**- mittelschwere Tätigkeiten, z. B. einen Tisch verschieben, Staubsaugen, Gartenarbeit**

Ja, stark eingeschränkt ☐ Ja, etwas eingeschränkt ☐ Nein, nicht eingeschränkt ☐

**- mehrere Treppenabsätze steigen**

Ja, stark eingeschränkt ☐ Ja, etwas eingeschränkt ☐ Nein, nicht eingeschränkt ☐

**Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund Ihrer körperlichen Gesundheit irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause?**

Ich habe weniger geschafft, als ich wollte Ja ☐ Nein ☐

Ich konnte nur bestimmte Dinge tun Ja ☐ Nein ☐

**Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund seelischer Probleme irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause (z.B. weil Sie sich niedergeschlagen oder ängstlich fühlten)?**

Ich habe weniger geschafft, als ich wollte Ja ☐ Nein ☐

Ich konnte nicht so sorgfältig wie üblich arbeiten Ja ☐ Nein ☐

**Inwieweit haben Schmerzen Sie in den vergangenen 4 Wochen bei der Ausübung Ihrer Alltagstätigkeiten zu Hause und im Beruf behindert?**

überhaupt nicht ☐ ein bisschen ☐ mäßig ☐ ziemlich ☐ sehr ☐

**In den folgenden Fragen geht es darum, wie Sie sich fühlen und wie es Ihnen in den vergangenen 4 Wochen gegangen ist. Wie oft waren Sie ...**

**- ruhig und gelassen?**

immer ☐ meistens ☐ ziemlich oft ☐ manchmal ☐ selten ☐ nie ☐

**- voller Energie?**

immer ☐ meistens ☐ ziemlich oft ☐ manchmal ☐ selten ☐ nie ☐

**- entmutigt und traurig?**

immer ☐ meistens ☐ ziemlich oft ☐ manchmal ☐ selten ☐ nie ☐

**Wie häufig haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelischen Probleme in den vergangenen 4 Wochen Ihre Kontakte zu anderen Menschen (Besuche bei Freunden, Verwandten usw.) beeinträchtigt?**

immer ☐ meistens ☐ ziemlich oft ☐ manchmal ☐ selten ☐ nie ☐

Alle nun folgenden Fragen betreffen das Knie, das heute mit der MRT untersucht werden soll!

**(KOOS)**

**ALLGEMEINE SYMPTOME** - Die folgenden Fragen beziehen sich auf die durch das Knie verursachten Beschwerden in der vergangenen Woche:

	niemals	selten	manchmal	oft	immer
Haben Sie Schwellungen an Ihrem Knie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fühlen Sie manchmal ein Mahlen, hören Sie manchmal ein Klicken oder irgendein Geräusch, wenn Sie Ihr Knie bewegen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bleibt Ihr Knie manchmal hängen, oder blockiert es, wenn Sie es bewegen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Können Sie Ihr Knie ganz ausstrecken?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Können Sie Ihr Knie ganz beugen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**KNIESTEIFIGKEIT** - Die folgenden Fragen betreffen die Steifigkeit Ihres Kniegelenkes während der letzten Woche. Unter Steifigkeit versteht man ein Gefühl der Einschränkung oder Verlangsamung der Fähigkeit, das Kniegelenk zu bewegen.

	keine	schwach	mäßig	stark	sehr stark
Wie stark ist Ihre KniestEIFigkeit morgens direkt nach dem Aufstehen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wie stark ist Ihre KniestEIFigkeit, nachdem Sie saßen, lagen, oder sich ausruhten im Verlauf des Tages?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**SCHMERZEN - Wie ausgeprägt waren Ihre Schmerzen in der vergangenen Woche, als Sie:**

	keine	schwach	mäßig	stark	sehr stark
... sich im Knie drehen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... Ihr Knie ganz ausstrecken?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... Ihr Knie ganz beugen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... auf ebenem Boden gehen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... Treppen herauf oder heruntergehen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... nachts im Bett liegen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... saßen oder lagen, z.B. auf der Couch?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... aufrecht standen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Wie oft tut Ihnen Ihr Knie weh?**

niemals ☐ monatlich ☐ wöchentlich ☐ täglich ☐ immer ☐

**SPORT UND FREIZEIT - Die nachfolgenden Fragen beziehen sich auf Ihre körperliche Belastbarkeit im Rahmen eher sportlicher Aktivitäten. Hatten Sie in der vergangenen Woche Schwierigkeiten, als Sie:**

