

## 3D-Ganganalyse bei degenerativen Kniepathologien im Vergleich zur Norm

### Comparison of the gait by patients with knee disorders and healthy persons with the usage of a 3D-gait-analysis-system

Sauer J, Gohde M, Thomas M, Falz R, Bischoff C, Hoppe S, Friedrich R, Leps C, Schulze A, Busse M.

Institut für Sportmedizin/Sportmedizinische Ambulanz der Universität Leipzig (Direktor: Prof. Dr. med. M. Busse)

---

#### Zusammenfassung

Sauer J, Gohde M, Thomas M, Falz R, Bischoff C, Hoppe S, Friedrich R, Leps C, Schulze A, Busse M.

3D-Ganganalyse bei degenerativen Kniepathologien im Vergleich zur Norm *Klinische Sportmedizin / Clinical Sports Medicine – Germany (KCS) 2012, 13(1), 7-15*

**Einleitung:** Ziel der vorliegenden Vergleichsstudie war es, Unterschiede im Gangbild von einem, an degenerativer Kniepathologie erkrankten Patientenkollektiv und einem gesunden Normalkollektiv aufzudecken.

**Methode:** Mit Hilfe einer dreidimensionalen Ganganalyse wurden Weg- Zeit- Parameter sowie weitere kinematische Parameter von 42 erkrankten und 18 gesunden Studienteilnehmern untersucht und miteinander verglichen. Des Weiteren wurde unabhängig voneinander nach Seitendifferenzen der Patienten- und der Referenzgruppe untersucht.

**Ergebnisse:** Die Annahme, dass sich die untersuchten Gangparameter von an degenerativer Kniepathologie erkrankten und gesunden Menschen unterscheiden, konnte bestätigt werden. Signifikante Unterschiede konnten speziell in den Weg- Zeit- Parametern sowie in

den Gelenkbewegungen, welche in der Sagittalebene analysiert wurden, nachgewiesen werden. Hinsichtlich der Seitendifferenzen konnte in der Patientengruppe kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. In der Referenzgruppe konnte lediglich ein Unterschied bei der Adduktions- und Abduktionsbewegung der Hüfte in der mittleren Standphase statistisch belegt werden.

**Schlussfolgerung:**

Unter Verwendung eines reliablen Untersuchungsverfahrens wurden hinsichtlich des Ganges beeinträchtigte und unbeeinträchtigte Versuchspersonen untersucht. Das verwendete Verfahren eignet sich durch seine einfache Handhabung zur reliablen und wenig belastenden Untersuchung des Gangbildes und gibt viele Aufschlüsse hinsichtlich der analysierten Gangparameter, welche in der nachfolgenden Therapieindikation der Patienten eine wichtige Rolle einnehmen sollten. Hinsichtlich der Wichtigkeit der Mobilität des Menschen sollten breiter angelegte Studien bezüglich einer Untersuchung des Ganges folgen.

**Schlüsselwörter:** Ganganalyse, Kniepathologien, Gangbild

#### Abstract

Sauer J, Gohde M, Thomas M, Falz R, Bischoff C, Hoppe S, Friedrich R, Leps C, Schulze A, Busse M.

Comparison of the gait by patients with knee disorders and healthy persons with the usage of a 3D-gait-analysis-system. *Klinische Sportmedizin / Clinical Sports Medicine – Germany (KCS) 2012, 13(1), 7-15*

**Purpose:** The purpose of this study was to investigate differences in the gait of patients with knee disorders and healthy persons.

**Methods:** In total the investigation sample included 60 persons. 42 of them were characterized by clinically well documented knee disorders. 18 further healthy study participants served as reference group. The data were collected using 3D-gait analysis and included distance time parameters and kinematic parameters. In addition to

gait comparisons the measured data were analyzed in terms of side differences of each person.

**Results:** The patients with knee disorders showed significant differences to the reference group in distance-time parameters and joint movements in the sagittal plane. No statistically significant side difference was observed in the patients. In contrast the healthy persons had a significant side difference in adduction and abduction in the hip joint in mid stance.

**Conclusion:** Data measured with a 3D-gait-analysis can provide a helpful basis for the therapy after knee disorders. In view of the important role of mobility in everyday life more investigations should follow.

**Key words:** Gait-analysis, knee disorders, gait

## Einleitung

Ein umfassendes und kompliziertes Zusammenspiel von unterschiedlichen beweglichen sowie in sich unbeweglichen Körpersegmenten ermöglicht es dem Menschen, sich in einem von ihm gewählten Tempo in eine vorgegebene Richtung fortzubewegen [2]. Allerdings kann dieses Zusammenwirken durch mittlerweile zahlreich bekannte Erkrankungen gestört werden. So stellen beispielsweise degenerative Erkrankungen des Kniegelenks angesichts unserer immer älter werdenden Gesellschaft ein großes Problem dar. Nahezu jeder Patient über 40 Jahre weist relevante radiologische Veränderungen im Kniegelenk auf, obgleich nur etwa jeder dritte Fall auch symptomatisch auffällig ist [8]. Leitsymptome sind neben Schmerz und Bewegungseinschränkung eine verminderte Lebensqualität, da diese laut Horstmann (2006) mit der Bewegungsqualität korreliert [5]. Zur Schmerzbildung werden von den Betroffenen Schonhaltungen eingenommen und Ausweichbewegungen durchgeführt. Dies äußert sich in einem pathologischen Gangbild, welches gesundheitliche Risiken hinsichtlich Folgeschäden bergen kann.

Die 3D Ganganalyse erlaubt eine aktuelle Bestands

## Methodik

### Studienkollektiv:

Die Patientengruppe (n= 42) wurde im Rahmen des Knieprojektes zur konservativen Therapie der Gonarthrose am Institut für Sportmedizin und Prävention der Sportwissenschaftlichen Fakultät der Universität Leipzig rekrutiert. Durchschnittlich waren die Projektteilnehmer 64,5± 8,8 Jahre alt.

Wesentliche anthropometrische Daten der Patientengruppe werden in der Tabelle 1 aufgezeigt.