	keine	wenig	einige	große	sehr große
... in die Hocke gehen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... rannten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... hüpfen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... sich auf Ihrem Knie umdrehen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... sich hinknieten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**SCHWIERIGKEITEN IM TÄGLICHEN LEBEN - Für jede der nachfolgenden Aktivitäten sollen Sie das Ausmaß der Schwierigkeiten angeben, welche Sie durch Ihr Kniegelenk innerhalb der letzten Woche erfahren haben, als Sie:**

	keine	wenig	einige	große	sehr große
... Treppen herunterstiegen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... Treppen hinaufstiegen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... vom Sitzen aufstanden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... gerade standen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... sich bückten, um etwas aufzuheben?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... auf ebenem Boden gingen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... ins Auto ein- oder ausstiegen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... einkaufen gingen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... Strümpfe oder Socken anzogen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... vom Bett aufstanden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... Strümpfe oder Socken auszogen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... im Bett lagen und sich drehen, ohne das Knie dabei zu beugen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... in die / aus der Badewanne stiegen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... saßen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... sich auf die Toilette setzen oder von der Toilette aufstanden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... schwere Hausarbeit verrichteten (schrubben, Garten umgraben, ...)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
... leichte Hausarbeit verrichteten (Staub wischen, kochen, ...)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**LEBENSQUALITÄT - Beeinflussung der Lebensqualität durch das betroffene Knie**

**Wie oft spüren Sie Ihr erkranktes Knie?**

niemals ☐ monatlich ☐ wöchentlich ☐ täglich ☐ immer ☐

**Haben Sie Ihre Lebensweise verändert, um eventuell Ihrem Knie schadende Tätigkeiten zu vermeiden?**

nicht ☐ wenig ☐ etwas ☐ stark ☐ vollständig ☐

**Wie sehr macht es Ihnen zu schaffen, daß Ihr Knie nicht stabil ist?**

gar nicht ☐ wenig ☐ einiges ☐ schlimm ☐ sehr schlimm ☐

**Wie würden Sie insgesamt die Schwierigkeiten bewerten, die Sie durch das Knie haben?**

keine ☐ wenig ☐ etwas ☐ große ☐ sehr große ☐



## 9.2. Beispiel zur strukturierten Erhebung der Kniegelenkbelastung

Patient H. M. (Jahrgang 1960, 47 Jahre, männlich) berichtet während des Interviews Folgendes über sein Berufs- und Freizeitleben:

Nach dem Schulabschluss der 10. Klasse der Polytechnischen Oberschule (POS) in Eisenach 1976 begann er eine Facharbeiterausbildung in Bauwirtschaft über 3 Jahre (teils theoretische Ausbildung, teils körperlich schwere praktische Tätigkeit im Betonwerk), die mit einem Facharbeiterabschluss endete. Unmittelbar anschliessend absolvierte er seinen 18-monatigen Wehrdienst bei der NVA, dabei folgte einer sportlich- anstrengenden Grundausbildung ein ruhiger und ereignisloser Einsatz mit Streifengängen an der innerdeutschen Grenze. Nach der Armee arbeitete er 10 Jahre bis zur Wendezeit in seinem Beruf als Bauarbeiter körperlich schwer auf zahlreichen Baustellen in Mitteldeutschland, kniende und hockende Tätigkeiten spielten dabei keine besondere Rolle. Mitte 1990 erfolgte der Wechsel in eine kleine private Baufirma, von da ab Einsatz vor allem im Straßen- und Landschaftsbau mit Pflasterarbeiten und Setzen von Rasenkantensteinen im Knien und Hocken, teilweise 5 – 6 Stunden täglich über viele Wochen. In dieser Zeit begannen auch die Knieprobleme, wohl im Rahmen von akuten Überlastungsbeschwerden. Nach 5 Jahren Wechsel in eine andere Baufirma mit Einsatz auf Großprojekten in ganz Europa, dabei regelmäßig Arbeit auf Gerüsten in großer Höhe (häufiges Steigen auf Leitern), Arbeiten im Knien und Hocken beim Anlegen von Eisenbewehrungen und Verschalungen, regelmäßig 3 – 4 Stunden pro Tag bei täglichen Arbeitszeiten bis 10 Stunden, während des Winterhalbjahres wiederholt Kurzarbeit oder wochenweise zuhause. Mitte 2000 folgte eine 6-monatige Periode der Arbeitslosigkeit, danach eine Umschulung in elektronischer Datenverarbeitung und Buchhaltung über 2 Jahre, die in eine Anstellung im Büro einer kleinen Baufirma mündete. Seit 4 Jahren arbeitet Herr M. fast ausschliesslich im Sitzen am Computer.