**Tab. 1: Anthropometrische Daten der Patientengruppe (n= 42) aufgeteilt nach Geschlecht**

	n	Alter [J.]	Größe [m]	Gewicht [kg]	BMI [kg/m <sup>2</sup> ]
männlich	18	65,9± 8,0	1,8± 0,1	94,6± 16,0	29,2± 5,6
weiblich	24	63,8± 9,3	1,6± 0,1	77,1± 14,3	29,4± 5,3

Die Patienten wiesen unterschiedliche degenerative Kniepathologien auf. Bezugnehmend auf die gestellte Hauptdiagnose stellte die Gonarthrose die häufigste Form der degenerativen Kniegelenkserkrankung dar. Des Weiteren bereiten Chondropathia patellae und Meniskusdegenerationen den Patienten Beschwerden.

**Tab. 2: Übersicht über die orthopädischen Hauptdiagnosen der Patienten**

Diagnose	männlich	weiblich
Gonarthrose	8	13
Chondropathia pat.	4	8
Meniskusdegeneration	6	3

Als Vergleichsgruppe dienten 18 beschwerdefreie Sportstudenten der Universität Leipzig, welche im Rahmen des Studiums geworben wurden. Wesentliche

aufnahme des Gangbildes und deckt pathologische Bewegungsmuster auf. Neben der Bewertung von Funktionsstörungen des Gangbildes sollte die Ganganalyse laut Fink (2006) zur Therapiegestaltung sowie deren Qualitätssicherung herangezogen werden [2]. Ziel ist die Wiederherstellung eines unauffälligen Gangbildes um die Schmerzen der Patienten mit einer gezielten Therapie zu reduzieren und die Beweglichkeit zu verbessern mit dem Interesse, die Mobilität im Alter zu bewahren. Dafür ist es unerlässlich die Abgrenzungen zwischen einem unauffälligen physiologischen und einem gestörten pathologischen Gangbild zu kennen.

Fragestellung dieser Studie war, welche Unterschiede hinsichtlich gemessener Weg- Zeit- Parameter sowie weiterer kinematischer Parameter zwischen gesunden und an degenerativer Kniepathologie erkrankter Personen zu verzeichnen sind. Des Weiteren wurde untersucht, ob Seitendifferenzen zwischen dem gesunden und dem erkrankten Bein vorliegen und wenn das der Fall ist, in welchen gemessenen Parametern sich diese äußern. Zur Vervollständigung der Untersuchung wurde zusätzlich nach Seitendifferenzen des gesunden Normalkollektivs geforscht.

anthropometrische Daten der Referenzgruppe sind in Tabelle 3 ersichtlich.

**Tab. 3: Anthropometrische Daten der Referenzgruppe (n= 18) aufgeteilt nach Geschlecht**

	n	Alter [J.]	Größe [m]	Gewicht [kg]	BMI [kg/m <sup>2</sup> ]
männlich	8	25,4± 2,0	1,8± 0,1	80,5± 10,4	24,5± 1,6
weiblich	10	24,1± 2,3	1,7± 0,1	57,1± 5,3	20,5± 1,3

### Untersuchungsablauf:

Gelegenheit zur Durchführung der Ganganalyse ergab sich bei der ersten Vorstellung der Patienten in der Sprechstunde des o.g. Knieprojektes. Um Risikofaktoren auszuschließen und eine genaue Diagnose in Bezug auf die Erkrankung der unteren Extremität zu erhalten, wurden die Patienten hinsichtlich orthopädischer sowie internistischer Beeinträchtigungen im Vorfeld untersucht. Die Kontrollgruppe wurde zu einem separaten Zeitpunkt unabhängig der Sprechstunde einbestellt.

Für die Aufzeichnung des Gangbildes wurde die Kameraeinheit MCU 100® mit dazugehöriger automatischer Auswertungssoftware von LUKOtronic OEG (Innsbruck, Österreich) verwendet.

### Vorbereitungsphase:

Voraussetzung für die Durchführung der Ganganalyse war die Entkleidung des Probanden bis auf die Unterwäsche. Im Anschluss wurde darum gebeten, barfuß das Laufband zu betreten. Die Vorbereitung des Probanden auf die Messung erfolgte durch zwei Untersucher, welche mit doppelseitigem Klebeband insgesamt 16 Infrarot- Marker an die von LUKOtronic genau definierten anatomischen Körperstellen

aufbrachten. Bezüglich der Markerplatzierung berufen sich die Gerätehersteller von LUKOtronic auf Angaben von Jaquelin Perry (2003) [14].

#### Übungsphase:

Bevor mit dem Gehen auf dem Laufband begonnen werden konnte, wurde die vom Gerätehersteller vorgegebene Steigung von 3° eingestellt. Aufgrund mangelnder Vorkenntnisse hinsichtlich des Laufbandgebrauchs wurde die Ganggeschwindigkeit in kleinen 0,1km/h Schritten vom Untersucher langsam gesteigert, bis eine für den Probanden angenehme Alltagsgeschwindigkeit erreicht wurde und sich an das Laufband gewöhnt haben.

#### Untersuchungsphase:

Erst nach Entwicklung des individuellen Gehrrhythmus wurde die Untersuchungsphase durch eine 60 Sekunden dauernde Aufzeichnung ganganalytischer Parameter gestartet. Nach dieser Minute war die Dokumentation des Gangbildes abgeschlossen, sodass dem Proband die Markerketten abgenommen und die Daten mittels automatischer Software ausgewertet werden konnten. Eine manuelle Auswertung war lediglich dann notwendig,

wenn der initiale Bodenkontakt des Probanden nicht ermittelbar war. Die Ergebnisse wurden, wie in der Auswertungssoftware vorgegeben, in den nachstehenden acht Unterphasen eines Gangzyklus dargestellt:

- Initialer Bodenkontakt IBK
- Belastungsantwort BA
- Mittlere Standphase MSt
- Terminale Standphase TSt
- Vor- Schwungphase VSw
- Initiale Schwungphase ISw
- Mittlere Schwungphase MSw
- Terminale Schwungphase TSw

#### Statistik:

Als verwendete Programme kamen an dieser Stelle Microsoft Office Excel 2007 sowie GraphPad Prism Version 5.0 zum Einsatz. Die Differenzen der berechneten Mittelwerte wurden mittels t- Test für ungepaarte Stichproben auf Signifikanz überprüft. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0,05 =$  signifikant (\*),  $p < 0,01 =$  hochsignifikant (\*\*) und  $p < 0,001 =$  höchstsignifikant (\*\*\*) festgesetzt.

## Ergebnisse

### Vergleich Patienten- Referenzkollektiv

#### Weg- Zeit- Parameter

In Tabelle 4 werden die Weg- Zeit- Parameter der Patienten sowie der Referenzgruppe dargestellt. Hierbei wurden die erkrankten Seiten der Patienten differenziert voneinander betrachtet und der gleichen Seite der Referenzgruppe gegenübergestellt.

Der Mittelwert der Geschwindigkeit, welche von den Probanden frei gewählt wurde, ist bei den sowohl links als auch rechts verletzten Patienten im Gegensatz zum Normalkollektiv als statistisch bedeutend einzuordnen und mit  $p < 0.0001$  als höchstsignifikant zu beschreiben. Die Spurbreite der Patientengruppe ist links wie auch rechts größer als die der Referenzgruppe und weist mit  $p = 0.0015$  für links und  $p = 0.0002$  für rechts einen hochsignifikanten bis höchstsignifikanten Unterschied auf. Die mittlere Schrittweite der Patienten ist in allen Fällen ca. 20 cm kürzer als die der Referenzgruppe. Die beschriebenen Werte bezüglich der mittleren Schrittweite können mit  $p < 0.0001$  als höchstsignifikant verschieden betrachtet werden. Darüber hinaus ist auffällig, dass die

Standardabweichung der Werte der Patienten um ein vielfaches höher liegt als die der Referenzgruppe.

#### Kinematische Parameter

Mit signifikanten bis höchstsignifikanten Unterschieden auf beiden Seiten sind die Ergebnisse von *Flexion und Extension des oberen Sprunggelenks* in Abbildung 1 ersichtlich. Hinsichtlich der BA der linken Seite konnte ein Wert von  $p = 0.0154$  errechnet werden. Des Weiteren können die Unterschiede zwischen der Patienten- und Referenzgruppe in der TSt mit  $p = 0.038$  für links und  $p = 0.0418$  für rechts als signifikant bewertet werden. Ein höchstsignifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen besteht in der ISw der linken Seite ( $p < 0.0001$ ). Im Gegensatz dazu besteht in der ISw der rechten Seite lediglich ein signifikanter Unterschied mit  $p = 0.0387$ . Die Resultate der Phasen MSw (links:  $p = 0.0011$ ; rechts:  $p = 0.0051$ ) und TSw (links:  $p = 0.0035$ ; rechts:  $p = 0.0086$ ) können beidseits als hochsignifikant eingestuft werden.

Tab. 4: Vergleich der Weg- Zeit- Parameter der betroffenen Seite der Patienten (links: n= 39; rechts: n= 32) mit der gleichen Seite der Referenzgruppe (n= 18)

	Tempo [km/h]	Spurbreite [cm]	mittlere Schrittweite [cm]	mittlere Schrittweite links [cm]	mittlere Schrittweite rechts [cm]
Patienten links	2,8±0,9	11,1±3,0	44,5±9,9	45,1±9,8	43,9±10,3
Referenz links	4,6±0,5	8,8±1,4	64,0±4,3	64,6±4,1	63,4±4,6
Signifikanz	<.0001 ***	.0015 **	<.0001 ***	<.0001 ***	<.0001 ***
Patienten rechts	2,6±0,9	11,4±2,9	42,5±8,9	43,4±9,0	41,8±9,3
Referenz rechts	4,6±0,5	8,8±1,4	64,0±4,3	64,6±4,1	63,4±4,6
Signifikanz	<.0001 ***	.0002 ***	<.0001 ***	<.0001 ***	<.0001 ***

In Abbildung 2 sind die Ergebnisse des Bewegungsumfanges des Kniegelenks bezugnehmend auf *Varus und Valgus des Knies* zu entnehmen. Mit  $p=0.0005$  in der MSt können die Unterschiede beider Gruppen der linken Seite als höchstsignifikant eingestuft werden. Des Weiteren können lediglich in der TSt hochsignifikante Unterschiede links ( $p=0.0021$ ) und signifikante Differenzen rechts ( $p=0.0198$ ) aufgezeigt werden.

In Abbildung 3 werden die erzielten Ergebnisse der *Flexion und Extension des Knies* vergleichend dargestellt. Auf der linken Seite können die Unterschiede beider Gruppen in den Phasen BA ( $p=0.0059$ ), ISw ( $p=0.0018$ ) und TSw ( $p=0.0014$ ) als hochsignifikant und in der MSw sogar als höchstsignifikant ( $p<0.0001$ ) eingestuft werden. Die Unterschiede der ISw ( $p=0.0010$ ), MSw ( $p=0.0006$ ) und TSw ( $p=0.0003$ ) können hingegen auf der rechten Seite als höchstsignifikant beschrieben werden. Des Weiteren wird die BA mit  $p=0.0037$  als hochsignifikant angegeben.

Hinsichtlich der *Adduktion und Abduktion der Hüfte* (Abb. 4) liegt lediglich das Ergebnis der MSt der linken Seite mit  $p=0.0188$  unter der Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p=0.05$  und weist somit als einziges Ergebnis einen signifikanten Unterschied zwischen der Patientengruppe und der gesunden Referenzgruppe auf.

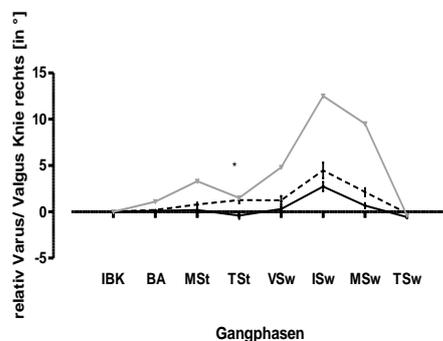
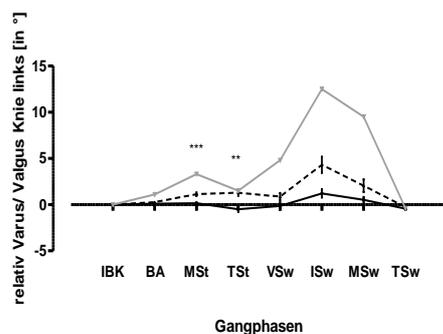


Abb. 2: Vergleich Patienten (links  $n=39$ ; rechts  $n=32$ )- Referenz (links und rechts  $n=18$ ) relativ Varus/ Valgus Knie (Schwarze, gestrichelte Linie: Referenz. Schwarze, durchgezogene Linie: Patienten. Graue, durchgezogene Linie: Normwerte J. Perry)