In seiner Freizeit spielte Herr M. einschliesslich der Wehrdienstzeit regelmäßig Fußball auf Freizeitniveau (ca. 1 x pro Woche für 1-2 Stunden), fuhr Rad und ging wöchentlich einmal schwimmen. Später gab er das Fussballspielen auf und beschränkte seine sportlichen Aktivitäten auf regelmäßiges Radfahren und gelegentliche Waldläufe (maximal 5 km) bis 1990, zwischenzeitlich wurde ein Einfamilienhaus in weitgehender Eigenleistung innerhalb von 3 Jahren errichtet. Nach seinem Arbeitswechsel 1990 fand sich für die nächsten 10 Jahre nur gelegentlich Zeit

zum Sporttreiben. Seit 2000 trainiert Herr M. zweimal pro Woche im Krafraum und auf dem Laufband, allerdings nur zur Gesunderhaltung und nicht leistungsbezogen. Er fährt fast täglich mit dem Fahrrad zur Arbeit (ca. 2 x 3 km täglich) und geht 1 – 2 x im Monat schwimmen.

Die Auswertung erfolgte zunächst als tabellarische Zusammenfassung (Tabellen 15 und 16). Für die statistische Auswertung der 32 „Arbeitsjahre“ nach dem 15. Lebensjahr ergeben sich im Beispiel folgende Variablenwerte: TB\_orig = 5, TB\_min = 1, TB\_max = 6, TB\_average = 4,2 und TB\_sum = 134. Die zeitlich am längsten ausgeübte Tegner-Kategorie berechnet sich als arithmetisches Mittel aus 5 und 6, TB\_meist = 5,5. Für die Freizeitbelastung ergeben sich TF\_meist = 2, TF\_min = 2, TF\_max = 5, TF\_average = 3,3 und TF\_sum = 106,5. Es wurde in der Kindheit kein Leistungssport betrieben.

*Tabelle 15. Tabellarische Darstellung der arbeitsbezogenen Kniegelenkbelastung nach dem 15. Lebensjahr am Beispiel (Patient H. M., 47 Jahre)*

ARBEIT	Tegner Score	Jahre	$\Sigma$ Tegner	Heb <sup>#</sup>	Kni <sup>#</sup>	Hoc <sup>#</sup>	Lau <sup>#</sup>	Lei <sup>#</sup>	Sit <sup>#</sup>
Schulabschluss 10. Klasse mit 16 J.	1	1	1						1
Lehre Bauarbeiter	4	3	12	3					
Grundwehrdienst	3	1,5	4,5				1,5		
Bauarbeiter mit gemischter Tätigkeit	5	10	50	10					
Bauarbeiter Gehwege pflastern	6	5	30	5	5	5			
Bauarbeiter Montage	6	5	30	5	5	5		5	
arbeitslos zuhause	1	0,5	0,5						0,5
Umschulung EDV	1	2	2						2
Büroarbeit am Computer	1	4	4						4
Summe		32	134	23	10	10	1,5	5	7,5

<sup>#</sup> Heben > 25 kg, > 2x/Tag > 10x/Woche; Knien > 1 h/d; Hocken > 1h/d; Laufen > 3 km/d; Leiter > 30x/d; Sitzen > 2 h/d

*Tabelle 16. Tabellarische Darstellung der außerberuflichen Kniegelenkbelastung nach dem 15. Lebensjahr am Beispiel (Patient H. M., 47 Jahre)*

FREIZEIT	Tegner Score	Jahre	$\Sigma$ Tegner
Fußball, Rad, Schwimmen (Hobby)	5	5,5	27,5
Rad, gelegentlich Laufen (Hobby)	3	7	21
Hausbau in Eigenleistung	4	3	12
nur gelegentlich Sport	2	10	20
Krafttraining, Rad, Schwimmen (Hobby)	4	6,5	26
Summe		32	106,5

### 9.3. Modifizierter Tegner-Score

Tabelle 17. Kategorien der Kniebelastung und Beispielberufe aus der Studie nach dem modifizierten Tegner-Score (nach Spahn et al. 2007b)