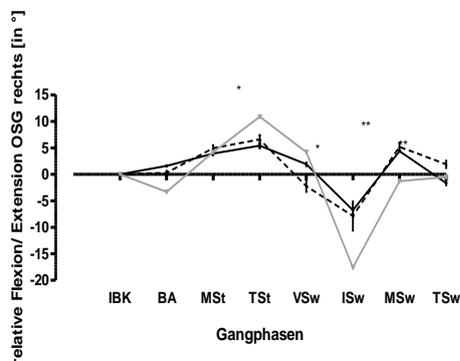
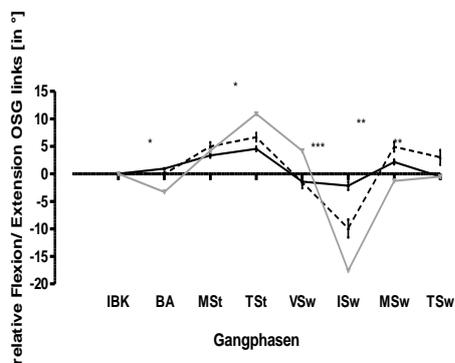


Abb. 1: Vergleich Patienten (links  $n=39$ ; rechts  $n=32$ )- Referenz (links und rechts  $n=18$ ) relative Flexion/ Extension OSG (Schwarze, gestrichelte Linie: Referenz. Schwarze, durchgezogene Linie: Patienten. Graue, durchgezogene Linie: Normwerte J. Perry)

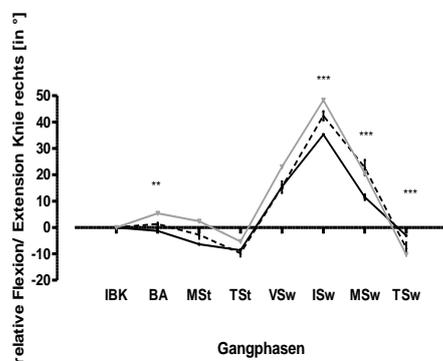
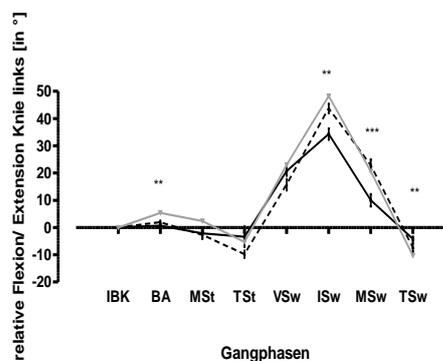


Abb. 3: Vergleich Patienten (links  $n=39$ ; rechts  $n=32$ )- Referenz (links und rechts  $n=18$ ) relative Flexion/ Extension Knie (Schwarze, gestrichelte Linie: Referenz. Schwarze, durchgezogene Linie: Patienten. Graue, durchgezogene Linie: Normwerte J. Perry)

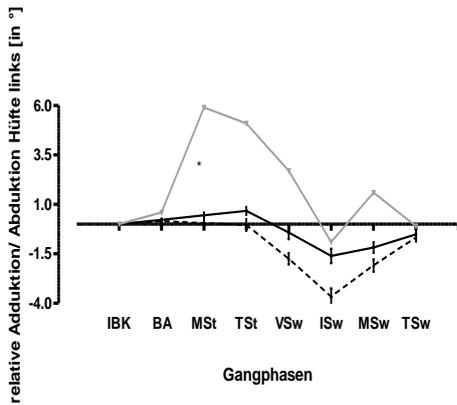


Abb.4: Vergleich Patienten (links n= 39)- Referenz (links n= 18) relative Adduktion/ Abduktion Hüfte (Schwarze, gestrichelte Linie: Referenz. Schwarze, durchgezogene Linie: Patienten. Graue, durchgezogene Linie: Normwerte J. Perry)

Werden die Ergebnisse der Flexion und Extension der Hüfte in Abbildung 5 betrachtet, so ist ersichtlich, dass in den Gangphasen TSt (links:  $p=0.0034$ ; rechts:  $p=0.0002$ ), VSw (links und rechts:  $p<0.0001$ ) und ISw (links:  $0.0018$ ; rechts:  $0.0020$ ) auf beiden Seiten hochsignifikante bis höchstsignifikante Ergebnisse erzielt wurden. Des Weiteren ist mit  $p=0.0281$  in der MSt ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen zu verzeichnen. Auffällig ist die im Vergleich zur kontralateralen Seite große Streuung der Werte der Patientengruppe der linken Extremität.

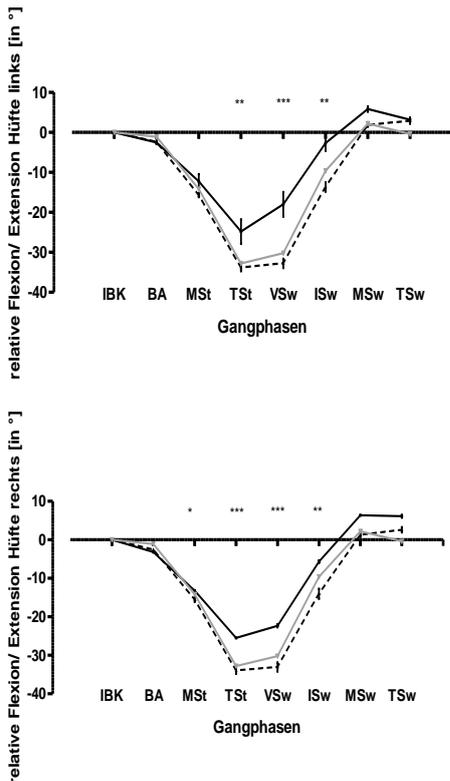


Abb. 5: Vergleich Patienten (links n= 39; rechts n= 32)- Referenz (links und rechts n= 18) relative Flexion/ Extension Hüfte (Schwarze, gestrichelte Linie: Referenz. Schwarze, durchgezogene Linie: Patienten. Graue, durchgezogene Linie: Normwerte J. Perry)

Bei der Rotation des Beckens (Abb. 6) konnten lediglich in der BA ( $p=0.0243$ ) und der TSt ( $p=0.0345$ ) signifikante Unterschiede berechnet werden.

Beim Heben und Senken des Beckens (Abb. 6) waren die Unterschiede beider Gruppe so enorm, dass mit Ausnahme der TSt in allen Gangphasen signifikante (MSt:  $p=0.0105$ ; VSw:  $p=0.0441$ ) bis höchstsignifikante (BA:  $p=0.0002$ ; ISw:  $p<0.0001$ ; MSw:  $p=0.0009$  und TSw:  $p<0.0001$ ) Ergebnisse erzielt wurden.

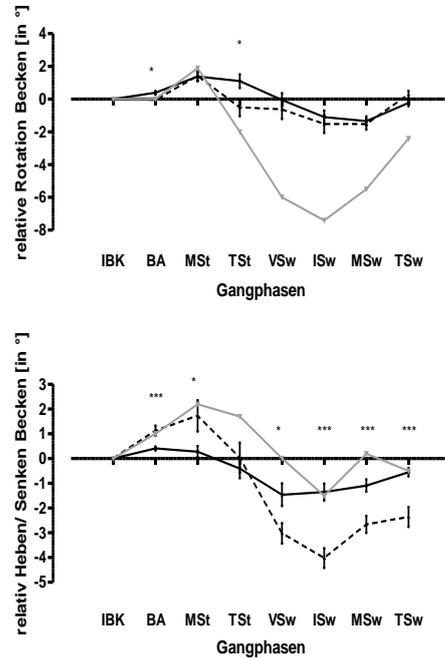


Abb. 6: Vergleich Patienten (n= 42)- Referenz (n= 18) relative Rotation Becken und relativ Heben/ Senken Becken (Schwarze, gestrichelte Linie: Referenz. Schwarze, durchgezogene Linie: Patienten. Graue, durchgezogene Linie: Normwerte J. Perry)

**Seitenvergleich Patientenkollektiv**

Im nachstehenden Abschnitt werden die Resultate der Patienten hinsichtlich ihrer gesunden im Vergleich zu der erkrankten Seite dargestellt. Für diese seitendifferenzierte Betrachtung kamen jedoch lediglich die einseitig betroffenen Patienten für die Auswertung in Betracht. Somit konnten die Ergebnisse von 13 Personen hinsichtlich Seitendifferenzen ausgewertet werden.

**Weg- Zeit- Parameter**

In Tabelle 5 werden die Weg- Zeit- Parameter der Patienten dargestellt. Von besonderer Bedeutung sind die Werte der mittleren Schrittweite der erkrankten und gesunden Seite. Mit  $p=0.8587$  konnte jedoch kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der mittleren Schrittweite der gesunden und der verletzten Seite festgestellt werden. Auffällig sind jedoch die hohen Standardabweichungen bezüglich der Werte der mittleren Schrittweite.

**Tab. 5: Darstellung der Weg- Zeit- Parameter und Vergleich der mittleren Schrittweite der erkrankten und der gesunden Seite der Patientengruppe (n= 13)**

	Tempo [km/h]	Spurbreite [cm]	mittlere Schrittweite [cm]	mittlere Schrittweite krank [cm]	mittlere Schrittweite gesund [cm]
Patiente n	3,1±0,6	10,5±2,5	49,8±8,8	49,4±8,9	50,1±8,9
Signifikanz				.8587	

### Kinematische Parameter

Hinsichtlich der erkrankten und der gesunden Seite der Patienten können sowohl in der *Eversion und Inversion des unteren Sprunggelenks* als auch in der *Flexion und Extension des oberen Sprunggelenks* keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden. Auffällig ist jedoch die große Streuung der Ergebnisse der in der Frontalebene gemessenen Eversion und Inversion des unteren Sprunggelenks.

Auch in den Bewegungen des Knies, *Varus und Valgus* sowie *Flexion und Extension des Knies*, sind keine signifikanten Unterschiede im Hinblick auf die gesunde und die erkrankte Seite der Patienten erkennbar.

Bei den Bewegungen der Hüfte, *Adduktion und Abduktion* sowie *Flexion und Extension*, konnten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede bezüglich einer Seitendifferenz berechnet werden.

### Seitenvergleich Referenzkollektiv

Aus Interesse wurde auch nach Unterschieden zwischen linker und rechter Seite des Normalkollektivs gesucht. Folglich sollen mögliche Seitendifferenzen der Referenzgruppe (n= 18) hinsichtlich der untersuchten Gangparameter im nachstehenden Kapitel aufgezeigt werden.

### Weg- Zeit- Parameter

In Tabelle 6 werden die Weg- Zeit- Parameter der Referenzgruppe dargestellt. Von besonderem Interesse

### Diskussion

In dieser Untersuchung konnte eine pathologisch bedingte Veränderung ganganalytischer Merkmale nachgewiesen werden, welches mit bereits veröffentlichten Publikationen übereinstimmt. So ermittelte Ornetti et al. (2010) eine reduzierte Gehgeschwindigkeit, verkürzte Schrittlänge sowie unzureichende Knieflexion in der Schwungphase, was sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie deckt [11]. Des Weiteren zeigt die Untersuchung, dass in der Eversions- und Inversionsbewegung des unteren Sprunggelenks, der Dorsalextension des oberen Sprunggelenks, der Extension sowie Varus-/ Valgusstellung des Kniegelenks, der Extension sowie Abduktion des Hüftgelenks und der Beckenbewegung statistisch bedeutsame Differenzen zwischen beiden Kollektiven vorliegen. Im Gegensatz dazu, konnten die vermuteten Abweichungen innerhalb ganganalytischer Parameter bezüglich der erkrankten und der gesunden unteren Extremität bei der Patientengruppe, statistisch nicht belegt werden.

sind Seitendifferenzen, welche mit Hilfe der mittleren Schrittweite nachgewiesen werden können. Jedoch kann mit  $p=0.4424$  kein signifikanter Unterschied zwischen rechter und linker Seite nachgewiesen werden.