	Berufliche Belastung (Tegner Beruf – TB)	Freizeitbelastung (Tegner Freizeit – TF)
<b>Tegner 1</b>	<b>überwiegend sitzende Tätigkeit</b> Bankkaufmann, Buchhalter, Bürokaufmann, Gemeinde-/Sozialarbeiter, Industriekaufmann, Konstrukteur (CAD), Lehrer, Rentner, Sachbearbeiter, Schüler, Sekretärin, Student, Umschulung, Versicherungsmakler	<b>gelegentliche Spaziergänge</b>
<b>Tegner 2</b>	<b>leichte Tätigkeit, vorwiegend sitzend</b> leichte Montagearbeit am Band, Wehrdienst (Büro-/ Stabsarbeit), berufsvorbereitendes Jahr (BVJ), Fachberater für KFZ, Hotelrezeption, Kurierkraftfahrer PKW, Laborant, Maschinenbauzeichner, Omnibusfahrer, Physiotherapeut, Schneiderin, Sicherheitsdienst, Technischer Zeichner/Bauzeichner	<b>gelegentliche leichte sportliche Betätigung auf Freizeitniveau</b> Schwimmen, Fahrradfahren, Gymnastik
<b>Tegner 3</b>	<b>mittelschwere Tätigkeit, vorwiegend stehend</b> Altenpfleger, Bäcker, Wehrdienst (normale Belastung, LKW-Fahrer), Dreher, Drucker/Setzer an Großmaschine, Friseur, Garten-/Landschaftsbau, Geldtransport, Hausarbeit, Kleinkindbetreuung, Hausmeister, Kellner, Kindergärtnerin, Koch, Krankenschwester, leichte Lagerarbeit, Kraftfahrer (LKW), Masseur, Mechatroniker, Möbelbauer (Maschinenarbeit), Molkereifachfrau, Polizeiausbilder, Polsterer, Reinigungsdienst, Sportlehrer, Montagearbeit im Stehen, Verkäuferin im Einzelhandel, Wäschereiarbeiter, Zivildienst als Hausmeister	<b>regelmäßige leichte sportliche Betätigung auf Freizeitniveau</b> Hobby: Schwimmen, Fahrradfahren, Gymnastik, Skilanglauf, Reiten, Tanzen, Kegeln (als Trainer) <b>Hobbygärtner</b>
<b>Tegner 4</b>	<b>schwere körperliche Arbeit</b> Arbeiter im städtischen Bauhof, Bagger-/Radladerfahrer, Bergbautechniker, Wehrdienst (Pioniere), Elektriker-/ Fahrzeugelektriker, Fleischer/Metzger, Forstarbeit (als ABM), Genossenschaftsbauer, Hauswirtschaft, Heizer, Lagerarbeiter, Landwirt, LKW-Fahrer (selbst be- und entladen), Metallverarbeitung, Steinmetz (stehend), Tierpfleger, Zootechniker, Tischler, Transportarbeiter, Zerspaner	<b>leichte sportliche Betätigung organisiert/im Verein</b> aktiv: Schwimmen, Fahrradfahren, Gymnastik <b>regelmäßig moderat kniebelastende sportliche Betätigung auf Freizeitniveau</b> Hobby: Skialpin, Motocross, Downhill, Geräteturnen, Leichathletik (Laufen, Werfen), Krafteraining, Langstreckenlauf, Tischtennis <b>Eigenheimbau in Eigenleistung, private Landwirtschaft</b>