**Tab. 6: Darstellung der Weg- Zeit- Parameter und Vergleich der mittleren Schrittweite der rechten und linken Seite der Referenzgruppe (n= 18)**

	Tempo [km/h]	Spurbreite [cm]	mittlere Schrittweite [cm]	mittlere Schrittweite links [cm]	mittlere Schrittweite rechts [cm]
Referenz	4,6±0,5	8,8±1,4	64,0±4,3	64,6±4,1	63,4±4,6
Signifikanz				.4424	

### Kinematische Parameter

Es konnten keine signifikanten Unterschiede bezüglich einer Seitendifferenz sowohl in der *Eversion und Inversion des unteren Sprunggelenks* als auch in der *Flexion und Extension des oberen Sprunggelenks* nachgewiesen werden. Auffällig ist die große Streuung der Werte bei der Eversion und Inversion des unteren Sprunggelenks.

Auch bei den Bewegungsausmaßen des Kniegelenks hinsichtlich *Varus und Valgus* sowie *Flexion und Extension des Knies* sind keine signifikanten Seitendifferenzen nachzuweisen.

Die in der Frontalebene zu beobachtende *Adduktion und Abduktion der Hüfte* weist hinsichtlich der seitendifferenzierten Betrachtung einen signifikanten Unterschied in der MSt ( $p=0.0122$ ) auf. Im Vergleich zu den Ergebnissen der *Flexion und Extension der Hüfte* aus der Sagittalebene, in denen keine signifikanten Unterschiede ersichtlich waren, zeigen die Werte der Adduktion und Abduktion eine große Streuung.

In Anbetracht des Durchschnittsalters der Patientengruppe von  $64,5\pm 8,8$  Jahren und der dazu im Vergleich stehenden Referenzgruppe von  $24,7\pm 2,2$  Jahren, sollte den altersspezifischen Veränderungen hinsichtlich des Ganges im Folgenden Aufmerksamkeit geschenkt werden. Laut Patla (1995) treten erste altersbedingte Veränderungen im Gangbild im Alter zwischen 60 und 70 Jahren auf [13]. Im Vergleich zu jüngeren Menschen erscheint der normale Gang bei älteren verlangsamt. Dies wird durch eine von Kressig und Beauchet (2004) durchgeführte Studie belegt [7]. Sie konnten ebenfalls eine mit dem Alter korrelierende Reduzierung der Gehgeschwindigkeit sowie Abnahme der Schrittlänge nachweisen. Götz- Neumann (2006) begründet dies mit den altersgemäßen Veränderungen und pathologisch bedingten Einflüssen, welche mit zunehmendem Alter häufiger werden [3]. Veränderungen, wie die Minimierung der Ganggeschwindigkeit sowie der Schrittlänge und die Verbreiterung der Spurbreite, erhöhen laut Patla (1995) in Übereinstimmung mit weiteren Autoren die

Gehsicherheit [13]. Kressig und Beauchet (2004) konnten jedoch in ihrer Untersuchung, zu physiologischen und pathologischen Gangveränderungen im Alter, keinen Einfluss des physiologischen Alterungsprozesses auf die Gang-Regelmäßigkeit nachweisen [7]. Die Resultate stimmen mit den Ergebnissen der Gruppe um Schultz, welche ebenfalls keine signifikanten altersabhängigen Unterschiede der Gehbewegung ausfindig machen konnten, überein [15]. Zuvor genannte Ergebnisse untermauern die Aussage, dass die in dieser Untersuchung nachgewiesenen Unterschiede verschiedener kinematischer Parameter auf geringere Gehgeschwindigkeit und der damit einhergehenden verkürzten Schrittlänge sowie auf die pathologisch bedingten Kompensationsmechanismen zurückzuführen sind. Da sich die das Gangbild beeinflussenden Faktoren gegenseitig beeinträchtigen, ist zu beachten, dass diese nur zu einem geringen Grad voneinander abgegrenzt werden können.

Die Geschwindigkeit, als zentrale Größe der ganganalytischen Begutachtung hat zum Einen Auswirkungen auf die Weg-Zeit-Parameter und zum Anderen spiegelt sie sich in den kinematischen Zahlen wieder [4]. So gibt Perry an, dass durch eine verminderte Ganggeschwindigkeit, die Knieflexion in der Phase der Belastungsantwort deutlich herabgesetzt sein kann [14]. Folglich bewirkt eine Verringerung der Gehgeschwindigkeit von 5,4 km/h auf 3,6 km/h eine um 67% reduzierte Knieflexion. Dieses Phänomen könnte als ein Grund für die abweichenden Werte der Patienten von den Werten der Referenzgruppe gesehen werden. Des Weiteren führt Perry die eingeschränkte Knieflexion in der Phase der Lastaufnahme auf einen pathologischen Gelenkzustand zurück [14]. Bei einer unzureichenden Flexion des Kniegelenks in der Phase der Lastaufnahme (BA) kommt es zu einer eingeschränkten Stoßdämpfung des betroffenen Beines. Als Kompensationsmechanismus verringert der Betroffene die Gehgeschwindigkeit. So ist die reduzierte Kniegelenksflexion als eine erwünschte Abweichung vom physiologischen Gang zu betrachten. Als Grund dafür wird in zahlreichen Studien zu degenerativen Kniepathologien ein geschwächter M. quadriceps femoris diskutiert, der den wiederholten Belastungen durch ein flektiertes Kniegelenk nicht entgegenwirken kann [14]. Wird das Gangbild in der Sagittalebene betrachtet, so ist eine verminderte Knieflexion der Patienten in weiteren Phasen (BA, ISw, MSw) deutlich erkennbar. Nach Pap et al. (2000) kann eine arthrogen bedingte Muskelhemmung (AMI) für die Schwäche des M. quadriceps femoris verantwortlich gemacht werden. Diese gelenkbedingte, reflektorische Muskelhemmung führt zu einer „Verminderung der maximalen willkürlichen Aktivierbarkeit sowie zu einer Abnahme der maximalen Willkürkraft der Quadricepsmuskeln“, was sich u. a. in der bereits beschriebenen eingeschränkten Knieflexion in der Schwungphase äußert [12]. Folglich wird diese Quadricepshemmung als Ursache kniefunktionseller Defizite verstanden. Neben dem M. quadriceps femoris kann eine schwach ausgeprägte Hüftbeugemuskulatur der Patienten und die daraus resultierende fehlende Antriebskraft für die reduzierte Flexion des Kniegelenks

in der Schwungphase verantwortlich gemacht werden [14].