<b>Tegner 5</b>	<b>sehr schwere körperliche Arbeit</b>  Bauarbeiter, Dachdecker, Eisenbahner, Elektroinstallateur, Fischer/Seemann, Forstarbeiter, Gasanlagen Instandhaltung, Industrieschlosser, KFZ-Schlosser, Lackierer, Maler/Tapezierer, Maschinist (Bergbau), Maurer, Schäfer, Schlosser, Schlosser (Bergbau), Montageschweißer, Stahlbauer, Stahlwerker	<b>moderat kniebelastende sportliche Betätigung organisiert/im Verein</b>  aktiv: Skialpin, Motocross, Downhill, Geräteturnen, Leichtathletik (Laufen, Werfen), Krafttraining, Langstreckenlauf, Tischtennis  <b>schwer kniebelastende sportliche Betätigung auf Freizeitniveau</b>  Hobby: Fußball, Handball, Volleyball, Tennis, Badminton, Leichtathletik (Sprung), Hockey, Eishockey, Skisprung, Kegeln, Kampfsport
<b>Tegner 6</b>	<b>sehr schwere körperliche Arbeit, zusätzlich häufiges/ständiges Knien und Hocken oder Zwangshaltungen</b>  Klempner, Fliesenleger, Bergarbeiter, Bauarbeiter (Pflastern, Wärmedämmung), Bergsteiger (Felssicherung), Fenster-/ Fassadenreinigung, Heizungsbauer, Wartung Kaliverladung, Wasserträger, Industrielackierer, Gerüstbauer	<b>schwer kniebelastende sportliche Betätigung organisiert/im Verein</b>  aktiv: Fußball, Handball, Volleyball, Tennis, Badminton, Leichtathletik (Sprung), Hockey, Eishockey, Skisprung, Kegeln, Kampfsport
<b>Tegner 7</b>		<b>moderat kniebelastende sportliche Betätigung als Leistungs- und professioneller Sport</b>  Profi: Skialpin, Motocross, Downhill, Geräteturnen, Leichtathletik (Laufen, Werfen), Krafttraining, Langstreckenlauf, Tischtennis
<b>Tegner 8</b>		<b>schwer kniebelastende sportliche Betätigung als Leistungs- und professioneller Sport</b>  Profi: Fußball, Handball, Volleyball, Tennis, Badminton, Leichtathletik (Sprung), Hockey, Eishockey, Skisprung, Kegeln, Kampfsport

#### 9.4. Lebenslauf

Name, Vorname: Li, Mengxia  
Geburtsdatum: 06.08.1976  
Geburtsort: Hangzhou Jiande, Provinz Zhejiang, V. R. China

1983 - 1991	Grund- und Mittelschulausbildung an der „Jian De Heng Shan Tie He Jin Chang“ Schule, Hangzhou Jiande, V.R. China
1991 - 1994	Oberschulausbildung an der „Jian De Yan Zhou“ Schule, Hangzhou Jiande, mit Oberschulabschluss und Hochschulzugangsprüfung 1994
1994 - 1999	Studium der Humanmedizin (Bachelor of Science) an der Medizinischen Fakultät der Zhejiang Universität, Hangzhou, V. R. China
1999 - 2004	Assistenzärztin in der Klinik für Pädiatrie am Sir Run Run Shaw Krankenhaus, Universitätsklinik der Medizinischen Fakultät an der Zhejiang Universität, Hangzhou
2002 - 2005	Studium der Humanmedizin (Master of Science), Fachrichtung Pädiatrie, an der Medizinischen Fakultät der Zhejiang Universität, Hangzhou
2005 - 2008	Erziehungsurlaub
seit 07/2008	Praktikum am Institut für Röntgendiagnostik, Universitätsklinikum Würzburg

---

Ort, Datum

---

Mengxia Li

## 9.5. Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. Rainer Schiele danke ich herzlich für die Überlassung des Themas, für seine freundliche Unterstützung und Betreuung und seinen hilfreichen Rat bei der Durchführung und Erstellung der Arbeit.

Ich danke Herrn PD Dr. med. habil. Gunter Spahn für seine Unterstützung bei der Zusammenstellung der Fragebögen und für die Beratung und Betreuung der Arbeit aus klinisch-orthopädischer Sicht.

Weiterhin danken möchte ich Frau CÄ Dipl. med. Undine Römhild für die Möglichkeit zur Datensammlung in der Abteilung für bildgebende Diagnostik am Klinikum Bad Salzungen und Herrn OA Dr. med. Andreas Jung für die Hilfe und Anleitung zur Auswertung der MRT- Untersuchungen.

Schließlich gilt besonderer Dank meinem Ehemann, Dr. med. Henning Neubauer, für die umfassende organisatorische, inhaltliche und sprachliche Betreuung der Promotionsarbeit.

Nicht zuletzt möchte ich noch den Patientinnen und Patienten danken, die ihr Einverständnis zur Teilnahme erklärten und mit ihren Antworten im Interview und auf den Fragebögen die Datengrundlage für diese Arbeit lieferten.

## 9.6. Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass

- mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,
- ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,
- mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben: Dr. A. Jung (Klinikum Bad Salzungen), Dr. H. Neubauer (Universitätsklinikum Würzburg), Prof. Dr. R. Schiele (Universitätsklinikum Jena) und PD Dr. G. Spahn (Praxisklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Eisenach),
- die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,
- dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und
- dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

---

Ort, Datum

---

Mengxia Li