Nicht außer Acht gelassen werden, sollte in der Phase der Belastungsantwort sowie in den folgenden Phasen auch die Schmerzsymptomatik. Bei ungenügend rascher Bewegung des Kniegelenks, kann dieses während der Schwungphase nur unzureichend flektiert werden und resultiert in einem steifbeinigen Gangbild, welches mit den statistisch überprüften Daten der Patientengruppe der vorliegenden Untersuchung in Übereinstimmung gebracht werden kann [14]. Auch kann die geringere Extension des Kniegelenks binnen der terminalen Schwungphase mit Angaben aus der Literatur belegt werden. Folglich kann eine geringere Reichweite während der Schwungphase mit der reduzierten Knieextension der Patienten in Verbindung gebracht werden [14].

Ebenfalls darf der von Maly et al. nachgewiesene psychologische Einfluss im Hinblick auf eine schmerzadaptierte Schonhaltung und somit eingeschränkte Bewegung nicht in Vergessenheit geraten [9]. Eine verkürzte Schrittlänge sowie die damit assoziierende reduzierte Gehgeschwindigkeit der Patienten, ist auf die in der terminalen Standphase nachgewiesene exzessive Plantarflexion des oberen Sprunggelenks zurückzuführen. In Übereinstimmung mit Literaturangaben kann bei Patienten mit degenerativer Kniepathologie eine signifikant reduzierte Dorsalextension in der mittleren sowie terminalen Schwungphase festgestellt werden. Als Folge zeigt sich ein Absinken des Fußes unter die Horizontale. Im weiteren Verlauf behindert dies ein Vorschwingen des Beines (MSw, TSw), welches in einem vorzeitigen Schwung endet und/ oder durch Kompensationsmechanismen über dem Boden gehalten wird. Die unzureichende Dorsalextension des oberen Sprunggelenks wird durch eine nachgewiesene verkürzte Schrittweite sowie eine vermehrte Flexion des Hüftgelenks kompensiert [14]. Hingegen wird die nachweislich exzessive Dorsalextension des oberen Sprunggelenks während der Belastungsantwort durch eine verstärkte Inversionsstellung des unteren Sprunggelenks ausgeglichen, wodurch die Ferse vorzeitig vom Boden abgelöst werden kann [14].

Nach Perry besitzt eine reduzierte Hüftextension, wie es in mehreren Gangphasen (MSt, TSt, VSw, ISw) bei den Patienten nachgewiesen werden konnte, negativen Einfluss auf das sichere Ausbalancieren des Körpergewichts [14]. Diese könnte als eine weitere Einflussgröße auf die erhöhte Spurbreite der Patienten im Vergleich zum Referenzkollektiv gesehen werden. Eine unzureichende Hüftextension in der terminalen Standphase hemmt die Retroversion des Oberschenkels. Dadurch wird die Schrittweite beeinflusst, indem sich die Schrittlänge der Patienten reduziert. U. a. ist dies auf die Beeinflussung des kontralateralen Beines hinsichtlich einer Verkürzung der Vor-Schwungphase auf eine mangelnde Extensionsfähigkeit des Hüftgelenks zurückzuführen. Die in der Vor-Schwungphase nachgewiesene übermäßige Flexion des Hüftgelenks ist als Fortführung der reduzierten Hüftgelenksexension in den vorrangigen Standphasen zu sehen. Die für die Schwung-

phase erforderliche Flexion des Hüftgelenks wird vorzeitig eingeleitet und dauert bis in die initiale Schwungphase an. Zum Ausgleich der unzureichenden Kniegelenksflexion der Patienten (in ISw und MSw) wird die Hüfte in der Schwungphase übermäßig flektiert, um den Fuß für die Vorwärtsbewegung vom Boden ablösen zu können [3]. Die in der mittleren Standphase der Patienten erhöhte Hüftabduktion kann mit der Erweiterung der Standfläche und somit als Versuch der Stabilisierung auf dem Laufband gewertet werden [14].

Bei einer vergleichenden Untersuchung der Beckenkipfung während des Gangmechanismus konnte Kramers et al. (2008) eine erhöhte Beckenkipfung während des Gehens bei höherer Geschwindigkeit im Vergleich zu einer niedrigeren aufzeigen [6]. Folglich ist die im Vergleich zur Patientengruppe erhöhte Ganggeschwindigkeit des Normalkollektivs als mögliche Ursache für die gesteigerte Beckenbewegung der gesunden Probanden zu betrachten. Hingegen konnte kein Zusammenhang von Geschwindigkeit und erhöhter Beckenrotation nachgewiesen werden, was die Ergebnisse der vorliegenden Studie unterstreicht.

Abschließend ist festzuhalten, dass diese Studie den engen Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein einer degenerativen Kniegelenkserkrankung und einem pathologisch veränderten Gangbild beweist.

Seitendifferenzen des Normalkollektivs konnten lediglich in der Frontalebene zu beobachtenden Adduktion und Abduktion der Hüfte während der mittleren Standphase statistisch belegt werden.

Die erhöhte Hüftabduktion der rechten Extremität kann möglicherweise mit der individuellen Ausprägung hinsichtlich einer erhöhten Standbeinaktivität erklärt werden.

In dem nachfolgendem Abschnitt sollen die allgemeine Problematik der instrumentellen Ganganalyse auf dem Laufband sowie weitere Störfaktoren dargestellt werden. In dem Artikel von Vogt und Banzer (2005) wird auf physische (Geräte, Kabel, etc.) und psychophysische (Untersuchungs-/ Testsituation) Störfaktoren hingewiesen. Weitere beeinflussende Faktoren stellen Körperhöhe und Beinlänge dar [18].

Die Gruppe um Strathy (1983) untersuchte den Unterschied der Bewegungen des Kniegelenks zwischen dem Gehen auf ‚natürlichem‘ Untergrund und auf dem

Laufband. Sie konnten statistisch belegen, dass sich Bewegungen in der sagittalen Ebene deutlich verringerten. Ebenfalls reduzierten sich der Fuß- Bodenkontakt sowie der Fersenkontakt auf dem Laufband erheblich [16]. Folglich kann eine unvollständige Laufbandadaptation, der im Vergleich zu den Sportstudenten ungeübten Patienten, enorme Auswirkungen auf das Gangbild haben. Nach Amelung und Seidel (2005) werden diese Effekte besonders in ganganalytischen Parametern, wie Schrittfrequenz, relative Schrittlänge und relative Geschwindigkeit deutlich [1]. Letztgenannter Faktor steht in linearem Zusammenhang mit einer Vielzahl von Gangparametern. Die Gruppe von van der Linden (2002) zeigt die Abhängigkeit der meisten Weg- Zeit- Parameter sowie kinematischer Größen von der Ganggeschwindigkeit [17]. Um einen pathologischen Gang zu analysieren ist es nötig, einen von der Norm abweichenden Gang zu identifizieren. Hierfür ist es bedeutsam die gesamte Interindividualität des menschlichen Gehens zu verstehen. Laut Wiemann (2000) liegt die Schwierigkeit der Begriffsdefinition des menschlichen Ganges in seiner Komplexität [19]. Der normale Gang, welcher in der Regel als komplexe, zyklische Bewegung definiert wird, unterliegt neben Stimmung, Tageszeit und körperlichen Zustand der jeweiligen Person noch weiteren Einflussgrößen [10]. Weiterhin nehmen betriebene Sportarten, Alter sowie Geschlecht Einfluss auf das Gangbild. Die Schwierigkeit, pathologische Gangcharakteristika von den eben genannten Einflussgrößen abzugrenzen, rückt die Untersuchung des menschlichen Ganges weiter in den Fokus der Wissenschaft [19]. Vor dem Hintergrund der demographischen Entwicklung und damit einhergehender Zunahme degenerativer Gelenkerkrankungen soll zukünftig mit Hilfe einer Modellform des normalen Ganges beschrieben werden, „wie in einem ökonomischen und harmonischen Gangbild das ökonomische Prinzip der maximalen Leistung bei minimalen Kraftaufwand und minimalem Materialverschleiß erfüllt werden kann [14]. Folglich ist die Ganganalyse als Ergänzung des klassischen Repertoires zu sehen, welche die klinische Diagnostik sowie den Bereich der Prävention ergänzen soll.

## Literatur

1. Amelung, P. & Seidel, W. (2005). Die instrumentierte Ganganalyse im Rahmen eines manualmedizinisch orientierten Diagnostik- und Therapiesettings im Krankenhaus bei Patienten mit Schmerzerkrankungen des Bewegungssystems. *Manuelle Med.*, 43 (6), 404- 413.
2. Fink, M. & Resch, K.- L. (2006). Was bringt die Ganganalyse?. *Dt. Z. Osteopathie*, 4, 26- 27.
3. Götz- Neumann, K. (2006). *Gehen verstehen* (2., unveränd. Aufl.). Stuttgart, New York: Thieme.
4. Hegewald, G. (2000). Ganganalytische Bestimmung und Bewertung der Druckverteilung unterm Fuß und von Gelenkwinkelverläufen- eine Methode für die Diagnose und Therapie im medizinischen Alltag und für die Qualitätssicherung in der reha-bilitationstechnischen Versorgung. *Dissertation*, Humboldt- Universität zu Berlin.
5. Horstmann, T. (2006). Sport als Ursache- Arthrose- Sport als Therapie. *Dtsch Z Sportmed.*, 57, 265.
6. Kramers- de Quervain, I., Stüssi, E. & Stacoff, A. (2008). Ganganalyse beim Gehen und Laufen. *Schweiz Z. Sportmed. Sporttraum.*, 56, 35- 42.
7. Kressig, R. W. & Beauchet, O. (2004). Die Rolle der Ganganalyse in therapeutischen Trainingsprogrammen von Betagten. *Z. Gerontol. Geriat.*, 37, 15- 19.
8. Leeb, B. F., Bucsi, L. & Keszthelyi, B. (2004). Behandlung der Gonarthrose. *Orthopäde*, 33, 1032- 1041.
9. Maly, M. R., Costigan, P. A. & Olney, S. J. (2008). Mechanical factors relate to pain in knee osteoarthritis. *Clin. Biomech.*, 23, 796- 805.
10. Nicolakis, P. & Kopf, A. (2005). Klinische Ganganalyse. In V. Fialka- Moser (Hrsg.), *Kompendium physikalische Medizin und Rehabilitation* (2., überarb. und erw. Aufl.), (S. 79- 89). Wien; New York: Springer- Verlag.

11. **Ornetti, P., Maillefert, J., Laroche, D., Morisset, C., Dougados, M. & Gossec, L. (2010).** Gait analysis as a quantifiable outcome measure in hip or knee osteoarthritis: A systematic review. *Joint Bone Spine.*, 1- 5.
12. **Pap, G., Machner, A. & Awiszus, F. (2000).** Funktionelle Veränderungen des Quadriceps Femoris Muskels bei Patienten mit Varusgonarthrose. *Z. Rheumatol.*, 59, 380-387.
13. **Patla, A. (1995).** A Framework for Understanding Mobility Problems in the Elderly. In K. Götz- Neumann (2006). *Gehen verstehen* (2., unveränd. Aufl.). Stuttgart, New York: Thieme.
14. **Perry, J. (2003).** Ganganalyse. Norm und Pathologie des Gehens. München; Jena: Urban & Fischer Verlag.
15. **Schultz, W., Weber, T., Blumentritt, S. & Schmalz, T. (2003).** Ganganalytische Untersuchungen von Patienten mit valgusierender Tibiakopfeosteotomie. *Orthopäde*, 32, 331-339.
16. **Strathy, G., Chao, E. & Laugham, R. (1983).** Changes in knee function associated with treadmill ambulation. *J Biomech.*, 16, 517- 522.
17. **van der Linden, M., Kerr, A. & Hazlewood, M. (2002).** Kinematic and kinetic gait characteristics of normal children walking at a range of clinically relevant speeds. *J Pediatr Orthop.*, 22, 800- 806.
18. **Vogt, L. & Banzer, W. (2005).** Instrumentelle Ganganalyse. *Dtsch. Z. Sportmed.*, 56 (4), 108- 109.
19. **Wiemann, M. (2000).** Kurzer Abriss zur Entwicklung der apparativen Ganganalyse zwischen Klassik und Moderne. *Phys. Med. Rehab. Kuror.*, 10, 227- 230.

**Korrespondenzadresse:** Juliane Sauer, MSc  
Universität Leipzig  
Institut für Sportmedizin und Prävention  
Marschner Str. 29  
04109 Leipzig

juliane.sauer@uni-leipzig.de